



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ
ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4

**“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์
COVID - 19”**

ncon_sci

PROCEEDING BOOK

30 สิงหาคม 2564

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
(Proceeding Book)

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4
“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19”

The 4th National Conference on Science, Technology and Innovation:
Science, Technology and Innovation Creation for Conquering COVID-19

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
วันจันทร์ที่ 30 สิงหาคม 2564
ผ่าน ZOOM Cloud Meetings

พิมพ์เมื่อ : กันยายน 2564
กองบรรณาธิการ : ฝ่ายวิชาการและวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

© ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารจากคณบดี



ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ COVID-19 ที่ประเทศของเราและทั่วโลกเผชิญอยู่นั้น สร้างผลกระทบในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้าน เศรษฐกิจ ด้านสังคม ด้านการศึกษา และอื่นๆ ในฐานะที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นมหาวิทยาลัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม จึงมีบทบาทสำคัญในการสร้างงานวิจัย เทคโนโลยีและนวัตกรรม อันจะนำมาเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาและงานวิจัย ให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้และนวัตกรรมที่สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนและประเทศชาติ สามารถการพัฒนาต่อยอด นำไปใช้ประโยชน์แก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง เราตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัย ทั้งการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ การวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรม และการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน โดยส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างงานวิจัยของคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาของมหาวิทยาลัย ให้ผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ มีประโยชน์ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยให้มีความก้าวหน้ามุ่งสู่ความเป็นเลิศทางวิชาการในศาสตร์แขนงต่างๆ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงได้ผลักดันและส่งเสริมงานวิจัย กำหนดนโยบาย สอดคล้องตามนโยบายและยุทธศาสตร์ การปฏิรูปการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม อววน. พ.ศ. 2563 – 2570 ภายใต้กรอบการวิจัย "วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม สร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19" บน Platform: การพัฒนากำลังคนและสถาบันความรู้ การวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อตอบโจทย์ท้าทายของสังคม และการวิจัยและสร้างนวัตกรรมเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขัน ซึ่งเราหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จะสรรสร้างงานวิจัยที่สามารถนำไปแก้ปัญหาในภาคส่วนต่างๆที่ได้รับผลกระทบการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 รวมไปถึงการจัดการปัญหาที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากโรคอุบัติใหม่ได้ ดังนั้น คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จึงได้จัดการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4 ภายใต้หัวข้อ "วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19" เพื่อเป็นเวทีวิชาการในการนำเสนอผลงานทางวิชาการและแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ระหว่างนักวิชาการ และเพื่อส่งเสริมการสร้างเครือข่ายงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติต่อไป

(ดร.จิระศักดิ์ ชาระจักร์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะกรรมการ

กรรมการบรรณาธิการ

| | |
|----------------------------|---------------------|
| ดร.จิระศักดิ์ ชาระจักร์ | บรรณาธิการ |
| ดร.ไพศาล การถาง | กรรมการ |
| ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพัยค์ม์ | กรรมการและเลขานุการ |

กรรมการพิจารณาบทความ (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก)

| | |
|---------------------------------|--|
| รศ.ดร.ภกญ.วริศรา ปารีชาติกานนท์ | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| ดร.สิตานัน ธิติประเสริฐ | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| ผศ.ดร.บำรุงศักดิ์ เพื่อนอารีย์ | มหาวิทยาลัยบูรพา |
| ดร.ศุทธิณี จริงจิตร | สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน |
| ดร.พันธุ์วดี วัฒนสิน | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |
| ร.ต.ดร.อนันต์ หังสพฤกษ์ | บริษัทสินสยามวัฒนา จำกัด |
| รศ.ดร.จักรพงษ์ แก้วขาว | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม |
| รศ.ดร.ณรงค์ สัจวาระนที | มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา |
| ผศ.ดร.นฤทธิ ตรีอำรรค | มหาวิทยาลัยศิลปากร |
| ดร.มติ ห่อประทุม | ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ |
| ดร.นภศูล ศิริจันทร์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด |
| ดร.วุฒิพงษ์ แปงใจ | มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา |
| ดร.ยาสมิ เลาสกุล | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา |
| ดร.ณัฐพงศ์ วงษ์ดำเนิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ดร.ปรารถนา อินตะวิน | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| ดร.ดาริกา ไย้รัมย์บุญ | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| ดร.ธัญธรณ์ วราพงศ์พิศาล | มหาวิทยาลัยรามคำแหง |
| ดร.วาศินี ประดับศรี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน |
| ดร. ศิรศักดิ์ ศศิวรรณพงศ์ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| ผศ.ดร.ศศิธร ชูแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี |
| ดร.พิพัฒน์ จันทร์ประดิษฐ์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช |

| | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| ผศ.ดร.ฉานิกา แซ่แง่ ชุกกลิ่น | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| ผศ.ดร.พนิดา หล่อวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ |
| ผศ.ธัญพรรณ ฮ่อบรรทัด | มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ |
| ดร.ดวงจันทร์ แก้วกวางพาน | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| ผศ.วันวิสา เจริญโรจน์สกุล | มหาวิทยาลัยนเรศวร |
| รศ.ดร.นริศา คำแก่น | มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย |
| ดร.ประดับดวง เกียรติศักดิ์ศิริ | มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ |
| นายทงศักดิ์ สุวรรณทิพย์ | บริษัทเอส ที เอส กรีน จำกัด |
| ผศ.ดร.วรางคณา เขาคดี | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| ดร.ปพิชญา ศรีเทพ | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ |

กรรมการพิจารณาบทความ (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

| | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.ปิยะพงษ์ ปานแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.ธนพงศ์ สารอินทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.วิไลวรรณ สีนะกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ภูมิตร์ นวรัตน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| นายพลกฤษณ์ คุ่มกล้า | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.วรินทร์ บุญยะโรจน์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ณัฐชัมย์ ลักษณะอำนวยพร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.วีรวรรณ จันทนะทรัพย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.เมธิญาณินธ์ คำขาว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.นิภาพร ปัญญา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ณัฐติญา ไช้ติยากุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ธิดาวรรร คล้ายศรี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

| | |
|----------------------------|-----------------------------------|
| ดร.นริศรา นาคเมธี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.อุดมเดชา พลเยี่ยม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ชัชวาล ศรีภักดี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ธัญญา อำนาจวัฒนกุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพัตย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.สุนิสา สายอุปราชา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ยุพาพิน อติกานต์กุล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.กฤษฎา เหล็กดี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.สกุลบุตร เอกวิธานิพนธ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ปิยธิดา พันธนะ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ดร.ณิศรา สุทธิสังข์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| ผศ.ดร.พิษณุ ทองขาว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

กรรมการดำเนินงาน

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพัตย์ | นางศุภานัน ปิ่นเจริญ |
| นางสาวอัจฉรา เฉลิมเกียรติ | นางสาวนิสากร น่วมศรีนวล |
| นายณัฐชัย แสงทองศรี | นางสาวชลิตา อินสระโร |
| นางสาวสุวรรณา ไย้วเพ็ง | นางสาวเยาวภา เทวะผลิน |
| นางสาวสุวภา น้อยจาก | นางสาวสุนันทา แก้วกระจ่าง |
| นางสาวอรวรรณ มุกนนท์ | นางสาวสายรุ้ง แก้วน้อย |
| นายสมัคร นาคเกษม | |

กำหนดการ

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4
 "วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19"
 The 4th National Conference on Science, Technology and Innovation: Science,
 Technology and Innovation Creation for Conquering COVID-19

วันจันทร์ที่ 30 สิงหาคม 2564
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 ผ่านระบบ Zoom Cloud Meetings

| เวลา | กิจกรรม | |
|--------------------------|---|---|
| 08.30 - 09.00 | ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน | |
| 09.00 - 09.30 | พิธีเปิดงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4 โดย คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ | |
| 09.30 - 10.30 | บรรยายหัวข้อพิเศษ เรื่อง “Applying biomedical science to fight COVID-19 pandemic in challenging contexts in Thailand” โดย รศ.พญ.อรุณี ธิติธัญญานนท์ | |
| 10.30 - 11.00 | ร่วมชมวิดีโอการนำเสนอผลงานวิจัยของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | |
| 11.00 - 12.00 | นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย (Oral presentation) | นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ (Poster presentation) |
| พักรับประทานอาหารกลางวัน | | |
| 13.00 - 16.00 | นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย (Oral presentation) | นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ (Poster presentation) |
| 16.00 - 16.30 | พิธีมอบรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยยอดเยี่ยม และพิธีปิด โดย คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์ | |

หมายเหตุ ผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์นำเสนอบนเว็บไซต์ <https://sci.rmutp.ac.th/nconsci4/>

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4
 "วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19"
 The 4th National Conference on Science, Technology and Innovation: Science,
 Technology and Innovation Creation for Conquering COVID-19

วันจันทร์ที่ 30 สิงหาคม 2564
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 ผ่านระบบ Zoom Cloud Meetings

ภาคบรรยาย (Oral presentation)

Session A

ประธานกลุ่ม : ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว
 รองประธานกลุ่ม : ผศ.ดร.สิริรัตน์ พานิช

| Time | ID | Name | Title |
|--------------------------|---------|------------------------|--|
| 11.30 – 11.45 | TH20041 | สมบัติย์ มงคลชัยชนะ | ต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาด: เทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากบ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก |
| 11.45 – 12.00 | TH20017 | วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ | การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อโควิด-19 ที่มีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกขลุ่ย |
| พักรับประทานอาหารกลางวัน | | | |
| 13.00 – 13.15 | TH10014 | อัครพงษ์ ตูย์จิตราภรณ์ | อิทธิพลของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติกจากการเบลนด์อย่างธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน |
| 13.15 – 13.30 | TH10021 | เกตุสุดา พรหมพินิจ | การพัฒนาภาชนะเพาะชำจากเศษชีวมวลสำหรับพืชเก็บเกี่ยวราก |

ภาคบรรยาย (Oral presentation)

Session B

ประธานกลุ่ม : ผศ.ดร.วีรวรรณ จันทนะทรัพย์
 รองประธานกลุ่ม : ดร.กฤษฎา เหล็กดี

| Time | ID | Name | Title |
|---------------|---------|--------------------------|---|
| 15.00 – 15.15 | TH20048 | ศิริเรือง พัฒน์ช่วย | การประยุกต์ใช้ NodeMCU ESP8266 สำหรับพัฒนาหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาด |
| 15.15 – 15.30 | TH20056 | วราฤทธิ์ พานิชกิจโกศลกุล | New Methods for Testing Moment Coefficient of Kurtosis: A Case Study of the Percentages of Daily Number of COVID-19 Deaths to Confirmed Cases in Thailand |

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4
 "วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19"
 The 4th National Conference on Science, Technology and Innovation: Science,
 Technology and Innovation Creation for Conquering COVID-19

วันจันทร์ที่ 30 สิงหาคม 2564
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 ผ่านระบบ Zoom Cloud Meetings

ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

| ID | Name | Title |
|---------|------------------------|--|
| TH10018 | พาริดา พรณรงค์ | การศึกษาแนวคิดในการพัฒนาชุดชั้นในของผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก |
| TH10024 | ทิพย์พร จันทร์ผ่อง | การพัฒนาเครื่องอัดกระดาษแบบไฮดรอลิกส์และการผลิตกระดาษต้นไม้จากช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน |
| TH10028 | สุประภาดา วาดวงษ์ศรี | การพัฒนาคุณสมบัติของกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ |
| TH10033 | ธนากร เจริญสุข | การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์เพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงพื้นที่ในการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำ |
| TH20008 | สังเวศ เสวกวิหारी | ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน |
| TH20035 | เพ็ญยศ วงษ์บัวงาม | การศึกษาการสลายตัวของแพลททินัมในสารละลายกรดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี |
| TH20037 | กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล | อิทธิพลของหมู้อพอกไซต์ในยางธรรมชาติอพอกไซต์ที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลและทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด |
| TH20037 | กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล | ผลของการเติมเส้นใยธรรมชาติและการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อการดูดซับน้ำและสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด |
| TH20045 | อัจฉรา เพิ่ม | ผลของสารสกัดหยาบจากชุมเห็ดไทยต่อ Cell-Surface Hydrophobicity ของเชื้อ Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus |
| TH20050 | ชวณี สุภรัตน์ | การประเมินคุณภาพน้ำในคลองบางเขนใหม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน |
| TH20053 | สมคิด ต้นเก็ง | ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำชะขยะด้วยระบบบ่อฝึ้ง: กรณีศึกษา สถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น, ขอนแก่น |
| TH20057 | ศุภชัย หิรัญศุภโชติ | การศึกษา สํารวจ และวิเคราะห์องค์ประกอบของเสีย และแนวทางการใช้ของเสียอาหารทะเล ตลาดทะเลไทย จ.สมุทรสาคร |
| TH20059 | วีรวรรณ จันทนะทรัพย์ | สื่อการเรียนรู้วิธีใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีผสมผสานโลกเสมือนจริง |
| TH20060 | ภัสชากาญจน์ ลพหล้า | การพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมโดยใช้กิจกรรมการเล่นทานร่วมกับหุ่นมือ |
| TH20061 | กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ | การใช้เถ้าจากเปลือกหอยลายเหลือทิ้งเพื่อปรับปรุงความร่วนซุยของดิน |
| TH20061 | กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ | การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าแบบเคลื่อนที่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว |

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4
 "วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19"
 The 4th National Conference on Science, Technology and Innovation: Science,
 Technology and Innovation Creation for Conquering COVID-19

วันจันทร์ที่ 30 สิงหาคม 2564
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 ผ่านระบบ Zoom Cloud Meetings

ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

| ID | Name | Title |
|---------|---------------------|--|
| TH20068 | อุดมเดชา พลเยี่ยม | การพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน |
| TH20074 | ไพศาล การถาง | The Min proteins oscillations of cell division in Escherichia coli: one and two dimensional lattice Boltzmann simulation |
| TH20078 | ดวงฤทัย นิคมรัฐ | ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองชั้นในของเครื่องฟอกอากาศจากใยไบโไฟเบรลและไบโอะยเพื่อกำจัดฝุ่น PM 2.5 |
| TH20079 | ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์ | ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ ของบุคลากรสายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| สารจากคณบดี | ก |
| คณะกรรมการ | ข |
| กำหนดการ | จ |
| ตารางการนำเสนอผลงาน | ฉ |
| สารบัญ | ณ |
| บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) | |
| 1. อิทธิพลของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติกจากการ เบลนด้วยธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน อัครพงษ์ ตุ้ยจิตราภรณ์, ณิชวดี ศรีสองคอน, เอกวิภู กาลกรณ์สุรปราณี และ กานดา เสงลอยเลื่อน | 1 |
| 2. การศึกษาแนวคิดในการพัฒนาเสื้อชั้นในของผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก พาริดา พรรณรงค์ และ กิตติยาพรรณ โพธิ์ล้ำ | 12 |
| 3. การพัฒนาภาชนะเพาะชำจากเศษชีวมวลสำหรับพืชเก็บเกี่ยวราก เกตศุดา พรหมพินิจ, จุฑารัตน์ รอดพ่วง, สหรัฎฐ์ จันจาเร, มาโนช หลักฐานดี, ภัทริกา สูงสมบัติ และ คณาวุฒิ อินทร์แก้ว | 22 |
| 4. การพัฒนาเครื่องอัดกระถางแบบไฮดรอลิกส์และการผลิตกระถางต้นไม้จากช่อดอกตัว ผู้ของปาล์มน้ำมัน ทิฆัมพร จันทร์ม่วง, ปิยนุช มาสงค์, เยาวลักษณ์ สุวรรณรัตน์ และ วรณุช ดีละมัน | 30 |
| 5. การพัฒนาคุณสมบัติของกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ สุประภาดา วาดวงษ์ศรี, กุลภัส แสงพลาย, อัมพร นิตตะ และ วรินทร์ บุญยะโรจน์ | 37 |
| 6. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์เพื่อจัดทำ ข้อเสนอเชิงพื้นที่ในการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำ ธนากร เจริญสุข, ยุพิน อะโนนาม, เสาวลักษณ์ พาทอง และ กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ | 44 |
| 7. ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน สังเวย เสวกวิหารี, อุดมเดชา พลเยี่ยม และ ธนาพร บุญชู | 51 |
| 8. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อโควิด-19 ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกขลุ่ วรวิทย์ จันทรสุวรรณ, อัญชญา ชัตติยะวงศ์ และ สิริรัตน์ พานิช | 55 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) | หน้า |
|--|------|
| 9. การศึกษาการสลายตัวของแพลทินัมในสารละลายกรดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี เพิ่มยศ วงษ์บัวงาม และ รพีพล อินสุพรรณ | 61 |
| 10. อิทธิพลของหมู้อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกล และทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล, ปิยะพงษ์ ปานแก้ว และ วิไลวรรณ สีนะกุล | 69 |
| 11. ผลของการเติมเส้นใยธรรมชาติและการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำและ สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล และ วรณช ดีละมัน | 77 |
| 12. ต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาด: เทคโนโลยีสู่ชุมชนฐาน รากบ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก สมบัติย์ มงคลชัยชนะ | 84 |
| 13. การประยุกต์ใช้ NodeMCU ESP8266 สำหรับพัฒนาหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาด อาทิตย์ อยู่เย็น, ศิริเรือง พัฒน์ช่วย, พรประสิทธิ์ บุญทอง, ศิวะพร วิวัฒน์ภิญโญ และ วรุตม์ บุญเยี่ยม | 92 |
| 14. ผลของสารสกัดยาจากชุมเห็ดไทยต่อ Cell-Surface Hydrophobicity ของเชื้อ Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus อัจฉรา เพิ่ม | 99 |
| 15. การประเมินคุณภาพน้ำในคลองบางเขนใหม่ โดยการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ชวิน สุภีรัตน์, กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์, สุนิสา สายอุปราช และ ปิยธิดา พันธุณะ | 106 |
| 16. ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำชะขยะด้วยระบบบ่อฝิ่ง: กรณีศึกษา สถานที่ กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น, ขอนแก่น สมคิด ต้นแก้ง | 112 |
| 17. New Methods for Testing Moment Coefficient of Kurtosis: A Case Study of the Percentages of Daily Number of COVID-19 Deaths to Confirmed Cases in Thailand Wararit Panichkitkosolkul | 119 |
| 18. การศึกษาสำรวจ และวิเคราะห์องค์ประกอบของเสีย และแนวทางการใช้ของเสีย อาหารทะเล ตลาดทะเลไทย จังหวัดสมุทรสาคร ศุภชัย หิรัญศุภโชติ และ กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ | 130 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) | หน้า |
|--|------|
| 19. สื่อการเรียนรู้วิธีใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม ศุทธิณี สุวรรณพงศ์, ชนากานต์ ครูวิชา และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์ | 135 |
| 20. การพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมโดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ภัสชากาญจน์ ลบหล้า | 143 |
| 21. การใช้ถ้ำจากเปลือกหอยลายเหลือทิ้งเพื่อปรับปรุงความร่วนซุยของดิน กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ และ ศุภชัย หิรัญศุภโชติ | 154 |
| 22. การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าแบบเคลื่อนที่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ และ ศุภชัย หิรัญศุภโชติ | 160 |
| 23. การพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน อุดมเดชา พลเยี่ยม, ส้งเวย เสวกวิหारी, ธนาพร บุญชู, อัญชนา ชัตติยะวงศ์ และ วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ | 166 |
| 24. The Min proteins oscillations of cell division in Escherichia coli: one and two dimensional lattice Boltzmann simulation Paisan Kanthang | 171 |
| 25. ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองชั้นในของเครื่องฟอกอากาศจากใยไผ่และใบอ้อยเพื่อกำจัดฝุ่น PM 2.5 ดวงฤทัย นิคมรัฐ, ภัทริกา สูงสมบัติ, ณัฐชัมย์ ลักษณะอำนวยพร, นิภาพร ปัญญา, ภัสสร สิงห์ธรรม, อนัญพร ลอมาเล๊ะ, รุ่งนภา งานเฉลียว, อรทัย ศรีจำรัส, สุธัญย์ สีสากุม และ สุภาพร น้อยลา | 187 |
| 26. ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ ของบุคลากรสายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ธนาพร บุญชู และ ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์ | 198 |

อิทธิพลของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ต่อสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติกจากการเบลนด์ ยางธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน

Influence of compatibilizers on the properties of thermoplastic elastomer based on natural rubber and thermoplastic polyurethane blends

อัครพงษ์ ตัญย์จิตรารัตน์^{1*} ณัฐวดี ศรีสองคอน¹ เอกวิญู กาลกรณ์สุรปราณี¹ และ กานดา แซ่ลยเลื่อน²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยียาง (หลักสูตรนานาชาติ) วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*Email: akarapong04@gmail.com

บทคัดย่อ

ศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic natural rubber, TPNR) ที่เตรียมจากยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (Thermoplastic polyurethane, TPU) ที่สัดส่วนการผสม 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 และ 0:100 โดยน้ำหนัก และศึกษาชนิดของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) ในการเตรียม TPNR 2 ชนิด ได้แก่ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์เท่ากับ 50 (Epoxydized natural rubber-50, ENR50) และยางไนไตรล์ (Acrylonitrile butadiene rubber, NBR) ที่ปริมาณ 5 phr TPNR ที่เตรียมได้นำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดเข้าเพื่อเตรียมตัวอย่างในการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ สมบัติเชิงกล และความต้านทานต่อการสึกหรอ พบว่า การเตรียม TPNR ระหว่าง NR กับ TPU ที่สัดส่วน 95:5 ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลและความต้านทานต่อการสึกหรอของ TPNR ให้ดีขึ้น และจากการศึกษาชนิดของสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่า การใช้ยาง ENR50 สามารถช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่าง NR กับ TPU โดยจะเห็นได้จากค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับสูตรยางที่ไม่เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ และมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า TPNR ที่ใช้ยาง NBR เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้

คำสำคัญ: เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้

Abstract

Study of thermoplastic natural rubber (TPNR) based on natural rubber (NR) and thermoplastic polyurethane (TPU) blends with the blending ratios of NR compound and TPU at 100:0, 95:5, 90:10, 80:20 and 0:100 by weight. The effect of compatibilizer types on the properties of TPNR were studied by using epoxydized natural rubber with 50 mole% of epoxide (ENR50) and nitrile rubber (NBR) for 5 phr. TPNR were shaped by using a compress molding to obtain test specimens for testing some mechanical properties and abrasion resistance. TPNR with the blend ratio of NR and TPU at 95:5 showed a better improvement of mechanical properties and abrasion resistance property compared to other blend ratios. The use of ENR50 as a compatibilizer for NR/TPU blends gave a better compatibility of between NR and TPU as an improvement of tensile strength compared to TPNR without any compatibilizer and a higher mechanical properties compared to TPNR with NBR as a compatibilizer.

Keywords: Thermoplastic elastomer, Thermoplastic natural rubber, Compatibilizer

1. บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่มีอิทธิพลในชีวิตประจำวันมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นเครื่องแต่งกาย บรรจุภัณฑ์ เฟอร์นิเจอร์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนรถยนต์ หรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น โดยพลาสติกสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) และเทอร์โมเซตติง (thermosetting) ซึ่งวัสดุแต่ละประเภทก็จะมีจุดเด่นและข้อดีแตกต่างกันออกไป แต่ข้อเสียหลัก ๆ ของพลาสติกส่วนใหญ่คือ มีความเปราะ แตกหักง่ายเมื่อโดนแรงกระแทก จึงมีนักวิจัยพัฒนาวัสดุชนิดใหม่ขึ้นมาเรียกว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (thermoplastic elastomer; TPEs) หรือยางเทอร์โมพลาสติก วัสดุชนิดนี้มีความสามารถในการขึ้นรูปเหมือนพลาสติก และมีสมบัติยืดหยุ่นอ่อนนุ่มคล้ายยาง ซึ่งการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกที่เป็นที่นิยมคือการผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกกับอีลาสโตเมอร์ (thermoplastic-elastomer blends) เช่น งานวิจัยของ Pichaiyut และคณะ (2012) ได้ศึกษายางเทอร์โมพลาสติก โดยการนำเอาเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน (thermoplastic polyurethane; TPU) มาผสมกับยางธรรมชาติ ด้วยเทคนิคการผสมแบบปกติและทำการศึกษาอิทธิพลของยางสองชนิดที่แตกต่างกันระหว่าง ยางธรรมชาติ (NR) กับ ยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (ENR) ผลจากการศึกษาพบว่า ส่วนผสมของ ENR / TPU มีแรงบิดในการผสม โมดูลัสของยัง (Young's Modulus) ความต้านทานแรงดึงและการย่อยสลายทางความร้อน สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการผสม NR / TPU แต่ในทางกลับกันสมบัติการดูดซับและกระจายพลังงาน ความต้านทานต่อแรงดึงระยะยืดหยุ่น จุดขาดและสมบัติความยืดหยุ่นของการผิรูปร่างของพอลิเมอร์ มีความดี้อยกว่าการผสม NR/TPU

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะของยางธรรมชาติโดยเลือกใช้เทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทนมาประกอบประกอบหลักในการเบลนด์ โดยทำการศึกษาการเตรียมวัสดุผสมระหว่างยางธรรมชาติกับเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน โดยเป้าหมายหลักคือการพัฒนายางธรรมชาติให้มีสมรรถนะที่สูงขึ้น ได้แก่ มุ่งเน้นเรื่องสมบัติเชิงกล และความต้านทานต่อการขีดถู

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสัดส่วนเบลนด์ที่เหมาะสมในการเตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) ต่อสมบัติยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE) หรือยางเทอร์โมพลาสติกเป็นวัสดุชนิดหนึ่งซึ่งรวมเอาสมบัติของยางและพลาสติกเข้าด้วยกัน TPEจะมีคุณสมบัติคล้ายยางเทอร์โมเซต (thermoset rubber) คือมีสมบัติความยืดหยุ่นคล้าย โดย TPE จะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปทรงได้ง่ายเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกและสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อแรงกระทำนั้นหมดไป ในขณะที่เดียวกัน TPE ก็มีสมบัติของเทอร์โมพลาสติกด้วย โดยจะหลอมเมื่อได้รับความร้อนและจะกลับมาแข็งตัวได้เมื่อเย็นตัวลง จึงสามารถขึ้นรูป TPE ด้วยกระบวนการทางความร้อนทั่วไปที่ใช้ในการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกได้ เช่น กระบวนการอัดรีด (extrusion) กระบวนการฉีดเข้าแม่พิมพ์ (injection molding) เป็นต้น [1] การเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกโดยทั่วไปสามารถเตรียมได้ 2 รูปแบบ คือ การเตรียมแบบปกติ (simple blends) คือการผสมยางกับเทอร์โมพลาสติกโดยตรง อาจจะมีการใส่สารเติมแต่งปรับปรุงความเข้ากันได้หรือช่วยในการกระบวนการผลิต และการเตรียมแบบไดนามิก (dynamic vulcanization) ซึ่งจะมีการใส่สารวัลคาไนซ์เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงในยาง ทำให้เกิดบดเนียนยางให้มีอนุภาคเล็กกลึงเพื่อให้การกระจายตัวของยางในเทอร์โมพลาสติกดียิ่งขึ้น โดยกระบวนการวัลคาไนซ์ของยางจะเกิดขึ้นในระหว่างทำการผสมกับเทอร์โมพลาสติกที่อุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของยางเทอร์โมพลาสติก เช่น สมบัติการคืนตัว สมบัติเชิงกล การใช้งานที่อุณหภูมิสูงและความแข็ง [2]

3.2 การพัฒนาโดยการใช้เทคนิคเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

จากงานวิจัยของ Pichaiyut และคณะ (2012) [3] ได้ศึกษายางเทอร์โมพลาสติก โดยการนำเอาเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน (TPU) มาผสมกับยางธรรมชาติ ด้วยเทคนิคการผสมแบบปกติและทำการศึกษาอิทธิพลของยางสองชนิดคือ ยางธรรมชาติ (NR) กับ ยางธรรมชาติอีพ็อกไซด์ (ENR) ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักของการศึกษาเพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติ ความต้านทานต่อความร้อน การรับแรงและการกระจายแรงกระทำจากภายนอกโดยการทดลองมีการใช้สัดส่วนระหว่างยางกับเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทนอยู่ที่ 30/70 และ 40/60 โดยน้ำหนัก ผลจากการศึกษาพบว่า ยางเทอร์โมพลาสติกจากการผสม

ENR/TPU มีแรงบิดในการผสม โมดูลัสของยัง (Young's Modulus) ความต้านทานแรงดึงและความต้านทานต่อการสลายตัวด้วยความร้อนเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับยางเทอร์โมพลาสติกจาก NR/TPU แต่ในทางกลับกันยางเทอร์โมพลาสติก NR/TPU มีสมบัติสมบัติการดูดซับแรงและกระจายแรง ความสามารถในการยืดขาดและสมบัติความต้านทานต่อการผิรุปลาวรร ดีกว่ายางเทอร์โมพลาสติก ENR/TPU

Pichaiyut และคณะ (2011) [4] ได้ศึกษาอิทธิพลของเทคนิคการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกที่แตกต่างกันระหว่างการผสมแบบปกติ กับการผสมแบบไดนามิกสวัลคาไนเซชัน (dynamic vulcanization) ENR กับ TPU ที่สัดส่วนเท่ากับ 40/60 และ 50/50 เพื่อลดความแข็งของ TPU ปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทกและสมบัติเชิงกลของยางเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้ จากการศึกษาพบว่า เมื่อผสมยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน ด้วยเทคนิคการผสมแบบปกติ และการผสมแบบไดนามิกสวัลคาไนเซชัน (dynamic vulcanization) ทำให้ความแข็งของ TPU มีค่าลดลง ในขณะที่สมบัติการรับแรงกระแทกและความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันค่า มีค่าโมดูลัสของยัง (Young's Modulus) $\tan \delta$ และการผิรุปลาวรร ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ TPU บริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามคุณสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี (เช่นแรงดึง ความแข็งแรงและการยืดตัวเมื่อขาด) เกิดจากการผสมที่ทำให้ส่วนที่อ่อนของ TPU เกิดขึ้นมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุที่ได้จากการเตรียมด้วยเทคนิคการผสมแบบง่ายมีคุณสมบัติทางกล stress relaxation สมบัติการดูดซับและกระจายพลังงาน คุณสมบัติการไหลและความยืดหยุ่น ที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับวัสดุที่ได้จากการเตรียมด้วยเทคนิคการผสมแบบไดนามิกสวัลคาไนเซชัน (dynamic vulcanization) และสัณฐานวิทยาแสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของยางที่เตรียมด้วยการผสมแบบไดนามิกสวัลคาไนเซชัน ดีกว่า

Kalkornsurapranee และคณะ (2012) [5] ได้เตรียมยางเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (thermoplastic vulcanizates, TPVs) ประสิทธิภาพสูงจากยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) และเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน โดยใช้เทคนิคการผสมแบบไดนามิกสวัลคาไนเซชัน และได้ศึกษาอิทธิพลของการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบกำมะถันปกติ (conventional sulfur vulcanization system, CV) ระบบกำมะถันกึ่งประสิทธิภาพ (semi-efficient sulfur vulcanization system, Semi-EV) และระบบกำมะถันประสิทธิภาพ (efficient sulfur vulcanization system, EV) พบว่าการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันแบบ EV ให้สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงที่ดีกว่า ระบบ SEV และ CV ตามลำดับ และ TPV ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบ EV จะมีความเสถียรทางความร้อนสูงที่สุด ทำให้มีเหมาะสมในการเตรียม TPV นอกจากนี้จากการศึกษาสมบัติของ TPNR ที่เตรียมจากยาง NR และยาง ENR พบว่า ยาง ENR มีประสิทธิภาพในการผสมกับ TPU ได้ดีกว่ายาง NR เนื่องจากหมู่อีพอกไซด์ในโครงสร้างของยาง ENR ทำให้เกิดอันตรกิริยาและปฏิกิริยากับ TPU บริเวณผิวประจัญได้ดีกว่ายาง NR จากสภาพพื้นที่ใกล้เคียงกัน

3.3 สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer)

สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) คือ พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ ที่นิยมใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติของพอลิเมอร์ผสม หรือใช้เพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีของสารตัวเติม (fillers) ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยทั่วไปสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ [6]

1. บล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (block or graft Copolymer)
2. พอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วแต่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (nonreactive polymers containing polar groups)
3. พอลิเมอร์ที่หมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (functional/reactive polymers)
4. การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์โรเซชันในระหว่างการผสม (*In-situ* Grafting Polymerization)

สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการช่วยปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสมให้ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น Salaeh และคณะ (2018) [7] ได้ศึกษาความเข้ากันได้ของการเตรียม TPNR จากพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (polyvinylidene fluoride, PVDF) กับยางธรรมชาติ โดยเตรียมสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้จากยางธรรมชาติตัดแปรโมเลกุลด้วยการกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethylmethacrylate, PMMA) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือร้อยละ 3.5, 12 และ 23 โดยโมล การเตรียม TPNR จะทำการผสมยาง NR กับ PVDF ที่อัตราส่วนคงที่ 50/50 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่า การใช้ยางธรรมชาติกราฟต์พอลิเมทิลเมทาคริเลต (NR-g-PMMA) เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้จะมีหมู่ฟังก์ชันที่ช่วย

เพิ่มความเข้ากันได้ระหว่าง PVDF และ NR ทำให้คุณสมบัติการไหล สมบัติเชิงกล และสัญญาณวิทยาของ TPNR ที่เตรียมได้ดีขึ้นตามปริมาณของ PMMA ใน NR-g-PMMA ที่เพิ่มขึ้น

Pechurai และคณะ (2008) [7] ได้เตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) และศึกษาอิทธิพลของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้จากการดัดแปรโครงสร้างของพอลิเอทิลีนด้วยฟีนิกเรซิน (ใส่ชื่อภาษาอังกฤษ, PhHRJ-PE) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคของยาง NR และ HDPE จากการศึกษาพบว่า สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความเค้นเฉือน (shear stress) และความหนืดเฉือน (shear viscosity) ของ TPNR ที่เตรียมจากการเบลนดิงยาง NR และ HDPE ที่อัตราส่วน 60/40 ที่มีการเติม PhHRJ-PE เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้มีสมบัติที่ดีกว่าการไม่เติมสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ นอกจากนี้การใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ชนิด PhHRJ-PE ยังสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้วยความแข็งแรงเหนียว (toughness) และความต้านทานต่อแรงดึง ณ จุดขาดของ TPNR ได้

Kalkornsuraprane และคณะ (2020) [8] ได้ศึกษาอิทธิพลของยางธรรมชาติดัดแปรโมเลกุลที่ใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ในการเตรียม TPNR จากยางธรรมชาติและพอลิบิวทิลีนอะดิเพเทเรฟทาเลท (Polybutylene adipate terephthalate, PBAT) เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านความยืดหยุ่นของวัสดุผสมระหว่าง NR/PBAT ที่สัดส่วน 40/60 ร้อยละโดยน้ำหนัก และใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ปริมาณ 1 ร้อยละโดยพลาสติก (php) จากการศึกษาพบว่า การใช้ MNR, NR-g-PMMA และ ENR-50 เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้จะช่วยให้สมบัติของ NR/PBAT ดีขึ้น เนื่องจากการดัดแปรโครงสร้างของยางธรรมชาติจะทำให้ยางมีสมบัติความเป็นขั้วเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาหรือปฏิกิริยาที่ หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติดัดแปรโมเลกุลกับ PBAT

4. วิธีการวิจัย

4.1 ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนเบลนด์

4.1.1 เตรียมยางคอมพาวด์

เตรียมยางคอมพาวด์บนเครื่องผสมสองลูกกลิ้งโดยใช้สูตรยางคอมพาวด์ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในขั้นตอนนี้จะผสมเฉพาะยางธรรมชาติ สารกระตุ้น และสารป้องกันการเสื่อมเท่านั้น โดยใช้เวลาในการบดยางและผสมสารเคมีดังกล่าวเป็นเวลา 8 นาที

ตารางที่ 1 สูตรที่ใช้ในการเตรียมยางคอมพาวด์

| สารเคมี | น้ำหนัก (phr) |
|--------------|---------------|
| NR | 100 |
| ZnO | 5 |
| Stearic acid | 1 |
| 6PPD | 1 |
| TBBS | 1 |
| Sulfur | 2.5 |

4.1.2 เตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

เตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีสัดส่วนระหว่างยางคอมพาวด์กับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนที่สัดส่วน 95:5, 90:10 และ 80:20 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 150 °C โดยมีขั้นตอนการผสมดังแสดงในตารางที่ 2

4.1.3 ใส่สารวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง

หลังจากพักยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้เย็น จากนั้นนำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 4.1.2 มาผสมสารตัวเร่งและกำมะถันอีกครั้งบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามสัดส่วนที่แสดงในตารางที่ 1 โดยใช้เวลาในการผสม 2 นาที

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

| ขั้นตอน | เวลา (นาที) |
|---|-------------|
| 1. ใส่ยางคอมพาวด์ที่เตรียมได้ และทำการบดเพื่อปรับความหนืด | 3 |
| 2. ใส่ TPU ลงไปในห้องผสม | 11 |
| รวม | 14 |

4.1.4 ทดสอบสมบัติยางคอมพาวด์

ยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ไม่มีการเติมเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนและยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนสัดส่วนต่างๆ ที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving die rheometer (MDR) ที่อุณหภูมิ 150 °C

4.1.5 ขึ้นรูปยางคอมพาวด์

ขึ้นรูปยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ไม่มีการเติมเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนและยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนสัดส่วนต่างๆ ที่เตรียมได้ด้วยเครื่องอัดเบ้า เพื่อเตรียมขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติต่างๆ

4.2 ศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากันได้

4.2.1 เตรียมยางคอมพาวด์

เตรียมยางคอมพาวด์ที่มีการใช้ยาง ENR50 หรือยาง NBR เป็นสารเพิ่มความเข้าได้ที่ปริมาณ 5 phr ดังสูตรยางคอมพาวด์ที่แสดงในตารางที่ 3 โดยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง โดยในขั้นตอนนี้จะผสมเฉพาะยางธรรมชาติ ยาง ENR50 หรือยาง NBR สารกระตุ้น และสารป้องกันการเสื่อมเท่านั้น โดยใช้เวลาในการบดยางและผสมสารเคมีดังกล่าวเป็นเวลา 10 นาที

ตารางที่ 3 สูตรยางที่ใช้ชนิดของสารเพิ่มความเข้ากันได้ต่างกัน ได้แก่ ENR50, NBR ที่ 5 phr

| สารเคมี | น้ำหนัก (phr) |
|---------------|---------------|
| NR | 100 |
| ENR 50 or NBR | 5 |
| ZnO | 5 |
| Stearic acid | 1 |
| 6PPD | 1 |
| TBBS | 1 |
| Sulfur | 2.5 |

4.2.2 เตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

นำยางคอมพาวด์ที่เตรียมได้ไปผสมกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนสัดส่วน 95:5 และ 90:10 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 150 °C โดยมีขั้นตอนการผสมดังแสดงในตารางที่ 2

4.2.3 ใส่สารวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง

หลังจากพักยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้เย็น จากนั้นนำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากขั้นตอนที่ 4.1.2 มาผสมสารตัวเร่งและกำมะถันอีกครั้งบนเครื่องผสมสองลูกกลิ้งตามที่สัดส่วนที่แสดงในตารางที่ 3 โดยใช้เวลาในการผสม 2 นาที

4.2.4 ทดสอบสมบัติยางคอมพาวด์

นำยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่ไม่มีการเติมเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนและยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนสัดส่วนต่างๆ ที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving die rheometer (MDR) ที่อุณหภูมิ 150 °C

4.2.5 ชั้นรูปร่างคอมพาวด์

ชั้นรูปร่างธรรมชาติคอมพาวด์ที่ไม่มีการเติมเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนและยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนสัดส่วนต่างๆ ที่เตรียมได้ด้วยเครื่องอัดแก้ว เพื่อเตรียมขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบสมบัติต่าง ๆ

4.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล

4.3.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

เตรียมชั้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1415-06 แล้วนำไปวัดความแข็งด้วยเครื่อง Shore durometer ชนิด Shore A

4.3.2 การทดสอบการต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

เตรียมชั้นทดสอบรูปดัมเบลล์แบบ C ตามมาตรฐาน ASTM D 412 นำไปทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ด้วยอัตราความเร็วในการดึงที่ 500 mm/min ที่อุณหภูมิ 27 °C

4.3.3 ทดสอบการสึกหรอแบบ Taber (Taber abrasion)

เตรียมชั้นทดสอบรูปวงกลม ตามมาตรฐาน ASTM D4060 โดยใช้หัวทดสอบ load 1000 g ที่ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที จำนวน 1000 รอบ แล้วชั่งน้ำหนักก่อนและหลังทดสอบ และคำนวณหาค่าความต้านทานการสึกหรอ ดังสมการที่ 1 และ 2

สมการคำนวณหาค่าความต้านทานการสึกหรอ

$$\text{ดัชนีการสึกหรอ (Wear index)} = ((\text{น้ำหนักก่อน} - \text{น้ำหนักหลัง}) \times 1000) / 1000 \quad (1)$$

$$\text{น้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss)} = (\text{น้ำหนักก่อน} - \text{น้ำหนักหลัง} / \text{น้ำหนักก่อน}) \times 100 \quad (2)$$

5. ผลการวิจัย

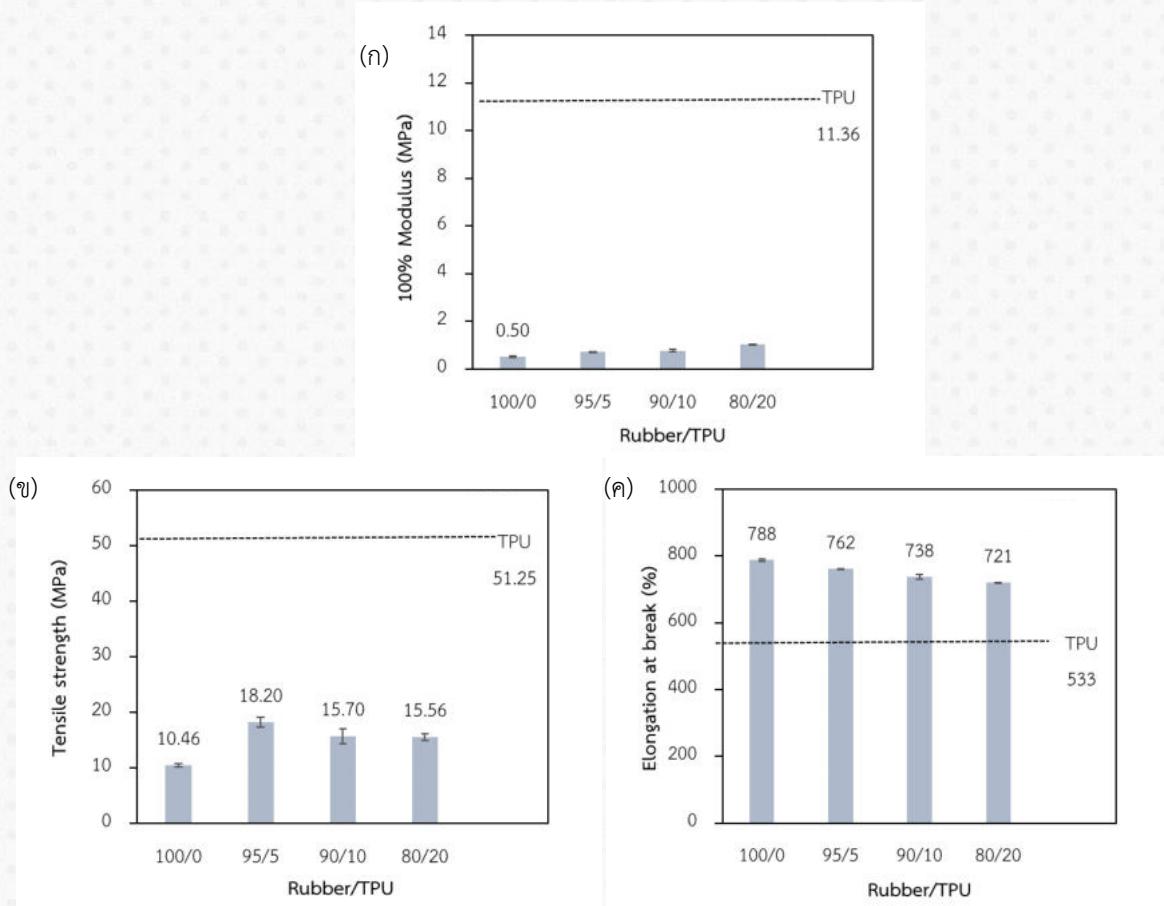
5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนเบลนด์

ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด มอดูลัสที่ระยะยืด 100% และความต้านทานต่อการสึกหรอแบบ Taber ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมโดยใช้สัดส่วนระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิยูรีเทนที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจากการเบลนด์ยางธรรมชาติและเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนที่สัดส่วนต่างๆ

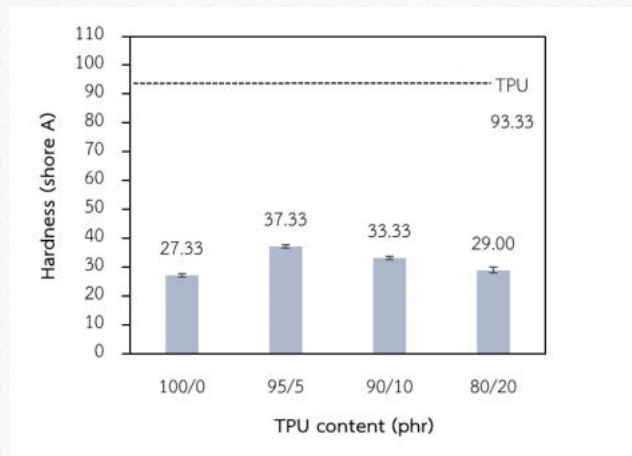
| | NR:TPU (%wt) | Hardness (shore A) | 100% Modulus (MPa) | Tensile strength (MPa) | Elongation at break (%) | Wear index | Weight loss (%) |
|-----|-----------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|
| NR | 100/0 | 27.33±0.58 | 0.5±0.03 | 10.46±0.32 | 788±3 | 0.18 | 1.32 |
| | 95/5 | 37.33±0.58 | 0.71±0.02 | 18.20±0.86 | 762±1 | 0.11 | 0.82 |
| | 90/10 | 33.33±0.58 | 0.77±0.05 | 15.70±1.35 | 738±8 | 0.12 | 0.85 |
| | 80/20 | 29.00±1.00 | 1.05±0.01 | 15.56±0.60 | 721±1 | 1.00 | 7.19 |
| TPU | 0/100 | 93.33±0.58 | 11.36±0.07 | 51.25±0.73 | 533±1 | 0.0008 | 0.004 |

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4 จะเห็นว่าสัดส่วนที่ 95:5 ให้ผลที่ดีที่สุดแสดงให้เห็นว่า ยางธรรมชาติกับ TPU สามารถเข้ากันได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากสภาพข้อของยางธรรมชาติกับ TPU ที่แตกต่างกัน ทำให้สมบัติเชิงกลของ TPNR ลดลง และส่งผลให้สมบัติความต้านทานต่อการสึกหรอลดลงตามไปด้วย ซึ่งเป็นไปได้ว่า การเพิ่มปริมาณของ TPU ทำให้เกิดการแยกเฟสของ TPU ทำให้ TPNR มีสมบัติที่ลดลง



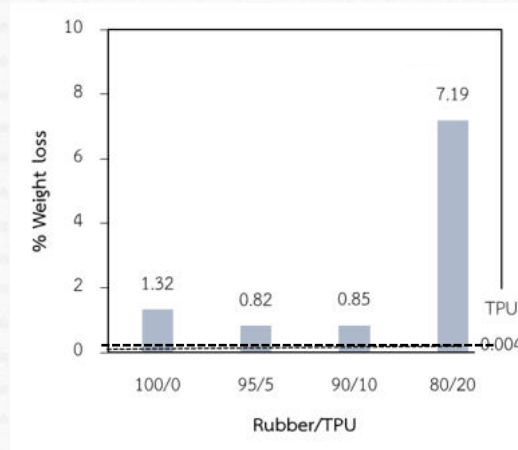
ภาพที่ 1 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่แปรสัดส่วนยางกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (ก) มอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์, (ข) ความต้านทานต่อแรงดึง และ (ค) ระยะยืด ณ จุดขาด

จากภาพที่ 1 ผลการทดสอบพบว่า สูตรยางธรรมชาติที่ไม่มีการผสม TPU มีค่าความต้านทานต่อแรงดึง น้อยกว่า สูตรยางธรรมชาติที่มีการผสม TPU เนื่องจากโครงสร้างของ TPU จะประกอบด้วยโมเลกุลของห่วงแหวนเบนซีนทำให้มีความแข็งแรงที่สูงขึ้น สอดคล้องกับ ระยะยืด ณ จุดขาดที่สูตรยางธรรมชาติที่ไม่มีการผสม TPU มีค่าที่สูงกว่าเนื่องจากโครงสร้างของยางธรรมชาติจะประกอบด้วยโมเลกุลของไอโซพรีน (Isoprene Unit) ต่อกันเป็นเส้นตรงทำให้สามารถแสดงสมบัติความยืดหยุ่นได้ดีกว่า



ภาพที่ 2 ความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่แปรสัดส่วนยางกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน

จากภาพที่ 2 แสดงผลการทดสอบความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ผลการทดสอบพบว่า หลังจากที่ได้เติม TPU ลงในยางธรรมชาติ ส่งผลให้ค่าความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าความแข็งสูงที่สุดที่สัดส่วน 95:5



ภาพที่ 3 ปริมาตรของตัวอย่างที่สูญเสียไปของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่แปรสัดส่วนยางกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน

จากภาพที่ 3 แสดงผลการทดสอบความต้านทานการสึกหรอของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีการใช้ยางธรรมชาติ (NR) ผสมกับเทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (TPU) จากการทดสอบพบว่า เมื่อเติม TPU ที่สัดส่วน 95:5 มีปริมาณการสึกหรอลดลง เนื่องจาก TPU มีคุณสมบัติด้านการสึกหรอที่ดี จึงไปทำให้ยาง NR มีคุณสมบัติด้านการสึกหรอเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณของ TPU ที่สัดส่วน 80:20 ทำให้คุณสมบัติแย่ง เนื่องจากความไม่เข้ากันของยางธรรมชาติและ TPU ในเรื่องของความเป็นขี้

5.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้ากันได้

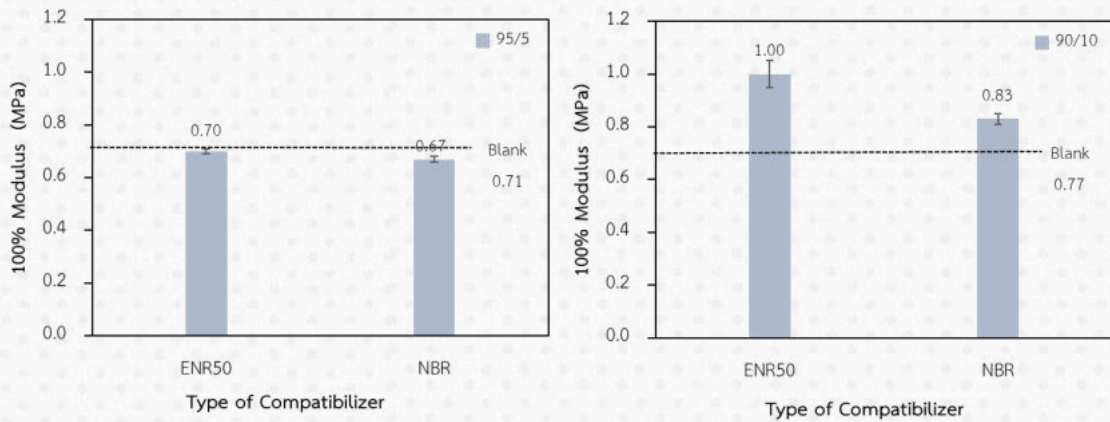
ผลการทดสอบสมบัติความแข็ง ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด มอดูลัสที่ระยะยืด 100% และความต้านทานต่อการสึกหรอแบบ Taber ที่ใช้ชนิดของสารเพิ่มความเข้ากันได้ต่างกัน ได้แก่ ENR50, NBR ที่ 5 phr ที่สัดส่วนระหว่างยางกับ TPU เท่ากับ 95:5 และ 90:10 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ต่างชนิดกัน

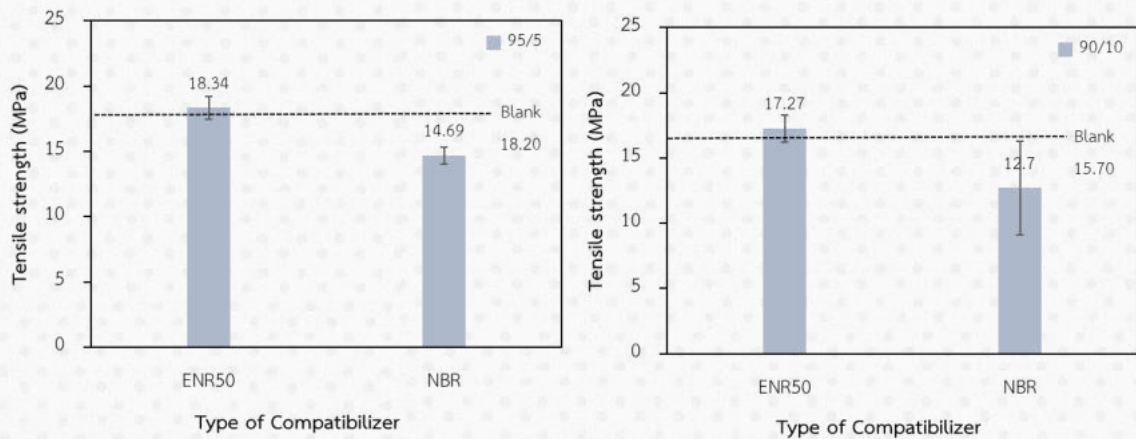
| NR/TPU (%wt) | Compatibilizer | Hardness (shore A) | 100% Modulus (MPa) | Tensile strength (MPa) | Elongation at break (%) | Wear index | Weight loss (%) |
|--------------|----------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|------------|-----------------|
| 95/5 | Blank | 37.33±0.58 | 0.71±0.017 | 18.20±0.861 | 762±0.92 | 0.11 | 0.82 |
| | ENR50 | 38.33±0.58 | 0.7±0.01 | 18.34±0.89 | 807±33.91 | 0.0316 | 0.227 |
| | NBR | 36.67±0.00 | 0.67±0.01 | 14.69±0.64 | 725±1.29 | 0.0015 | 0.011 |
| 90/10 | Blank | 33.33±0.58 | 0.77±0.052 | 15.70±1.348 | 738±7.68 | 0.12 | 0.85 |
| | ENR50 | 39.67±0.58 | 1.0±0.05 | 17.27±1.03 | 694±5.39 | 0.0025 | 0.018 |
| | NBR | 41.33±0.58 | 0.83±0.02 | 12.7±3.40 | 567±12.3 | 0.0730 | 0.532 |

จากผลการทดลองในตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ส่งผลให้เกิดความเข้ากันได้ของ TPNR ดียิ่งขึ้นเนื่องจากความเป็นขี้ที่เพิ่มมากขึ้นของยางธรรมชาติ นอกจากนี้ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ายาง ENR50 จะ

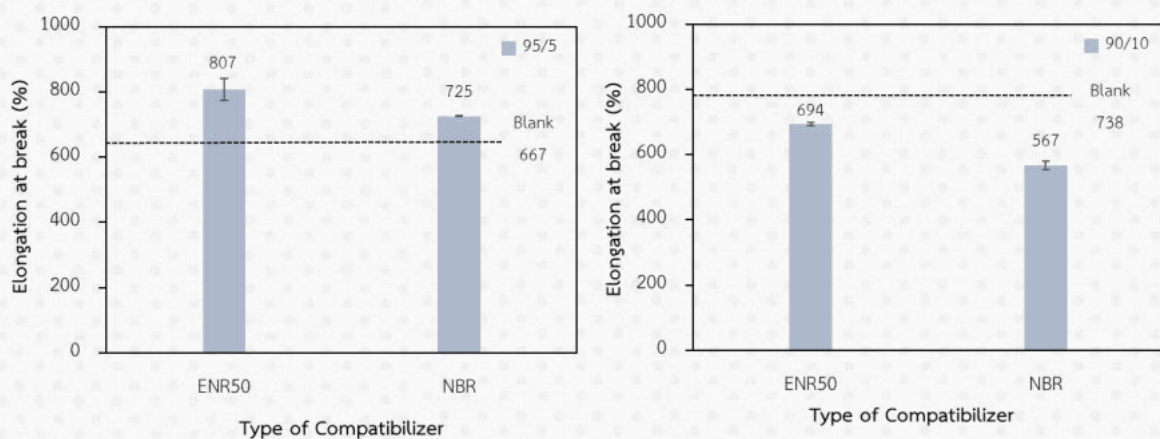
สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติของความต้านทานต่อการสึกของ TPNR ได้ดีกว่าใช้ยาง NBR เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลระหว่างยางธรรมชาติ กับ ENR50 มีความคล้ายกันมากกว่า NBR



ภาพที่ 4 มอดูลัสที่ระยะยืด 100 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้



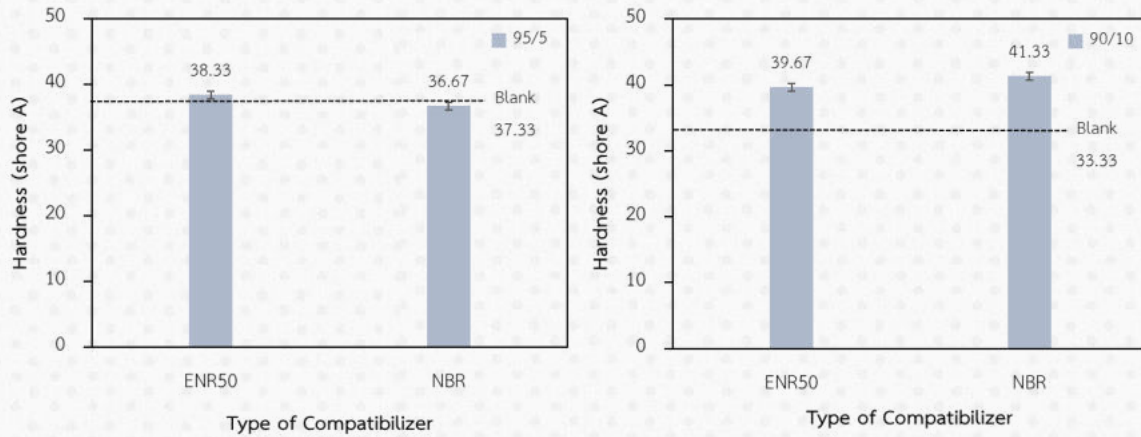
ภาพที่ 5 การต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้



ภาพที่ 6 ระยะยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้

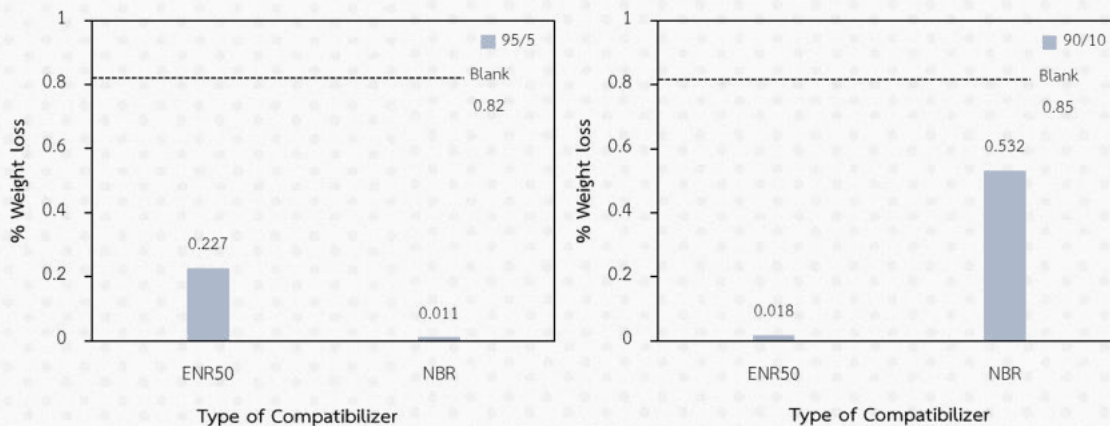
จากภาพที่ 4-6 แสดงผลอิทธิพลของสารเพิ่มความเข้าได้ที่ปริมาณ 5 phr พบว่า ที่สัดส่วน 95/5 สารเพิ่มความเข้ากันได้ ชนิดยาง ENR50 ช่วยในการเชื่อมระหว่างเฟสของยาง NR กับ TPU ให้เข้ากันได้ดีขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาดมีแนวโน้มสูงกว่าการเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ชนิดยาง NBR เนื่องจากความเข้ากันของยาง

ENR50 กับ ยาง NR ที่สามารถเข้าได้ดีกว่ายาง NBR ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างโมเลกุลของยาง ENR50 มีความคล้ายคลึงกับยาง NR และ เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยาง ENR50 ที่มีความเป็นขั้ว อาจจะส่งผลทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้ว กับหมู่ฟังก์ชันของโครงสร้าง TPU ที่มีขั้วเช่นเดียวกัน ทำให้ได้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า



ภาพที่ 7 ความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้

จากภาพที่ 7 แสดงผลการทดสอบความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มี ENR50 และ NBR ปริมาณ 5 phr เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่า ที่สัดส่วน 95/5 มีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้เติม แต่ที่สัดส่วนการผสม 90/10 มีค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนของ TPU ที่เพิ่มขึ้น และการเติมสารเพิ่มความเข้าได้ชนิดยาง NBR มีค่าความแข็งสูงกว่ายาง ENR50 เนื่องจาก TPU มีค่าความแข็งสูง เมื่อผสมกับ NBR ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ได้มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 8 ปริมาตรของตัวอย่างที่สูญเสียไปของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีชนิดสารเพิ่มความเข้ากันได้

จากภาพที่ 8 แสดงผลของความต้านทานต่อการสึกหรอของยางในกรณีที่ได้เติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ พบว่า มีปริมาตรของตัวอย่างที่สูญเสียไปน้อยกว่า ซึ่งแสดงว่ามีค่าความต้านทานการการสึกหรอดีกว่ากรณีที่ไม่ได้เติม นอกจากนี้พบว่าที่สัดส่วน 90/10 การเติมยาง NBR มีปริมาตรที่สูญเสียไปสูง เนื่องจากมีความเข้าได้ต่ำกว่าที่มีการเติม ENR50

6. บทสรุป

การจากเตรียมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกระหว่างยางธรรมชาติคอมพาวด์กับพอลิยูรีเทนที่สัดส่วน 95:5 โดยน้ำหนัก สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการสึกหรอของธรรมชาติให้ดีขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณของพอลิยูรีเทนมีแนวโน้มทำให้สมบัติเชิงกล และสมบัติของความต้านทานต่อการสึกหรอ TPNR ลดลง และการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ส่งผลให้เกิดความเข้ากันได้ของ TPNR ดียิ่งขึ้นเนื่องจากความเป็นขั้วที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ายาง ENR50 ปริมาณ 5 phr จะสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล และสมบัติของความต้านทานต่อการสึกหรอของ TPNR ได้ดีกว่าใช้ยาง NBR ที่สัดส่วน 90/10 เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลระหว่าง NR กับ ENR50 มีความคล้ายกันมากกว่า

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] นายณเรนทร์ อาศัยพานิชย์. การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2550.
- [2] นายชาธิฟ บารู. การศึกษาผลของออร์แกโนเคลย์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล พฤติกรรมการเกิดผลึก และสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท ที่เตรียมจากไดนามิกสวัลคาไนเซชันของยางธรรมชาติกับพอลิพรอพิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2553.
- [3] S. Pichaiyut, C. Nakason, N. Vennemann, Thermoplastic elastomers-based natural rubber and thermoplastic polyurethane blends. Iran. Polym. J. 21(2012):65–79.
- [4] S. Pichaiyut, C. Nakason, C. Kummerlöwe, N. Vennemann, Thermoplastic elastomer based on epoxidized natural rubber/thermoplastic polyurethane blends: influence of blending technique. Polym. Adv. Technol. 23(2011):1011–1019.
- [5] E. Kalkornsurapranee, C. Nakason, C. Kummerlöwe, N. Vennemann, Development and preparation of high-performance thermoplastic vulcanizates based on blends of natural rubber and thermoplastic polyurethanes. J. Appl. Polym. Sci. 128(4) (2012): 2358-2367.
- [6] นางสาวจารีนุช โรจน์เสถียร. ศึกษาการผสมระหว่างสไตรีน อะครีโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ออฟเกรดและยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2554.
- [7] S. Salaeh, T. Bandaa, P. Pongdonga, S. Wießner, A. Das, A. Thitithammawonga, Compatibilization of poly(vinylidene fluoride)/natural rubber blend by poly (methyl methacrylate) modified natural rubber. Eur. Polym. J. 107(2018):132–142.
- [8] W. Pechurai, C. Nakason, K. Sahakaro, Thermoplastic natural rubber based on oil extended NR and HDPE blends: Blend compatibilizer, phase inversion composition and mechanical properties. Polym. Test. 27(2008):621-631.
- [9] E. Kalkornsurapranee, D. Koedthip, P. Songtipya, T. Prodpran, J. Johns, Y. Nakaramontri, L. Songtipya, Influence of modified natural rubbers as compatibilizers on the properties of flexible food contact materials based on NR/PBAT blends. Mater. Des. 196(2020):109134.

การศึกษาแนวคิดในการพัฒนาเสื้อชั้นในของผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก

The Study of Brassiere Development Concept for Post-Wearing of Augmentation Surgery

ฟาริดา พรรณรงค์^{1*} และ กิตติยาพรรณ โพธิ์ล้ำ¹

¹ สาขาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*Email: farida_p@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง การศึกษาแนวคิดในการพัฒนาเสื้อชั้นในสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาความต้องการและการเลือกซื้อชุดชั้นในสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก และแนวทางในการออกแบบเสื้อชั้นในสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก เป็นการวิจัยเชิงสำรวจข้อมูล โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ ผู้ทำศัลยกรรมเสริมหน้าอก ที่เป็นเพศหญิงและหญิงข้ามเพศ จำนวน 50 คน ผลการวิจัย พบว่า ครึ่งหนึ่งของกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้หญิง (50%) และอีกครึ่งเป็นหญิงข้ามเพศ (50%) ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 20-29 ปี (46%) มีสถานะโสด (70%) มีการศึกษาระดับปริญญาตรีสูงสุด (68%) ส่วนมากมีอาชีพพนักงานเอกชน (68%) มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 25,001 - 30,000 บาท (30%) และอาศัยอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร (100%) ด้านปัญหาและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นใน พบว่า มีปัญหาการสวมใส่เสื้อชั้นในภายหลังการศัลยกรรมเสริมหน้าอก คือ เสื้อชั้นในส่วนมากมีโครงเหล็กเป็นส่วนประกอบ เสื้อชั้นในเฉพาะสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอกหาซื้อได้ยาก และความยากในการหาซื้อเสื้อชั้นในให้พอดีกับขนาดหน้าอก ส่วนด้านปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อเสื้อชั้นใน คือ ความสบายในการสวมใส่ การรักษารูปร่างของหน้าอก รูปทรง/รูปแบบ/ดีไซน์ คุณภาพ/ความคงทน และฟองน้ำมีความนุ่มสบาย ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาเสื้อชั้นในเฉพาะผู้ที่ทำศัลยกรรมเสริมหน้าอกต่อไป

คำสำคัญ: เสื้อชั้นใน ศัลยกรรมหน้าอก เสื้อชั้นในไม่มีโครงเหล็ก

Abstract

This research was aimed to study brassiere development concept for post-wearing of augmentation surgery with focuses on the demand and choices in purchasing the brassiere for post-wearing of augmentation surgery, including the guidelines for designing the brassiere. The research was undertaken by means of a survey, using a questionnaire as a tool to collect data from the research samples, which included 50 people both women and transgender women. From the study, it was found that 50 percent of the samples were female while the rest were transgender women. Most were between the ages of 20 – 29 years old and 70 per cent were single. 68.00 percent were bachelor's degree graduates and private employees, while most of them, about 30 per cent, had an average income of 25,001 – 30,000 baht per month, and 100 per cent of them lived in Bangkok. Concerning the problems and factors that affected the buying decision, it was found that most of the bra had a steel frame as a component and special bra for post-wearing of augmentation surgery were not available. In other words, special bra that fit the bust size was difficult to find. The key factors in relation to the bra buying decision were: the comfort in wearing, the breast shape maintaining, the design, durability, and the soft and

comfortable sponge as well as the good quality. The above information could be used as a guideline for further development of the bra for post-wearing of augmentation surgery.

Keywords: Brassiere, Breast augmentation surgery, Wire bra

1. บทนำ

ปัจจุบันการศัลยกรรมเสริมความงามได้รับการยอมรับจากคนทั่วโลกเพิ่มมากขึ้น และมีอัตราการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยจากรายงานตัวเลขสถิติของสมาคมศัลยแพทย์ตกแต่งเสริมความงามนานาชาติ หรือ International Society of Aesthetic Plastic Surgery (ISAPS) เมื่อปี พ.ศ. 2562 มีจำนวนผู้เข้ารับบริการเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2561 ร้อยละ 6.10 และในการศัลยกรรมเสริมหน้าอกด้วยถุงซิลิโคน ซึ่งเป็นการทำศัลยกรรมอันดับ 1 ที่มีผู้คนทั่วโลกสนใจรับบริการมากที่สุด [1] ในประเทศไทยการทำศัลยกรรมหน้าอกได้รับความนิยมทั้งกลุ่มผู้หญิงและกลุ่มสาวประเภทสองอย่างเห็นได้ชัด ถือเป็นเรื่องปกติในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับในหมู่สาวเอเชียเนื่องจากพื้นฐานผู้หญิงเอเชีย มีขนาดหน้าอกไม่ใหญ่มาก การมีหน้าอกรูปร่างใหญ่แบบพอดีๆ จะเป็นเสน่ห์และสวมใส่เสื้อผ้าออกมาดูสวย การเสริมหน้าอกยังช่วยสร้างความมั่นใจให้กับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก โดยเฉพาะบุคคลที่มีปัญหาหน้าอกเล็ก ส่งผลให้มีผู้สนใจทำศัลยกรรมหน้าอกหลายคนใฝ่ฝันที่จะมีขนาดหน้าอกที่ใหญ่ขึ้น [2]

ในการทำศัลยกรรมหน้าอก หลังจากหน้าอกคงรูปร่างแล้วมักพบปัญหาต่างๆตามมามีเกิดจากการสวมใส่เสื้อชั้นในที่ ไม่เหมาะสม การเลือกซื้อเสื้อชั้นในที่ตรงกับขนาดไซส์ของหน้าอก ขนาดเล็กกว่าเต้านม หรือการเลือกซื้อชุดชั้นในที่บีบรัดหน้าอกมากเกินไป รวมถึงการเลือกซื้อเสื้อชั้นในที่บีบรัดเกินไปส่วนประกอบนั้นอาจเกิดปัญหาขึ้นได้เสมอ ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นเป็นปัญหาเฉพาะส่วน คือเกิดขึ้นที่หน้าอกหรือเรียกว่า Local Complication เช่น การเกิดพังผืดแคปซูลรอบถุงซิลิโคน ตัวถุงซิลิโคนมีรอยย่นแตกหรือรั่วซึม เต้านมไม่เท่ากัน ผลเป็นหลังการผ่าตัด รู้สึกเจ็บที่บริเวณเต้านม และรูปร่างซิลิโคนที่ผิดรูปร่างจากเดิม [2] การดูแลรักษาหลังการผ่าตัดเสริมหน้าอกนั้นมีความสำคัญมาก เพื่อเป็นการช่วยรักษารูปร่างของเต้านมให้อยู่ได้นาน เช่น การนวดเต้านมบ่อยๆอย่างถูกวิธีเพื่อลดการเกิดพังผืด รวมถึงการเลือกซื้อเสื้อชั้นในที่เหมาะสมสำหรับผู้สวมใส่เกิดความรู้สึกสบาย

การเลือกซื้อเสื้อชั้นในยังคงเป็นปัญหาของผู้บริโภคที่ได้รับการผ่าตัดเสริมหน้าอก เนื่องจากที่มีวางจำหน่ายในท้องตลาดยังไม่ตรงกับความต้องการ ในเรื่องของรูปร่างและความสบายขณะสวมใส่ รวมถึงคุณภาพวัสดุที่ไม่เหมาะสมกับการผลิตเสื้อชั้นในเฉพาะผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาแนวทางในการพัฒนารูปแบบเสื้อชั้นในที่เหมาะสมกับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก โดยศึกษาการผลิตภัณฑ์เสื้อชั้นในที่สวมใส่สบายแบบไม่มีโครงเหล็ก ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่ช่วยเก็บกระชับหน้าอกไม่ทำให้รู้สึกอึดอัดขณะสวมใส่และไม่ส่งผลกระทบต่อรูปร่างของหน้าอกของผู้สวมใส่ โดยการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเสื้อชั้นในฟองโมลด์ที่มีโครงเหล็ก มาเป็นเสื้อชั้นในฟองโมลด์แบบไม่มีโครงเหล็ก ทำให้มีคุณสมบัติที่สวมใส่สบายและยังคงการเก็บกระชับหน้าอกเหมือนใส่ชุดชั้นในแบบมีโครงเหล็ก และทำการพัฒนาออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นเสื้อชั้นในสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอกให้มีความสวยงามตามเทรนแฟชั่นในปัจจุบัน

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

1. ข้อมูลลักษณะทางประชากรศาสตร์
2. พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมหน้าอกและการเลือกซื้อชุดชั้นในสำหรับผู้เสริมหน้าอก
3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นในและแนวทางการพัฒนาชุดชั้นในเฉพาะผู้สำหรับที่ทำศัลยกรรมเสริมหน้าอก

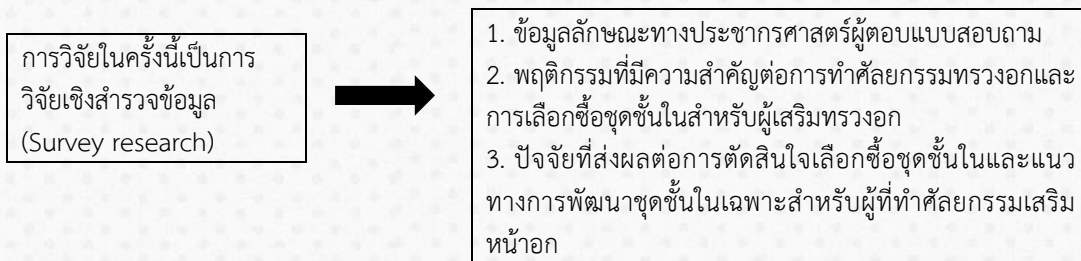
1.2 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการสำรวจแนวคิดและความต้องการเสื้อชั้นในของผู้ที่ได้รับการศัลยกรรมเสริมหน้าอก กลุ่มตัวอย่างคือ ผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก 2 สถานที่ ได้แก่ โพลีโปรตุ๊น้าคลินิก โรงพยาบาลยันฮี จำนวน 50 คน และใช้แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1.3 คำจำกัดความในการวิจัย

1. การสำรวจข้อมูล หมายถึง เป็นการซักถามบุคคลเกี่ยวกับหัวข้อเดียว หรือหลายๆข้อ เพื่อนำคำตอบของพวกเขา มาอภิปรายและสรุปผล
2. การเสริมหน้าอก หมายถึง การผ่าตัดเพื่อช่วยเพิ่มขนาดของหน้าอกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น การผ่าตัดเสริมหน้าอกยังช่วยให้มีรูปร่างของหน้าอกดีขึ้น และยังสามารแก้ไขปัญหาเต้านมที่หย่อนคล้อยสร้างความมั่นใจเสริมบุคลิกภาพ และยังรวมถึงการแก้ไขปัญหานาหน้าอกที่ไม่เท่ากันของเต้านมทั้งสองข้างให้ดูปกติ
3. เสื้อชั้นในสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก หมายถึง ชุดชั้นในที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับผู้ที่ทำศัลยกรรมหน้าอก เพื่อลดปัญหาการผิดรูปของซิลิโคนและการเกิดผังผืดที่ซิลิโคน ชุดชั้นในต้องมีความสวมใส่สบายและไม่มีวัสดุที่แข็งเป็นส่วนประกอบในชุดชั้นใน
4. ความพึงพอใจ หมายถึง ระดับความรู้สึกที่พึงพอใจ หรือความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เสื้อชั้นในสำหรับผู้รับการผ่าตัดเสริมหน้าอก

1.4 กรอบแนวความคิดในการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวความคิดในการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ชุดชั้นในที่ตรงต่อความต้องการ และตอบโจทย์ต่อกลุ่มคนทำศัลยกรรมเสริมหน้าอกมาแล้วในระยะเวลาหนึ่ง และกลุ่มลูกค้าทั่วไปที่ต้องการชุดชั้นในสวมใส่สบาย

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจข้อมูล (Survey research) โดยการสำรวจข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเป็นลักษณะแบบการวัดผลครั้งเดียว (One-shot study) โดยกลุ่มตัวอย่างกรอกข้อมูลเอง (Self-Administration Questionnaire) และใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) ที่มีคำถามปลายปิด (Close end Questions) เป็นเครื่องมือสำหรับการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

2.1 กลุ่มตัวอย่างในการทำการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างในการทำการวิจัย คือ ผู้ทำศัลยกรรมหน้าอกทั้งประชากรเพศหญิง และ หญิงข้ามเพศ ที่อาศัยประกอบอาชีพ หรือ กำลังศึกษาในเขตกรุงเทพมหานครและภูมิภาคอื่น มีอายุตั้งแต่ ท่าน โดย 50 ปีขึ้นไป ซึ่งมีจำนวน 50-20 ขั้นตอน ในการเลือกตัวอย่าง 2 ใช้การเลือกตัวอย่างแบบ (Multi-stage Random Sampling) ประกอบด้วย ขั้นที่ การเลือก 1) ตัวอย่างแบบเจาะจงpurposive Sampling) ผู้วิจัยเลือกสถานที่ทำศัลยกรรมหน้าอก สถานที่ ได้แก่ โพลีประตุน้ำคลินิก 2 การเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง 2 โรงพยาบาลยันฮี ขั้นที่ (purposive Sampling) โดยแจกแบบสอบถามให้ผู้ทำศัลยกรรมหน้าอกที่โพลีประตุน้ำคลินิก และโรงพยาบาลยันฮี

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ เป็นแบบสอบถามประเภทให้กลุ่มตัวอย่างกรอกเอง (Self-Administration Questionnaire) ซึ่งลักษณะการตอบแบบสอบถามจะเป็นคำถามแบบปลายปิด(Close end Questions) ทั้งหมด ข้อ โดย 21 ส่วน ในแต่ละส่วนประกอบไปด้วย 3 เนื้อหาแบบสอบถามแบ่งออกเป็น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลลักษณะทางประชากรผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ การศึกษา อาชีพ รายได้เฉลี่ย 1 ต่อเดือน ที่อยู่ปัจจุบัน

ส่วนที่ 2 พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก และการเลือกซื้อชุดชั้นในสำหรับผู้เสริมทรวงอก ได้แก่ ขนาดหน้าอกก่อนการทำศัลยกรรม ขนาดหน้าอกหลังการทำศัลยกรรม โรงพยาบาล/คลินิกที่ทำศัลยกรรม แรงผลักดันที่ทำให้ท่านตัดสินใจทำศัลยกรรมหน้าอก ผู้ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชุดชั้นในของท่าน ประเภทชุดชั้นในที่ท่านซื้อในปัจจุบัน ปัจจุบันท่านซื้อชุดชั้นในจากที่ใด ท่านมักซื้อชุดชั้นในจากแบรนด์ใดมากที่สุด จำนวนชุดชั้นในเฉลี่ยที่ท่านซื้อต่อปี ลักษณะของชุดชั้นใน/ลายของชุดชั้นในที่ท่านเลือกซื้อ สีของชุดชั้นในที่ท่านเลือกซื้อ ราคาชุดชั้นในที่ท่านสามารถซื้อได้

ส่วนที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นในและการพัฒนาชุดชั้นในเฉพาะสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก มีทั้งหมด 2 ส่วนย่อย ดังนี้

1. ปัญหาที่ท่านพบในการสวมใส่ชุดชั้นในภายหลังการศัลยกรรมหน้าอกของผู้ตอบแบบสอบถาม โดยผู้ตอบแบบสอบถามเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ
2. การพัฒนาชุดชั้นในเฉพาะผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก ท่านคิดว่าอะไรคือปัจจัยสำคัญที่ทำให้ท่านตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นใน

2.3 วิเคราะห์ระดับความพึงพอใจ

โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ต (LIKERT Scale) โดยแปรเป็น 5 ระดับดังนี้

| | | |
|---|---------|-----------------------|
| 5 | หมายถึง | ความพึงพอใจมากที่สุด |
| 4 | หมายถึง | ความพึงพอใจมาก |
| 3 | หมายถึง | ความพึงพอใจปานกลาง |
| 2 | หมายถึง | ความพึงพอใจน้อย |
| 1 | หมายถึง | ความพึงพอใจน้อยที่สุด |

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อาตรวจสอบความเรียบร้อยและนำไปเก็บรวบรวมข้อมูลจริง โดยแสดงค่าเฉลี่ยกำหนดการให้คะแนน ดังนี้

| | |
|------------------|------------------------------|
| ค่าเฉลี่ยระหว่าง | 4.50-5.00 หมายถึง มากที่สุด |
| ค่าเฉลี่ยระหว่าง | 3.50-4.49 หมายถึง มาก |
| ค่าเฉลี่ยระหว่าง | 2.50-3.49 หมายถึง ปานกลาง |
| ค่าเฉลี่ยระหว่าง | 1.50-2.49 หมายถึง น้อย |
| ค่าเฉลี่ยระหว่าง | 1.00-1.49 หมายถึง น้อยที่สุด |

2.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปร

ข้อมูลลักษณะทางประชากรผู้ตอบแบบสอบถาม พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอกและการเลือกซื้อชุดชั้นในสำหรับผู้เสริมทรวงอก ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นใน โดยผู้วิจัยได้ประมวลผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการแจกแจงความถี่ (Frequency) แสดงค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Means) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดลอง

3.1.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

ผลการวิจัย พบว่า เพศ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เป็นผู้หญิงและหญิงข้ามเพศ จำนวนเท่ากันที่ คน 25 ร้อยละ 00.50 อายุ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่มีอายุ 20-29 ปี มากที่สุด จำนวน 23 คน ร้อยละ 46.00 รองลงมาคือมีอายุ 30-39 ปี จำนวน 22 คน ร้อยละ 44.00 สถานภาพ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เป็นคนโสดมากที่สุด จำนวน 35 คน ร้อยละ 70.00 รองลงมาคือสมรส จำนวน 9 คน ร้อยละ 18.00 การศึกษา ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่มีการศึกษาในระดับปริญญาตรีมากที่สุด จำนวน 34 คน ร้อยละ 68.00 รองลงมาคือ ปวส./อนุปริญญา จำนวน 12 คน ร้อยละ 24.00 อาชีพ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่มีอาชีพพนักงานเอกชนมากที่สุด จำนวน 30 คน ร้อยละ 68.00 รองลงมาคือ รับจ้างอิสระ/ฟรีแลนซ์ จำนวน 15 คน ร้อยละ 30.00 รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่มีรายได้มากที่สุดคือ

25,001-30,000 บาท จำนวน 15 คน ร้อยละ 30.00 รองลงมาคือ 15,001-20,000 บาท จำนวน 11 คน ร้อยละ 22.00 ที่อยู่ปัจจุบัน ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 50 คน ร้อยละ 100

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ผู้ตอบแบบสอบถาม

| ข้อมูลทั่วไป | ความถี่ | ร้อยละ |
|-----------------------|---------|--------|
| เพศ | | |
| หญิง | 25 | 50.00 |
| หญิงข้ามเพศ | 25 | 50.00 |
| อายุ | | |
| 20-29 ปี | 23 | 46.00 |
| 30-39 ปี | 22 | 44.00 |
| สถานภาพ | | |
| โสด | 35 | 70.00 |
| สมรส | 9 | 18.00 |
| การศึกษา | | |
| ปริญญาตรี | 34 | 68.00 |
| ปวส. /อนุปริญญา | 12 | 24.00 |
| อาชีพ | | |
| พนักงานบริษัทเอกชน | 30 | 68.00 |
| รับจ้างอิสระ/ฟรีแลนซ์ | 15 | 30.00 |

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์ผู้ตอบแบบสอบถาม (ต่อ)

| ข้อมูลทั่วไป | ความถี่ | ร้อยละ |
|-----------------------------|---------|--------|
| รายได้เฉลี่ยต่อเดือน | | |
| 25,001 - 30,000 บาท | 15 | 30.00 |
| 20,001 - 25,000 บาท | 11 | 22.00 |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | | |
| พื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล | 50 | 100.0 |

3.1.2 พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก ในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก

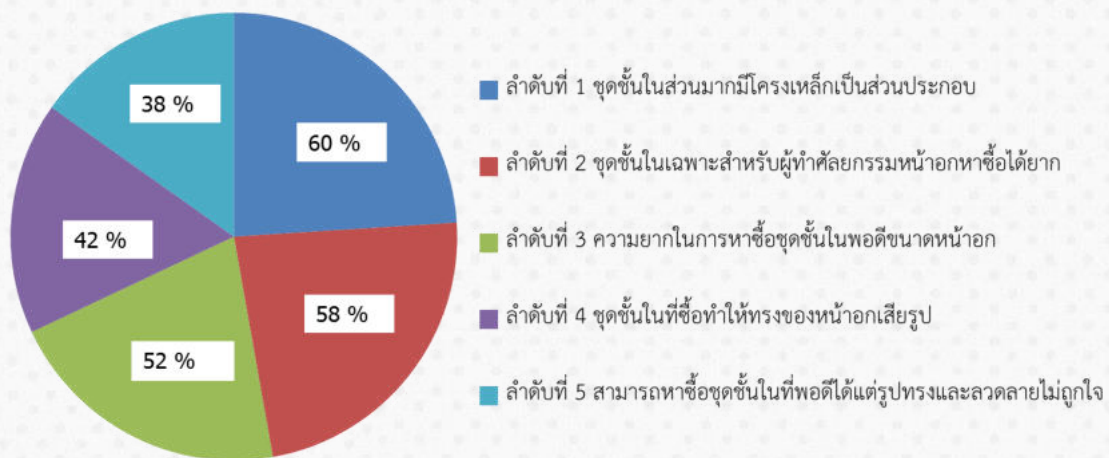
| พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก | ความถี่ | ร้อยละ |
|--|---------|--------|
| ขนาดหน้าอกก่อนการทำศัลยกรรม | | |
| 32A | 14 | 28.00 |
| 36A | 9 | 18.00 |
| ขนาดหน้าอกหลังการทำศัลยกรรม | | |
| 36D | 16 | 32.00 |
| 32C | 10 | 20.00 |
| โรงพยาบาล/คลินิกที่ทำศัลยกรรม | | |
| ประตุนำโพลีคลินิก | 37 | 74.00 |
| โรงพยาบาลยันฮี | 13 | 26.00 |

| แรงผลักดันที่ทำให้ท่านตัดสินใจทำศัลยกรรมหน้าอก | | |
|--|---------|--------|
| ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี | 23 | 46.00 |
| ความสามารถของแพทย์ | 18 | 36.00 |
| ผู้ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อชุดชั้นในของท่าน | | |
| ตัวเอง | 50 | 100.00 |
| ตารางที่ 4.2 พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก (ต่อ) | | |
| พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก | ความถี่ | ร้อยละ |
| ประเภทชุดชั้นในที่ท่านซื้อในปัจจุบัน | | |
| ชุดชั้นในแบบมีโครงเหล็ก | 24 | 48.00 |
| ชุดชั้นในแบบไม่มีโครง | 18 | 36.00 |
| ปัจจุบันท่านซื้อชุดชั้นในจากที่ใด | | |
| ห้างสรรพสินค้า | 48 | 96.00 |
| สั่งซื้อแบบสำเร็จรูปออนไลน์ | 26 | 52.00 |
| ท่านมักซื้อชุดชั้นในจากแบรนด์ใดมากที่สุด | | |
| Sabina | 31 | 62.00 |
| Wacoal | 16 | 32.00 |
| จำนวนชุดชั้นในเฉลี่ยที่ท่านซื้อต่อปี | | |
| ตัว 5-0 | 24 | 48.00 |
| ตัว 12-6 | 23 | 46.00 |
| ลักษณะของชุดชั้นใน/ลายของชุดชั้นในที่ท่านเลือกซื้อ | | |
| เรียบๆ/ไม่มีลาย | 46 | 92.00 |
| ลายลูกไม้/เชิ้กซี่ | 26 | 52.00 |
| สีของชุดชั้นในที่ท่านเลือกซื้อ | | |
| สีเนื้อ | 45 | 90.00 |
| สีดำ | 43 | 89.00 |
| ราคาชุดชั้นในที่ท่านสามารถซื้อได้ | | |
| 501 - 1,000 บาท | 31 | 62.00 |
| 301 - 500 บาท | 14 | 28.00 |

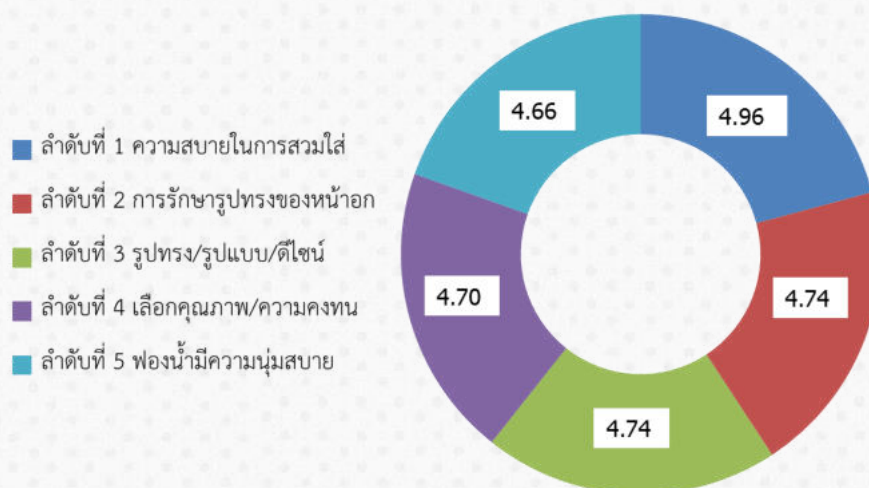
ผลการวิจัย พบว่า บุคคลที่มีขนาดหน้าอกก่อนการทำศัลยกรรม ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่มีขนาดไซส์ที่มากที่สุดคือ 32A จำนวน 14 คน ร้อยละ 28.00 รองลงมาคือ 36A จำนวน 9 คน ร้อยละ 18.00 บุคคลที่มีขนาดหน้าอกหลังทำศัลยกรรม ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่มีขนาดไซส์ที่มากที่สุดคือ 36D จำนวน 16 คน ร้อยละ 32.00 รองลงมาคือ 32C จำนวน 10 คน ร้อยละ 20.00 โรงพยาบาลหรือคลินิกที่ทำศัลยกรรมทรวงอก ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกทำศัลยกรรมมากที่สุดคือ ประตูนานาโพลีคลินิก จำนวน 37 คน ร้อยละ 74.00 รองลงมาคือ โรงพยาบาลอันฮี จำนวน 13 คน ร้อยละ 26.00 แรงผลักดันที่ทำให้ตัดสินใจเลือกทำศัลยกรรมทรวงอก ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความสามารถของแพทย์ จำนวน 24 คน ร้อยละ 48.00 รองลงมาคือ ความสามารถของแพทย์ จำนวน 18 คน ร้อยละ 36.00 อิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อเสื้อชั้นใน ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือ ซื้อเอง จำนวน 50 คน ร้อยละ 100 ประเภทเสื้อชั้นในที่เลือกซื้อในปัจจุบัน ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือ ชุดชั้นในแบบมีโครงเหล็ก จำนวน 24 คน ร้อยละ 48.00 รองลงมาคือชุดชั้นในแบบไม่มีโครง จำนวน 16 คน ร้อยละ 36.00 ปัจจุบันเลือกซื้อชุดชั้นในจากที่ใด ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกซื้อจากห้างสรรพสินค้า จำนวน 48 คน ร้อยละ 96.00 รองลงมาคือ สั่งซื้อแบบสำเร็จรูปออนไลน์ จำนวน 26 คน ร้อยละ 52.00 มักซื้อชุดชั้นในจากแบรนด์ ของ

ผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือ Sabina จำนวน 30 คน ร้อยละ 60.00 รองลงมาคือ Wacoal จำนวน 16 คน ร้อยละ 32.00 จำนวนซื้อเสื้อชั้นในเฉลี่ยที่ซื้อต่อปี ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือ 0-5 ตัว จำนวน 24 คน ร้อยละ 48.00 รองลงมาคือ 6-12 ตัว จำนวน 23 คน ร้อยละ 46.00 ลักษณะของชุดชั้นใน/ลายของชุดชั้นในที่เลือกซื้อ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือเรียบๆ/ไม่มีลาย จำนวน 46 คน ร้อยละ 92.00 รองลงมาคือ ลายลูกไม้/เชิ้กซี่ จำนวน 27 คน ร้อยละ 54.00 สีของชุดชั้นในที่เลือกซื้อมากที่สุดคือ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกซื้อสีเนื้อ จำนวน 45 คน ร้อยละ 90.00 รองลงมาคือ สีดำ จำนวน 43 คน ร้อยละ 86.00 เลือกสีชมพู จำนวน 11 คน ร้อยละ 22.00 ราคาชุดชั้นในที่สามารถซื้อได้ ของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนใหญ่เลือกมากที่สุดคือ 501-1,000 บาท จำนวน 31 คน ร้อยละ 62.00 รองลงมาคือ 301-500 บาท จำนวน 14 คน ร้อยละ 28.00

3.1.3 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ท่านตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นใน



รูปที่ 2 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ท่านตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นใน



รูปที่ 3 การพัฒนาชุดชั้นในเฉพาะผู้ที่ทำศัลยกรรมหน้าอก

ผลการวิจัย พบว่า ปัญหาที่พบในการสวมใส่ชุดชั้นในภายหลังการศัลยกรรมหน้าอกมากที่สุด ของผู้ตอบแบบสอบถามโดยผู้ตอบแบบสอบถามเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ คือ ชุดชั้นในในส่วนมากมีโครงเหล็กเป็นส่วนประกอบ ร้อยละ 60.00 รองลงมาคือ ชุดชั้นในเฉพาะสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอกหาซื้อได้ยาก ร้อยละ 58.00 เลือกร้อยละในการหาซื้อชุดชั้นในพอดีขนาดหน้าอก ร้อยละ 52.00 เลือกชุดชั้นในที่ซื้อทำให้ทรงของหน้าอกเสียรูป ร้อยละ 42.00 เลือกสามารถหาซื้อชุดชั้นในที่พอดีได้แต่รูปทรงและลวดลายไม่ถูกใจ ร้อยละ 38.00

3.1.4 การพัฒนาชุดชั้นในเฉพาะผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก

ผลการวิจัย พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด ของผู้ตอบแบบสอบถาม คือ ความสบายในการสวมใส่ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 4.96 รองลงมาคือ การรักษารูปทรงของหน้าอก มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 4.74 เลือกรูปทรง/รูปแบบ/ดีไซน์ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 4.74 เลือกคุณภาพ/ความคงทน มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 4.70 และเลือกฟองน้ำมีความนุ่มสบาย มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 4.66

3.2 อภิปรายผล

3.2.1 ลักษณะทางประชากรศาสตร์

ผลการวิจัย พบว่า กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างสำหรับบุคคลที่ทำศัลยกรรมหน้าอกและทำในสถานที่ทำศัลยกรรมหน้าอกแบบเฉพาะเจาะจง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ชยพันธ์ จงเจริญชัยสกุล และพิทักษ์ ศิริวงศ (2557) ที่ทำการวิจัยเรื่อง ส่วนประสมทางการตลาดในการเลือกซื้อชุดชั้นในของนักศึกษาทอม พบเช่นเดียวกันว่า ใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นนักศึกษาทอม ในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยศิลปากรซึ่งเป็นกลุ่มเฉพาะเจาะจง

3.2.2 พฤติกรรมที่มีความสำคัญต่อการทำศัลยกรรมทรวงอก ในเขตกรุงเทพมหานคร

ผลการวิจัย พบว่า บุคคลที่มีขนาดหน้าอกก่อนการทำศัลยกรรม มีขนาดไซส์ 32A และ 36A หลังจากได้ทำศัลยกรรมเสริมหน้าอกแล้วมีขนาดไซส์ 36D และ 32C โรงพยาบาลหรือคลินิกที่ทำศัลยกรรมหน้าอก เลือกทำศัลยกรรมที่ประตูน้ำโพลีคลินิก โดยมีแรงผลักดันที่ทำให้ตัดสินใจเลือกทำศัลยกรรมทรวงอก เพราะความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและความสามารถของแพทย์ ผู้ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นในมักจะซื้อเอง ประเภทชุดชั้นในที่เลือกซื้อในปัจจุบัน เป็นแบบชุดชั้นในแบบมีโครงเหล็ก และ ชุดชั้นในแบบไม่มีโครง ปัจจุบันเลือกซื้อชุดชั้นในจากจากห้างสรรพสินค้า และ สั่งซื้อแบบสำเร็จรูปออนไลน์ ได้เลือกซื้อชุดชั้นในจากแบรนด์ Sabina และ Wacoal โดยจำนวนชุดชั้นในเฉลี่ยที่ซื้อต่อปีอยู่ที่ 0-5 ตัว และ 6-12 ตัว ลักษณะของชุดชั้นใน/ลายของชุดชั้นในที่เลือกซื้อ เรียบๆ/ไม่มีลาย และ ลายลูกไม้/เชิ้กซี่ สีของชุดชั้นในที่เลือกซื้อสีเนื้อ สีดำ และ สีชมพู ราคาชุดชั้นในที่สามารถซื้อได้ 501-1,000 บาท และ 301-500 บาท ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของพิทักษ์ ชุมงคล และ รัชดาวัลย์ มหาจิตรภิมย์ (2562) ที่ทำการวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการซื้อ พฤติกรรมการซื้อและความภักดีที่มีต่อเสื้อชั้นในสตรียี่ห้อ ซาบีน่า ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร พบเช่นเดียวกันว่า ด้านพฤติกรรมการเลือกซื้อชุดชั้นในประเภทมีโครงมากที่สุด แต่ส่วนใหญ่ไม่ทราบชนิดผ้าของชุดชั้นใน สีของชุดชั้นในกลุ่มตัวอย่างเลือก คือ โทนสีขาวและดำ ซื้อครั้งละ 3-4 ตัว เสียค่าใช้จ่ายในการซื้อครั้งละ 1000-1500 บาทต่อครั้ง และเลือกซื้อชุดชั้นในจากห้างสรรพสินค้า และมักเลือกซื้อชุดชั้นในจากแบรนด์ ซาบีน่า เป็นส่วนใหญ่

3.2.3 ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ท่านตัดสินใจเลือกซื้อชุดชั้นใน

ผลการวิจัย พบว่า ปัญหาที่พบในการสวมใส่ชุดชั้นในภายหลังการศัลยกรรมหน้าอก คือ ชุดชั้นในในส่วนมากมีโครงเหล็กเป็นส่วนประกอบ และชุดชั้นในเฉพาะสำหรับผู้ทำศัลยกรรมหน้าอกหาซื้อได้ยาก รวมถึงความยากในการหาซื้อชุดชั้นในพอดีขนาดหน้าอก ซึ่งชุดชั้นในที่ซื้อทำให้ทรงของหน้าอกเสียรูป และสุดท้ายสามารถหาซื้อชุดชั้นในที่พอดีได้แต่รูปทรงและลวดลายไม่ถูกใจ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ อรอุษัน ธิดาเมือง (2553) ที่ศึกษาพบเช่นเดียวกันว่า ปัจจัยด้านสินค้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกซื้อชุดชั้นในของผู้หญิงในอำเภอเมืองเชียงใหม่ เป็นผลเช่นนี้อาจเป็นผลด้านบริบทในด้านเศรษฐกิจยังคงอยู่ในสภาวะคงตัวตลาดโดยรวมของชุดชั้นในเติบโตเนื่องจากการกำลังการซื้อของผู้บริโภคไม่ได้เพิ่มขึ้น และชะลอการใช้จ่ายอีกทั้งผู้บริโภคมีทางเลือกในการซื้อสินค้าในราคาที่ย่อมเยามากขึ้น อาจส่งผลให้จากเดิมที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับคุณภาพสินค้ามากขึ้น

3.2.4 การพัฒนาชุดชั้นในเฉพาะผู้ทำศัลยกรรมหน้าอก

ผลการวิจัย พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจมากที่สุด คือ ความสบายในการสวมใส่ การรักษารูปทรงของหน้าอก ได้เลือกรูปทรง/รูปแบบ/ดีไซน์ คุณภาพ/ความคงทน และต้องฟองน้ำมีความนุ่มสบาย ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ ธาธิกา สีสาสกุลธรรม (2556) อรอุษัน ธิดาเมือง (2553) และ ผลงานวิจัย ของ มัยสิทธิ์ สมัยแยม(2550) ที่ต่างพบว่า ปัจจัยด้าน

สินค้าที่กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญ คือ เรื่องของรูปแบบและทรงของชุดชั้นในที่เหมาะสมกับสรีระรูปร่าง เนื้อผ้าคุณภาพดี ผิวนุ่มสบาย สวมใส่แล้วช่วยจัดแต่งให้ทรงอกงามเป็นธรรมชาติ มีขนาดไซส์พอดีกับสรีระของผู้ใช้ สะท้อนให้เห็นว่าคุณค่าของสินค้าประเภทเสื้อชั้นในสำหรับผู้หญิงต้องเน้นที่การส่งเสริมให้ผู้หญิงเกิดความมั่นใจในรูปร่างมากยิ่งขึ้นเป็นสำคัญ

4. บทสรุปข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1 ด้านการทำคัลยกรรมหน้าอก

จากการวิจัย ยังคงมีกลุ่มเป้าหมายอย่างต่อเนื่อง ส่วนใหญ่กลุ่มเป้าหมายตัดสินใจทำคัลยกรรมทรวงอกเนื่องมาจากการเสริมบุคลิกภาพ และความมั่นใจยังรวมไปถึงหน้าที่การงาน ปัจจุบันการทำคัลยกรรมหน้าอกเป็นเรื่องที่ทุกคนเข้าถึงได้ ทั้งข้อมูลการเสริมทรวงอก ความสามารถเฉพาะด้านของแพทย์ และความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยี จึงทำให้การทำคัลยกรรมหน้าอกเป็นการทำคัลยกรรมอันดับต้นๆของประเทศไทย

4.1.2 ด้านกลุ่มเป้าหมาย

จากผลการวิจัย พบว่า ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการดูแลรักษาบุคลิกภาพของหน้าอก โดยการเลือกซื้อชุดชั้นในที่เหมาะสมกับแบรนด์ชั้นนำในประเทศไทยจากห้างสรรพสินค้าและการสั่งซื้อทางออนไลน์ และส่วนใหญ่กลุ่มเป้าหมายมีกำลังซื้อชุดชั้นในอยู่ที่ 6-12 ตัว ต่อปี

4.1.3 ด้านผลิตภัณฑ์ชุดชั้นในสำหรับกลุ่มเป้าหมาย

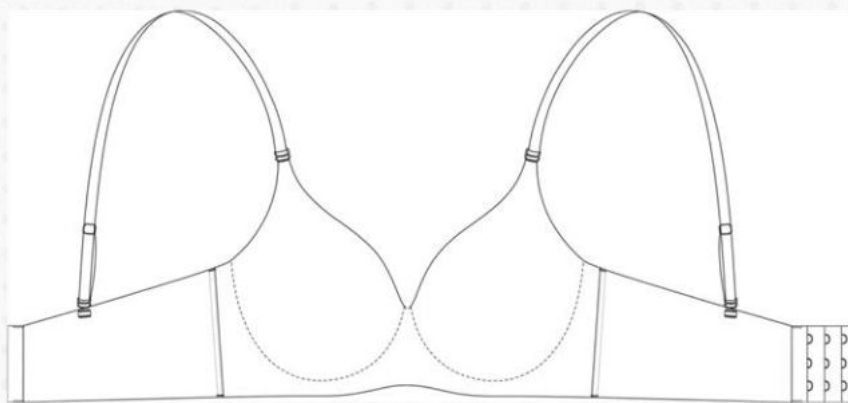
จากผลการวิจัย พบว่า ยังคงเป็นชุดชั้นในไม่มีโครงเหล็กเป็นส่วนประกอบ หาซื้อชุดชั้นในที่ตรงต่อกลุ่มเป้าหมายได้ยาก มีรูปทรงและดีไซน์ที่ไม่ถูกใจกลุ่มเป้าหมาย การวิจัยครั้งนี้ มีการทำแบบสอบถามเพื่อหาปัญหาในการสวมใส่ชุดชั้นในของกลุ่มเป้าหมาย และสอบถามถึงแนวทางการพัฒนาชุดชั้นในที่ตรงต่อกลุ่มเป้าหมาย ทางผู้จัดทำวิจัยได้รวบรวมข้อมูล และได้วิจัยพัฒนาชุดชั้นในที่ตรงต่อกลุ่มเป้าหมาย โดยการออกแบบชุดชั้นในตามข้อมูลจากการสอบถาม คือ ชุดชั้นในรูปทรงมีเต้าทรงฐานเต้าฟองน้ำเป็นส่วนประกอบ ไม่มีโครงเหล็ก ใช้ฟองน้ำและผ้าที่นุ่ม 4/3มสบายต่อผิวสัมผัส บั๊มชั้นรูปฟองโมลด์ไม่หนามาก ครอบเต้าด้วยผ้าไมโครเนื้อนุ่ม และใช้นวัตกรรมเนื้อผ้า Free Cut ที่ตัวเสื้อหลังที่มีความยืดหยุ่นสูงแทนการใช้ยางก้ำมะหยี่ร่วมกับผ้าตัวเสื้อกลับแบบเดิมๆ เพื่อลดแรงการกดทับที่มีผลต่อปัญหาซีลีโคนผิดรูปและการเกิดผดผื่นสำหรับผู้ทำคัลยกรรมเสริมหน้าอก ดังแสดงในรูปที่ 4

4.2 ข้อเสนอแนะทั่วไป

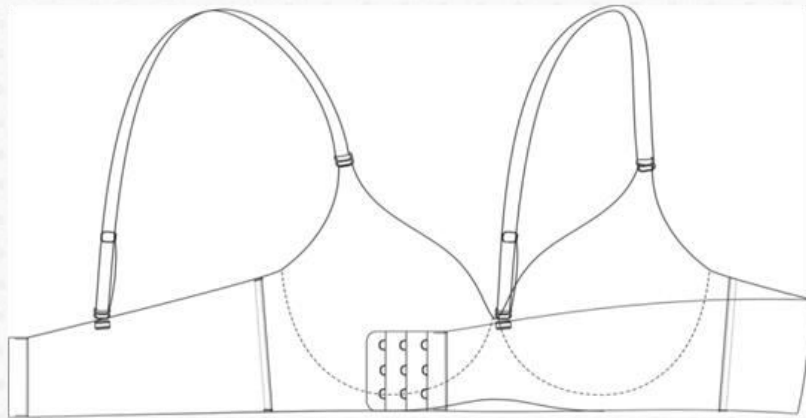
1. ควรสำรวจแบบสอบถามพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ ให้สามารถใช้กับผู้มีปัญหาด้านอื่นๆ เช่น ผู้ป่วยผ่าตัดเต้านม

4.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปต่อยอดเป็นข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์ของผู้วิจัยต่อไปได้ในอนาคต
2. ควรพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์ให้สามารถใช้ได้กับผู้มีปัญหาด้านอื่นๆ เช่น ผู้ป่วยผ่าตัดเต้านม



ด้านนอก



ด้านใน

รูปที่ 4 การพัฒนาชุดชั้นในที่ตรงต่อกลุ่มเป้าหมาย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือคณาจารย์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ วิชาปริญญาโท คือ ดร. กิตติยาพรรณ โพธิ์ล่ำ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ต่อการพัฒนาผลงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ พร้อมด้วย บริษัท ซาบีน่า ฟาร์อีสท์ จำกัด ที่สนับสนุน อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำการวิจัยครั้งนี้ จนรายงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สถิติการเสริมความงาม, (ออนไลน์), ม.ป.ป., สืบค้นจาก: <https://www.ryt9.com/s/prg/2934425>, (25 กันยายน 2562)
- [2] ศัลยกรรมเสริมหน้าอก, (ออนไลน์), ม.ป.ป., สืบค้นจาก: <https://www.doctorbillclinic.com/ศัลยกรรมหน้าอก>, (25 กันยายน 2562).
- [3] ซาบีน่า (SABINA), (ออนไลน์), ม.ป.ป., สืบค้นจาก: <http://investor.sabina.co.th/th/corporate-information/company-milestone>, (25 ตุลาคม 2563).
- [4] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มผช.837/2554, ชุดชั้นในสตรี, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2554.
- [5] พรรณี วิเศษนิมิตชัย, “ค่านิยม พฤติกรรม และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อแนวโน้มการใช้บริการสนนากอล์ฟ”, สารนิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2551.
- [6] ปฐมพงษ์ บาเร็บ, “โปรแกรมการบริหารงานลูกค้าสัมพันธ์ที่มีความสัมพันธ์กับทัศนคติพฤติกรรมความจงรักภักดี และความพึงพอใจของผู้บริโภคในธุรกิจการให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเขตกรุงเทพมหานคร”, วิทยานิพนธ์ นิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาการตลาด, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ม.ป.ท., 2550.
- [7] พิทักษ์ ชุมงคล และ รัชดาวัลย์ มหาจิตรภิมย์, “ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการซื้อ พฤติกรรมการซื้อและความภักดีที่มีต่อเสื้อชั้นในสตรียี่ห้อ ซาบีน่า ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร”, มหาวิทยาลัยรังสิต, 2557, น. 818-826, 26 เมษายน 2562
- [8] อาริศา ลีลาสกุลธรรม, “ส่วนประสมทางการตลาดที่มีต่อผู้บริโภคในจังหวัดสมุทรสาครต่อการตัดสินใจซื้อชุดชั้นในสตรี”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ท., 2556.
- [9] มัญสิทธิ์ สมัยแย้ม, “พฤติกรรมการเปิดรับการสื่อสารการตลาดและความพึงพอใจของผู้ใช้ชุดชั้นในวาโกรูปแบบ"มิชชี" ในกรุงเทพมหานคร”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาการจัดการสื่อสารภาครัฐและเอกชน คณะวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ม.ป.ท., 2550.
- [10] อรอุยชัน ธิดาเมือง, “ปัจจัยที่มีผลต่อผู้หญิงในอำเภอเมืองเชียงใหม่ต่อการซื้อชุดชั้นใน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาบริหารธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัย เชียงใหม่, ม.ป.ท., 2553.

การพัฒนาภาชนะเพาะชำจากเศษชีวมวลสำหรับพืชเก็บเกี่ยวราก

The Development of Nursery Pots from Biomass Waste for the Root Harvesting Plant

เกตุสุดา พรหมพินิจ¹ จุฑารัตน์ รอดพ่วง¹ สหรัฐ จันจาเร¹ มาโนช หลักฐานดี¹ ภัทริกา สูงสมบัติ¹
และ คณาวุฒิ อินทร์แก้ว^{1*}

¹ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: Kanawut.i@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาภาชนะเพาะชำสำหรับพืชเก็บเกี่ยวรากด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปโดยใช้ฟางข้าว ใบลำไย และใบอ้อยเป็นกระถางแบบไม่ใช้ความร้อนขนาด 4 นิ้ว ในอัตราส่วนของเศษชีวมวลต่อกาวแป้งเปียกเท่ากับ 2 : 1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ ความคงรูป และการย่อยสลาย ผลการทดลอง พบว่า กระถางสามารถคงรูปอยู่ได้ถึงระยะเก็บเกี่ยวของพืชที่ใช้ทดลอง ซึ่งมีระยะเก็บเกี่ยว 45 วัน โดยกระถางเพาะชำจากใบลำไยเริ่มมีความเสียหายไวที่สุดเมื่อเทียบกับกระถางเพาะชำจากฟางข้าวและใบอ้อย ส่วนผลการทดสอบการย่อยสลายของกระถางเพาะชำ พบว่า กระถางจากฟางข้าวและใบอ้อย ใช้เวลาย่อยสลาย 32 วัน แต่กระถางจากใบลำไยมีแนวโน้มย่อยสลายได้เร็วกว่า โดยใช้เวลาประมาณ 28 วัน ดังนั้น ลักษณะการย่อยสลายของกระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไยที่รวดเร็ว แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะต้นกล้าของพืชเก็บเกี่ยวราก ที่มีระยะการอนุบาลประมาณไม่เกิน 6 สัปดาห์ เมื่อนำกระถางพร้อมต้นกล้าไปปลูกลงดินก็จะเกิดการย่อยสลาย เป็นประโยชน์ในการเก็บเกี่ยวรากต้นพืชที่จะไม่มีอุปสรรคจากเส้นใยของกระถางที่เกี่ยวข้องพันรากของพืช ซึ่งจะส่งผลดีต่อคุณภาพการผลิตและราคาของผลผลิตจากรากพืชต่อไป เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการนำเศษชีวมวลที่เหลือทิ้งจากภาคการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: กระถางเพาะชำ การย่อยสลาย พืชเก็บเกี่ยวราก

Abstract

The purpose of this research was to study the guidelines for the development of nursery containers for root crops by forming process rice straw, longan leaves and sugar cane leaves It is a 4-inch non-heating pot. In the ratio of biomass waste to starch glue equal to 2 : 1 study physical characteristics stability and degradation experimental results found the pot can hold its shape until the harvesting stage of the experimental plant. which has a harvesting period of 45 days. The longan leaf nursery was the most damaged when compared to the straw and sugar cane. The results of the biodegradation test of the nursery pots found that the pots from rice straw and sugarcane leaves It took 32 days to decompose but pots from longan leaves tend to decompose faster. It takes about 28 days. Therefore, the rapid decomposition characteristics of pots from rice straw, sugarcane leaves and longan leaves demonstrate suitability for utilization in seedlings of root crops. with a kindergarten period of not more than 6 weeks. when the pots with seedlings are planted in the ground will be degraded It is useful to harvest root crops that are not obstructed by the potted fibers that connect the roots of the plant. This will have a positive

effect on the production quality and price of root crops. It is an environmentally friendly product and it is the use of biomass left over from the agricultural sector for maximum benefit.

Keywords: Nursery pot plant, Degradation, Root harvesting

1. บทนำ

จากการรณรงค์เพื่อแก้ปัญหาขยะพลาสติก ร่วมลดภาวะโลกร้อน และเป็นทางเลือกทดแทนวัสดุสังเคราะห์ที่อาจต้องใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายที่นานหรือไม่ย่อยสลาย (ทิพวรรณ, 2557) ทำให้มีการผลิตภาชนะปลูกพืชที่ทำจากวัสดุชีวภาพเพื่อให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติที่รวดเร็วขึ้น ซึ่งจากรายงานที่ผ่านมาพบว่าภาชนะเพาะชำจากชีวมวลเมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะเพาะชำทั่วไป มีคุณสมบัติทนต่อพืชและสิ่งแฉดล้อมมากกว่า (สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2553) กล่าวคือภาชนะเพาะชำชีวมวลสามารถย่อยสลายได้เองภายใต้สภาวะธรรมชาติโดยใช้เวลาย่อยสลายไม่นาน ไม่ก่อมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อสลายตัวจะให้ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมซึ่งเป็นปุ๋ยสำหรับการเจริญเติบโตของพืช

ปัจจุบันได้มีการนำพืชเก็บเกี่ยวรากมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เนื่องจากสารสกัดจากรากพืชมีราคาสูงและรากพืชสามารถใช้เป็นอาหาร เป็นยารักษาโรค เป็นสมุนไพรช่วยบำรุง เช่น รากกระชายใช้เป็นยารักษาโรคช่วยแก้ฝ้าขาวในปาก ขับระดูขาว บำรุงกำลัง รากชะเอมเทศใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เสริมความงามช่วยขับสารพิษในร่างกาย ต้านแบคทีเรียและมีกลิ่นหอม รากผักชีใช้ประกอบอาหาร เป็นต้น (คลังสมุนไพร, 2561) ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาภาชนะเพาะชำจากเศษชีวมวลสำหรับพืชเก็บเกี่ยวราก เนื่องจากภาชนะที่เป็นกระถางชีวมวล และถาดเพาะชำทั่วไป เช่น จากขุยมะพร้าว แม้จะมีข้อดีในด้านการย่อยสลายตามธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่เมื่อนำไปปลูกพืชที่ต้องการเก็บเกี่ยวราก เช่น พืชสมุนไพรต่างๆ จะพบปัญหาการที่เส้นใยของขุยมะพร้าวพันติดอยู่ที่ราก ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเก็บเกี่ยวและการทำความสะอาดเพื่อนำรากพืชไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะวัสดุชีวมวลที่จะใช้ในการทดลองประกอบด้วย ใบลำไย ฟางข้าว และใบอ้อย ซึ่งเป็นเศษชีวมวลที่มีปริมาณมาก (กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม, ม.ป.ป.; พิชัย, 2553; ภัทริยา, 2562)

ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมและเป็นการนำเศษชีวมวลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ผู้วิจัยจึงทำงานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาภาชนะเพาะชำจาก ฟางข้าว ใบลำไยและใบอ้อย เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ ของภาชนะเพาะชำ และเพื่อศึกษาการย่อยสลายของภาชนะเพาะชำตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งผลที่คาดว่าจะได้รับ นอกจากจะได้นวัตกรรมภาชนะเพาะชำชีวภาพสำหรับการปลูกพืชเก็บเกี่ยวรากแล้ว ยังเป็นการใช้เศษวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า เป็นการลดการใช้พลาสติก แก้ปัญหาฝุ่นควันจากการเผาชีวมวล และในอนาคตหากมีการต่อยอดโครงการด้วยการถ่ายทอดเทคโนโลยีและส่งเสริมการผลิตภาชนะเพาะชำชีวภาพจากใบลำไย ฟางข้าว และใบอ้อยก็สามารถพัฒนาเป็นวิสาหกิจชุมชน เกิดการสร้างงาน สร้างรายได้ และอาชีพให้กับเกษตรกร ผู้ว่างงาน หรือผู้ที่สนใจ ได้อีกด้วย

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การศึกษางานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง แบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 4 หัวข้อหลักได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมเศษชีวมวลในรูปแบบกระถางเพาะชำ ขั้นตอนการเตรียมตัวผสมดิน ขั้นตอนการขึ้นรูปกระถางเพาะชำแบบไม่ใช้ความร้อนในการขึ้นรูปและขั้นตอนการทดสอบคุณภาพของกระถางดังนี้

2.1 การเตรียมเศษชีวมวลในรูปแบบกระถางเพาะชำ

2.1.1 นำฟางข้าวสับให้เป็นท่อนขนาด 1 นิ้ว แล้วขยี้ให้เป็นฝอย ปั่นฟางข้าวให้เป็นเส้นใยขนาดเล็ก นำเส้นใยไปชั่งในอัตราส่วน 70 กรัม

2.1.2 นำใบอ้อยสับให้เป็นท่อนขนาด 2 นิ้ว แล้วแช่น้ำ 1 คืน แล้วปั่นให้เป็นเส้นใยขนาดเล็ก นำเส้นใยไปชั่งในอัตราส่วน 70 กรัม

2.1.3 นำใบลำไยสับให้มีขนาดเล็ก แช่น้ำ 1 คืน แล้วปั่นให้ละเอียด และนำใบลำไยไปชั่งในอัตราส่วน 70 กรัม

2.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวผสม

2.2.1 ชั่งแป้งมันสำปะหลังกับน้ำ โดยน้ำหนักในการทดลอง ใช้แป้งมันสำปะหลัง 40 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ต่อหนึ่งกระถาง

2.2.2 ผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำจนแป้งมันสำปะหลังกระจายตัวในน้ำหลังจากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วย Hotplate พร้อมทั้งกวนจนแป้งมันสำปะหลังกับน้ำมีลักษณะเป็นเจล ปล่อยให้เย็นเพื่อใช้เป็นตัวผสม

2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปกระถางเพาะชำแบบไม่ใช้ความร้อน

2.3.1 นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ ได้แก่ ฟางข้าว ใบลำไย และใบอ้อย ตามอัตราส่วน 70 กรัม มาผสมกับตัวผสม

2.3.2 นำไปขึ้นรูปเป็นกระถางขนาด 4 นิ้ว ด้วยเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกไฟฟ้าแบบไม่ใช้ความร้อน ขนาดแรง 2 ตัน

2.3.3 นำภาชนะที่ขึ้นรูปแล้ว มาตัดแต่งรูปทรงให้สวยงาม และตากแดดให้แห้ง

2.4 วิธีการทดสอบคุณภาพของภาชนะเพาะชำ

2.4.1 วิธีการทดสอบความคงรูปของภาชนะเพาะชำมีลำดับดังนี้

1) เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบพร้อมวัดขนาด (ความกว้าง ความยาวและความหนา) ของภาชนะเพาะชำจากฟางข้าว ใบลำไย และใบอ้อยทั้ง 3 ตัวอย่าง

2) นำภาชนะเพาะชำที่จะทดสอบไปใส่ดิน และเมล็ดผักชี

3) จากนั้นก็นำน้ำมารดภาชนะเพาะชำทั้ง 3 ตัวอย่าง ซึ่งจะรดน้ำวันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 14 วัน เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงความคงรูปของภาชนะ แล้วไปเปรียบเทียบ และบันทึกผล

2.4.2 วิธีการทดสอบการย่อยสลายของภาชนะเพาะชำ

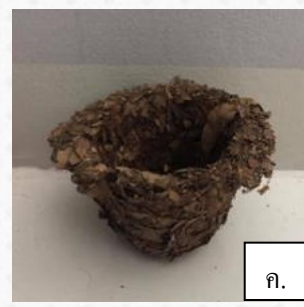
ทดสอบการย่อยสลายของภาชนะเพาะชำจากฟางข้าว ใบลำไย และใบอ้อย ที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ความร้อน โดยการนำภาชนะที่ผลิตตามอัตราส่วน ไปฝังลงดินและรดน้ำแต่ละภาชนะปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อกระถางทุกวัน ทำการทดลอง 5 ชั่ว โดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงของภาชนะทุก 14 วัน เป็นระยะเวลา 45 วัน และบันทึกผล

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการพัฒนาภาชนะเพาะชำจากเศษชีวมวลสำหรับพืชเก็บเกี่ยวรากแบ่งออกเป็น ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ผลการศึกษาความคงรูป ผลการทดสอบการย่อยสลายของภาชนะเพาะชำ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ

การขึ้นรูปฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไยเป็นกระถางขนาด 4 นิ้ว ได้ผลดังภาพ 3.1 จากภาพจะเห็นได้ว่ากระถางจากฟางข้าวและใบอ้อยมีรูปทรงค่อนข้างเข้ารูปตามแม่แบบ แต่กระถางจากใบลำไยพบว่า มีบางส่วนยึดเกาะกันไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะบริเวณขอบปากกระถาง



ภาพ 1 กระถางเพาะชำจากเศษชีวมวล (ก. ฟางข้าว ข.ใบอ้อย ค. ใบลำไย)

เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยชีวมวล ดังภาพ 2 พบว่า เส้นใยของฟางข้าวและใบอ้อยเมื่อทำ

การขึ้นรูป มีลักษณะเป็นเส้นใยเล็กและยาวเมื่อผสมกับตัวผสมแล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกจึงผสมเข้ากันแน่น ทำให้ได้
กระดาษที่เข้ารูป ส่วนเส้นของใบลำไยมีลักษณะเป็นแผ่นแบน ถึงแม้จะมีการปั่นใบลำไยให้มีขนาดเล็กลงและมีความละเอียด
มากขึ้นแต่จึงส่งผลให้กระดาษจากใบลำไยยึดติดกันไม่แน่นพอ จึงอาจกล่าวได้ว่าการขึ้นรูปกระดาษเพาะชำในรูปแบบต่าง ๆ นั้น
วัตถุดิบที่เป็นชีวมวลตั้งต้นหากมีลักษณะเป็นเส้นใยจะสามารถขึ้นรูปได้ดีกว่าชีวมวลที่เป็นแผ่นแบน เมื่อใช้กรรมวิธีการขึ้นรูป
ด้วยเทคนิคการผสมตัวผสมแบบไม่ใช้ความร้อน



ภาพ 2 ลักษณะเส้นใยของชีวมวล (ก. ฟางข้าว ข.ใบอ้อย ค.ใบลำไย) เมื่อศึกษาด้วยกล้องสเตอริโอที่กำลังขยาย 20 เท่า

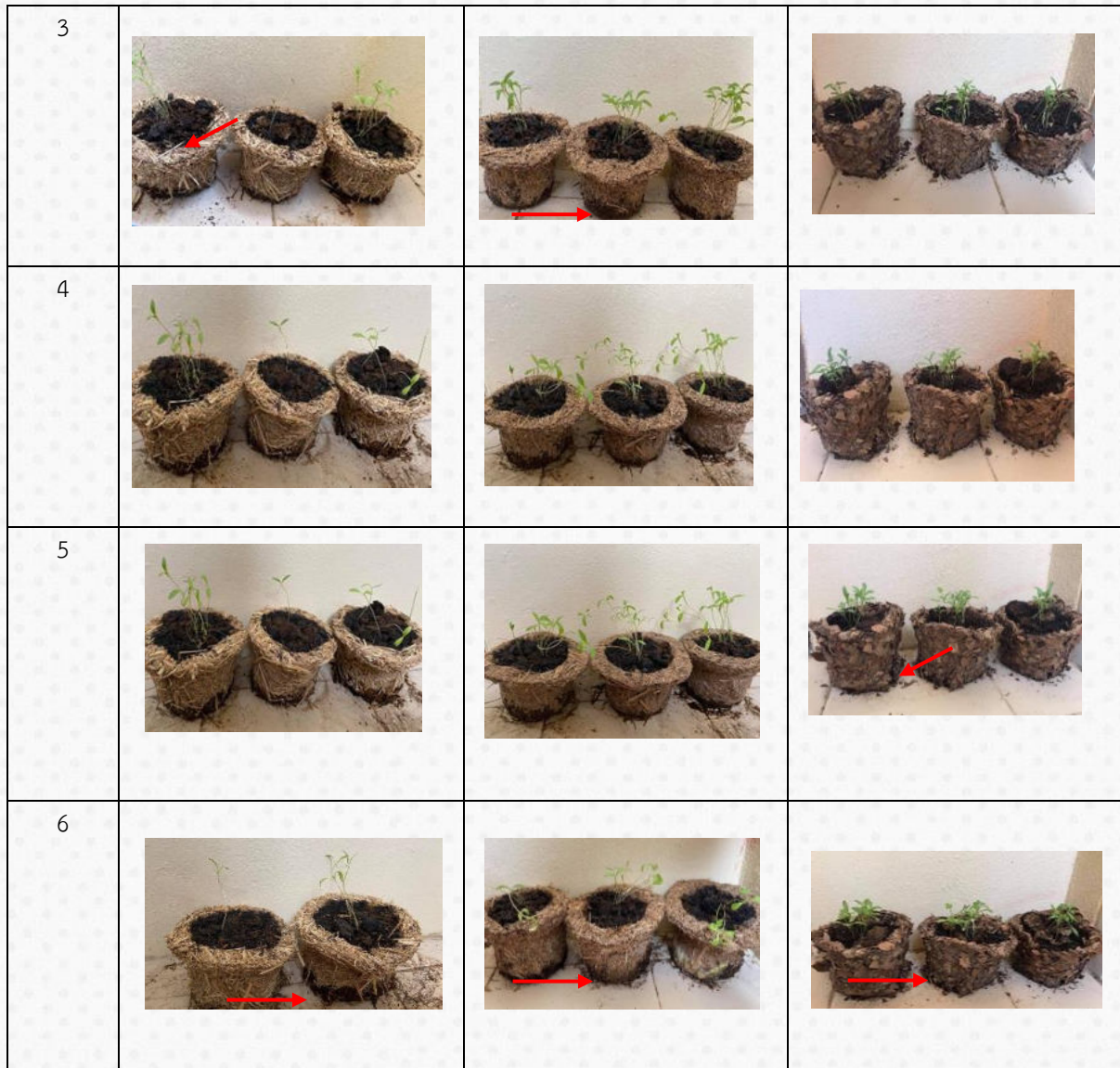
อย่างไรก็ตาม เมื่อสังเกตที่พื้นผิวของใบลำไยภายใต้กล้องสเตอริโอ จะพบว่า มีลักษณะมันวาว อีกทั้งก้านแข็งของ
เส้นใยปรากฏในแต่ละชั้นส่วนของแผ่นใบที่ถูกปั่น จึงเป็นไปได้ว่าลักษณะเช่นนี้จะไม่เอื้อต่อการขึ้นรูปกระดาษเพาะชำแบบไม่ใช้
ความร้อน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบการนำชีวมวลจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไยมาใช้ในการขึ้นรูปกระดาษ จึงอาจกล่าวได้ว่า
ชีวมวลจากฟางข้าวและใบอ้อย มีความเหมาะสมมากกว่า ชีวมวลจากใบลำไย ในการนำมาใช้ขึ้นรูปผลิตเป็นภาชนะเพาะชำ

3.2 ผลการทดสอบความคงรูปของภาชนะเพาะชำ

การทดสอบความคงรูปของกระดาษเพาะชำจากฟางข้าว และใบอ้อยโดยทดลองปลูกผักชีซึ่งเป็นพืชเก็บเกี่ยว
ราก แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกระดาษ โดยผลการศึกษา ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ผลการทดสอบความคงรูปของภาชนะเพาะชำโดยการปลูกผักชีลงในกระดาษตามระยะเวลาที่กำหนด

| สัปดาห์ | กระดาษจากฟางข้าว | กระดาษจากใบอ้อย | กระดาษจากใบลำไย |
|---------|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |



จากตาราง 3.1 พบว่า ลักษณะความคงรูปของกระถางจากฟางข้าว ใบลำไย และใบอ้อย อยู่ในช่วงระยะเวลาที่ต่างกัน โดยจากการทดลองปลูกผักชี และรดน้ำ 50 มิลลิลิตรต่อวันต่อกระถาง พบว่า สัปดาห์แรกกระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไยไม่มีการเปลี่ยนแปลง สัปดาห์ที่ 2 กระถางจากฟางข้าวเริ่มมีการคลายตัวเล็กน้อยและมีการคลายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 เป็นต้นไปสังเกตได้จากบริเวณปากกระถาง (ตำแหน่งที่ปลายลูกศรชี้) จนถึงสัปดาห์ที่ 6 กระถางเริ่มร่ว บริเวณก้นกระถาง สำหรับกระถางจากใบอ้อย พบว่า เริ่มมีการคลายตัวตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไป และมีการคลายตัวจนสังเกตเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 6 เช่นเดียวกับกระถางจากฟางข้าว ส่วนกระถางจากใบลำไย พบว่า เกิดการร่วที่ก้นกระถางและเริ่มคลายตัวตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ออกเรื่อย ๆ ในอัตราเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางจากฟางข้าวและใบอ้อย

อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตความคงรูปของกระถาง เมื่อมีการปลูกพืชไปแล้วควรหลีกเลี่ยงการเคลื่อนย้ายกระถางทั้ง 3 แบบ เนื่องจากการเคลื่อนย้ายอาจส่งต่อความคงรูปและส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อกระถางได้ ถึงแม้ว่ากระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไย จะสามารถคงรูปได้นานถึง 6 สัปดาห์ เพียงพอสำหรับการปลูกต้นกล้าผักชี แต่ผลจากการทดลองก็สามารถสรุปได้ว่า กระถางจากใบลำไยมีการสูญเสียความคงรูปได้เร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางจากฟางข้าวและใบอ้อย

3.3 ผลการทดสอบการย่อยสลายของภาชนะเพาะชำ

การทดสอบการย่อยสลายของกระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไย เมื่อนำไปฝังลงดินได้ผลดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ผลการทดสอบการย่อยสลายของภาชนะเพาะชำ

| สัปดาห์ | กระถางจากฟางข้าว | กระถางจากใบอ้อย | กระถางจากใบลำไย |
|---------|---|---|--|
| 2 |  <p>ลักษณะเส้นใยเล็กน้อย บางส่วนขาดออกจากกัน</p> |  <p>ลักษณะเส้นใยเล็กน้อย บางส่วนขาดออกจากกัน</p> |  <p>สังเกตเห็นเป็นขึ้น ๆ กระจายอยู่ในดิน</p> |
| 4 |  <p>ฟางข้าวเริ่มย่อยสลายผสมกับดิน ปลุก</p> |  <p>ใบอ้อยขาดออกจากกัน เริ่มย่อยสลาย เหลือบริเวณขอบกระถาง</p> |  <p>ย่อยสลายผสมกับดิน เหลือแค่บริเวณขอบกระถาง</p> |

จากตาราง 3.2 เมื่อทดสอบการย่อยสลายโดยการฝังดิน พบว่า กระถางจากฟางข้าว ใบอ้อยและใบลำไยเริ่มมีการย่อยสลายตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 โดยกระถางมีการคลายตัว และบางส่วนย่อยสลายเข้ากับดิน โดยในกระถางจากฟางข้าว พบว่าเส้นใยมีการคลายตัวแต่ยังคงรูปร่างของกระถาง ขณะที่กระถางจากใบอ้อย และใบลำไยครั้งหนึ่งของกระถางเกิดกระบวนการย่อยสลายปะปนไปกับดิน กระถางจากใบอ้อยในส่วนที่ไม่สัมผัสดินจะยังคงยึดเกาะกัน ผลการสังเกตในสัปดาห์ที่ 4 พบว่ากระถางจากฟางข้าว และใบอ้อยประมาณร้อยละ 80 เกิดการย่อยสลายปะปนไปกับดิน เหลือเพียงบางส่วน บริเวณขอบกระถางที่ยังคงมีลักษณะของเส้นใยที่สามารถสังเกตได้ ส่วนกระถางจากใบลำไยประมาณร้อยละ 90 เกิดการย่อยสลายจนเหลือเพียงบางส่วนที่สังเกตเห็นเป็นขึ้น ๆ กระจายอยู่ในดิน ดังนั้น ผลจากการทดลอง กระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไย จะมีการย่อยสลายภายใน 4 สัปดาห์ภายหลังการฝังลงดิน เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยเรื่องธาตุอาหารของพืชและระยะเวลาการย่อยสลายของกระถางเพาะชำชีวภาพ (วรรณวิภา และคณะ, 2561) ได้ศึกษาการย่อยสลายของกระถางเพาะชำซึ่งผลการทดลองมีระยะเวลาการย่อยสลายภายใน 4 สัปดาห์ เช่นเดียวกัน โดยกระถางจากใบลำไยมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วที่สุด ลักษณะการย่อยสลายของกระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไยที่รวดเร็ว แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมสำหรับการนำกระถางไปใช้ประโยชน์ในการเพาะต้นกล้าของพืชเก็บเกี่ยวราก ที่มีระยะอนุบาลไม่เกิน 6 สัปดาห์ สะดวกในการเก็บเกี่ยวรากต้นพืชที่จะไม่มีอุปสรรคจากเส้นใยของกระถางที่เกี่ยวพันรากของพืช ทำให้ทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งจะส่งผลดีต่อคุณภาพการผลิตและราคาของผลผลิตจากรากพืชต่อไป

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการทดสอบความคงรูปของกระถางจากฟางข้าว ใบลำไย และใบอ้อย โดยจากการทดลองปลุกผักชี และรดน้ำ 50 มิลลิลิตรต่อกระถางทุกวัน พบว่า กระถางจากใบอ้อย และฟางข้าว เริ่มมีการคลายตัวตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 เป็นต้นไปและมีการคลายตัวจนสังเกตเห็นได้ชัดในสัปดาห์ที่ 6 ส่วนกระถางจากใบลำไย พบว่า เกิดการร้าวที่ก้นกระถางและเริ่มคลายตัวตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ออกเรื่อย ๆ ในอัตราเร็วที่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระถางจากฟางข้าวและใบอ้อย สำหรับผลการทดสอบการย่อย

สลายของกระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไย พบว่า กระถางจากฟางข้าว ใบอ้อยและใบลำไยเริ่มมีการย่อยสลายตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 2 โดยกระถางมีการคลายตัว และบางส่วนย่อยสลายเข้ากับดิน โดยในกระถางจากฟางข้าว พบว่า เส้นใยมีการคลายตัวแต่ยังคงรูปร่างของกระถาง ขณะที่กระถางจากใบอ้อย และใบลำไยครึ่งหนึ่งของกระถางเกิดกระบวนการย่อยสลายปะปนไปกับดิน กระถางจากใบอ้อยในส่วนที่ไม่สัมผัสดินจะยังคงยึดเกาะกัน ผลการสังเกตในสัปดาห์ที่ 4 พบว่า กระถางจากฟางข้าว และใบอ้อยประมาณร้อยละ 80 เกิดการย่อยสลายปะปนไปกับดิน เหลือเพียงบางส่วนบริเวณขอบกระถางที่ยังคงมีลักษณะของเส้นใยที่สามารถสังเกตเห็นได้ ส่วนกระถางจากใบลำไยประมาณร้อยละ 90 เกิดการย่อยสลายจนเหลือเพียงบางส่วนที่สังเกตเห็นเป็นชิ้น ๆ กระจายอยู่ในดิน ดังนั้น ผลจากการทดลองกระถางจากฟางข้าว ใบอ้อย และใบลำไย จะมีการย่อยสลายภายใน 4 สัปดาห์ภายหลังจากฝังลงดิน โดยกระถางจากใบลำไยมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วที่สุด

อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยข้างต้น ยังมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในเรื่องของการเลือกพืชที่จะนำมาเพาะปลูก ควรจะเป็นพืชที่มีระยะอนุบาลไม่เกิน 6 สัปดาห์ ซึ่งจะสะดวกในการเก็บเกี่ยวรากต้นพืชที่ไม่เป็นอุปสรรคจากเส้นใยของกระถางที่เกี่ยวข้องพันรากของพืช เพื่อให้เหมาะสำหรับการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด ควรมีการศึกษาและพัฒนาในเรื่องของการผลิต และการทดลองอย่างต่อเนื่องต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัย ภายใต้งบโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กลิ่นประทุม ปัญญาปิง นภารัตน์ สุทธินันท์ ปิยนันท์ ธนชัย และ อุกฤษฏ์ เมืองขวัญใจ. 2555. “การพัฒนาการย่อยสลายของเศษก้านและใบลำไยในสภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและผลพลอยได้.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://resjournal.kku.ac.th/abstract/17_4_543.pdf, 25 มกราคม 2564
- [2] กลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติก สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. 2553. “การพัฒนาเม็ดพลาสติกและคอมพาวด์.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://ftiweb.off.fti.or.th/demo>, 24 มกราคม 2564
- [3] กิตติชัย โสพันทนา และคณะ. 2558. “กระถางเพาะชำชีวภาพ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://ris.snru.ac.th/research/>, 26 มกราคม 2564
- [4] กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม. ม.ป.ป. “ลดการเผาฟางข้าวและตอซังและเศษวัสดุทางการเกษตรลดภาวะโลกร้อน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.chamai.go.th/fileupload>, 25 มกราคม 2564
- [5] คลังสมุนไพร, “สมุนไพรประเภทราก,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.xn42cg8cuan.oj5b9czdzg.com/>, 11 มีนาคม 2564
- [6] เตือนใจ ปิยง วรณวิภา ไชยชาญ และกัตตินาฏ สกุศลสวัสดิพันธ์. 2561. “การผลิตกระถางต้นไม้ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ด.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://rdi.rmuts.ac.th/rmutsvrj/download/year10/>, 25 มกราคม 2564
- [7] ทิววรรณ ไหมรวย. 2557. บรรจุภัณฑ์จากวัสดุสังเคราะห์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/thipphanwan12557/brrcu-phanth>, 25 มกราคม 2564
- [8] ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และคณะ. 2548. “กระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://dspace.rmutk.ac.th/handle/>, 2 กุมภาพันธ์ 2564
- [9] พงศธร หนูเล็ก, จิราณวิวัฒน์ แสงมุกด์ และชินนพันธ์ แซ่ซิ้ม. (ม.ป.ป.). “กระถางต้นไม้จากขุยมะพร้าวไอดีเดียวลดโลกร้อน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://decorreport.com/th>, 20 มกราคม 2564
- [10] พิชัย สมบูรณ์วงศ์, “ลำไยนอกฤดูเงินล้าน,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://researchex.mju.ac.th/agikl/index.php/e/25-fruit/17>, 24 มกราคม 2564

- [11] ภัทรียา นวลใย. “ทำไมต้องเผาอ้อย?” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.prachachat.net/columns/news-314852?fbclid>, 24 มกราคม 2564
- [12] วรณวิภา ไชยชาญ, เอนก สวาทอินทร์ และวีระศักดิ์ ไชยชาญ. 2561. “ธาตุอาหารของพืชและระยะเวลาการย่อยสลายของกระถางเพาะชำชีวภาพ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://tci-thaijo.org/view/1>, 24 มกราคม 2564
- [13] วิมล ภูทองชัย และวรณวิภา แก้วประดิษฐ์. 2561. “การจัดการเศษซากใบอ้อยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายและปลดปล่อยไนโตรเจน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://ag2.kku.ac.th/kaj/PDF20A24.pdf>, 25 มกราคม 2564

การพัฒนาเครื่องอัดกระถางแบบไฮดรอลิกส์และการผลิตกระถางต้นไม้จากข้อ ดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน

Development of Hydraulic Plant Pot Press and Constructing Wooden Planting Containers from the Male Inflorescence of Oil Palm

จิष्มพร จันทร์ผ่อง¹ ปิยนุช มาสงค์¹ เยาวลักษณ์ สุวรรณรัตน์¹ และ วรณัฐ ดีละมัน^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email : woranuch.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาเครื่องมืออัดกระถางต้นไม้ชีวภาพเป็นระบบไฮดรอลิกส์และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระถางชีวภาพจากข้อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน โดยทำการทดสอบระยะเวลาในการย่อยสลาย ความพองตัว การดูดซึมน้ำ และปริมาณธาตุอาหารที่กระถางสามารถปลดปล่อยออกมาได้ ผลการพัฒนาเครื่องมือขึ้นรูปกระถางพบว่า เครื่องอัดกระถางไฮดรอลิกส์สามารถขึ้นรูปกระถางได้ โดยใช้เวลาประมาณ 1 นาทีต่อกระถาง มีขนาด 7 เซนติเมตร และ 14 เซนติเมตร ผลการทดสอบกระถางพบว่า อัตราส่วนของวัสดุดิบระหว่างข้อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว (95 : 5) มีความเหมาะสมที่สุด ผลการทดลองระยะเวลาการย่อยสลายของกระถาง 28 วัน พบว่ามีกรย่อยสลายเท่ากับ 26.77% ผลการทดสอบความพองตัวและการดูดซึมน้ำที่ระยะเวลา 14 นาที มีค่าเท่ากับ 21.27% และ 52.50% ตามลำดับ และปริมาณธาตุอาหารหลักที่กระถางสามารถปลดปล่อยออกมาได้คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม มีค่าเท่ากับ 2.20% 0.39% และ 2.30% ตามลำดับ ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเครื่องมืออัดขึ้นรูปกระถาง และเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ : เครื่องอัดกระถางไฮดรอลิกส์ กระถางต้นไม้ชีวภาพ ข้อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน

Abstract

This study aims to develop a hydraulic system for compressing the bio-pots and to determine the optimal ratio for the production of bio-pots from male inflorescences of oil palm. The parameters used to test bio-pots include decomposition time, swelling, absorption and nutrient content that those pots can release. The results of the development hydraulic pot compactor found that this tool can be used with approximately 1 minute per pot production time. The ratio of raw materials between male inflorescences of oil palm and coconut fiber (95: 5) was most suitable for pot making. The degradation time results of the 28-day were 26.77%. The results of the swelling and water absorption at 14 minutes were 21.27% and 52.50% , respectively. The nutrient released by the pots consisted of nitrogen, phosphorus and potassium were 2.20%, 0.39%, and 2.30%, respectively. The results of this study can be used as a basis for the development of a pot compactor and a guideline for adding value to agricultural waste.

Keywords: Hydraulic Plant Pot Press, biological plant pots, male Inflorescence of Oil Palm

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีพืชพันธุ์ธรรมาชาติที่หลากหลาย ประกอบกับสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมทำให้สามารถเพาะปลูกพืชได้หลายชนิด พืชที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคตัวอย่างเช่น พืชยืนต้น พืชล้มลุก ไม้ผล และไม้ประดับ ทำให้ประเทศไทยสามารถส่งออกพืชเศรษฐกิจได้เป็นจำนวนมากทั้งในรูปแบบของพืชสด และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูป อย่างไรก็ตามในกระบวนการแปรรูปของอุตสาหกรรมทางการเกษตรนอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการแล้ว ยังก่อให้เกิดของเสียซึ่งมาจากกระบวนการผลิตเหล่านี้เกิดขึ้นด้วย ปัจจุบันของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรกำลังเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างต่อเนื่อง ของเสียเหล่านี้ถ้ากำจัดไม่ถูกวิธีจะเป็นการเพิ่มปริมาณขยะและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาในอีกหลายด้าน เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษอากาศ และมลพิษทางดิน เป็นต้น ผนวกกับในปัจจุบันประชาชนทั่วไปและเกษตรกรส่วนใหญ่ของประเทศนิยมปลูกต้นไม้หรือเพาะชำต้นไม้ในกระถางและถุงพลาสติกเมื่อต้นไม้เจริญเติบโตเหมาะแก่การนำไปปลูกลงดินทำให้กระถางต้นไม้หรือถุงเพาะชำที่ใช้แล้วเหล่านี้กลายเป็นขยะเหลือทิ้งที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและกำจัดได้ยาก การฝังกลบขยะพลาสติกลงในดินต้องใช้เวลาในการย่อยสลายถึง 450 ปี[1] ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อปัญหาหมอกพิษ สิ่งแวดล้อม การนำเอาวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติมาทดแทนวัสดุที่ทำจากพลาสติกจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาขยะพลาสติกได้

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้เล็งเห็นถึงปัญหาและเคยมีการศึกษาและนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายอย่างมาทำการพัฒนาผลิตเป็นกระถางชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมขึ้น เช่น กระถางที่ผลิตจากเส้นใยปาล์ม น้ำมันรวมกับผงคาร์บอน[2] และกระถางที่ผลิตขึ้นจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดและเส้นใยมะพร้าว[3] ขณะเดียวกันก็ได้พัฒนาเครื่องมือในการขึ้นรูปกระถางต้นไม้อย่างง่ายโดยอาศัยแรงหมุนจากมือในการกดอัดขึ้นรูปกระถาง (manual) ซึ่งใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3 นาทีต่อกระถาง ทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิตกระถางให้ตรงตามความต้องการ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอัดกระถางต้นไม้ให้มีระบบการทำงานแบบไฮดรอลิกที่สามารถใช้งานได้จริง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการขึ้นรูปกระถางต้นไม้และลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำยังมีความสนใจในการพัฒนากระถางต้นไม้ชีวภาพขึ้นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยการนำช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณมากและมีอยู่ทุกต้นของปาล์มน้ำมันมาเป็นวัตถุดิบหลักในการทำกระถางพร้อมทั้งเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี้ด้วย ทั้งนี้คณะผู้จัดทำหวังว่าผลการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้สนใจในการผลิตกระถางต้นไม้ไว้ใช้เองในอนาคตเป็นการส่งเสริมให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การพัฒนาเครื่องมือในการขึ้นรูปกระถาง

การศึกษานี้ได้ออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางระบบไฮดรอลิก โดยใช้กระบอกไฮดรอลิกที่สามารถโยกแรงได้ 3 – 4 ตัน แรงที่กดได้ 100 บาร์ และมีแม่แบบขึ้นรูปกระถาง 2 ขนาด โดยกำหนดเกณฑ์ให้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นต้องสามารถขึ้นรูปกระถางได้เร็วกว่าเครื่องอัดแบบมือหมุน มีลักษณะการใช้งานที่แข็งแรง คงทน เคลื่อนย้ายได้สะดวก มีความคงทนต่อแรงกดได้ ราคาไม่แพง และประหยัดพื้นที่ใช้สอย ดังแสดงในภาพที่ 1

2.2 การขึ้นรูปกระถาง

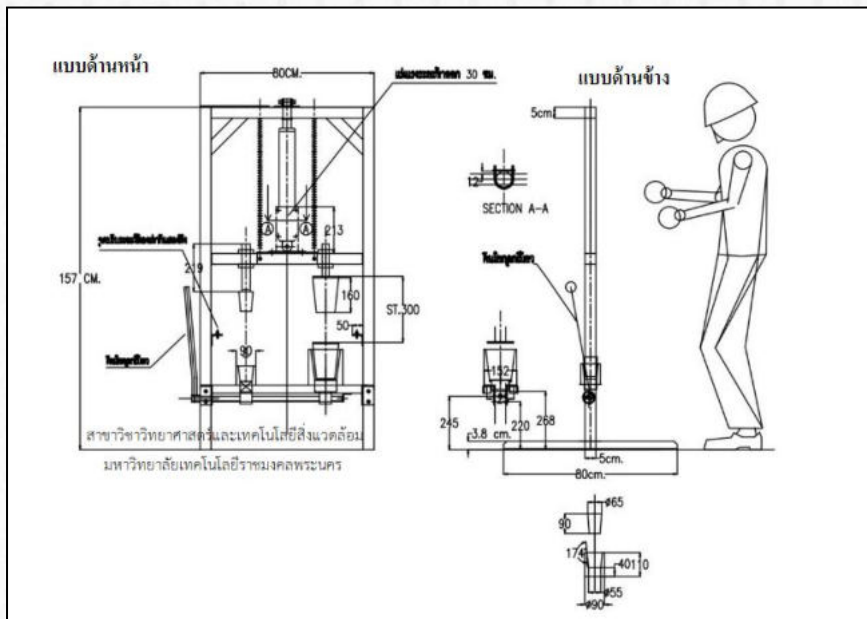
2.2.1 การเตรียมวัสดุ การเตรียมตัวอย่างช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน โดยนำช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมันไปตากให้แห้งและทำการบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร

2.2.2 การขึ้นรูปกระถาง ทำการกำหนดอัตราส่วนที่ในการขึ้นรูปกระถางออกเป็น 2 สูตร โดยเป็นการทดสอบความแตกต่างของวัตถุดิบระหว่างการเสริมเส้นใยและไม่มีเส้นใย มีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างไร ดังนี้

สูตรที่ 1 อัตราส่วนระหว่างช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน : เส้นใยมะพร้าว คือ 100 : 0

สูตรที่ 2 อัตราส่วนระหว่างช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน : เส้นใยมะพร้าว คือ 95 : 5

ทั้ง 2 สูตรใช้ตัวประสานชนิดเดียวกันคือ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl Alcohol) เตรียมโดยการผสมรวมกันกับน้ำร้อนและคนสารให้ละลายจนกว่าจะเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพที่ 1 แบบร่างของเครื่องอัดกระถางระบบไฮดรอลิกส์ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาค้างนี้

2.3 การทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพของเครื่องอัดและกระถาง

2.3.1 การทดสอบความเร็วในการขึ้นรูปกระถาง

เตรียมวัสดุดิบในการขึ้นรูปกระถางให้ครบถ้วน เริ่มจับเวลาตั้งแต่ใส่วัสดุดิบลงในแม่พิมพ์กระถางจนกระทั่งอัดเสร็จและถอดกระถางออกจากแม่พิมพ์ โดยทำการทดสอบซ้ำ 9 ครั้ง จดบันทึกและหาค่าเฉลี่ยสำหรับเวลาในการผลิตกระถาง 1 ใบ

2.3.2 นำกระถางที่ผลิตได้ทั้ง 2 สูตร ไปทดสอบและตรวจวัดตามพารามิเตอร์ที่กำหนด[4] โดยทำการทดสอบพารามิเตอร์ละ 3 ซ้ำ ดังนี้

2.3.2.1 ระยะเวลาในการย่อยสลาย โดยการนำกระถางต้นไม้ม้าซึ่งน้ำหนักก่อนนำไปฝังกลบลงดิน กำหนดระยะเวลาการย่อยสลาย 28 วัน และในทุกๆ 7 วันจะชั่งขึ้นมาชั่งน้ำหนักที่หายไปของกระถาง เพื่อศึกษาการย่อยสลายของกระถาง

2.3.2.2 ความพองตัวของกระถางต้นไม้ม้า โดยตัดชิ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียร์ขนาด 50 × 50 มิลลิเมตร แล้วนำขึ้นทดสอบไปแช่น้ำ 0 นาที 2 นาที 4 นาที 6 นาที 8 นาที 10 นาที 12 นาที และ 14 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว วัดความหนาขึ้นทดสอบด้วยเวอร์เนียร์อีกครั้ง และนำผลที่ได้ไปคำนวณ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการพองตัวของความหนา} = \frac{[(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำ}} \quad (1)$$

2.3.2.3 การทดสอบความดูดซึมน้ำ โดยนำกระถางที่เตรียมไว้แช่น้ำเป็นเวลา 0 นาที, 2 นาที, 4 นาที, 6 นาที, 8 นาที, 10 นาที, 12 นาที และ 14 นาที เมื่อแช่น้ำครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำกระถางที่ผ่านการแช่น้ำแล้ว นำกระถางต้นไม้ม้าไปชั่งน้ำหนัก และนำผลที่ได้ไปคำนวณ ดังสมการที่ (2)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{[(\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำ}) \times 100]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนแช่น้ำ}} \quad (2)$$

2.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) โดยการวิเคราะห์ไนโตรเจนด้วยวิธีเคจดาห์ล (Kjeldahl method) ฟอสฟอรัสด้วยวิธี UV-Visible Spectrophotometer และโพแทสเซียมด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometer[5]

2.3.4 การศึกษาลักษณะพื้นผิวของกระถางต้นไม้ชีวภาพ โดยศึกษาส่วนผสมของวัสดุที่แตกต่างกันจำนวน 2 สูตร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการพัฒนาเครื่องมือในการขึ้นรูปกระถางแบบไฮดรอลิกส์ พบว่าในการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ชีวภาพในแต่ละครั้ง จะใช้เวลาเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 1 นาทีต่อกระถาง สามารถผลิตกระถางได้พร้อมกันทั้ง 2 แม่พิมพ์ต่อการอัดหนึ่งครั้ง กระถางที่ได้สามารถคงรูป มีความคงทน และสามารถนำไปใช้งานได้จริง ดังแสดงในภาพที่ 2



(ก)

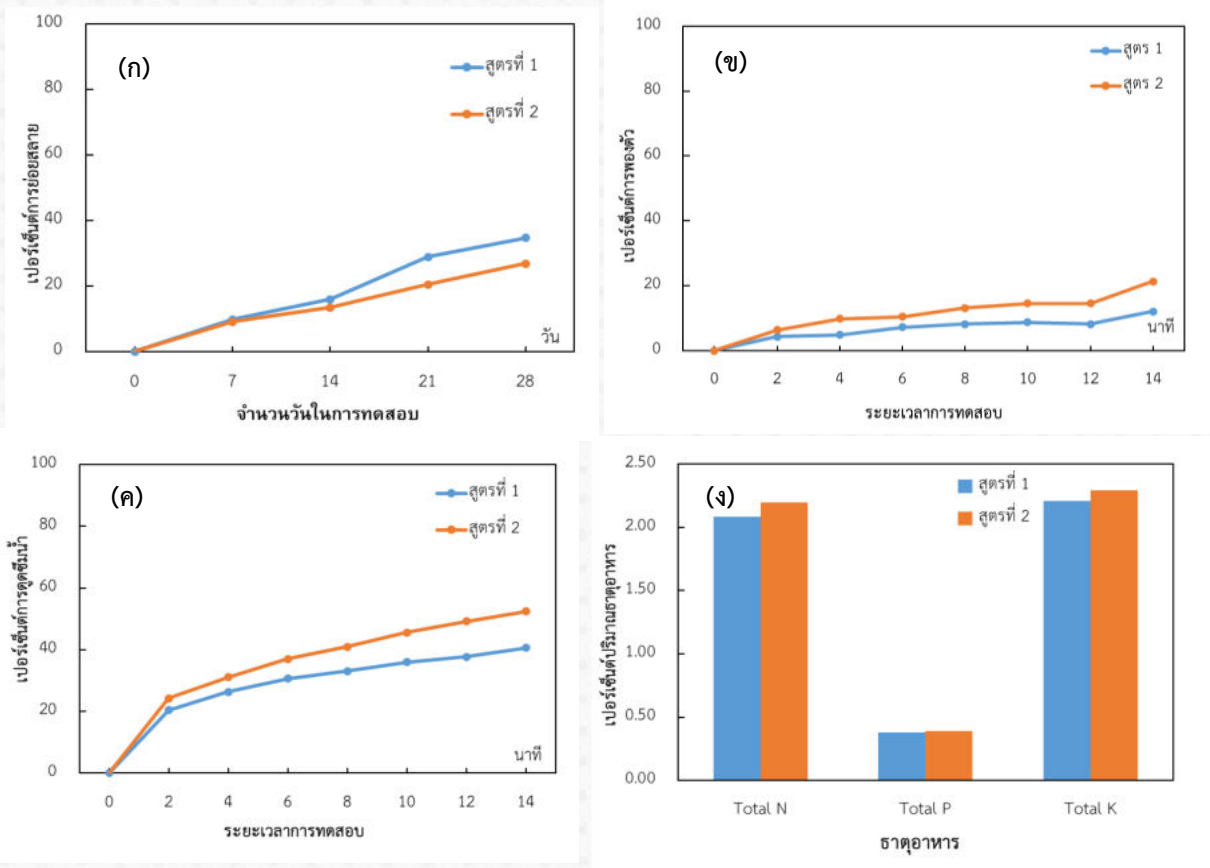


(ข)

ภาพที่ 2 (ก) เครื่องอัดกระถางแบบไฮดรอลิกส์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ และ (ข) กระถางที่ได้จากการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดกระถางแบบไฮดรอลิกส์ทั้ง 2 สูตร

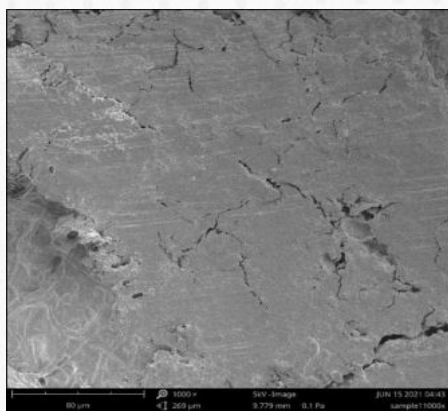
ผลการศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลาย พบว่ากระถางสูตรที่ 1 มีอัตราการย่อยสลายอยู่ในช่วง 9.75 – 34.66 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.24 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน กระถางสูตรที่ 2 มีอัตราการย่อยสลายอยู่ในช่วง 9.05 – 26.77 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.0 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการย่อยสลายทั้ง 2 สูตร พบว่า กระถางสูตรที่ 2 จะเกิดการย่อยสลายได้ช้ากว่า เนื่องจากวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปกระถางมีส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าวซึ่งมีคุณสมบัติในการเสริมความแข็งแรง เพราะเส้นใยมะพร้าวมีปริมาณลิกนินและแอฟาเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ 30.1 เปอร์เซ็นต์ และ 40.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ[6] ดังนั้นกระถางสูตรที่ 2 (95 : 5) จึงย่อยสลายได้ช้ากว่ากระถางสูตรที่ 1 (100 : 0) ที่ไม่มีส่วนผสมของเส้นใย

ผลการทดสอบค่าการพองตัวและค่าการดูดซึมน้ำของกระถางในระยะเวลาติดต่อกัน 14 นาที พบว่ากระถางสูตรที่ 1 มีการพองตัวเกิดขึ้นอยู่ในช่วง 4.29 – 12.09 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที กระถางสูตรที่ 2 เกิดการพองตัวของกระถางอยู่ในช่วง 6.37 – 21.27 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.5 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที (ภาพที่ 3 (ข)) ขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของกระถางสูตรที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 20.46 – 40.62 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.9 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที และกระถางสูตรที่ 2 มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 24.28 – 52.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.75 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที (ภาพที่ 3 (ค)) เมื่อนำกระถางทั้งสองสูตรมาทำการเปรียบเทียบค่าการพองตัวและการดูดซึมน้ำพบว่า กระถางสูตรที่ 2 มีการพองตัวและการดูดซึมน้ำได้ดีกว่ากระถางสูตรที่ 1 เนื่องจากกระถางสูตรที่ 2 มีส่วนผสมของช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำรวมกับเส้นใยมะพร้าว ขณะอัดขึ้นรูปกระถางทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างส่วนผสมทั้งสอง สอดคล้องกับผลที่ได้จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของกระถางที่ทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (SEM) ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าลักษณะพื้นผิวของกระถางมีการยึดติด

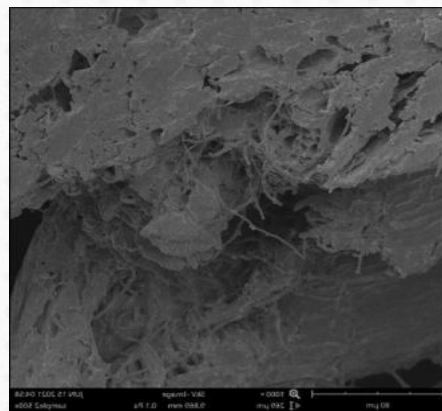


ภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบการทดสอบคุณสมบัติของกระถาง 2 สูตร (ก) ร้อยละอัตราการย่อยสลาย, (ข) ร้อยละการ ความพองตัวของกระถาง, (ค) ร้อยละการดูดซึมน้ำ และ (ง) ร้อยละของปริมาณธาตุอาหารที่กระถางปลดปล่อยออกมา

เกาะกันได้ดี ช่องว่างระหว่างพื้นผิวน้อยมาก จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงช่วยอธิบายได้ว่ากระถางสูตรที่ 2 จะเกิดการพองตัวและสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่ากระถางสูตรที่ 1 เนื่องจากมีช่องว่างในพื้นที่ผิวของกระถางมากกว่านั่นเอง และผลจากการวิเคราะห์ ธาตุอาหารพืชที่กระถางต้นไม้อชีวภาพสามารถปลดปล่อยออกมาได้พบว่า กระถางสูตรที่ 1 สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารพืช ออกมาได้ประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) มีค่าเท่ากับ 2.09, 0.38 และ 2.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับกระถางสูตรที่ 2 สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารหลักของพืชออกมาได้เช่นกันประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) แสดงลักษณะบริเวณพื้นผิวของกระถางต้นไม้อสูตรที่ 1 (100 : 0) และ (ข) ลักษณะบริเวณพื้นผิวของกระถาง ต้นไม้อสูตรที่ 2 (95 : 5)

ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.20, 0.39 และ 2.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3 (ง) เมื่อทำการเปรียบเทียบทั้ง 2 สูตร พบว่ากระถางสูตรที่ 2 สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารฟอสฟอรัสจากตัวกระถางได้มากกว่ากระถางสูตรที่ 1 อย่างไรก็ตามกระถางทั้งสองสูตรสามารถใช้ในการขึ้นรูป ใช้งานได้จริง และสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชได้

4. บทสรุป

เครื่องอัดกระถางแบบไฮดรอลิกส์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอัดขึ้นรูปกระถาง สามารถใช้งานได้จริงและใช้เวลาอันน้อยลงในการอัดขึ้นรูปต่อกระถาง ซึ่งกระถางที่ได้มีความแข็งแรง และคงทน เมื่อนำกระถางที่ผลิตจากจากช่อดอกตัวของปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าว ไปทำการทดสอบระยะเวลาในการย่อยสลาย ค่าการพองตัว ค่าการดูดซึมน้ำ และหาปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ที่กระถางสามารถปลดปล่อยออกมาได้ ผลปรากฏว่ากระถางสูตรที่ 2 ที่มีอัตราส่วนระหว่างช่อดอกตัวของปาล์มน้ำมัน : เส้นใยมะพร้าว (95 : 5) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานมากกว่าสูตรที่ 1 ที่มีช่อดอกตัวของปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมอย่างเดียว (100 : 0) เพราะกระถางสูตรที่ 2 (95 : 5) เกิดการย่อยสลายได้ช้ากว่าจึงสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่ากระถางสูตรที่ 1 (100 : 0) นอกจากนี้กระถางสูตรที่ 2 (95 : 5) ยังสามารถดูดซึมน้ำและกักเก็บน้ำไว้ในพื้นผิวของกระถางได้ดีเป็นการป้องกันไม่ให้พืชที่ปลูกขาดน้ำ อย่างไรก็ตามถึงแม้กระถางจะมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดีแต่ก็สามารถระบายน้ำได้ดีเช่นกันเนื่องจากพื้นผิวของกระถางเป็นช่องว่างและมีรูพรุนค่อนข้างเยอะ สำหรับการปลดปล่อยธาตุอาหารพืชจากกระถางชีวภาพ พบว่ากระถางสูตรที่ 2 (95 : 5) สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชได้มากที่สุด ปัจจุบันกระถางต้นไม้ในท้องตลาดมีหลายรูปแบบให้เลือกสรรเพื่อนำมาใช้ปลูกต้นไม้ เช่น กระถางดินเผา กระถางเซรามิก และกระถางพลาสติก กระถางบางประเภทไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และยังคงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ รวมถึงต้องใช้งบประมาณจำนวนมากในการจัดการกับขยะเหล่านี้ กระถางต้นไม้ชีวภาพในการศึกษาครั้งนี้จึงถือเป็นอีกทางเลือกในการใช้งานเพราะสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และยังเป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชได้อีกด้วย

5. ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัวผู้และแม่พิมพ์ตัวเมียในการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากช่อดอกตัวของปาล์ม นั้น แบบแม่พิมพ์ไม่มีขอบกระถางทำให้ขอบกระถางไม่สวยงาม จึงควรออกแบบแม่พิมพ์รูปทรงที่ดีกว่านี้มีขอบกระถางที่สวยงาม และควรเลือกใช้วัสดุดิบที่มีความหลากหลายในการผลิตกระถางต้นไม้ ซึ่งในประเทศไทยมีของเหลือทิ้งจากภาคการเกษตรหรือจากภาคส่วนอื่นๆ เป็นจำนวนมากที่สามารถนำมาปรับใช้เป็นวัตถุดิบ และไม่ก่อให้เกิดผลเสียสิ่งแวดล้อม

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (20 กุมภาพันธ์ 2564). ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะมูลฝอย. สืบค้นจาก http://pcd.go.th/info_serv/waste_rubbish.htm.
- [2] วรณิสรา อินทร์จันทร์ และคณะ. การพัฒนากระถางต้นไม้จากผงคาร์บอนและเส้นใยมะพร้าว. ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2557.

- [3] สุภาวรรณ เชื้อประทุม และคณะ. การพัฒนากระถางชีวภาพโดยวัสดุเหลือทิ้งจากการเพาะเห็ดและเส้นใยมะพร้าว. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2563.
- [4] วรนุช ดีละมัน และคณะ. การพัฒนาและผลิตอิฐบล็อกมวลเบาโดยการผสมเส้นใยธรรมชาติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชมงคลพระนคร. 2559.
- [5] กรมพัฒนาที่ดิน. (25 กุมภาพันธ์ 2564). คู่มือการปฏิบัติงานกระบวนการวิเคราะห์พีช ปุ๋ย และสิ่งปรับปรุงดิน. สืบค้นจาก <https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-07.pdf?fbclid>.
- [6] ปาริชาติ โรหิตาคนี. การเสริมแรงโพลีเอทิลีนด้วยเส้นใยจากกากและก้านมะพร้าว. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปกร. 2550.

การพัฒนาคุณสมบัติของกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ Development of Paper Properties from Corn Stubble for Delayed Fruit Ripening

สุประภาดา วาดวงษ์ศรี¹ กุลภัส แสงพลาย¹ อัมพร นิตตะ¹ และ วรินทร์ บุญยโรจน์^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*Email: varinthorn.b@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและผลิตกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้โดยการนำตอซังข้าวโพดซึ่งมีส่วนประกอบ คือ เปลือก ต้น และใบ มาทำการปรับสภาพเส้นใยขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ไม้ และเปรียบเทียบคุณสมบัติ ได้แก่ กระดาษจากตอซังข้าวโพด กระดาษจากตอซังข้าวโพด ผสมผงใบเตย และกระดาษจากตอซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์โดยมีการปรับปรุงคุณภาพเยื่อ ขึ้นรูปเป็นกระดาษจากแม่พิมพ์ขนาด 20×30 เซนติเมตร เมื่อทำการทดสอบทางกายภาพจากการศึกษาพบว่ากระดาษจากตอซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์ให้ผลการวิเคราะห์ที่ดีที่สุด เมื่อศึกษาทางกายภาพซึ่งจะพิจารณาจากการต้านแรงฉีกขาด สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด 100 กรัม ศึกษาการทดสอบระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพด 3 นาที 43 วินาที และทดสอบการชะลอการสุกของกล้วยหอมทองเมื่อครบ 15 วัน ผลการทดสอบพบว่ากล้วยหอมทองมีการสุกช้าและมีการเสียน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.3 กรัม เมื่อเทียบกับไม่มีการห่อผลกล้วย

คำสำคัญ : ตอซังข้าวโพด กระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ ผงถ่านกัมมันต์ กล้วยหอมทอง

Abstract

This research aims for develop and produce paper from corn stover to slow down the ripen of fruits. By using corn stover, which consists of the corn husks, stalks, and leaves to transform with wooden block into fiber papers. The production in this research are corn stover paper, corn stover paper mixed with pandan leaf powder, and corn stover paper mixed with activated carbon. Create from block size 20 x 30 cm. The result of test in this study appear that corn stover paper mixed with activated carbon give the best analysis results. With physical test, paper can endure the tear resistance weight equal to 100 g. Time of absorption through surface of paper test equal to 3 minutes 43 seconds. And the result of slow down the ripen of fruits test, which testing with Gros Michel banana in 15 days appear that the wrapped banana with corn stover paper mixed with activated carbon has the slowest ripen process and lose weight average 0.3 g. per day compare to non-wrapped banana, the wrapped banana with corn stover paper, and the wrapped banana with corn stover paper mixed with pandan leaf powder.

Keywords: Corn stubble, Fruit retarding paper, Activated charcoal powder, Cavendish banana

1. บทนำ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีการเพาะปลูกกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้เกษตรกรเป็นจำนวนมาก หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรแล้วยังคงเหลือปริมาณตอซึ่งข้าวโพดในที่ดิน การเพาะปลูกเป็นจำนวนมากยากต่อการกำจัด เกษตรกรจึง เลือกใช้วิธีการทำลายที่สะดวก ทำได้ง่าย และ รวดเร็วคือ ใช้วิธีการเผาเนื่องจากการขาดความรู้ในเรื่องการรักษาคุณภาพดิน ทำให้เกษตรกรเลือกวิธีการทำลายนี้เป็นหลักในการกำจัดตอซึ่งข้าวโพดให้พ้นจากพื้นที่ที่จะใช้เพาะปลูกต่อ เนื่องจากต้นข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นพืชทางการเกษตร ที่เกษตรกรนิยมปลูกเป็นจำนวนมากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ซึ่งสาเหตุมาจากภายในประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกปี พ.ศ.2563 ประมาณ 7.024 ล้านไร่ รวมผลผลิต 4.535 ล้านตัน ผลผลิตเฉลี่ย 695 กิโลกรัมต่อไร่ [1]

ในประเทศไทยได้มีการส่งออกผลไม้ปี 2563 ประมาณ 2.417 ล้านกิโลกรัม มูลค่าเฉลี่ย 141.130 ล้านบาท [2] การส่งออกผลไม้ที่อยู่ในรูปผลสดจึงมีข้อจำกัดสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพของผลไม้และกระบวนการหายใจซึ่งยังเกิดขึ้นหลังเก็บเกี่ยวไปแล้ว เกิดการปลดปล่อยแก๊สเอทิลีนออกมาระหว่างการขนส่งเอทิลีน (C_2H_4) นั้นเป็นฮอร์โมนของพืชที่ทำให้เกิดการสุกของผลไม้ [3]

จากข้อมูลข้างต้นผู้ทำวิจัยจึงมีแนวคิดที่จะผลิตกระดาษจากตอซึ่งข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้โดยมีการพัฒนาเยื่อกระดาษจากตอซึ่งข้าวโพด เพื่อใช้ในการดูดซับเอทิลีนในผลไม้ซึ่งวัตถุดิบสามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ทำเกษตรที่เหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตและต้นทุนต่ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเยื่อตอซึ่งข้าวโพดมานำมาผลิตเป็นกระดาษดูดซับเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บและชะลอการสุกของผลไม้

2. วิธีการทดลอง

2.1. การผลิตกระดาษจากตอซึ่งข้าวโพด

2.1.1 วิธีทำกระดาษจากตอซึ่งข้าวโพด

1. ตัดต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดเป็นชิ้นความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร และปั่นต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดให้มีลักษณะเป็นเส้นใยละเอียด
2. ต้มต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดอย่างละ 100 กรัม ในน้ำสะอาดนาน 45 นาที และ ล้างต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดด้วยน้ำสะอาด
3. นำต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดแช่ใน $NaOCl$ 1,500 มิลลิลิตร นาน 40 นาที ล้างด้วยน้ำสะอาด
4. นำต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดแช่ใน CH_3COOH 1,500 มิลลิลิตร นาน 15 นาที ล้างด้วยน้ำสะอาด
5. นำต้น ใบ และเปลือกข้าวโพดแช่ใน $NaHCO_3$ 30 กรัม นาน 5 นาที ล้างด้วยน้ำสะอาด
6. นำเยื่อกระดาษที่ได้ผสมในน้ำสะอาด 2,500 มิลลิลิตรและ ผสมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรลงในน้ำเยื่อคนให้เข้ากัน
7. นำแม่พิมพ์ไม้ซ้อนเยื่อเยื่อแม่พิมพ์ให้เยื่อเสมอกัน จากนั้นนำแม่พิมพ์ไปฝั่งให้แห้งและลอกกระดาษที่ได้ออกจากแม่พิมพ์

2.1.2 ทดสอบความต้านแรงฉีกขาด

1. นำกระดาษมาตัดให้ได้ขนาด 1×3 นิ้ว
2. หนีบปลายด้านบนติดกับตัวหนีบและปลายด้านล่างใช้ตัวหนีบยึดติดในแนวตั้ง จากนั้นถ่วงน้ำหนัก 25 50 75 และ 100 กรัม ตามลำดับ บันทึกผล ทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

2.1.3. ทดสอบระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพด

1. นำกระดาษมาตัดให้ได้ขนาด 2x2 นิ้ว
2. ทำการผสมสีกับน้ำแล้วหยดน้ำสีจำนวน 1 หยด ลงบนกระดาษแล้วนำนาฬิกาจับเวลาตั้งแต่เริ่มหยดรอจนสีซึมไปในกระดาษจนหมด บันทึกผล ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

2.2. การศึกษาประสิทธิภาพกระดาษจากตอซังข้าวโพดในการชะลอการสุกของผลไม้

2.2.1 ขั้นตอนการศึกษาประสิทธิภาพกระดาษจากตอซังข้าวโพดในการชะลอการสุกของผลไม้

1. นำกล้วยหอมทองที่มีอายุประมาณ 70-80 วัน ตัดแยกเป็น 1 ผล เช็ดทำความสะอาดผลกล้วย
2. นำกระดาษจากตอซังข้าวโพดและกระดาษธรรมดาทั่วไป ขนาด 20x30 นิ้ว ทำการห่อกล้วยหอมทอง
- 2.2.2 นำกล้วยหอมทองวางลงบนกระดาษจากตอซังข้าวโพดโดยพับปลายลงเพื่อไม่ให้กระดาษจากตอซังข้าวโพดเปิดออก และวางเก็บที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 15 วัน

3. วิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาคุณสมบัติของกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตรกระดาษจากตอซังข้าวโพดและเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของกระดาษจากตอซังข้าวโพดที่ชะลอการสุกของผลไม้ ผลการศึกษาแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

- 3.1 ผลการศึกษาขั้นรูปของกระดาษจากตอซังข้าวโพด
- 3.2 ผลการศึกษาการต้านแรงฉีกขาดของกระดาษจากตอซังข้าวโพด
- 3.3 ผลการศึกษาระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพด
- 3.4 ผลการศึกษากระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของกล้วยหอมทอง

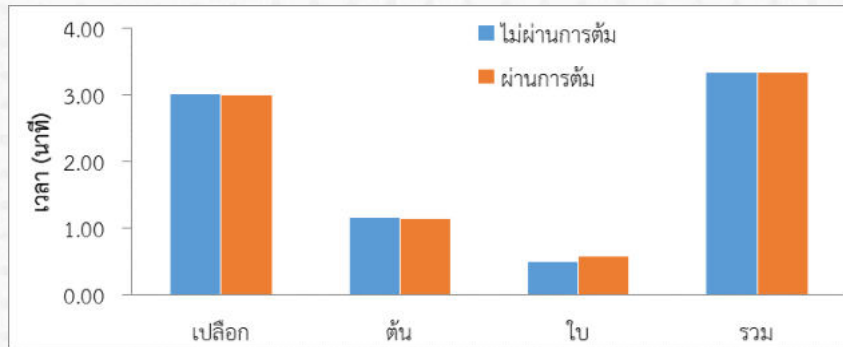
3.1 ผลการศึกษาขั้นรูปของกระดาษจากตอซังข้าวโพด

ตาราง 3.1 ผลการศึกษาการต้านแรงฉีกขาดของกระดาษจากตอซังข้าวโพดแบบไม่ผ่านการต้ม และผ่านการต้ม

| ตัวอย่าง | | การต้านแรงฉีกขาด | | | |
|---------------|---------------------|------------------|----|----|-----|
| | | น้ำหนัก (กรัม) | | | |
| | | 25 | 50 | 75 | 100 |
| ไม่ผ่านการต้ม | เปลือก | ✓ | ✓ | ✓ | X |
| | ต้น | ✓ | ✓ | x | X |
| | ใบ | ✓ | ✓ | x | X |
| | รวม (เปลือก ต้น ใบ) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| ผ่านการต้ม | เปลือก | ✓ | ✓ | ✓ | X |
| | ต้น | ✓ | ✓ | x | X |
| | ใบ | ✓ | ✓ | x | X |
| | รวม (เปลือก ต้น ใบ) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

หมายเหตุ ผลที่แสดงดังตารางได้จากการทดสอบ 3 ซ้ำ ✓ = สามารถต้านแรงฉีกขาดได้ x = ไม่สามารถต้านแรงฉีกขาดได้

3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพด



ภาพที่ 3.1 กราฟแสดงค่าการทดสอบระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพดแบบไม่ผ่านการตม และ ผ่านการตม



หมายเหตุ 1 = กระดาษจากตอซังข้าวโพด, 2 = กระดาษจากตอซังข้าวโพดผสมผงใบเตย, 3 = กระดาษจากตอซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์

ภาพที่ 3.2 กราฟแสดงค่าการทดสอบระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้

3.3 ผลการศึกษากระดาษจากตอซังข้าวโพดชะลอการสุกกล้วยหอมทอง

ตารางที่ 3.6 ผลการสังเกตลักษณะสีของเปลือกกล้วยหอมที่ห่อด้วยกระดาษจากตอซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของกล้วยหอมทอง

| อายุการเก็บรักษา (วัน) | สีของผลกล้วย | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| | การทดลองที่ 1 ไม่ห่อกระดาษ | การทดลองที่ 2 ห่อควบคุมกระดาษทั่วไป | การทดลองที่ 3 กระดาษจากตอซังข้าวโพด | การทดลองที่ 4 กระดาษจากตอซังข้าวโพดผสมผงใบเตย | การทดลองที่ 5 กระดาษจากตอซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์ |
| 0 | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน |
| 3 | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน | เขียวอ่อน |
| 6 | เขียวอ่อน ไม่สม่ำเสมอ, ผลเหี่ยว | เขียวอ่อน ไม่สม่ำเสมอ | เขียวอ่อน ไม่สม่ำเสมอ | เขียวอ่อน ไม่สม่ำเสมอ | เขียวอ่อน |

| | | | | | |
|----|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 9 | เหลืองอ่อน ,ผลเขียว | ตรงกลาง ผลเหลืองอ่อน | ตรงกลาง ผลเหลืองอ่อน | ตรงกลาง ผลเหลืองอ่อน | เขียวอ่อน ไม่สม่ำเสมอ |
| 12 | เหลือง เกือบทั้งผล ผลเขียว | เหลือง เกือบทั้งผล | เหลือง เกือบทั้งผล | เหลือง เกือบทั้งผล | ตรงกลาง ผลเหลืองอ่อน |
| 15 | เหลืองทั้งผล ,รอยขีดดำ | เหลืองทั้งผล | เหลืองทั้งผล | เหลืองทั้งผล | เหลือง เกือบทั้งผล |

หมายเหตุ ผลที่แสดงดังตารางได้จากการทดสอบกล้วยหอมทอง 3 ผลต่อการทดลอง 1 ตัวอย่าง เขียวอ่อน = ดิบ 100%, เขียวอ่อนไม่สม่ำเสมอ = ดิบ 95% และ สุก 5%, เหลืองอ่อน = ดิบ 70% และ สุก 30%, ตรงกลางผลเหลืองอ่อน = ดิบ 30% และ สุก 70%, เหลืองเกือบทั้งผล = สุก 95% และ ดิบ 5%, เหลืองทั้งผล = สุก 100%

4.สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผลิกระดากจากต่อซังข้าวโพดเพื่อชะลอการสุกของผลไม้ สรุปผลได้ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาขึ้นรูปกระดากจากต่อซังข้าวโพด

4.1.1 การศึกษาขึ้นรูปกระดากจากต่อซังข้าวโพดที่ไม่ผ่านการต้ม

ผลจากการทดลองกระดากจากเปลือกข้าวโพด ให้ปริมาณเยื่อมากจึงทำให้มีความเรียบของกระดาก กระดากจากต้นข้าวโพด และ กระดากจากใบข้าวโพด ให้ปริมาณเยื่อที่น้อยแผ่นกระดากมีความไม่สม่ำเสมอขึ้นรูปยาก และ กระดากรวม เปลือก ต้น ใบ (กระดากจากต่อซังข้าวโพด) ให้ปริมาณเยื่อมากจึงทำให้มีความเรียบของกระดากมากกว่าแบบแยกเปลือก ต้น และใบ

4.1.2 การศึกษาขึ้นรูปกระดากจากต่อซังข้าวโพดที่ผ่านการต้ม

ผลจากการทดลองขึ้นรูปกระดากจากต่อซังข้าวโพดโดยนำเปลือก ต้น และใบมาทำการขึ้นรูป พบว่า กระดากจากเปลือกข้าวโพด ให้ปริมาณเยื่อมากจึงทำให้กระดากมีความเรียบ กระดากจากต้นข้าวโพด และ กระดากจากใบข้าวโพด ให้ปริมาณเยื่อที่น้อยแผ่นกระดากจึงมีความไม่สม่ำเสมอขึ้นรูปยาก และ กระดากรวม เปลือก ต้น ใบ (กระดากจากต่อซังข้าวโพด) เนื่องจากมีการรวมเยื่อจากทั้งสามรูปแบบจึงทำให้มีความเรียบของกระดากมากกว่าแบบขึ้นรูปแยก เปลือก ต้น และใบ

4.2 ผลการศึกษาการต้านแรงฉีกขาดของกระดากจากต่อซังข้าวโพด

4.2.1 การศึกษาการต้านแรงฉีกขาดของกระดากจากต่อซังข้าวโพดแบบไม่ผ่านการต้ม และ แบบผ่านการต้ม

ผลการทดสอบการต้านแรงฉีกขาดของกระดากจากต่อซังข้าวโพดใช้ในการชะลอการสุกของผลไม้ พบว่า กระดากแบบไม่ผ่านการต้มและผ่านการต้มที่ผลิตขึ้นมา กระดากจากเปลือกข้าวโพด สามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 25 กรัม จนถึงน้ำหนักสูงสุด 75 กรัม กระดากจากต้นข้าวโพด สามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 25 กรัม จนถึงน้ำหนักสูงสุด 50 กรัม กระดากจากใบข้าวโพด สามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 25 กรัม จนถึงน้ำหนักสูงสุด 50 กรัม และ กระดากกระดากรวม เปลือก ต้น ใบ (กระดากจากต่อซังข้าวโพด) สามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 25 กรัม จนถึงน้ำหนักสูงสุด 100 กรัม

4.2.2 การศึกษาการต้านแรงฉีกขาดของกระดากจากต่อซังข้าวโพดที่พัฒนาเพื่อใช้ในการชะลอการสุกของผลไม้

ผลการทดสอบการต้านแรงฉีกขาดของกระดากจากต่อซังข้าวโพดใช้ในการชะลอการสุกของผลไม้ พบว่า กระดากจากต่อซังข้าวโพด กระดากจากต่อซังข้าวโพดผสมผงใบเตย และ กระดากจากต่อซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์ ที่ผลิตขึ้นมาสามารถรับน้ำหนักได้ตั้งแต่ 25 กรัม จนถึงน้ำหนักสูงสุด 100 กรัม แสดงให้เห็นว่ากระดากจากต่อซังข้าวโพดสามารถที่จะนำไปใช้เพื่อชะลอการสุกของผลไม้ ที่ผลิตขึ้นมาทุกประเภทสามารถต้านแรงฉีกขาดจากการดึงของน้ำหนักได้ถึงประมาณ 100 กรัม

4.3 ผลการศึกษาระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดากจากต่อซังข้าวโพด

4.3.1 ผลการศึกษาระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดากจากต่อซังข้าวโพดแบบไม่ผ่านการต้ม และแบบผ่านการต้ม

ผลการทดสอบระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากต่อซังข้าวโพดแบบไม่ผ่านการต้มและแบบผ่านการต้ม พบว่า กระดาษแบบไม่ผ่านการต้มที่ผลิตขึ้นมา กระดาษจากเปลือกข้าวโพด มีระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที 3 วินาที กระดาษจากต้นข้าวโพด มีระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 1 นาที 16 วินาที กระดาษจากใบข้าวโพด ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 50 วินาที และ กระดาษรวม เปลือก ต้น ใบ (กระดาษจากต่อซังข้าวโพด) ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที 35 วินาที และ แบบผ่านการต้ม กระดาษจากเปลือกข้าวโพด มีระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที กระดาษจากต้นข้าวโพด มีระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 1 นาที 15 วินาที กระดาษจากใบข้าวโพด ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 59 วินาที และ กระดาษรวม เปลือก ต้น ใบ (กระดาษจากต่อซังข้าวโพด) ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที 34 วินาที

4.3.2 ผลการศึกษาระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากต่อซังข้าวโพดที่พัฒนาเพื่อใช้ในการชะลอการสุกของผลไม้

ผลการทดสอบระยะเวลาในการดูดซึมน้ำผ่านพื้นผิวของกระดาษจากต่อซังข้าวโพดที่พัฒนาเพื่อใช้ในการชะลอการสุกของผลไม้ ได้มีการดำเนินการทำ 3 ซ้ำ พบว่า กระดาษจากต่อซังข้าวโพด ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที 59 วินาที กระดาษจากต่อซังข้าวโพดผสมผงใบเตย ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที 58 วินาที และ กระดาษจากต่อซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์ ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำประมาณ 3 นาที 43 วินาที

4.4 ผลการศึกษากระดาษจากต่อซังข้าวโพดชะลอการสุกกล้วยหอมทอง

4.4.1 ผลการศึกษากระดาษจากต่อซังข้าวโพดชะลอการสุกกล้วยหอมทอง

ผลการทดสอบกระดาษจากต่อซังข้าวโพดชะลอการสุกกล้วยหอมทอง ได้มีการดำเนินการทดสอบเก็บรักษาในอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า การทดลองที่ 1 ไม่ห่อกระดาษ ผลของกล้วยหอมทองที่มีลักษณะของการสุกเร็ว เนื่องจากสีของเปลือกเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว มีความเปลี่ยนแปลงของกลิ่นหอมออกมาอย่างรวดเร็วและมีน้ำหนักลดลงมากที่สุด เฉลี่ยวันละ 0.8 กรัม และการทดลองที่ 5 กระดาษจากต่อซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์ ผลของกล้วยหอมทองที่มีลักษณะของการสุกช้า เนื่องจากสีของเปลือกเปลี่ยนแปลงช้า มีความเปลี่ยนแปลงของกลิ่นหอมออกมาช้าและมีน้ำหนักลดลงน้อยที่สุด เฉลี่ยวันละ 0.3 กรัม ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยและพัฒนากระดาษดูดซับเอทิลีนจากเปลือกทุเรียน[4]

4.4.2 ผลการศึกษาสีของผลกล้วยหอมทอง

ผลการศึกษาสีของผลกล้วยหอมทอง มีการดำเนินการทดสอบเก็บรักษาในอุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่า การทดลองที่ 1 ไม่ห่อกระดาษมีสีเขียวอ่อนจนถึงสีมีเหลืองทั้งผลมีรอยขีดดำ การทดลองที่ 2 ตัวควบคุมกระดาษทั่วไป การทดลองที่ 3 กระดาษจากต่อซังข้าวโพด และการทดลองที่ 4 กระดาษจากต่อซังข้าวโพดผสมผงใบเตย มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีมีเหลืองทั้งผล และการทดลองที่ 5 กระดาษจากต่อซังข้าวโพดผสมผงถ่านกัมมันต์มีสีเขียวอ่อนจนถึงสีเหลืองเกือบทั้งผลทั้งนี้เนื่องจากเมื่อ กล้วยมีการเข้าสู่กระบวนการสุกแล้วก็จะเกิดการสลายตัวของ คลอโรฟิลล์โดยในเนื้อเยื่อสีเขียวจะมีแคโรทีนอยด์ปะปนอยู่แต่สีของแคโรทีนอยด์จะถูกสีเขียว ของคลอโรฟิลล์บังไว้ เมื่อคลอโรฟิลล์สลายไปแล้วสีของแคโรทีนอยด์จะปรากฏเด่นชัด [5]

5. ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะในงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัยนี้ครั้งต่อไป

5.1 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของสัดส่วนเยื่อกระดาษจากส่วนต่างๆ ของต่อซังข้าวโพดคือ เปลือก ต้น และ ใบ ที่นำมาขึ้นรูปกระดาษเพิ่มการต้านแรงฉีกของกระดาษจากต่อซังข้าวโพด

5.2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของวัตถุดิบและขนาดของแม่พิมพ์ที่นำมาใช้ใน การผลิตกระดาษ เพื่อใช้เป็นทางเลือก

5.3 ควรมีการศึกษาใช้งานกระดาษกับผลไม้ชนิดอื่นเนื่องจากผลไม้แต่ละชนิดมีอัตราการ ปลดปล่อยก๊าซเอทิลีนไม่เท่ากัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ เนื่องจากทางกลุ่ม ได้รับทุนสนับสนุนงบประมาณ

จากกองทุนเพื่อการวิจัยภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

7.เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2563). ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.oae.oae.go.th/view/1/ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดเลี้ยงสัตว์/TH-TH>, 28 มีนาคม 2564
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). สถิติการส่งออกผลไม้. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2563, 10 เมษายน 2564
- [3] ศักยะ สมบัติไพรวัลย์. (2555). การศึกษาการชะลอกการสุกของมะม่วงน้ำดอกไม้ด้วยถ่านกัมมันต์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/4124/2/fulltext.pdf>, 17 มีนาคม 2564
- [4] จิตดา สাত্রเพ็ชร มยุรี ล้านไชย และ ประชุมพร แสนรักษ์. (2562). ประสิทธิภาพของกระดาษดูด ซึบเอทิลีนจากกากกล้วยที่มีถ่านกัมมันต์ในการยืดอายุการเก็บรักษากล้วยหอมทอง.[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <https://li01.tcithaijo.org/index.php/tjst/article/download/247494>, 10 เมษายน 2564
- [5] จรินทร์ ศิริพานิช . (2538). สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : https://kukr2.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php?kukr/search_detail/result/190742, 10 เมษายน 2564

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์เพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงพื้นที่ในการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำ

Study of water quality changes in Wat Sao Hin canal and Bang Pho canal to prepare spatial proposals for water resources development and restoration.

ธนากร เจริญสุข^{1*} ยูพิน อะโนนาม¹ เสาวลักษณ์ พาทอง¹ และ กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: Tanakorn-JAR@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์เพื่อจัดทำข้อเสนอเชิงพื้นที่ในการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำ ได้ดำเนินการศึกษาคลองวัดเสาหิน เป็นระยะทาง 2 กิโลเมตร และคลองบางโพธิ์ เป็นระยะทาง 1.3 กิโลเมตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในแต่ละช่วงเวลาและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กับคุณภาพน้ำบริเวณที่ศึกษา โดยมีความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ครั้งต่อเดือน และเก็บตัวอย่างน้ำคลองละ 4 จุด เริ่มตั้งแต่วันที่ 4 มีนาคม 2564 ถึง 14 มิถุนายน 2564 การศึกษานี้ได้ทำการสำรวจพื้นที่ในแต่ละคลองและใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ระบุตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ของแข็งแขวนลอย ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี ซีโอดี ไนโตรเจนทั้งหมด และโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด โดยได้นำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 2.1-2.5 mg/L ซึ่งจัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 หากพิจารณาค่าบีโอดีอยู่ที่ 2.3-2.9 mg/L จะจัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 4 และเมื่อพิจารณาค่าโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดอยู่ที่ 762-1,362 MPN/100ml จัดอยู่ในแหล่งน้ำประเภทที่ 1 สำหรับข้อเสนอเชิงพื้นที่ที่ผู้จัดทำได้นำข้อสรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อประชาสัมพันธ์ รวมถึงการมีส่วนร่วมในชุมชนเพื่อพัฒนาและฟื้นฟู อาทิเช่น จัดกิจกรรมคัดแยกขยะ เก็บขยะตามแหล่งน้ำ ประสานงานชุมชนให้มีการจัดทำตะแกรงดักสิ่งปฏิกูล รวมถึงการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เช่น ถังดักไขมัน ตามบ้านเรือนหรือร้านอาหารและติดตั้งเครื่องเติมอากาศในบริเวณที่ติดตั้งเครื่องจักรได้

คำสำคัญ: ข้อเสนอเชิงพื้นที่ ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน ออกซิเจนละลายน้ำ โคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด

Abstract

This study aimed to investigate water quality changes in Wat Sao Hin canal and Bang Pho canal to prepare spatial proposals for water resource development and restoration. This study was conducted to explore water quality of Wat Sao Hin canal with a distance of 2 kilometers and Bang Pho canal with a distance of 1.3 kilometers. The objectives were to study the change in water quality during each period and to describe the relationship between parameters and water quality in the study area. Water sampling was conducted twice a month. The water samples were collected at 4 locations in each canal from March 4, 2021, to June 14, 2021. The study surveyed the area in each canal by applying Geographic Information System (GIS) to determine the location of the sample collection points by analyzing parameters such as temperature, suspended solids (SS), pH, dissolved oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total nitrogen, and total coliform bacteria. The analytic

results were compared with the quality standards of surface water sources. It was found that the dissolved oxygen (DO) was 2.1-2.5 mg/l, which was classified as Category 4 water quality. If considering the BOD value at 2.3-2.9 mg/l, the water quality was classified as Category 4 water quality. When considering total coliform bacteria of 762-1,362 MPN/100ml, it was classified as a Category 1 water quality. The spatial proposals include that a summary of solutions was suggested by authors for public relations including participation in the community for development and rehabilitation, such as organizing waste sorting activities, collecting waste from water sources, coordinating with the community to prepare a sewage trap. Including the installation of Primary wastewater treatment systems such as grease traps in houses or restaurants and install the aerator in the area can be installed the machine.

Keywords: Spatial proposal, Geographic Information System (GIS), Standards for surface water sources, Dissolved oxygen (DO), Total coliform bacteria (TCB)

1. บทนำ

ในปัจจุบันแหล่งน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญต่อระบบนิเวศและสุขภาพของประชาชนอย่างมาก เมื่อแหล่งน้ำลำคลองเสื่อมโทรมจะมีผลกระทบต่อตรงต่อการดำรงชีวิตและสุขภาพอนามัยของชุมชน ปัจจุบันปัญหาการเสื่อมโทรมของน้ำ สาเหตุมาจากการเพิ่มจำนวนของประชากร และการขยายตัวของเมือง ตลอดจนการพัฒนาอุตสาหกรรม รวมไปถึงขยะชนิดต่างๆที่ไม่ได้มีการจัดการ หรือแม้แต่สถานที่ทางศาสนาที่นิยมให้อาหารสัตว์น้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำโดยตรง และปัญหาที่พบโดยส่วนใหญ่ที่มาจากชุมชน ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นถูกระบายลงสู่ลำคลองขนาดเล็กจะส่งผลกระทบต่อแม่น้ำสายหลัก เช่น แม่น้ำเจ้าพระยาที่เชื่อมต่อกับลำคลองทั่วกรุงเทพมหานคร

เขตบางซื่อจัดอยู่ในกลุ่มเขตกรุงเทพตอนเหนือมีพื้นที่ 11.55 ตารางกิโลเมตร สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นแหล่งการค้า การบริการ และแหล่งที่อยู่อาศัยอย่างหนาแน่น มีทั้งตึกแถว บ้านเดี่ยว คอนโด และชุมชน ปัจจุบันมีโครงการรถไฟฟ้า จำนวน 3 สาย จำนวนครัวเรือน 56,133 หลังคาเรือน รวมจำนวนประชากร 127,535 คน [1] โดยความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำมีสาเหตุสำคัญคือ การเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ไม่มีการแบ่งเขตที่แน่นอน การก่อสร้างที่รุกล้ำพื้นที่แหล่งน้ำ และการขาดมาตรการในการควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำ ในปัจจุบันคลองวัดเสนาหินและคลองบางโพธิ์ไม่มีการดูแลรักษาและพัฒนาเท่าที่ควร ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของประชากรและขยายตัวของพื้นที่ตัวเมือง ที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้กับแหล่งน้ำ จึงทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียและยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของการหาแนวทางในการฟื้นฟูแหล่งน้ำ จึงดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลเพื่อนำมาจัดทำข้อเสนอเชิงพื้นที่ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองวัดเสนาหินและคลองบางโพธิ์ให้ดีขึ้นต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ โดยแบ่งคลองวัดเสนาหินออกเป็น 2 คลองย่อยและคลองบางโพธิ์ 1 คลอง รวม 3 คลอง โดยประยุกต์ใช้ข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่สำหรับการศึกษาและใช้มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินในการแบ่งประเภทแหล่งน้ำ [2] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

| ประเภทแหล่งน้ำ | การใช้ประโยชน์ | DO (mg/l) | BOD (mg/l) | TCB (MPN/100ml) |
|----------------|--|-----------|------------|-----------------|
| ประเภทที่ 1 | อุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน, ใช้ขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตพื้นฐาน, การอนุรักษ์ระบบนิเวศของแหล่งน้ำ | 5 | 5 | 5 |
| ประเภทที่ 2 | อุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน, การ | 6.0 | 1.5 | 5,000 |

| | | | | |
|-------------|---|-----|-----|--------|
| | อนุรักษ์สัตว์น้ำ, การประมง, การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ | | | |
| ประเภทที่ 3 | อุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน, การเกษตร | 4.0 | 2.0 | 20,000 |
| ประเภทที่ 4 | อุปโภคและบริโภคต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน, การอุตสาหกรรม | 2.0 | 4.0 | - |
| ประเภทที่ 5 | ใช้เป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม | - | - | - |

หมายเหตุ ๘ คือ เป็นไปตามธรรมชาติ

2.1 พื้นที่ศึกษาและขั้นตอนการวิจัย

การระบุพิกัดบริเวณพื้นที่จุดเก็บน้ำผู้วิจัยได้ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อกำหนดจุดและพิกัด [3] โดยพิจารณาตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 4 จุด รวม 12 จุด ดังแสดงในภาพที่ 2.1 และภาพที่ 2.2



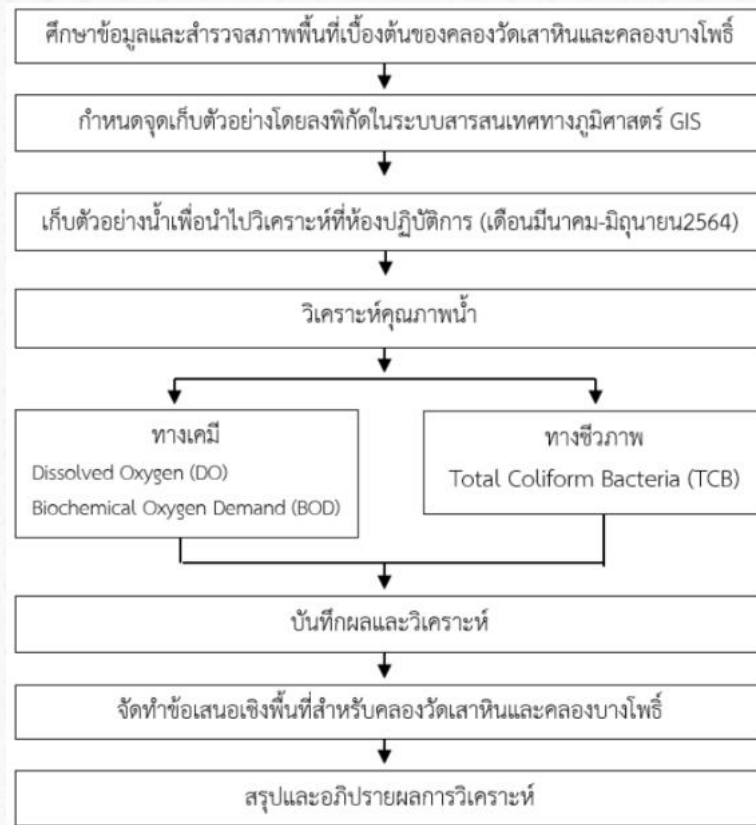
ภาพที่ 2.1 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างน้ำเริ่มตั้งแต่วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2564 ถึง 14 มิถุนายน พ.ศ. 2564 โดยเก็บตัวอย่างน้ำเดือนละ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 6 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์กับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแต่ละจุดของคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์ในพารามิเตอร์ที่ตรงกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน ได้แก่ DO, BOD, TCB มาเปรียบเทียบเพื่อระบุประเภทของแหล่งน้ำปัจจุบันดังแสดงในตารางที่ 3.2 ถึงตารางที่ 3.4 และแสดงในภาพที่ 3.1 ถึง ภาพที่ 3.3



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการทำวิจัย

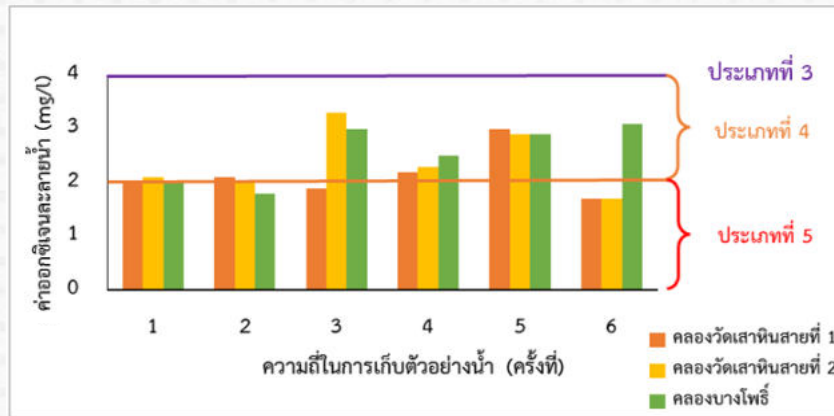
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงวันที่และความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ

| เดือน | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ (ครั้ง) | วันที่เก็บตัวอย่าง |
|----------|-------------------------------------|--------------------|
| มีนาคม | 1 | 4 มีนาคม 2564 |
| | 2 | 18 มีนาคม 2564 |
| เมษายน | 3 | 8 เมษายน 2564 |
| | 4 | 21 เมษายน 2564 |
| มิถุนายน | 5 | 9 มิถุนายน 2564 |
| | 6 | 14 มิถุนายน 2564 |

ตารางที่ 3.2 ปริมาณ DO ในคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์ช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนมิถุนายน 2564

| จุดเก็บตัวอย่างน้ำ | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ (ครั้งที่) | | | | | | ค่า DO เฉลี่ย (mg/l) |
|-----------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|
| | (mg/l) | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| คลองวัดเสาหินสายที่ 1 | 2.0 | 2.1 | 1.9 | 2.2 | 3.0 | 1.7 | 2.1±0.5 |
| คลองวัดเสาหินสายที่ 2 | 2.1 | 2.0 | 3.3 | 2.3 | 2.9 | 1.7 | 2.4±0.6 |
| คลองบางโพธิ์ | 2.0 | 1.8 | 3.0 | 2.5 | 2.9 | 3.1 | 2.5±0.5 |

หมายเหตุ ครั้งที่ 1,2 เก็บน้ำเดือนมีนาคม ครั้งที่ 3,4 เก็บน้ำเดือนเมษายน ครั้งที่ 5,6 เก็บน้ำเดือนมิถุนายน



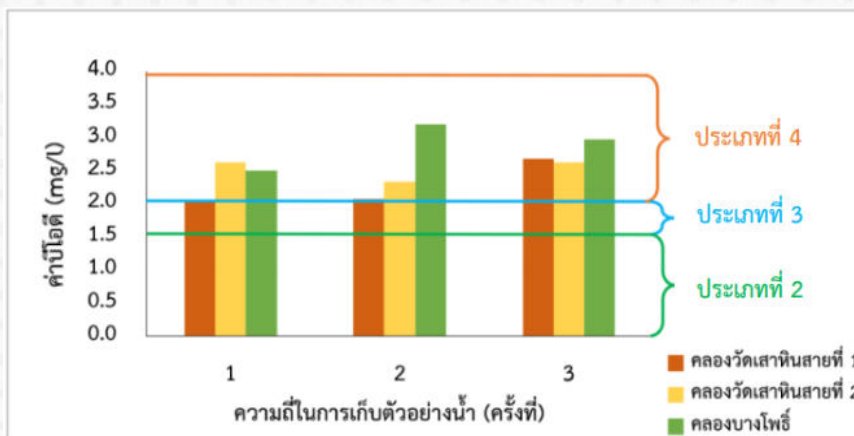
ภาพที่ 3.1 กราฟเปรียบเทียบค่า DO คลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์ (มี.ค.-มิ.ย. 2564) กับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เมื่อนำค่า DO ของน้ำในคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 โดยเกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่า DO ตั้งแต่ 2.0 mg/l แต่ต่ำกว่า 4.0 mg/l ซึ่งคลองวัดเสาหินสายที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1 mg/l เป็นค่าที่น้อยที่สุด รองลงมาเป็นคลองวัดเสาหินสายที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.4 mg/l และคลองบางโพธิ์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 mg/l ซึ่งเดือนมิถุนายนตามประกาศกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นช่วงฤดูฝน [3] กลับพบว่ามีค่า DO ต่ำ สาเหตุอาจเกิดจากการระบายน้ำทิ้งจากชุมชนรวมไปถึงอาคารต่างๆ และร้านอาหารที่มีการทิ้งขยะมูลฝอยโดยไม่ได้มีการคัดแยกจึงทำให้มีสิ่งปนเปื้อนในแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ นอกจากนี้การเปิดประตูระบายน้ำมีเพียงหนึ่งครั้งต่อวันยังคงทำให้เกิดน้ำขังและส่งกลิ่นเหม็นบริเวณชุมชนที่อยู่ริมคลอง

ตารางที่ 3.3 ปริมาณ BOD ในคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์ช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนมิถุนายน 2564

| จุดเก็บตัวอย่างน้ำ | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ (ครั้งที่) | | | ค่า BOD เฉลี่ย (mg/l) |
|-----------------------|--|-----|-----|-----------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| คลองวัดเสาหินสายที่ 1 | 2.0 | 2.1 | 2.7 | 2.3±0.38 |
| คลองวัดเสาหินสายที่ 2 | 2.6 | 2.3 | 2.6 | 2.5±0.17 |
| คลองบางโพธิ์ | 2.5 | 3.2 | 3.0 | 2.9±0.36 |

หมายเหตุ ครั้งที่ 1 เก็บน้ำเดือนมีนาคม ครั้งที่ 2 เก็บน้ำเดือนเมษายน ครั้งที่ 3 เก็บน้ำเดือนมิถุนายน



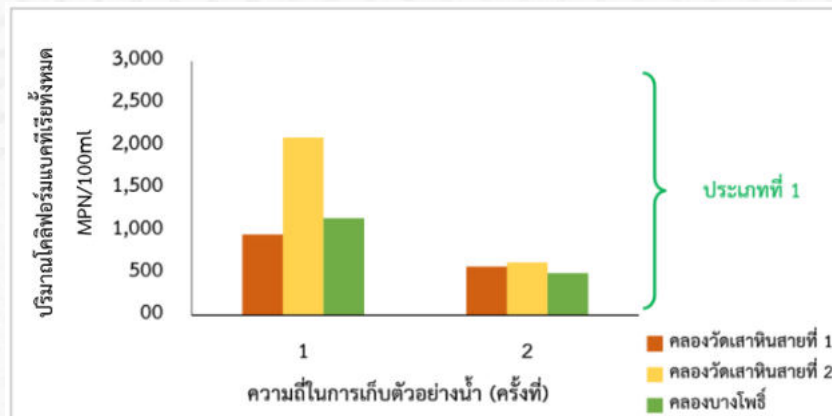
ภาพที่ 3.2 กราฟเปรียบเทียบค่า BOD คลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์ (มี.ค.-มิ.ย. 2564) กับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เมื่อนำค่า BOD ของน้ำในคลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 โดยเกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่า BOD มีค่ามากกว่า 2.0 mg/l ถึง 4.0 mg/l ซึ่งคลองบางโพธิ์มีค่า BOD อยู่ในช่วง 2.5-3.2 mg/l ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุด รองลงมาเป็นคลองวัดเสาทินสายที่ 2 อยู่ในช่วง 2.3-2.6 mg/l และคลองวัดเสาทินสายที่ 1 อยู่ในช่วง 2.0-2.7 mg/l ซึ่งในเดือนมิถุนายนตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นช่วงฤดูฝนกลับพบว่าค่า BOD สูงกว่าเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนที่เป็นฤดูร้อน สาเหตุอาจเกิดจากการระบายของเสียจากกิจกรรมชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่อยู่บริเวณคลองทั้ง 3 คลอง อีกทั้งบริเวณดังกล่าวยังมีขยะมูลฝอยลอยเป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 3.4 ปริมาณ TCB ในคลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์ช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนมิถุนายน 2564

| จุดเก็บตัวอย่าง | ความถี่ในการเก็บตัวอย่างน้ำ (ครั้งที่) | | ค่า TCB เฉลี่ย (MPN/100ml) |
|-----------------------|--|-----|----------------------------|
| | 1 | 2 | |
| คลองวัดเสาทินสายที่ 1 | 950 | 575 | 763±265 |
| คลองวัดเสาทินสายที่ 2 | 2,100 | 625 | 1,362±1,078 |
| คลองบางโพธิ์ | 1,150 | 500 | 825±577 |

หมายเหตุ ครั้งที่ 1 เก็บน้ำเดือนมีนาคม ครั้งที่ 2 เก็บน้ำเดือนมิถุนายน



ภาพที่ 3.3 กราฟเปรียบเทียบค่า TCB คลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์ (มี.ค.-มิ.ย. 2564) กับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เมื่อนำค่า TCB ของน้ำในคลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน พบว่าจัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 1 โดยเกณฑ์มาตรฐานกำหนดค่า TCB ไม่ควรเกินกว่า 5,000 MPN/100ml ซึ่งเดือนมีนาคมพบว่าค่า TCB อยู่ในช่วง 950-2,100 MPN/100ml เป็นค่าสูงที่สุด ต่างกับช่วงเดือนมิถุนายนตามประกาศของกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นช่วงฤดูฝน พบว่าค่าอยู่ในช่วง 500-625 MPN/100ml โดยหากค่าดังกล่าวมีค่าสูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสกปรกในน้ำ ซึ่งหากนำน้ำไปบริโภคอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพได้ เช่น ทำให้เกิดอหิวาตกโรค โรคบิด ไทฟอยด์ เป็นต้น [5]

4. บทสรุป

การศึกษาคุณภาพน้ำคลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินและจัดทำข้อเสนอเชิงพื้นที่ในการพัฒนาและฟื้นฟูแหล่งน้ำให้เหมาะสมกับกิจกรรมของชุมชนสามารถสรุปได้ดังนี้

ข้อเสนอเชิงพื้นที่ของคลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำคลองวัดเสาทินและคลองบางโพธิ์ดังตารางที่ 4.1 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินพบว่าค่าออกซิเจนละลายน้ำ และค่า BOD มีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 4 หากพิจารณาค่าปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 1 โดยพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 คลองมีลักษณะของชุมชนที่คล้ายกัน โดยชุมชนอาจมีการระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือนลงสู่คลองจากกิจกรรมประจำวัน เช่น การอาบน้ำ ซักผ้า ล้างจาน เป็นต้น และรอบการเปิดประตูน้ำจะมีหนึ่งครั้งต่อวันโดยประมาณ ทำให้น้ำขังและเกิดการเน่าเสีย เมื่อรวมกับขยะและน้ำทิ้งจากชุมชน จึงทำให้น้ำในคลองมีความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์สูงรวมถึงน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดย่อมในพื้นที่ ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คุณภาพน้ำในคลองได้รับผลกระทบ

ข้อเสนอเชิงพื้นที่สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาคือ ประชาสัมพันธ์เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมกับชุมชน ในการพัฒนาและฟื้นฟู โดยเสนอแนวทางแก้ปัญหาคือผู้นำชุมชน อาทิเช่น จัดกิจกรรมคัดแยกขยะ เก็บขยะตามแหล่งน้ำ นำน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ โดยประสานงานกับชุมชนและร้านค้าให้มีการจัดทำตะแกรงดักสิ่งปฏิกูล เพื่อลดการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง อีกทั้งควรมีการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น เช่น ติดตั้งถังดักขยะ ถังดักไขมันตามบ้านเรือนและร้านอาหาร รวมถึงติดตั้งเครื่องเติมอากาศ ในบริเวณที่สามารถติดตั้งเครื่องจักรได้

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำคลองวัดเสาหินและคลองบางโพธิ์เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน

| จุดเก็บตัวอย่าง | พารามิเตอร์ที่สำคัญ | | | เทียบกับมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินทุกประเภท (เกณฑ์คุณภาพน้ำ) | พารามิเตอร์ที่มีปัญหา |
|-----------------------|---------------------|------------|-----------------|---|-----------------------|
| | DO (mg/L) | BOD (mg/L) | TCB (MPN/100ml) | | |
| คลองวัดเสาหินสายที่ 1 | 2.1 | 2.3 | 762 | ประเภทที่ 4 | DO, BOD |
| คลองวัดเสาหินสายที่ 2 | 2.4 | 2.5 | 1,362 | ประเภทที่ 4 | DO, BOD |
| คลองบางโพธิ์ | 2.5 | 2.9 | 825 | ประเภทที่ 4 | DO, BOD |

หมายเหตุ มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 DO มีค่าตั้งแต่ 2.0 mg/l แต่น้อยกว่า 4.0 mg/l, BOD มีค่ามากกว่า 2.0 mg/l ถึง 4.0 mg/l, TCB ไม่ได้กำหนดตัวเลขในค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนภายใต้โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเขตบางซื่อ. (20 มกราคม 2564). สืบค้นจาก <http://www.bangkok.go.th/bangsue/page/sub/7482>
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. (20 มกราคม 2564). สืบค้นจาก http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_water05.html
- [3] จิตนพา วุ่นบัวและคณะ. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อพัฒนาแหล่งกักเก็บน้ำในการวิเคราะห์ช่วยเหลือพื้นที่การเกษตรและการอุปโภค-บริโภคของราษฎร. สาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยหาดใหญ่. 2556.
- [4] กรมอุตุนิยมวิทยา. (20 มกราคม 2564). สืบค้นจาก <https://www.tmd.go.th/province.php?id=37>
- [5] จานนท์ ศรีเกตุและคณะ. การปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมดในแหล่งน้ำดิบผลิตประปาและน้ำประปาหมู่บ้าน ตำบลลงบัง อำเภอประจันตคาม จังหวัดปราจีนบุรี. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย(2018)191.

ศักยภาพด้านพลังงานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน Potential Energy of the Fuel Briquettes from Young coconut shells

สังเวย เสวกวิหารี^{1*} อุดมเดชา พลเยี่ยม¹ และ ธนาพร บุญชู

¹มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: sangwoei.s@mutp.ac.th

บทคัดย่อ

การนำเปลือกมะพร้าวอ่อน ที่เป็นขยะเหลือทิ้งมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง แทนการใช้ฟืนและถ่านไม้จากป่าธรรมชาติ โดยมีกาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน ผ่านกระบวนการอัดแท่งด้วยเครื่องอัดมือ ได้แท่งเชื้อเพลิงสีดำ คงรูปไม่แตกหัก ทดสอบประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน มีอัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 11.24 กรัมต่อนาที สามารถใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่มีการแตกปะทุของถ่าน ติดไฟได้ดี ไม่มีเขม่า ไม่มีควัน และไม่มีการปล่อยควันขณะใช้งาน เปลือกมะพร้าวอ่อนจึงมีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในครัวเรือน และร้านปิ้งย่างทั่วไป

คำสำคัญ: พลังงาน เชื้อเพลิงอัดแท่ง เปลือกมะพร้าวอ่อน

Abstract

Young coconut shells are a byproduct after processing coconut juice, which can be used to produce a solid-fuel. using firewood or charcoal made of timber in the natural forest. The solid-fuel from young coconut shells was prepared by using a wet glue powder as a binder then was compressed by using a briquette machine. The black coconut briquette was stable after exposure to the sun. The average of the briquette combustion rate was at 11.24 g /min. There is no eruption, smut, smoke, and odor by using the young coconut shell briquette to start a fire. To sum up, a young coconut shell has a high potential as an alternative biomass material for producing a briquette, especially for household and general grill shop.

Keywords: energy, fuel briquette, young coconut shell

1. บทนำ

ปัจจุบันสถานการณ์ด้านมลภาวะสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ของประชาชนในสังคมเป็นอย่างมาก การนำเปลือกมะพร้าวอ่อนที่เป็นขยะเหลือทิ้งมาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งการวิจัยนี้จะช่วยลดปัญหาการเผาขยะ ลดปัญหามลภาวะ ลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ลดปัญหาการใช้ฟืนและถ่านไม้จากป่าธรรมชาติ การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากขยะเหลือทิ้งมาทำให้เกิดมูลค่า และเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ละลายแป้งมัน 200 กรัม ในน้ำร้อน 1000 cm³ คนให้ละลายเข้ากันจนเป็นกาวแป้งเปียก เทกาวแป้งเปียกลงในผง ถ่านเปลือกมะพร้าวอ่อน 1 กิโลกรัม ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน นวดจนส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่เหนียวติดมือ อัดเป็นแท่ง

เชื้อเพลิงด้วยเครื่องอัดมือ ได้แท่งเชื้อเพลิง 42 แท่ง น้ำหนักเฉลี่ยแท่งละ 40.45 กรัม ตากแดดให้แห้ง 3 – 5 วัน เก็บในตู้อบความชื้น ชั่งน้ำหนักแท่งเชื้อเพลิง น้ำหนักเฉลี่ยแท่งละ 25.90 กรัม



รูปที่ 1 มะพร้าวอ่อน



รูปที่ 2 เปลือกมะพร้าวอ่อน



รูปที่ 3 เปลือกมะพร้าวอ่อนชิ้นเล็กๆ



รูปที่ 4 ตากแดดให้แห้ง



รูปที่ 5 เผาเป็นถ่านผสมกาวแปงเปียกอัดเป็นแท่ง

ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้ม โดยทดสอบการต้มน้ำ ใช้หม้ออะลูมิเนียมใส่น้ำ 1500 กรัม (ปริมาตรของน้ำประมาณ ¾ ของปริมาณความจุของหม้อ) คำนวณค่างานที่ได้ อัตราการเผาไหม้ ตามสูตร

$$\text{งานที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป}}{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้สุทธิ}}$$

$$\text{อัตราการเผาไหม้} = \frac{\text{น้ำหนักของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้สุทธิ (กรัม)}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด (นาที)}}$$

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งสามารถทำให้น้ำ 1500 กรัม เดือดในเวลาเฉลี่ย 14.50 นาที อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย 11.24 กรัม / นาที

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน

| เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน | | | |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| ค่าที่ใช้ในการคำนวณ / ผลที่ได้ | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | เฉลี่ย |
| น้ำหนักของน้ำที่ระเหยไป | 773.50 g | 809.35 g | 791.20 g |
| น้ำหนักของน้ำที่เหลืออยู่ | 726.95 g | 690.65 g | 708.80 g |
| น้ำหนักเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้สุทธิ | 500 g | 500 g | 500 g |
| ระยะเวลาที่ใช้จนน้ำเดือด | 14 นาที | 15 นาที | 14.5 นาที |
| ระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด | 44 นาที | 45 นาที | 44.5 นาที |
| อุณหภูมิของน้ำก่อนตั้งไฟ | 31 °C | 32 °C | 31.5 °C |
| งานที่ได้ | 1.55 g | 1.62 g | 1.58 g |
| อัตราการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง | 11.11 | 11.36 | 11.24 |
| การแตกประทุของเชื้อเพลิง | ไม่มี | ไม่มี | ไม่มี |
| การติดไฟ | ดี | ดี | ดี |
| ควัน | ไม่มีควัน | ไม่มีควัน | ไม่มีควัน |
| เขม่า | ไม่มีเขม่า | ไม่มีเขม่า | ไม่มีเขม่า |
| กลิ่น | ไม่มีกลิ่น | ไม่มีกลิ่น | ไม่มีกลิ่น |

จากตาราง ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านการใช้งานหุงต้มของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน สามารถติดไฟได้ดี ไม่มีควัน ไม่มีการแตกปะทุของถ่าน ไม่มีเขม่า และไม่มีกลิ่น

4. บทสรุป

จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานหุงต้มของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน เพื่อเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้ง สรุปได้ว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกมะพร้าวอ่อน มีประสิทธิภาพในการใช้งานหุงต้มได้ดี ไม่แตกปะทุ ติดไฟได้ดี ไม่มีควัน ไม่มีเขม่า และไม่มีกลิ่นรบกวนขณะใช้งาน เปลือกมะพร้าวอ่อนจึงมีศักยภาพสูงสามารถผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงในครัวเรือน ในชุมชน และร้านอาหารปิ้งย่างทั่วไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายได้ประจำปี 2563 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ขอขอบคุณทุกท่านที่สนใจ ทุกคำแนะนำ และทุกความช่วยเหลือที่ให้กับผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. R. Richards, 1990 “Physical testing of fule briquettes” Fule Processing Technology, Vol 25 , Issue 2 pp, 89 - 100
- [2] จิระพงษ์ คูหากาญจน์, “ศักยภาพทางด้านพลังงานของถ่านตอรากยางพารา,” การสัมมนาทางวัฒนวิทยา ครั้งที่ 8 เทคโนโลยีวันวัฒนธรรม เพื่อจัดความยากจน กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ, 2550
- [3] สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, ฉัตร ผลนาค, ัญญรัตน์ อินทร์เจริญและพิชิตา เปลา่าเล. (2549). สมบัติทางกายภาพของแ่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ปามล้น้ำมัน. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2 วันที่ 27 – 29 กรกฎาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อโควิด-19 ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากสารสกัดดอกขลุ่

The development of the antioxidant Covid-19 disinfectant product from Khlu's flower extract

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ^{1*} อัญชญา ชัตติยะวงศ์¹ และ สิริรัตน์ พานิช¹

¹กลุ่มวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*Email: woravith.c@mutp.ac.th

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยเพื่อประเมินความสามารถในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของดอกขลุ่ (*Pluchea indica* (L.) Less.) ซึ่งเป็นดอกไม้ที่กินได้ในประเทศไทย และเพื่อพัฒนาเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์สำหรับฆ่าเชื้อไวรัสโควิด-19 ดอกขลุ่ได้ทำการสุ่มเก็บจากพื้นที่ อำเภอฟันท้ายนรสิงห์ จังหวัดสมุทรสงคราม ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายโพรพิลีนไกลคอล เป็นระยะเวลา 3 วัน นำสารสกัดที่ได้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี FCR และประเมินฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าสารสกัดจากดอกขลุ่มีสารประกอบฟีนอลิก $3,105.44 \pm 41.50$ GAE มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 ลิตร และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเท่าวิตามินซีเท่ากับ 0.21 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ทำการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อไวรัสโควิด-19 รูปแบบสเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์ที่ผสมด้วยสารเพิ่มความชุ่มชื้นและสารสกัดจากดอกขลุ่ จากการทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์พบว่าผู้เข้าร่วมทดสอบทั้ง 20 คนที่มีสุขภาพดีชื่นชอบผลิตภัณฑ์ที่แห้งเร็ว สบายผิวไม่เหนียวเหนอะหนะ ไม่ทำให้ผิวแห้ง ผลิตภัณฑ์สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์นอกจากมีวัตถุประสงค์สำหรับฆ่าเชื้อไวรัสโควิด-19 แล้วยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ: ดอกไม้กินได้ สารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม ดอกขลุ่ สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์ โควิด-19

Abstract

The aim of this study was to evaluate the total antioxidant capacity (TAC) from Khlu's flower (*Pluchea indica* (L.) Less.) extract, which is an edible flower in Thailand. The extract was used to develop as an antioxidant ingredient for the Covid-19 sanitizer. The flower was collected from Phanthai Norasing, Samut Songkhram Province. The blossom sample was extracted with propylene glycol for 3 days and then the total phenolic compound was determined by the FCR method. The TAC was also assessed by the DPPH assay. The result showed that the total phenolic compound of the extract was at $3,105.44 \pm 41.50$ GAE mg/ L of extract whereas the TAC from the flower extract was found to be at 0.21 ± 0.02 equivalent vitamin C/mL. The antioxidant flower extract was developed as a semi-gel alcohol-based product for the Covid-19 disinfectant. According to the sensory evaluation from 20 healthy subjects, the developed product was accepted not only for the disinfection but also as comfortable skin, not sticky, and moisturizer for dry skin with extraordinary antioxidant properties.

Keywords: Edible flower, total antioxidant capacity, Khlu's flower, semi-spray gel alcohol, COVID-19

1. บทนำ

ประเทศไทยอุดมไปด้วยดอกไม้มีนาพรรณหลายชนิด และเป็นที่รู้จักลักษณะเป็นไม้ดอกไม้ประดับ เนื่องจากกลิ่นหอม สีสันที่สวยงาม อย่างไรก็ตาม ดอกไม้หลากหลายชนิดเหล่านั้นยังอุดมไปด้วยพิษเคมีที่มีประโยชน์และมีสรรพคุณที่ดีต่อ

สุขภาพ ทั้งในรูปแบบของการนำมารับประทาน หรือเป็นส่วนประกอบของเครื่องสำอาง เนื่องจากมีองค์ประกอบสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ [1-3] จากการสำรวจพบว่าในหลายพื้นที่ เช่น จังหวัดสมุทรสาคร สมุทรสงคราม และกรุงเทพมหานครในบางพื้นที่ที่มีน้ำกร่อยหรือใกล้เคียงกับป่าชายเลนจะมีพืชอยู่ชนิดหนึ่งขึ้นข้างทางเป็นจำนวนมากคือ ต้นขลุ้ (ภาพที่ 1) ปัจจุบันใบขลุ้ได้นำมาอบเป็นสมุนไพรแห้งซึ่งมีออกจำหน่ายเนื่องจากสรรพคุณในการลดน้ำตาลและความดัน [4] แต่ดอกขลุ้ยังไม่ได้มีการศึกษาและพัฒนาให้เกิดประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่าซึ่งดอกขลุ้จะออกประจำสม่ำเสมอและมีปริมาณมากและถูกตัดทิ้ง เมื่อต้องการเฉพาะส่วนใบ ภาพที่ 1 (ข) แสดงดอกขลุ้ ซึ่งมีลักษณะสีขาว



(ก) (ข)
ภาพที่ ดอกขลุ้ (ภาพโดย สิริรัตน์ พานิช, 2563)

จากการศึกษางานวิจัยหลายๆ งานที่ได้ตีพิมพ์ในวารสารพบว่าใบขลุ้มีสรรพคุณอันหลายหลายได้แก่ ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าสารสกัดในสารละลายเมทานอล มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงโดยมีค่า ($IC_{50} = 24.45 \pm 0.34 \mu\text{g/mL}$) โดยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assays reactivity (FCR) ทั้งหมดเท่ากับ ($573.52 \pm 6.2 \text{ mg GAE}/100 \text{ g crude extract}$) นอกจากนี้ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระแล้วสารสกัดของใบขลุ้ในเอทานอลยังมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* และ *Salmonella typhimurium* ที่ 0.16, 0.16 และ 0.32 mg/mL MICs ตามลำดับ [5]

ตั้งแต่ต้นปี พ.ศ.2563 ทั่วโลกเผชิญกับการระบาดอย่างรุนแรงของไวรัสโควิด-19 มีประชากรจำนวนหลายล้านคนติดเชื้อและอัตราการเสียชีวิตเพิ่มขึ้น ทำให้มีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่สามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพในท้องตลาดเป็นอย่างสูง โดยเฉพาะสเปรย์หรือเจลแอลกอฮอล์ อย่างไรก็ตาม การใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวซึ่งมีส่วนประกอบเป็นแอลกอฮอล์บ่อย ๆ ครั้ง จะทำให้เกิดผลกระทบต่อผิวหนัง เช่น การระคายเคือง การอักเสบ อาการคัน แห้ง แพ้ ซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคผิวหนัง นอกจากนี้การใช้สูตรในการผลิตที่รุนแรงหรือใช้ส่วนผสมที่ไม่เหมาะสมยิ่งโดยเฉพาะเจลแอลกอฮอล์ยังทำให้เกิดความเหนียวเหนอะหนะ และไม่สบายผิวหลังจากการใช้เป็นเวลานาน เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ หลายๆ คนอาจจะปรับเปลี่ยนไปใช้สเปรย์แอลกอฮอล์แทนซึ่งอาจไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมมากนัก เนื่องจากการทำลายเชื้อไวรัสโควิด-19 จะต้องใช้เวลาในการสัมผัสอย่างน้อย 30 วินาที ดังนั้น ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์จะต้องประหยัดเร็วจนเกินไป เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์ที่ผสมด้วยสารเพิ่มความชุ่มชื้นและสารสกัดจากดอกขลุ้ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการสกัดดอกขลุ้ โดยทำการเก็บดอกขลุ้ คัดเฉพาะส่วนดอก ชั่งน้ำหนัก 5 g สกัดด้วยโพรไพลีน ไกลคอล (propylene glycol) 20 mL เป็นเวลา 3 วัน นำเข้าเครื่องเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,000 rpm เพื่อแยกกากและสารสกัด นำสารสกัดที่ได้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธี FCR และประเมินฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี FCR อ้างอิงจากวิธีมาตรฐานของ ISO14502-1 (Determination of substances characteristic of green and black tea part 1: content of total polyphenols in tea-colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent) โดยสารละลาย Folin ciocalteu reagent 10%v/v และสารละลาย Sodium carbonate ($37.5095 \text{ g}/500 \text{ mL}$) สารละลายกรดแกลลิก ($0.110 \text{ g}/100 \text{ mL}$) เตรียมเป็นความเข้มข้นต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นกรดแกลลิก

| ขวดที่ | ปริมาตร (mL) | ความเข้มข้น (as gallic equivalent) |
|--------|--------------|------------------------------------|
| A | 1 | 11 |
| B | 2 | 22 |
| C | 3 | 33 |
| D | 4 | 44 |
| E | 5 | 55 |

ขั้นตอนการทดลองหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี FCR โดยเติมสารเคมี A-E และน้ำกลั่นเพื่อทำเป็น blank ในแต่ละหลอดทดลองอย่างละ 1 mL จากนั้น เติมสารละลาย Folin ciocalteu reagent 5 mL เขย่าจับเวลา 5 นาที แล้วเติมสารละลาย Na_2CO_3 ปริมาตร 4 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้าถึงสีน้ำเงินตามปริมาณของฟีนอลิก แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-vis 1800, Shimadzu, Japan)

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH โดยวิธีวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนสูงสุด (λ_{max}) ของสารละลายแอสคอร์บิก 50 μL ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (0, 10, 20, 40, 60, 100 ppm) ในสารละลาย DPPH 2.95 mL คนสารละลาย 15 วินาที ทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืดแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

สารสกัดจากดอกขลุ่หลังสกัดด้วยโพไพลีนไกลคอล เป็นระยะเวลา 3 วัน แสดงดังภาพที่ 2

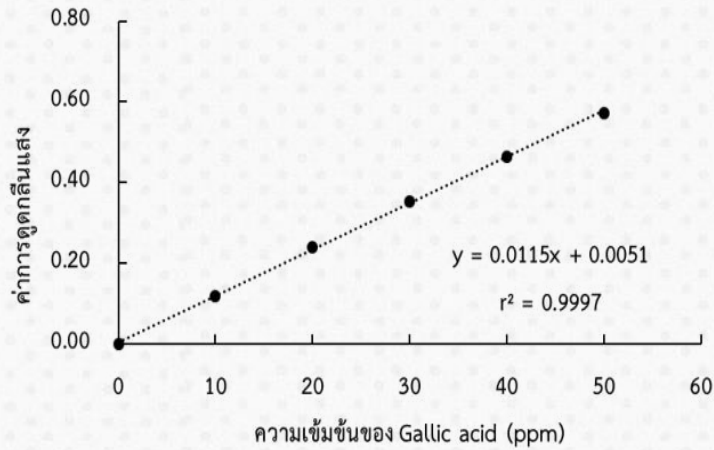


ภาพที่ 2 สารสกัดจากดอกขลุ่ (ภาพโดย สิริรัตน์ พานิช, 2563)

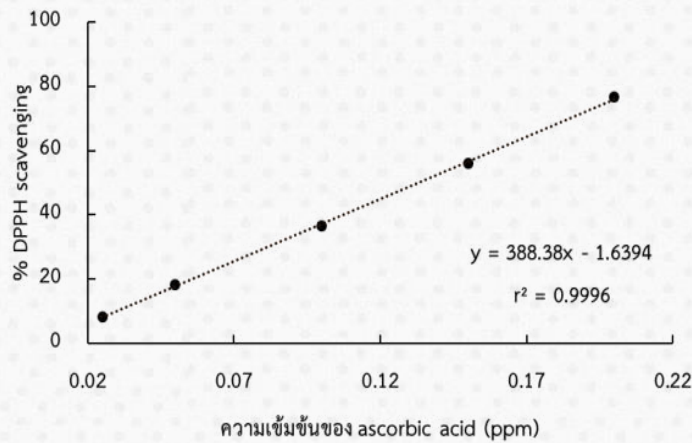
ผลของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกขลุ่โดยวิธี FCR และวิธี DPPH โดยการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทำการเทียบกับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแกลลิก (ภาพที่ 3) และกรดแอสคอร์บิก (ภาพที่ 4) ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 2

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวมและสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดดอกขลุ่ พบว่าสารสกัดดอกขลุ่มีปริมาณสารฟีนอลิกรวมสารต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ $3,105.44 \pm 41.50$ mgGAE/L และ 0.21 ± 0.02 equivalent vitamin C/mL ตามลำดับ จากผลความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกขลุ่สอดคล้องกับรายงานวิจัยพบว่าใบขลุ่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ โดยใบขลุ่ 100 กรัมมีกรดคลอโรจีนิก 20 มิลลิกรัม กรดคาเฟอิก 8.65 มิลลิกรัม และเคอร์ซีติน 5.21 มิลลิกรัม [6] นอกจากนี้แล้วได้มีรายงานทางเภสัชวิทยาหลายฉบับยืนยันฤทธิ์ทางชีวภาพของใบขลุ่ สารสกัดจากใบขลุ่ด้วยการแช่ในเอทานอลเข้มข้น 70% เป็นเวลา 2 วัน พบว่า มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ

เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานวิจัยของ Ratanaphadit & Palakas [7] พบว่าสารสกัดใบขลุ่ที่สกัดด้วยเอทานอล ร้อยละ 70 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมเท่ากับ 59.92 mgGAE/กรัมสารสกัด และ 36.76 mgQE/กรัมสารสกัด ตามลำดับ ส่วนสารสกัดใบขลุ่ที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 90 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมต่ำกว่า



ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานของกรดแกลลิกด้วยวิธี FCR



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานของกรดแอสคอร์บิกด้วยวิธี DPPH

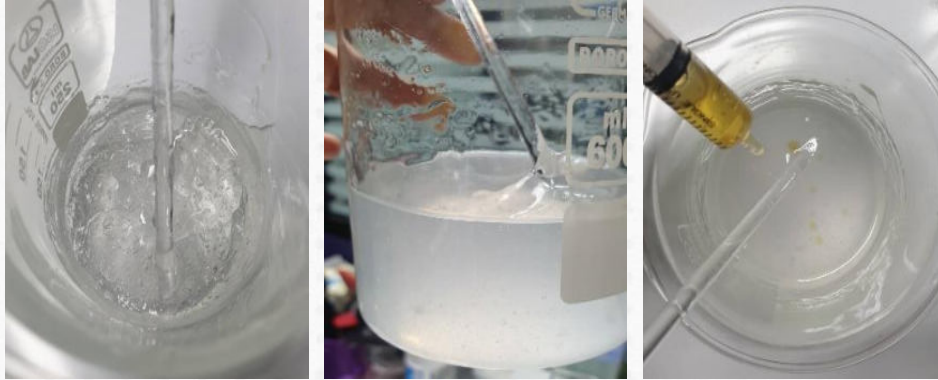
ตารางที่ 2 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกขลุ่

| วิธี | ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ |
|------|-----------------------------------|
| FCR | 3,105.44±41.50 GAE mg/L |
| DPPH | 0.21±0.02 equivalent vitamin C/mL |

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อโควิด-19 จากสารสกัดดอกขลุ่ โดยการพัฒนาสูตรจะมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตวงน้ำดอกกุหลาบ (flower water) แท้ 100% ปริมาตร 40.0 mL
- 2) ชั่งสารทำเจล 1.500 g
- 3) ค่อย ๆ โรยสารทำเจลลงไปใต้น้ำดอกกุหลาบพร้อมกับคนจนได้เจล
- 4) ค่อยเติมเอทานอลปริมาตร 200.0 ml โดยการเติมช้าพร้อมคนตลอดเวลา
- 5) เติมสารสกัดของดอกขลุ่ปริมาตร 5.0 ml
- 6) เติมวิตามินอี 0.25 ml คนให้เข้ากัน

การพัฒนาสูตรจะใช้สารสร้างเนื้อเจลที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์เพื่อให้ตัวผลิตภัณฑ์ไม่ระเหยเร็วเกินไปและในขณะเดียวกันก็ไม่เหนียว และทำให้รู้สึกไม่สบายผิวแบบเจลแอลกอฮอล์ ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ลักษณะของเจลจากสารสร้างเจลที่ละลายในไฮโดรโซลดอกกุหลาบ (ซ้าย) ก่อนเติมแอลกอฮอล์เพื่อให้มีลักษณะเป็นสเปรย์กึ่งเจล (กลาง) และเติมสารสกัดจากดอกขลุ่ยและวิตามินอีเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น บำรุงผิวและต้านอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบความแตกต่างของสเปรย์แอลกอฮอล์ 75% v/v (ซ้าย) และสเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์ที่พัฒนาขึ้น (ขวา)

4. บทสรุป

จากผลการทดสอบความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์สเปรย์กึ่งเจลแอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อโควิด-19 จากสารสกัดดอกขลุ่ยทั้ง 6 หัวข้อได้แก่ สี กลิ่น ความหนืด ความชุ่มชื้นของผิว ความสบายของผิวหลังการใช้ และความชอบโดยรวม โดยจากคะแนนพบว่าผู้เข้าร่วมทดสอบมีความชื่นชอบให้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีสี โดยมีส่วนน้อยที่อยากให้มีการเติมสีผสมอาหารลงไป ส่วนความชอบในเรื่องของกลิ่นมีความแตกต่างกันออกไป โดยจากการสัมภาษณ์และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมพบว่าส่วนมากชอบกลิ่นของผลิตภัณฑ์ ส่วนกลุ่มที่ไม่ชอบมักจะเป็นผู้ชาย ความหนืดของผลิตภัณฑ์เป็นที่ชื่นชอบถึงชื่นชอบมาก และผลการทดสอบพบว่าผู้เข้าร่วมทดสอบชอบมากเกี่ยวกับความชุ่มชื้นของผิวหลังใช้ผลิตภัณฑ์ จุดเด่นของผลิตภัณฑ์นี้คือความสบายผิว ซึ่งจะเป็นว่าผู้เข้าร่วมทดสอบชอบความสบายผิวของผลิตภัณฑ์เป็นพิเศษ เช่นเดียวกับความชอบโดยรวม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Ketsuwan, J. Leelarungrayub, S. Kothan, S. Singhatong, Antioxidant compounds and activities of the stem, flower, and leaf extracts of the anti-smoking Thai medicinal plant: *Vernonia cinerea* Less. *Drug Des. Devel. Ther.* 11(2017)383–391.
- [2] พัชรี สิริตระกูลศักดิ์, ประสิทธิ์ ชุตติชุต, เบญจวรรณ ชุตติชุต, มาระตรี เปลี่ยนศิริชัย, เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง. กิจกรรมสารต้านอนุมูลอิสระของดอกไม้กินได้ 15 ชนิด ในจังหวัดมหาสารคาม. *แก่นเกษตร.* 41(2556)607–611.
- [3] S. Yommarat, K. Jamjang. การผลิตข้าวเสริมสารต้านอนุมูลอิสระจากดอกไม้กินได้ 5 ชนิด. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 3, 2559, 382–390.
- [4] อรทัย เนียมสุวรรณ, นฤมล เสงี่ยมนธ์, กรรณก ยิ่งเจริญ, พัชรินทร์ สิงห์ดำ. พฤกษศาสตร์พื้นบ้านของพืชกินได้จากป่าชายเลนและป่าชายหาด บริเวณคาบสมุทรสทิงพระ จังหวัดสงขลา. *ว.วท.มข.* 40(2555)981-991.

- [5] ขวัญจิต อิศระสุข และคณะ. การเตรียมไลโปโซมกักเก็บสารสกัดจากใบขลุ่ยเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง. *SDU Res. J.* 10(2017)43-60.
- [6] N. Andarwulan, D. Kurniasih, R.A. Apriady, H. Rahmat, A.V. Roto, B.W. Bolling. Polyphenols, carotenoids and ascorbic acid in underutilized medicinal vegetables. *J. Funct. Foods*, 4(2012)339-347. doi:10.1016/j.jff.2012.01.003.
- [7] K. Ratanaphadit, S. Palakas. Determination of pharmaceuticals property of indian marsh fleabane leaf and effect of storage time on bioactive potential. Burapha University. 2013.

การศึกษาการสลายตัวของแพลทินัมในสารละลายกรดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

Understanding of Platinum Dissolution in Acidic Media using Cyclic Voltammetry

เพ็ญยศ วงษ์บัวงาม^{1*} และ รพีพล อินสุพรรณ¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

*Email: Poemyot.w@srru.ac.th

บทคัดย่อ

การสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลทินัมเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิง โดยเฉพาะเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ใช้โลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการศึกษาส่วนใหญ่จะใช้วิธีการวัดน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าโลหะ Pt ที่หายไปพร้อมกับการจ่ายศักย์ไฟฟ้าเป็นวงรอบ เช่น การใช้เทคนิคการวัดทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี ซึ่งเป็นเทคนิคที่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิคพื้นฐานทางเคมีไฟฟ้าคือเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีเพื่อศึกษาการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt ซึ่งผลการทดลองทำให้ทราบถึงกลไกของปฏิกิริยาการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt และสามารถคำนวณหาปริมาณอะตอมของ Pt ที่สลายตัวได้

คำสำคัญ: การสลายตัวของแพลทินัม ขั้วไฟฟ้าแพลทินัม ไซคลิกโวลแทมเมตรี เซลล์เชื้อเพลิง

Abstract

Dissolution of Pt electro-catalysts has been a major limitation in fuel cells, especially in proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs). Typical investigations of Pt dissolution were performed by measuring the weight loss of Pt electrode during the potential scan; for example, time-resolved electrochemical measurement coupled to an inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS). However, such technique is expensive and requires high investment costs for maintenance. This article presented a simple electrochemical method, cyclic voltammetry, for study the Pt dissolution in acidic media. This method was successful on the interpretation of the degradation mechanism and quantitative determination of the dissolved Pt atoms.

Keywords: Pt dissolution, Pt electrode, cyclic voltammetry, fuel cell

1. บทนำ

ในปัจจุบัน เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cells; PEMFCs) เป็นแหล่งพลังงานที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงในการเปลี่ยนพลังงานเคมีที่กักเก็บอยู่ในเชื้อเพลิงไฮโดรเจนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า [1-3] เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนได้รับการพัฒนาจนสามารถนำไปใช้ทางการค้าโดยเป็นแหล่งพลังงานในยานพาหนะได้ [4] แต่อย่างไรก็ตามเซลล์เชื้อเพลิงยังต้องได้รับการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนการผลิตและยืดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้แพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (platinum (Pt)-based electrocatalysts) ข้อจำกัดหลัก ๆ ของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทนี้คืออัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเจนรีดักชัน (oxygen reduction) ที่ขั้วแคโทด (cathode) ที่ช้ากว่าปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด (anode) และความคงทนของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt [5] ข้อจำกัดข้อแรกได้รับการแก้ไขอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันโดยการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของโลหะผสมของ Pt (Pt-

based alloys) [6-11] แต่ข้อจำกัดเรื่องการเสื่อม (degradation) ของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ยังคงเป็นปัญหาหลักของการพัฒนาเซลล์เชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่จึงยังไม่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบตัวเร่งปฏิกิริยาได้ [12-16]

การเสื่อมของตัวเร่งปฏิกิริยา Pt ที่ช้าแคโทดเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชัน (electro-oxidation) และปฏิกิริยาการสลายตัว (dissolution) ของ Pt ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีความซับซ้อน [17] และเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของขั้วไฟฟ้าที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบอื่นของเซลล์เชื้อเพลิง เช่น เยื่อแลกเปลี่ยนไอออนและตัวรับกระแส (current collector) การศึกษาการสลายตัวของ Pt โดยทั่วไปจะทำการวัดน้ำหนักของ Pt ที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้า เช่น การใช้เทคนิคการวัดทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับเทคนิคแมสสเปกโตรเมตรี (mass spectrometry) [18] เทคนิค electrochemical scanning flow cell (SFC) ร่วมกับ inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) [19] เทคนิคอิเล็กโทรเคมีควอตซ์-คริสตัล นาโนบาลานซ์ (electrochemical quartz-crystal nanobalance; EQCN) [20] และการใช้การคำนวณด้วยทฤษฎีฟังก์ชันนัลความหนาแน่น (density functional theory; DFT) [21,22] ซึ่งเป็นเทคนิคที่ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูงที่มีราคาแพง มีขั้นตอนในการวิเคราะห์ซับซ้อน และใช้เวลาในการวิเคราะห์และเตรียมตัวอย่างค่อนข้างนาน

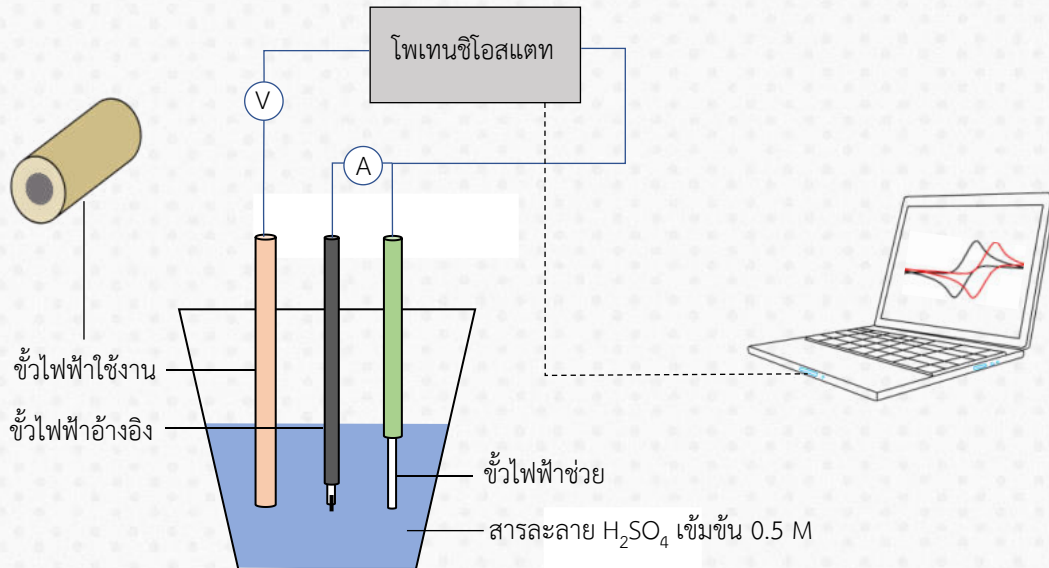
ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคพื้นฐานทางเคมีไฟฟ้าคือเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (cyclic voltammetry) โดยการจ่ายศักย์ไฟฟ้าในลักษณะเป็นรอบ (cycle) ไปที่ขั้วไฟฟ้าแล้ววัดกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมาใช้ในการศึกษาการสลายตัวของ Pt ในสารละลายกรด ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่มีความซับซ้อน การเตรียมเซลล์เคมีไฟฟ้าไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาในการวัดไม่นานและง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยในการศึกษานี้ใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากในสารละลายนี้จะให้กราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรม (cyclic voltammogram) ที่ชัดเจน สามารถระบุตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และนำมาใช้หาค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสะสมสำหรับการเกิดออกไซด์ (accumulated charge associated with Pt oxidation; Q_{PtO}) ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยการอินทิเกรตกราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของ Pt และช่วงที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันของแพลทินัมออกไซด์ (PtO) โดยใช้โปรแกรม GPES ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับควบคุมการจ่ายศักย์ไฟฟ้าและวัดกระแสไฟฟ้าในเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี เพื่อนำมาวิเคราะห์การสลายตัวของ Pt ในตัวกลางที่มีสภาพเป็นกรด

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าประกอบด้วย เครื่องโพเทนชิโอสแตท รุ่น AutoLab PSTAT30 ทำงานร่วมกับโปรแกรม GPES (บริษัท Eco Chemie BV, ประเทศเนเธอร์แลนด์) เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้เป็นแบบ 3 ขั้วไฟฟ้า (ภาพที่ 1) ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าใช้งาน (working electrode) เป็นแผ่นโลหะ Pt ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm (บริษัท Metrohm, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) สร้างขึ้นจากแท่งโลหะ Pt หุ้มด้วยฉนวนให้เหลือพื้นผิวของ Pt เฉพาะบริเวณหน้าตัด (แสดงในภาพที่ 1) แท่งโลหะ Pt (บริษัท Metrohm, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) ถูกใช้เป็นขั้วไฟฟ้าช่วย (auxiliary electrode) และใช้ขั้วไฟฟ้า $Ag/AgCl$ ในสารละลาย KCl เข้มข้น 3.0 M (บริษัท Metrohm, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (reference electrode) แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นขั้วไฟฟ้าชนิด $Ag/AgCl$ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่รายงานในการศึกษานี้ได้ถูกเปลี่ยนเป็นค่าที่อ้างอิงกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดไฮโดรเจน (Reference Hydrogen Electrode; RHE) เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงกับงานวิจัยอื่นและทำการทดลองที่อุณหภูมิ $25\text{ }^{\circ}C$ สารละลายกรดซัลฟิวริกถูกใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยเตรียมจากกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 18 M (เกรดงานวิเคราะห์ บริษัท Merck, เยอรมนี) เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) จนได้สารละลายเข้มข้น 0.5 M นำสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 M ใส่ในถ้วยแก้วแล้วเป่าแก๊สอาร์กอน 99.995% (บริษัท R.B. Gases จำกัด, ประเทศไทย) ลงไปเป็นเวลา 30 นาทีก่อนทำการทดลองและระหว่างการทดลองเพื่อไม่ให้โมเลกุลของแก๊สต่าง ๆ ในอากาศปนเปื้อนลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าทั้งสามมาต่อลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ดังแสดงในภาพที่ 1

ทำการขจัดสิ่งปนเปื้อนบนขั้วไฟฟ้าใช้งานโดยจ่ายศักย์ไฟฟ้า (potential, E) ด้วยเครื่องโพเทนชิโอสแตทแก่ขั้วไฟฟ้าใช้งาน Pt ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า $0.04 - 1.44\text{ V}$ (anodic scan) และจาก $1.44 - 0.04\text{ V}$ (cathodic scan) ซึ่งเป็นช่วงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างการเกิดแก๊สไฮโดรเจน (0.00 V) และการเกิดแก๊สออกซิเจน (1.5 V) เป็นวงรอบจำนวน 100 รอบ ด้วยอัตราเร็วในการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 mV/s ซึ่งเหมาะสมกับอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า ทำให้ลดความ

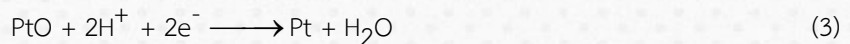
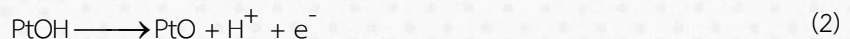
คลาดเคลื่อนของการอินทิเกรตกราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรม หลังจากได้กราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทำการจ่าย ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าใช้งาน Pt เป็นวงรอบที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 0.40 V ถึงขีดจำกัดบนของความต่างศักย์ไฟฟ้า (upper potential limits; E_{limit}) ต่าง ๆ ได้แก่ 0.90, 0.95, 1.00, 1.05, 1.10, 1.15 และ 1.20 V (ภาพที่ 3) เพื่อศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าต่อการสลายตัวของ Pt



ภาพที่ 1 เซลล์เคมีไฟฟ้าชนิด 3 ขั้วไฟฟ้าและการติดตั้งกับเครื่องโพเทนชิโอสแตท

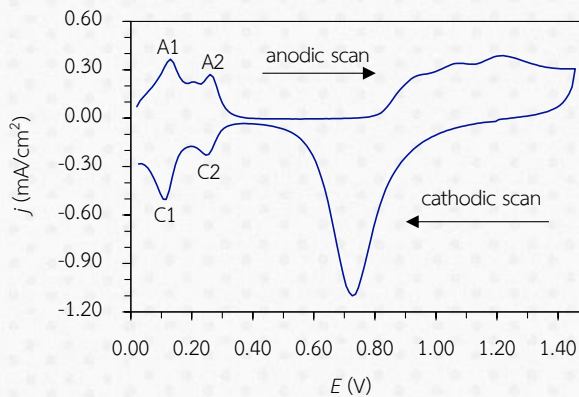
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

กราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าใช้งาน Pt ชนิดโพลีคริสตัลในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 M แสดงในภาพที่ 2 จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีบริเวณที่มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density, j) เกิดขึ้น 2 บริเวณ ได้แก่ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.04 – 0.40 V และที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.40 – 1.44 V สำหรับกราฟความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.04 – 0.40 V พบว่ามีลักษณะเป็นคู่ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.12 (จุดสูงสุด A1 และ C1) และ 0.26 V (จุดสูงสุด A2 และ C2) ซึ่งสอดคล้องกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (E^0) ของปฏิกิริยาการดูดซับของไฮโดรเจน [23-25] ในขณะที่กราฟความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.80 – 1.44 V ทางด้าน anodic scan สอดคล้องกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Pt ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) [26,27] ส่วนกราฟความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.72 V ทางด้าน cathodic scan เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Pt หรือปฏิกิริยารีดักชันของ PtO ดังแสดงในสมการที่ (3) [20,28]

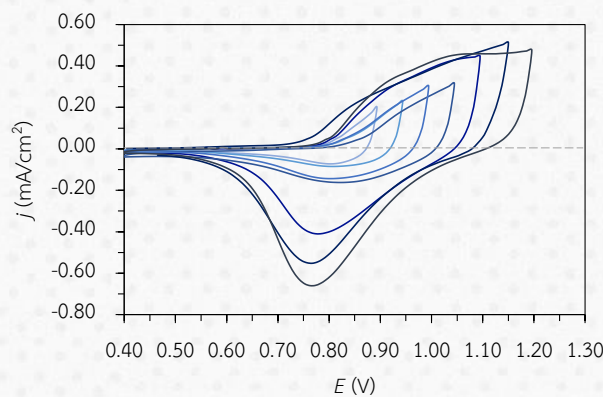


เมื่อจ่ายศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ 0.40 V จนถึงค่า E_{limit} ตั้งแต่ 0.90 ถึง 1.20 V จะได้กราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมดังภาพที่ 3 หากทำการอินทิเกรตกราฟจนถึงเส้นฐาน (เส้นประในภาพที่ 3) แล้วหารด้วยอัตราเร็วในการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (scan rate, ในการศึกษาที่เท่ากับ 50 mV/s) จะได้ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้า (Q) ดังแสดงในสมการที่ (4) ดังนั้นเมื่ออินทิเกรตกราฟในส่วนของพีคด้าน anodic scan และ cathodic scan แล้วหารด้วยอัตราเร็วในการเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะได้ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการเกิดออกไซด์ (Q_{PtO}) และความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการกำจัดออกไซด์ (Q_{Pt}) ตามลำดับ

$$Q = \frac{1}{\nu} \int (j - j_{DL}) dE \quad (4)$$



ภาพที่ 2 กราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมของโลหะ Pt ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 M ที่อุณหภูมิ 25 °C



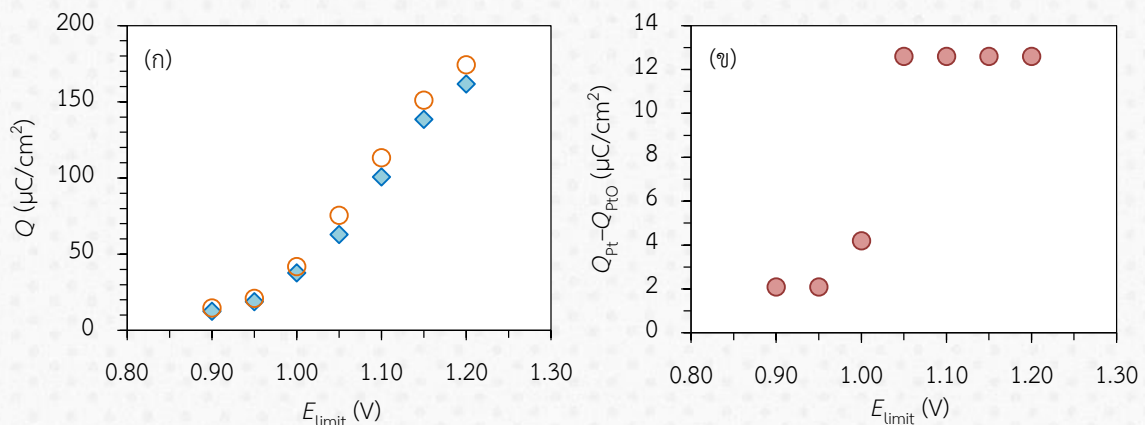
ภาพที่ 3 กราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Pt และปฏิกิริยารีดักชันของ PtO ที่ค่า E_{limit} ต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C

เมื่อ j คือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (mA/cm^2) ν คืออัตราเร็วในการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า (mV/s) E คือความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้า (V) และ j_{DL} คือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยารีดอกซ์ (non-Faradaic current density) ในการคำนวณนี้ได้ประมาณค่า $j_{DL} = 0$ หากมีการเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะทำให้ค่า j และ j_{DL} เปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกัน ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จึงมีผลต่อค่า Q น้อยมาก ภาพที่ 4(ก) แสดงค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการเกิดออกไซด์ (Q_{PtO}) และความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการกำจัดออกไซด์ (Q_{Pt}) ที่ E_{limit} ต่าง ๆ จากกราฟพบว่าเมื่อ E_{limit} เพิ่มขึ้น Q_{PtO} จะมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้า Pt จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Pt หรือเกิดการดูดซับของ oxygenate species (OH^- และ O^{2-}) มากขึ้นตามสมการที่ (1) และ (2) ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค EQCN [20] และสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของเศษส่วนปกคลุมผิว (fractional surface coverage) ของ OH^- และ O^{2-} [29] ในขณะเดียวกันที่ E_{limit} สูงขึ้นก็ต้องใช้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการกำจัดออกไซด์ (Q_{Pt}) มากขึ้นเช่นกัน

จากกราฟ Q_{PtO} และ Q_{Pt} ที่ E_{limit} ต่าง ๆ ในภาพที่ 4(ก) พบว่า Q_{Pt} จะมีค่ามากกว่า Q_{PtO} นั่นคือใน cathodic scan มีการใช้ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการกำจัดออกไซด์มากกว่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการเกิดออกไซด์ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้าส่วนเกินดังกล่าวเกี่ยวข้องกับการสลายของขั้วไฟฟ้า Pt ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการสลายของโลหะ Pt เกิดขึ้นเมื่อมีการลดความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า (cathodic scan) ซึ่งเป็นด้านที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน สอดคล้องกับผลการทดลองที่วัดปริมาณการสลายของโลหะ Pt ด้วยเทคนิค inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS) ในขณะที่มีการจ่ายศักย์ไฟฟ้า [5,18,30] ซึ่งไม่สอดคล้องกับปฏิกิริยาการสลายของโลหะ Pt ที่ถูกเสนอก่อนหน้านี้ที่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน (เกิดด้าน anodic scan) ดังแสดงในสมการที่ (5) [31,32]



ซึ่งอธิบายได้ว่าการสลายตัวของโลหะ Pt เกี่ยวข้องกับการเกิดออกไซด์ของโลหะ Pt กล่าวคือจากสมการที่ (1) และ (2) เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้า Pt จะเกิดการดูดซับของ OH⁻ และ O²⁻ บนพื้นผิวของโลหะ Pt อะตอมของออกซิเจนบางส่วนจะแทรกเข้าไปในพื้นผิวของ Pt แล้วเหนี่ยวนำให้เกิดอะตอมของ Pt ที่ถูกออกซิไดซ์ (oxidized Pt atoms) ซึ่งเป็นอะตอมที่ไม่เสถียร [30] เมื่อมีการลดความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า (cathodic scan) ทำให้ OH⁻ และ O²⁻ ที่ดูดซับบนผิวของโลหะ Pt รวมถึงอะตอมของ Pt ที่ถูกออกซิไดซ์หลุดออกจากขั้วไฟฟ้าและละลายลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยปริมาณของอะตอมของ Pt ที่ถูกออกซิไดซ์หรือปริมาณการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt สามารถหาได้จากผลต่างระหว่าง Q_{PtO} และ Q_{Pt} (Q_{Pt}-Q_{PtO}) ดังแสดงในภาพที่ 4(ข) โดยพบว่าขั้วไฟฟ้า Pt มีการสลายตัวต่ำสุดเท่ากันที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 0.90 และ 0.95 V เมื่อเพิ่ม



ภาพที่ 4 (ก) ผลของ E_{limit} ต่อ Q_{PtO} (◆) และ Q_{Pt} (○) และ (ข) ผลของ E_{limit} ต่อ Q_{Pt}-Q_{PtO} ที่อุณหภูมิ 25 °C

ตารางที่ 1 จำนวนอะตอมของ Pt ที่สลายตัวไปที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

| E _{limit} (V) | จำนวนอะตอมของ Pt ที่สลายตัวไป (atom/cm ²) ที่อุณหภูมิ 25 °C |
|------------------------|--|
| 0.90 | 1.3 × 10 ¹³ |
| 0.95 | 1.3 × 10 ¹³ |
| 1.00 | 2.6 × 10 ¹³ |
| 1.05 | 7.8 × 10 ¹³ |
| 1.10 | 7.8 × 10 ¹³ |
| 1.15 | 7.8 × 10 ¹³ |
| 1.20 | 7.8 × 10 ¹³ |

ความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้าเป็น 1.00 และ 1.05 V ปริมาณการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt จะเพิ่มขึ้นและคงที่จนถึงความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 1.20 V แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt ในเทอม Q_{Pt}-Q_{PtO} สามารถนำมาคำนวณหาจำนวนอะตอมของ Pt ที่สลายตัวไป โดยอาศัยค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้าอิมมิตสำหรับการเกิดรีดักชันของ Pt (210 μC/cm²) และความหนาแน่นอะตอมของพื้นผิว Pt ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (1.3 × 10¹⁵ atom/cm²) [29] ดังแสดงในตารางที่ 1

4. บทสรุป

เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีซึ่งเป็นเทคนิคพื้นฐานทางเคมีไฟฟ้าสามารถนำมาใช้ศึกษาการสลายตัวของขั้วไฟฟ้าโลหะ Pt ในสารละลายกรดได้โดยไม่ต้องอาศัยการวัดน้ำหนักของขั้วไฟฟ้าที่หายไปด้วยเทคนิคแมสสเปกโทรเมตรี ปริมาณการ

สลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt สามารถคำนวณได้จากผลต่างของความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการกำจัดออกไซด์และความหนาแน่นประจุไฟฟ้าสำหรับการเกิดออกไซด์ ($Q_{Pt} - Q_{PtO}$) โดยพบว่าการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt จะเกิดขึ้นเมื่อมีการลดความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า (cathodic scan) โดยเป็นการสลายตัวของอะตอม Pt ที่ถูกออกซิไดซ์ที่ไม่เสถียร และปริมาณการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt จะเพิ่มขึ้นเมื่อขีดจำกัดบนของความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 0.90 ถึง 1.05 V หลังจากนั้นปริมาณการสลายตัวของขั้วไฟฟ้า Pt จะคงที่จนถึง 1.20 V นอกจากนี้ผลการทดลองด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรียังสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนอะตอมของ Pt ที่สลายตัวไปต่อพื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าได้อีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ในการอำนวยความสะดวกด้านสิ่งสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. A. Turner, Sustainable hydrogen production. *Science*. 305(2004)972–974.
- [2] V. R. Stamenkovic, D. Strmcnik, P. P. Lopes, N. M. Markovic, Energy and fuels from electrochemical interfaces. *Nature Materials*. 16(2016)57–69.
- [3] U. Eberle, R. Von Helmolt, Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview. *Energy & Environmental Science*. 3(2010)689–699.
- [4] T. Yoshida, K. Kojima, Toyota MIRAI fuel cell vehicle and progress toward a future hydrogen society. *Electrochemical Society Interface*. 24(2015)45–49.
- [5] P. P. Lopes, D. Li, H. Lv, C. Wang, D. Tripkovic, Y. Zhu, R. Schimmenti, H. Daimon, Y. Kang, J. Snyder, N. Becknell, K. L. More, D. Strmcnik, N. M. Markovic, M. Mavrikakis, V. R. Stamenkovic, Eliminating dissolution of platinum-based electrocatalysts at the atomic scale. *Nature Materials*, 19(2020)1207-1214.
- [6] Y. Xu, A. V. Ruban, M. Mavrikakis, Adsorption and dissociation of O₂ on Pt– Co and Pt– Fe alloys. *Journal of the American Chemical Society*. 126(2004)4717-4725.
- [7] L. Bu, N. Zhang, S. Guo, X. Zhang, J. Li, J. Yao, T. Wu, G. Lu, J.-Y. Ma, D. Su, X. Huang, Biaxially strained PtPb/Pt core/shell nanoplate boosts oxygen reduction catalysis. *Science*. 354(2016)1410-1414.
- [8] M. Li, Z. Zhao, T. Cheng, A. Fortunelli, C. Y. Chen, R. Yu, Q. Zhang, L. Gu, B. V. Merinov, Z. Lin, E. Zhu, T. Yu, Q. Jia, J. Guo, L. Zhang, W. A. Goddard III, Y. Huang, X. Duan, Ultrafine jagged platinum nanowires enable ultrahigh mass activity for the oxygen reduction reaction. *Science*. 354(2016)1414-1419.
- [9] I. E. L. Stephens, J. Rossmeisl, I. Chorkendorf, Toward sustainable fuel cells. *Science*. 354 (2016) 1378–1379.
- [10] R. Chattot, O. Le Bacq, V. Beermann, S. Kühl, J. Herranz, S. Henning, L. Kühn, T. Asset, L. Guétaz, G. Renou, J. Dmiec, P. Bordet, A. Pasturel, A. Eychmüller, T. J. Schmidt, P. Strasser, L. Dubau, F. Maillard, Surface distortion as a unifying concept and descriptor in oxygen reduction reaction electrocatalysis. *Nature materials*. 17(2018)827-833.
- [11] L. Wang, Z. Zeng, W. Gao, T. Maxson, D. Raciti, M. Giroux, X. Pan, C. Wang, J. Greeley., Tunable intrinsic strain in two-dimensional transition metal electrocatalysts. *Science*. 363(2019)870-874.
- [12] P. J. Ferreira, Y. Shao-Horn, D. Morgan, R. Makharia, S. Kocha, H. A. Gasteiger, Instability of Pt/C electrocatalysts in proton exchange membrane fuel cells: a mechanistic investigation. *Journal of the Electrochemical Society*. 152(2005)2256–2271.

- [13] R. Borup, J. Meyers, B. Pivovar, Y. S. Kim, R. Mukundan, N. Garland, et al., Scientific aspects of polymer electrolyte fuel cell durability and degradation. *Chemical reviews*. 107(2007)3904-3951.
- [14] K. J. Mayrhofer, S. J. Ashton, J. C. Meier, G. K. Wiberg, M. Hanzlik, M. Arenz, Non-destructive transmission electron microscopy study of catalyst degradation under electrochemical treatment. *Journal of Power Sources*. 185(2008)734-739.
- [15] K. J. Mayrhofer, J. C. Meier, S. J. Ashton, G. K. Wiberg, F. Kraus, M. Hanzlik, et al., Fuel cell catalyst degradation on the nanoscale. *Electrochemistry Communications*. 10(2008)1144-1147.
- [16] I. Takahashi, S. S. Kocha, Examination of the activity and durability of PEMFC catalysts in liquid electrolytes. *Journal of Power Sources*. 195(2010)6312-6322.
- [17] J. C. Meier, C. Galeano, I. Katsounaros, J. Witte, H. J. Bongard, A. A. Topalov, C. Baldizzone, S. Mezzavilla, F. Schüth, K. J. J. Mayrhofer, Design criteria for stable Pt/C fuel cell catalysts. *Beilstein journal of nanotechnology*. 5(2014)44-67.
- [18] P. P. Lopes, D. Strmcnik, D. Tripkovic, J. G. Connell, V. Stamenkovic, N. M. Markovic, Relationships between atomic level surface structure and stability/activity of platinum surface atoms in aqueous environments. *Acs Catalysis*. 6(2016)2536-2544.
- [19] A. Topalov, I. Katsounaros, M. Auinger, S. Cherevko, J. C. Meier, S. O. Klemm, K. J. J. Mayrhofer, Dissolution of platinum: limits for the deployment of electrochemical energy conversion?. *Angewandte Chemie International Edition*. 51(2012)12613-12615.
- [20] G. Jerkiewicz, G. Vatankhah, J. Lessard, M. P. Soriaga, Y. S. Park, Surface-oxide growth at platinum electrodes in aqueous H₂SO₄: Reexamination of its mechanism through combined cyclic-voltammetry, electrochemical quartz-crystal nanobalance, and Auger electron spectroscopy measurements. *Electrochimica Acta*. 49(2004)1451-1459.
- [21] D. Fantauzzi, J. E. Mueller, L. Sabo, A. C. T. van Duin, T. Jacob, Surface buckling and subsurface oxygen: atomistic insights into the surface oxidation of Pt(111). *ChemPhysChem*. 16(2015)2797-2802.
- [22] M. J. Eslamibidgoli, N. H. Eikerling, Atomistic mechanism of Pt extraction at oxidized surfaces: insights from DFT. *Electrocatalysis*. 7(2016)345-354.
- [23] A. Lasia, On the mechanism of the hydrogen absorption reaction. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 593(2006)159-166.
- [24] V. Climent, J. M. Feliu, Thirty years of platinum single crystal electrochemistry. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 15(2011)1297-1315.
- [25] J. Juodkazytė, B. Šebeka, S. Juodkazis, Reversible hydrogen evolution and oxidation on Pt electrode mediated by molecular ion. *Applied surface science*. 290(2014)13-17.
- [26] H. Angerstein-Kozłowska, B. E. Conway, W.B. A. Sharp, The real condition of electrochemically oxidized platinum surfaces: Part I. Resolution of component processes. *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*. 43(1973)9-36.
- [27] A. J. Appleby, Theory of Successive Electron Transfer Steps in Cyclic Voltammetry: Application to Oxygen Pseudocapacitance on Platinum. *Journal of The Electrochemical Society*. 120(1973)1205-1214.
- [28] R. V. Bucur, Structure of the Voltammograms of the Platinum-Black Electrodes: Derivative Voltammetry and Data Fitting Analysis. *Electrochimica Acta*. 129(2014)76-84.
- [29] Y. Liu, M. Mathias, J. Zhang, Measurement of platinum oxide coverage in a proton exchange membrane fuel cell. *Electrochemical and Solid-State Letters*. 13(2009)B1-B3.

- [30] A. A. Topalov, S. Cherevko, A. R. Zeradjanin, J. C. Meier, I. Katsounaros, K. J. J. Mayrhofer, Towards a comprehensive understanding of platinum dissolution in acidic media. *Chemical Science*. 5(2014)631-638.
- [31] W. Bi, T. F. Fuller, Modeling of PEM fuel cell Pt/C catalyst degradation. *Journal of Power Sources*. 178(2008)188-196.
- [32] E. F. Holby, D. Morgan, Application of Pt Nanoparticle Dissolution and Oxidation Modeling to Understanding Degradation in PEM Fuel Cells. *Journal of The Electrochemical Society*. 159(2012)B578-B591.

อิทธิพลของหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลและทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด

Influence of Epoxide Group in Epoxidized Natural Rubber on Improvement of Mechanical and Thermal Properties in Polylactic acid

กัลทิมา เซาร์ชาญชัยกุล^{1*} ปิยะพงษ์ ปานแก้ว¹ และ วิไลวรรณ สีนะกุล¹

¹สาขาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* Email: kantima.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่มีอยู่ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) ที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติทางกลและทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) โดยการใช้ยาง ENR เกรดทางการค้า คือ ENR25 และ ENR50 และมีการปรับเปลี่ยนปริมาณการเติมยาง ตั้งแต่ 0 ถึง 30 % โดยน้ำหนัก สำหรับขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบ PLA และยาง ENR ถูกผสมและขึ้นรูปด้วยเครื่องผสมระบบปิด และเครื่องอัดแรงดัน ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสมบัติของ PLA ถูกประเมินโดยการทดสอบแรงดึง แรงกระแทก และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิทรี (DSC) จากผลการทดลอง พบว่า การเติมยาง ENR มีผลทำให้สมบัติความทนแรงดึง ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิการเกิดผลึก และอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิดมีแนวโน้มค่าลดลง แต่เพิ่มความต้านทานแรงกระแทก ยาง ENR25 มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงแรงกระแทกมากกว่ายาง ENR50 ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพการเสริมการเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิดด้วยการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีแนวโน้มค่าลดลง

คำสำคัญ: พอลิแลคติกแอซิด ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อน

Abstract

This research work aimed to study the effect of the epoxide group in epoxidized natural rubber (ENR) on the mechanical and thermal properties of polylactic acid (PLA). ENR in commercial grades used is ENR25 and ENR50. ENR contents were varied from 0 to 30 wt%. For specimen preparation, PLA and ENR were melt-blended and sheet-formed by using an internal mixer and a compression molding machine, respectively. The changes in properties of PLA were estimated by tensile and impact testings and Differential Scanning Calorimetry (DSC) technique. The result revealed that the addition of ENR led to the decreases in tensile properties, glass transition temperature, cold crystallization temperature and melting point of PLA but enhanced impact resistance. ENR25 was effective for improving the impact strength more than ENR50. The content of the epoxide group in ENR suppressed the effectiveness of ENR for increasing the crystallization of PLA.

Keywords: Polylactic acid, epoxidized natural rubber, mechanical properties, thermal properties

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกได้กลายเป็นปัญหาที่ทั่วโลกเริ่มให้ความสำคัญมากยิ่งขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากขยะพลาสติกส่วนใหญ่เป็นขยะที่ย่อยสลายได้ยาก และมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยสหประชาชาติได้ประเมินว่าขยะพลาสติกที่ถูกปล่อยทิ้งลงสู่

มหาสมุทรที่มีปริมาณมากถึง 5-13 ล้านตันต่อปี [1] แนวทางทางหนึ่งสำหรับการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติก คือ การนำพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable) มาใช้ทดแทนพลาสติกทางการค้า (commodity plastics) ที่สังเคราะห์มาจากน้ำมันปิโตรเลียม พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็นหนึ่งในพลาสติกชีวภาพที่เป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดเป็นพลาสติกชีวภาพที่มีความแข็งแรง และมีความคงรูปร่างสูง แต่อย่างไรก็ตาม พอลิแลคติกแอซิดยังมีข้อด้อยในเรื่องของความเปราะ ความทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำ และมีราคาค่อนข้างสูง [2-4] ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงความเหนียว และความทนแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิดซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น การเติมสารพลาสติกไซเซอร์ [5-7] การนำพอลิแลคติกแอซิดมาผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น [8-9] และการเติมเฟสของยาง [10-11] สำหรับงานวิจัยนี้ต้องการเลือกใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) มาทำการปรับปรุงสมบัติความเปราะและความทนแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิดเนื่องจากยางธรรมชาติอีพอกไซด์เป็นยางที่ได้มาจากการดัดแปรยางธรรมชาติซึ่งมีปริมาณมากในประเทศไทย และคาดว่าหมู่อีพอกไซด์ (Epoxide Group) หรือวงแหวนออกซิเรน (oxirane ring) ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ของพอลิแลคติกแอซิดสามารถเกิดแรงกระทำระหว่างกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) หรือแรงไดโพล-ไดโพล (Dipole-dipole force) ดังนั้นการมีอยู่ของหมู่อีพอกไซด์จึงอาจมีส่วนช่วยทำให้ยางสามารถเข้ากันได้กับพอลิแลคติกแอซิดได้เป็นอย่างดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของหมู่อีพอกไซด์ที่มีส่วนช่วยเสริมความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์และพอลิแลคติกแอซิดว่ามีผลอย่างไรต่อการปรับปรุงสมบัติทางกล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่มีอยู่ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีต่อการปรับปรุงสมบัติความเหนียว และความทนแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิด และมีการปรับเปลี่ยนปริมาณยางธรรมชาติอีพอกไซด์ โดยทำการประเมินผลด้วยการทดสอบแรงดึง แรงกระแทก และตรวจสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC)

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุและสารเคมี

2.1.1 พอลิแลคติกแอซิด เกรด 4043D สำหรับผลิตฟิล์มแบบจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง (Biaxially oriented films) จากบริษัท Nature Works LLC (USA)

2.2.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จำนวน 2 เกรด คือ ENR25 และ ENR50 ซึ่งเป็นเกรดยางธรรมชาติที่ถูกทำให้เกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน 25 และ 50 %mol ตามลำดับ ผลิตโดยบริษัท เมืองใหม่กัททรี จำกัด (มหาชน)

2.2.3 ไดควิมิวเพอร์ออกไซด์ ของบริษัท Sigma-Aldrich (USA) ใช้สำหรับทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมโยง

2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอซิดและยางธรรมชาติอีพอกไซด์

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมสารคอมพาวด์ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและยางธรรมชาติอีพอกไซด์

ก่อนการเตรียมสารคอมพาวด์ต้องมีการนำยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 มาทำการบดเพื่อลดขนาดโมเลกุล (mastication) โดยการใช้เครื่องผสมแบบระบบปิด รุ่น MX75-TQ ของบริษัท เจริญทัศน์ จำกัด ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วของโรเตอร์ 70 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงนำยางที่มีความหนืดที่ลดลงแล้วมาเตรียมสารคอมพาวด์ โดยเริ่มต้นจากนำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มาผสมรวมกับยางธรรมชาติอีพอกไซด์และสารเชื่อมโยงไดควิมิวเพอร์ออกไซด์ด้วยเครื่องผสมแบบระบบปิด ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของโรเตอร์เป็น 70 รอบต่อนาที ทำการผสมสารคอมพาวด์เป็นเวลา 10 นาที โดยมีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ตั้งแต่ 0 - 30 %โดยน้ำหนัก

2.2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและยางธรรมชาติอีพอกไซด์

นำสารคอมพาวด์ระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและยางธรรมชาติอีพอกไซด์มาทำการอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารคอมพาวด์มาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความดัน ยี่ห้อ Cometech รุ่น QC-601T ของบริษัท Cometech ประเทศไต้หวัน ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที และทำการหล่อเย็นด้วยน้ำ เป็นเวลา 4 นาที สำหรับแม่พิมพ์ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D638 แบบ Type IV และชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D256

2.3 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติ

2.3.1 ขั้นตอนการทดสอบความต้านทานแรงดึง

การทดสอบความต้านทานแรงดึงทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D638 ชิ้นงานทดสอบรูปทรงคัมเบล แบบ Type IV มีความยาวเกจ 25 มิลลิเมตร และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-x plus ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น ความเร็วในการเคลื่อนของหัวจับชิ้นงาน 5 มิลลิเมตรต่อนาที ชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแต่ละสูตร คือ 7 ชิ้นงานทดสอบ และทำการรายงานผลการทดสอบ ประกอบด้วย ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง (Tensile modulus) ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break)

2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D256 เป็นการทดสอบแรงกระแทกแบบ Izod ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทกที่ผ่านการทำรอยบาก มีขนาดชิ้นงาน 13 x 64 x 3 มิลลิเมตร³ ทำการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก ยี่ห้อ Zwick Roell รุ่น Hit5.5P จำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแต่ละสูตร คือ 7 ชิ้นงานทดสอบ และทำการรายงานผลการทดสอบเป็นค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักต่อความหนาชิ้นงานทดสอบ

2.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ยี่ห้อ Netzsch รุ่น DSC-204F1 ของบริษัท NETZSCH ประเทศเยอรมัน สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ทำการทดสอบภายใต้สภาวะไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ 25-200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึก (Cold crystallization temperature) จุดหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) และปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดในชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยาง ENR ปริมาณต่างๆ กัน สำหรับการหาค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก (Percentage crystallinity, χ_c) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\chi_c = \frac{H_m - H_{cc}}{H_m^0} \times \frac{100}{w_{PLA}} \quad (1)$$

โดยที่ H_m คือ ค่าเอนทัลปีในการหลอมเหลว (Melting enthalpy) ของชิ้นงานทดสอบ

H_{cc} คือ ค่าเอนทัลปีในการเกิดผลึกในระหว่างการทดสอบ

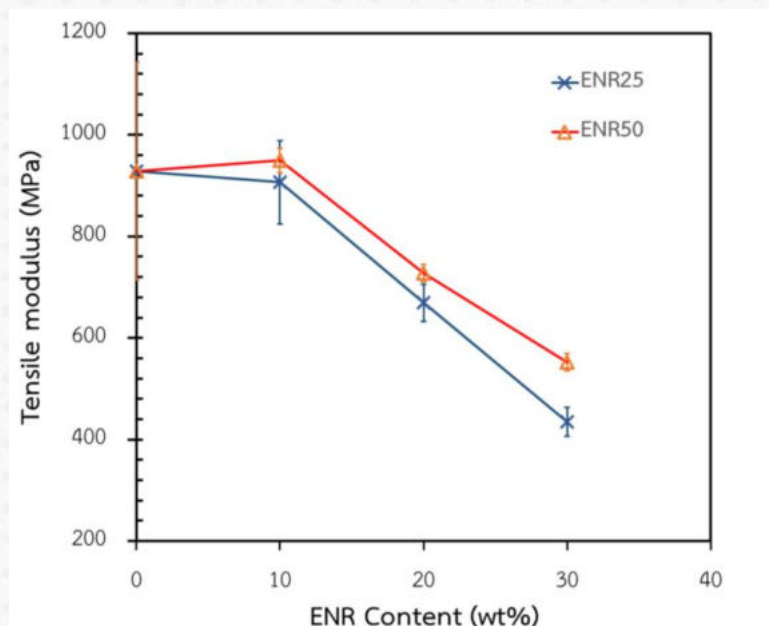
H_m^0 คือ ค่าเอนทัลปีในการหลอมเหลว สำหรับกรณี PLA ที่มีปริมาณผลึก 100 % ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$97.2 \text{ J/g [12]}$$

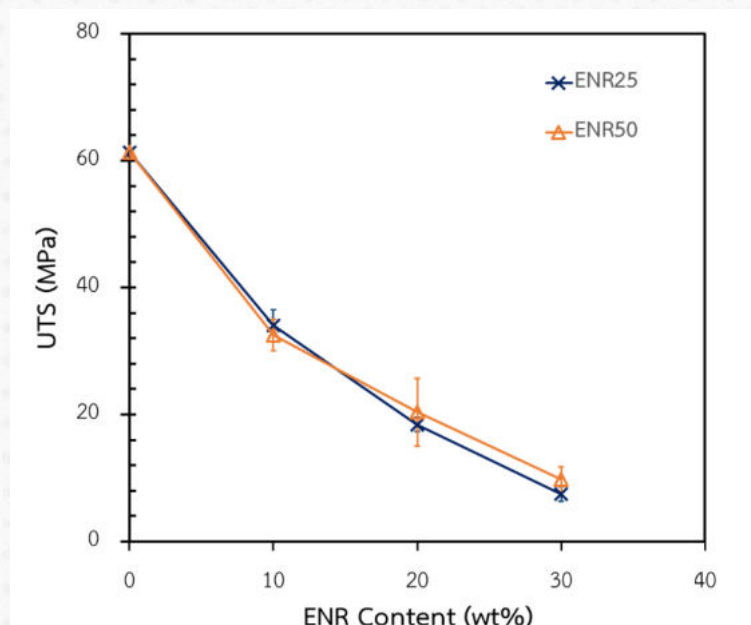
w_{PLA} คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

รูปที่ 1 แสดงผลของการเติมยางธรรมชาติพ็อกไซค์ เกรด ENR25 และ ENR50 (ปริมาณหมู่พ็อกไซค์ 25 และ 50 %mol ตามลำดับ) ปริมาณต่างๆ กันที่มีต่อค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงของพอลิแลคติกแอซิด โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณการเติมยางธรรมชาติพ็อกไซค์ ตั้งแต่ 0 ถึง 30 %โดยน้ำหนัก จากผลการวิจัย พบว่า การเติมยางธรรมชาติพ็อกไซค์ มีผลทำให้ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง การลดลงของค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงเนื่องมาจากยางธรรมชาติพ็อกไซค์เป็นวัสดุที่มีความคงรูปน้อยกว่าพอลิแลคติกแอซิด สำหรับผลของปริมาณหมู่พ็อกไซค์ พบว่า กรณีการเติมยางธรรมชาติพ็อกไซค์ เกรด ENR50 มีค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงที่สูงกว่ากรณีการเติมยางธรรมชาติพ็อกไซค์ เกรด ENR25 ทั้งนี้เป็นเพราะยางธรรมชาติพ็อกไซค์ที่มีปริมาณหมู่พ็อกไซค์มากจะมีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วสูงกว่ากรณียาง ENR ที่มีหมู่พ็อกไซค์น้อย จึงทำให้ยางธรรมชาติพ็อกไซค์ เกรด ENR50 มีสมบัติความคงรูปที่สูงกว่ายางธรรมชาติพ็อกไซค์ เกรด ENR25 [13]



รูปที่ 1 ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณต่างๆ กัน

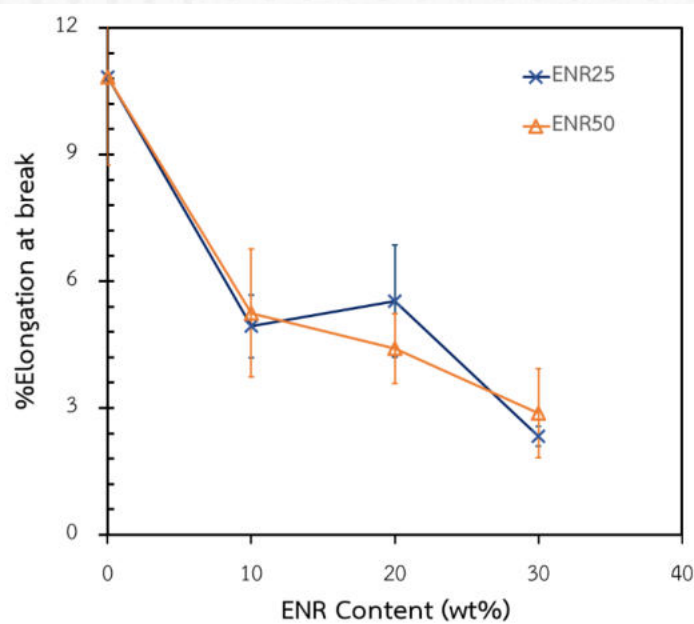


รูปที่ 2 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงไปของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณต่างๆ กัน

รูปที่ 2 แสดงผลของการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณต่างๆ กันที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพอลิแลคติกแอซิด จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ส่วนผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 มีแนวโน้มค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ส่งผลทำให้สมบัติความต้านทานแรงดึงของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าลดลง เนื่องจากสามารถเกิดผลึกในระหว่างการได้รับแรงดึงได้ยากมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด

ENR50 ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่มากกว่าสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิแลคติกแอซิดมากกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 โดยสามารถเกิดแรงกระทำทางเคมีระหว่างหมู่วงแหวนออกซิเรนในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ และหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแลคติกแอซิด [14] ด้วยปัจจัย 2 ประการข้างต้น จึงอาจมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพอลิแลคติกแอซิดที่เติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 มีค่าที่ไม่แตกต่างกัน สำหรับผลของการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณต่างๆ กันที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิแลคติกแอซิดเป็นดังแสดงใน **รูปที่ 3** จากผลการวิจัย พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณยางธรรมชาติอีพอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับผลของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติ พบว่า ไม่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมากนัก โดยพิจารณาจากค่าความคลื่อนของการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 มีค่าที่ครอบคลุมอยู่ในช่วงเดียวกัน ยกเว้นกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 ปริมาณ 20 % โดยน้ำหนัก ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดแตกต่างจากกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25

สำหรับผลของปริมาณการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์และปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่มีต่อสมบัติความต้านทานแรงกระทำ เป็นดังแสดงใน **รูปที่ 4** จากผลการวิจัย พบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีส่วนช่วยในการปรับปรุงความต้านทานแรงกระทำของพอลิแลคติกแอซิด โดยพบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ทั้งกรณีเกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณ 10 % โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระทำเพิ่มสูงขึ้นมากที่สุด โดยมีค่าความต้านทานแรงกระทำเพิ่มสูงกว่ากรณีพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่มีการเติมยาง 619 % และ 74 % ตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์มากกว่า 10 % โดยน้ำหนัก พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระทำมีแนวโน้มค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์มีความหนืดค่อนข้างสูง และเมื่อเติมยางปริมาณมากกว่า 10 % โดยน้ำหนัก จึงมีโอกาสที่ยางจะรวมตัวกันและกระจายตัวได้ไม่ดีมีมากขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับแรง และช่วยกระจายแรงได้ลดลง สำหรับผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่มีต่อค่าความต้านทานแรงกระทำ พบว่า พอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25



รูปที่ 3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณต่างๆ กัน

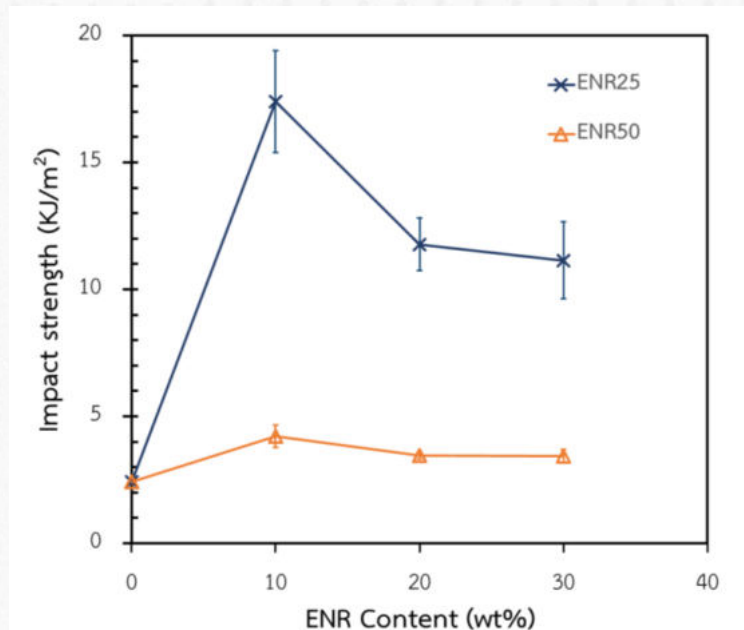
มีการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงกระทำสูงกว่ากรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 อย่างชัดเจน ทั้งนี้เป็นเพราะยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะแก้วมากกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 จึงมีผลทำให้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 มีความยืดหยุ่นน้อยกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 จากงานวิจัยของ Wan และคณะ พบว่า ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 ที่ผ่านการวัลคาไนซ์มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ

คล้ายแก้ว ประมาณ -1.5 องศาเซลเซียส และยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 ที่ผ่านการวัลคาไนซ์มีค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ -22.5 องศาเซลเซียส [15]

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณที่ 0 10 และ 30 %โดยน้ำหนัก โดยทำการตรวจสอบด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลแคลอริมิเตอร์ จากตาราง พบว่า ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีแนวโน้มค่าลดลงเมื่อปริมาณการเติมยางเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเฟสยางซึ่งเป็นเฟสที่นิ่มกว่าพอลิแลคติกแอซิดแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิแลคติกแอซิดจึงมีส่วนช่วยให้โมเลกุลของพอลิแลคติกแอซิดสามารถขยับตัวได้ง่ายมากขึ้นเมื่อได้รับความร้อน สำหรับผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ไม่มีผลกระทบต่อค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว สำหรับอุณหภูมิการเกิดผลึก พบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิดมีแนวโน้มค่าลดลง และการลดลงของอุณหภูมิการเกิดผลึกสำหรับกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 มีค่าต่ำกว่ากรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 มีความยืดหยุ่นน้อยกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 (อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 มีค่ามากกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25) จึงมีส่วนช่วยให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิแลคติกแอซิดเกิดการจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ยากกว่า ค่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิด พบว่า กรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีผลทำให้เกิดพีคจุดหลอมเหลว 2 พีค เนื่องจากการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีผลทำให้เกิดผลึกในระหว่างการให้ความร้อนในระหว่างการทดสอบด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลแคลอริมิเตอร์ได้ง่ายมากขึ้น พีคจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส เป็นพีคของผลึกในรูปแบบ α' ขณะที่พีคจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงเป็นพีคของผลึกในรูปแบบ α ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดขึ้นในระหว่างการขึ้นรูปขึ้นงานทดสอบ [6,16] สำหรับเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิด พบว่า กรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 มีผลทำให้ปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณยางเพิ่มมากกว่า 10 %โดยน้ำหนัก พบว่า การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิดเริ่มมีค่าลดลง ส่วนกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 มีผลทำให้ปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดมีแนวโน้มค่าลดลง สำหรับผลของการเกิดผลึกที่แตกต่างกันระหว่างกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 อาจมีสาเหตุเช่นเดียวกับกรณีอุณหภูมิการเกิดผลึก คือ ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 มีความยืดหยุ่นน้อยกว่ายางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 จึงมีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิแลคติกแอซิดเกิดการจัดเรียงตัวเป็นผลึกได้ยากกว่านั่นเอง ผลของปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดทั้งกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ที่เป็นผลมาจากปริมาณของการเติมยางให้ผลที่สอดคล้องกับค่าความต้านทานแรงกระแทก คือ กรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 ปริมาณ 10 %โดยน้ำหนัก ให้ผลว่ามีความต้านทานแรงกระแทกสูงที่สุดและมีค่าสูงกว่ากรณีการเติมยางปริมาณ 30 %โดยน้ำหนัก ผลดังกล่าวค่อนข้างสอดคล้องกับผลของปริมาณผลึก ในขณะที่การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR50 พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกสำหรับกรณีการเติมยางปริมาณ 10 และ 30 %โดยน้ำหนัก มีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งผลดังกล่าวนี้มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลของปริมาณผลึกเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณที่ 0 10 และ 30 %โดยน้ำหนัก ทำการตรวจสอบด้วยเครื่องดีพีเฟอเรนเชียลแคลอริมิเตอร์

| ENR content (wt%) | T _g (°C) | | T _c (°C) | | T _m (°C) | | $\Delta H_m - \Delta H_{cc}$ | | %Crystallinity | |
|-------------------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------------|------------------------------|-------|----------------|-------|
| | ENR25 | ENR50 | ENR25 | ENR50 | ENR25 | ENR50 | ENR25 | ENR50 | ENR25 | ENR50 |
| 0 | 62.1 | 62.1 | 118.5 | 118.5 | 152.1 | 152.1 | 1.53 | 1.53 | 1.57 | 1.57 |
| 10 | 59.8 | 59.9 | 109.8 | 113.0 | 148.0/154.5 | 147.5/154.0 | 3.11 | 0.90 | 3.56 | 1.03 |
| 30 | 58.4 | 58.6 | 107.9 | 112.5 | 147.9/154.6 | 146.8/153.0 | 2.37 | 0.65 | 3.48 | 0.96 |



รูปที่ 4 ค่าความต้านแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เกรด ENR25 และ ENR50 ปริมาณต่างๆ กัน

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อีพอกไซด์ปริมาณแตกต่างกันที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึง ความต้านทานแรงกระแทก และสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด โดยมีการปรับเปลี่ยนปริมาณยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จากผลการวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ผลของปริมาณยางธรรมชาติอีพอกไซด์ พบว่า การเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ปริมาณเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว อุณหภูมิการเกิดผลึก และจุดหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิดลดลง แต่มีผลในการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงกระแทก โดยกรณีการเติมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ ปริมาณ 10 %โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ได้ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีค่ามากที่สุด
- สำหรับผลของปริมาณหมู่อีพอกไซด์ พบว่า ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อการลดประสิทธิภาพของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงกระแทกและความสามารถในการเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิด ในขณะที่ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ไม่มีผลกระทบต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงมากนัก

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณอุดหนุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2563 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สัญญาเลขที่ 63-3305-02

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] BBC News (ไทย) .8 มิถุนายน 2560). ไทยร่วมกับ 3 ชาติเอเชียจับมือลดขยะพลาสติกในมหาสมุทร. สืบค้นจาก <https://www.bbc.com/thai/amp/international-40199329>.
- [2] R. Auras, L.T. Lim, S.E.M. Selke, H.Tsujii. Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications, John Wiley & Sons, Inc., 2010.

- [3] A.T. Öz, Ö. Süfer, Y. Çelebi Sezer, Poly(lactic acid) films in food packaging systems. *Food Science and Nutrition Technology*. 2(2017)000131.
- [4] L. Jiménez, M.J. Mena, J. Prendiz, L. Salas, J. Vega-Baudrit, Polylactic acid (PLA) as a bioplastic and its possible applications in the food industry. *Journal of Food Science & Nutrition*. 5(2019)100048.
- [5] V.S. Giita Silverajah, N.A. Ibrahim, N. Zainuddin, W.M.Z. Wan Yunus, H.A. Hassan, Mechanical, thermal and morphological properties of poly(lactic acid) / epoxidized palm olein blend. *Molecules*. 17(2012)11729-11747.
- [6] V. Tanrattanakul, P. Bunkaew, Effect of different plasticizers on the properties of bio-based thermoplastic elastomer containing poly(lactic acid) and natural rubber. *Express Polymer Letters*. 8(2014)387-396.
- [7] R. Avolio, R. Castaldo, M. Avella, M. Cocca, G. Gentile, S. Fiori, M.E. Errico, PLA-based plasticized nanocomposites: Effect of polymer/ plasticizer/ filler interactions on the time evolution of properties. *Composites Part B: Engineering*. 152(2018)267-274.
- [8] A. Ostafinska, I. Fortelny, M. Nevoralova, J. Hodan, J. Kredatusova, M. Slouf, Synergistic effects in mechanical properties of PLA/ PCL blends with optimized composition, processing, and morphology. *RSC Advances*. 120(2015)98971-98982.
- [9] B.J. Rashmi, K. Prashantha, M.F. Lacrampe, P. Krawczak, Toughening of poly(lactic acid) without sacrificing stiffness and strength by melt-blending with polyamide 11 and selective localization of halloysite nanotubes. *Express Polymer Letters*. 9(2015)721-735.
- [10] Y. Wang, Z. Wei, X. Leng, K. Shen, Y. Li, Highly toughened polylactide with epoxidized polybutadiene by in-stu reactive compatibilization. *Polymer*. 92(2016)74-83.
- [11] V. Gigante, I. Canesi, P. Cinelli, M.B. Coltelli, A. Lazzeri, Rubber toughening of polylactic acid (PLA) with poly(butylene adipate-co-terephthalate (PBAT): Mechanical properties, fracture mechanics and analysis of ductile-to-brittle behavior while varying temperature and test speed. *European Polymer Journal*. 115(2019)125-137.
- [12] N. Vasanthan, O. Ly, Effect of microstructure on hydrolytic degradation studies of poly(L-lactic acid) by FTIR spectroscopy and differential scanning calorimetry. *Polymer Degradation and Stability*. 94(2009)1364-1372.
- [13] N.A. Kinasih, M.I. Fathurrohman, D.A. Winarto, Swelling behaviour in n-pentane and mechanical properties of epoxidized natural rubber with different epoxide content. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 223(2017).
- [14] K. Pongtanayut, C. Thongpin, O. Santawitee, The effect of rubber on morphology, thermal properties and mechanical properties of PLA/ NR and PLA/ ENR blends. *Energy Procedia*. 34(2013)888-897.
- [15] N.Y. Wan, K.P. Chin, C.S. Mt Saad, Comparison of epoxidised natural rubber (enr) 37.5 and enr 25/ enr 50 physical blend: Specialty polymer for 'green tyre' application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 11(2010).
- [16] N. Hachana, T. Wongwanchai, K. Chaochanchaikul, W. Harnnarongchai, Influence of crosslinking agent and chain extender on properties of gamma-irradiated PLA. *Journal of Polymers and the Environmental*. 25(2017)323-333.

ผลของการเติมเส้นใยธรรมชาติและการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำและสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด

Effects of Adding Natural Fiber and Surface Treatment on Water Absorption and Thermal Properties in Polylactic acid

กัลทิมา เชาวัญชัยกุล^{1*} และ วรณัฐ ดีละมัน²

¹สาขาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

* Email: kantima.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านครนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อการดูดซับน้ำและสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ชิ้นงานทดสอบ PLA และวัสดุเชิงประกอบที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทางเดียวถูกขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแรงดัน และถูกประเมินผลด้วยการทดสอบการดูดซับน้ำและการวิเคราะห์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) จากผลการวิจัย พบว่า ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเติมเส้นใยป่านครนารายณ์ ในขณะที่การปรับปรุงผิวเส้นใยป่านครนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลนช่วยปรับปรุงความทนต่อน้ำของวัสดุเชิงประกอบ สำหรับผลของสมบัติทางความร้อน พบว่า การเติมเส้นใยป่านครนารายณ์มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และจุดหลอมเหลวมีค่าลดลงเล็กน้อย แต่มีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกมีค่าสูงขึ้นและมีปริมาณผลึกของ PLA มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการมีอยู่ของเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเกิดผลึกของ PLA การปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีผลทำให้การเกิดผลึกของ PLA เกิดได้ยากมากขึ้น เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ต่อเนื่องไปขัดขวางการจัดเรียงตัวของ PLA

คำสำคัญ: พอลิแลคติกแอซิด เส้นใยธรรมชาติ การปรับปรุงผิว การดูดซับน้ำ สมบัติทางความร้อน

Abstract

This research work was to study the effects of adding sisal fiber and surface treatment by epoxy silane on water absorption and thermal properties of polylactic acid (PLA). Specimens of PLA and unidirectional fiber-reinforced composite were processed by a compression molding machine and evaluated by water absorption measurement and differential scanning calorimetry (DSC) analysis. The result showed that water absorption tended to increase by adding sisal fiber whereas surface treatment of sisal fiber by epoxy silane improved water resistance of composites. For thermal properties, the addition of sisal fiber led to slight decreases in glass transition temperature and melting point and decrease in crystallinity whereas the cold crystallization increased. Because the presence of continuous fiber might interfere with the crystallization of PLA. The surface treatment of continuous fiber with epoxy silane led to difficult crystallization. The good interfacial adhesion interrupted PLA alignment.

Keywords: Polylactic acid, natural fiber, surface treatment, thermal properties, water absorption

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการนำพลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable) มาใช้งานทดแทนการใช้พลาสติกทางการค้าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากทั่วโลกได้ตระหนักและให้ความสำคัญกับปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่มีสาเหตุมาจากขยะพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากเพิ่มมากขึ้น พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็นพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ และได้รับความนิยมมากในการนำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ทดแทนการใช้พลาสติกทางการค้า เพราะพอลิแลคติกแอซิดผลิตได้จากวัตถุดิบที่มาจากพืช มีสมบัติทางการรับแรงที่ดี ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ สามารถถูกขึ้นรูปได้ง่ายด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบพลาสติกทั่วไป และสามารถนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ และทางการแพทย์ แต่อย่างไรก็ตาม พอลิแลคติกแอซิดยังคงมีข้อด้อยในเรื่องของราคาที่สูง และมีความเหนียวต่ำ [1-3] จากงานวิจัยที่ผ่านมาของคณะวิจัยได้ทำการศึกษาผลของการใช้เส้นใยธรรมชาติเติมลงในพอลิแลคติกแอซิดเพื่อลดต้นทุน โดยได้ทำการศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใย และผลของทิศทางการจัดเรียงเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกล [4] เพื่อให้เกิดความเข้าใจสมบัติของพอลิแลคติกแอซิดที่มีการเติมเส้นใยธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค่าการดูดซับน้ำและสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ เนื่องจากสมบัติดังกล่าวถือว่าเป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้งานเช่นเดียวกับกับสมบัติทางกล นอกจากนี้ทางคณะวิจัยได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารไฮลีนที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำและสมบัติทางความร้อนด้วย เนื่องจากพอลิแลคติกแอซิดเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic material) แต่เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic material) จึงมีความไม่เข้ากันทางโครงสร้างเคมีซึ่งอาจส่งผลต่อสมบัติดังกล่าว

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอียพอกซีไฮลีนที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำ (water absorption) และสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด โดยการประเมินผลสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential scanning calorimetry, DSC) และการวัดค่าการดูดซับน้ำ ณ ช่วงเวลาต่างๆ กันเป็นเวลา 5 วัน

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

2.1.1 พอลิแลคติกแอซิดเกรด 4043D สำหรับผลิตฟิล์มแบบจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง (Biaxially oriented films) จากบริษัท Nature Works LLC (USA)

2.1.2 เส้นใยป่านศรนารายณ์ จากสหกรณ์หุบกะพง จังหวัดเพชรบุรี มีลักษณะเป็นเส้นใยยาว

2.1.3 สารอียพอกซีไฮลีน จากบริษัท Shin-Etsu Silicones (ประเทศไทย) จำกัด ถูกใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยมีชื่อทางการค้า คือ KBM403 และมีชื่อทางเคมี คือ 3-ไกลซิโดพรีซิลาน (3-Glycidoxypropyl trimethoxysilane)

2.1.4 กรดอะซิติก จากบริษัท แกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด ถูกใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-เบส ในระหว่างขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอียพอกซีไฮลีน

2.2 วิธีการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอียพอกซีไฮลีน

การปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์เริ่มต้นจากการนำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาอบไล่ความชื้น ด้วยตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และทำการเตรียมสารละลายอียพอกซีไฮลีน KBM403 ความเข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนักของสารละลาย โดยใช้น้ำกลั่น และมีการเติมกรดอะซิติกแอซิดเพื่อทำหน้าที่ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 3 โดยมีการกวนสารละลายตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้สารอียพอกซีไฮลีนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำกลั่น หลังจากนั้นนำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาแช่ในสารละลายอียพอกซีไฮลีน โดยสัดส่วนของสารอียพอกซีไฮลีน 1.0 % โดยน้ำหนักของเส้นใย และนำของผสมไปอบที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยและสารอียพอกซีไฮลีน จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการอบมาล้างสารอียพอกซีไฮลีนส่วนเกินออกจากผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยน้ำกลั่น และสุดท้ายอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิดและชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ

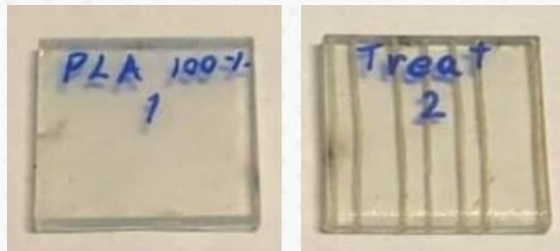
สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ มีขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นพอลิแลคติกแอซิด และขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์

2.3.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นพอลิแลคติกแอซิด

นำเม็ดพอลิแลคติกแอซิดที่ผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นพอลิแลคติกแอซิดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความดัน (Compression molding machine) ยี่ห้อ Cometech รุ่น QC-601T ของบริษัท Cometech ประเทศไต้หวัน โดยใช้แม่พิมพ์ ขนาด 130 x 130 x 1 มิลลิเมตร³ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป คือ 185 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป คือ 2,000 ปอนด์ต่อนิ้ว เวลาที่ใช้ในการอุ่นให้ความร้อน (Pre-heat) คือ 5 นาที เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 5 นาที และทำการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็น เป็นเวลา 4 นาที

2.3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

กรณีการขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์เริ่มต้นจากการนำแผ่นซีทพอลิแลคติกแอซิด จำนวน 2 แผ่น จากขั้นตอนที่ 2.3.1 มาทำการประกบบนล่างกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ทำการตรึงเส้นใยให้จัดเรียงเป็นเส้นตรง สัดส่วนของปริมาณเส้นใย อยู่ที่ประมาณ 0.34 %โดยน้ำหนัก และนำมาทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความดัน โดยใช้อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 1,200 ปอนด์ต่อนิ้ว เวลาที่ใช้ในการอุ่นให้ความร้อน คือ 12 นาที เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 12 นาที และทำการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็น เป็นเวลา 6 นาที ส่วนกรณีการเตรียมชิ้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอซิดมีขั้นตอนและสภาวะที่ใช้ในการขึ้นรูปเช่นเดียวกับชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ หลังจากนั้นนำแผ่นชิ้นงานมาทำการตัดเป็นชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 มีขนาดชิ้นงานทดสอบ 20 x 20 มิลลิเมตร² โดยชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ทั้งกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางเดียวและมีความยาวเส้นใยขนาดเท่ากับกับความยาวของชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานทดสอบวัสดุเชิงประกอบ

2.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติ

2.4.1 การทดสอบการดูดซับน้ำ

การทดสอบการดูดซับน้ำดำเนินการโดยนำชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร² สุ่มละ 3 ชิ้นงาน นำมาอบไล่ความชื้นในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานแห้งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล แบบทศนิยม 2 ตำแหน่ง หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการอบมาแช่ในน้ำที่กลั่น และทำการเก็บตัวอย่างชิ้นงานที่เวลาแช่น้ำต่างๆ กัน คือ 0 0.5 1 2 4 8 24 48 72 96 และ 120 ชั่วโมง เพื่อทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานเปียก โดยนำชิ้นงานทดสอบออกจากน้ำ และทำการซับด้วยกระดาษซับก่อนชั่งน้ำหนัก และทำการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ 1

$$\% \text{water absorption} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ W_t คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการแช่น้ำ ณ เวลา t

W_0 คือ น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการอบ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.4.2 การตรวจสอบสมบัติทางความร้อน

การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เครื่องดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี รุ่น TGA/DSC3+ ของบริษัท Mettler-Toledo (ประเทศไทย) จำกัด สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ทำการทดสอบภายใต้สภาวะไนโตรเจน และมีการให้ความร้อน 2 ครั้ง การให้ความร้อนครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิ 25-200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นทำการลดอุณหภูมิจาก 200 ถึง 25 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการลดความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และทำการให้ความร้อนครั้งที่ 2 ที่อุณหภูมิ 25-200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที หลังจากนั้นนำผลจากการให้ความร้อนครั้งที่ 2 มาทำการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) อุณหภูมิการเกิดผลึกขณะให้ความร้อน (Cold crystallization temperature, T_c) จุดหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) และปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิด สำหรับการหาค่าเปอร์เซ็นต์การเกิดผลึก (Percentage crystallinity, X_c) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

$$X_c = \frac{(H_m - H_{cc})}{H_m^\circ} \times \frac{100}{W_{PLA}} \quad (2)$$

โดยที่ H_m คือ ค่าเอนทัลปีในการหลอมเหลว (Melting enthalpy) ของชิ้นงานทดสอบ

H_{cc} คือ ค่าเอนทัลปีในการเกิดผลึกในระหว่างการทดสอบ

H_m[°] คือ ค่าเอนทัลปีในการหลอมเหลว สำหรับกรณี PLA ที่มีปริมาณผลึก 100 % ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$97.2 \text{ J/g [5]}$$

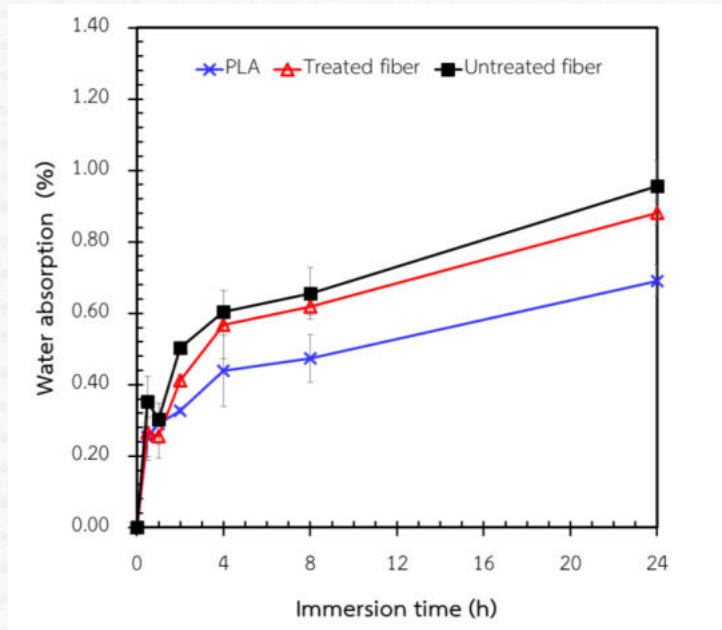
W_{PLA} คือ สัดส่วนโดยน้ำหนักของพอลิแลคติกแอซิด

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

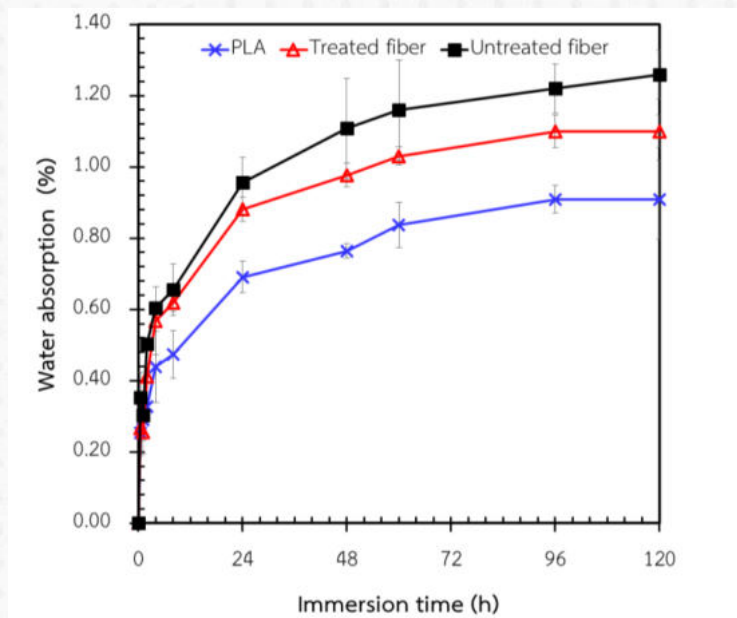
รูปที่ 2 แสดงค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ที่ผ่านการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง ณ เวลาตั้งแต่ 0 ถึง 24 ชั่วโมง จากผลการวิจัย พบว่า ค่าการดูดซับน้ำทั้งกรณีพอลิแลคติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มสูงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาการแช่น้ำเริ่มต้น คือ ช่วงเวลาในการแช่น้ำ 0 – 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นค่าการดูดซับน้ำเริ่มมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ลดลง เมื่อเวลาในการแช่ชิ้นงานมากกว่า 4 ชั่วโมง และเมื่อเปรียบเทียบผลของส่วนผสมในชิ้นงานที่มีต่อการดูดซับน้ำ พบว่า พอลิแลคติกแอซิดมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะพอลิแลคติกแอซิดมีหมู่เอสเทอร์ (ester group, COO) ในโครงสร้างซึ่งเป็นหมู่ที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนเส้นใยปานครนารายณ์มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, OH) ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า การปรับปรุงเส้นใยปานครนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีส่วนช่วยทำให้การดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบลดลง ทั้งนี้เพราะสารอีพอกซีไซเลนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสจึงช่วยลดหมู่ที่ชอบน้ำลง และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีส่วนช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างเฟสของพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานครนารายณ์มีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงช่วยการเกิดช่องว่างระหว่างเฟสที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความไม่เข้ากันทางโครงสร้างทางเคมีระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานครนารายณ์

สำหรับผลของการแช่ชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวในน้ำที่ระยะเวลา 5 วัน หรือ 120 ชั่วโมง เป็นดังแสดงใน**รูปที่ 3** จากกราฟ พบว่า เมื่อเวลาการแช่น้ำเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูง และพอลิแลคติกแอซิดมีค่าการดูดซับน้ำต่ำที่สุด รองลงมา คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ ผลที่ได้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับกรณีการแช่ชิ้นงานที่เวลา 24 ชั่วโมง แต่ผลที่แตกต่างกัน คือ เมื่อเวลาการแช่น้ำนานขึ้น ตั้งแต่ 24 ชั่วโมงขึ้นไป พบว่า ค่าการดูดซับน้ำระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบที่เป็นผลมาจากการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเวลาในการแช่น้ำนานมากกว่า 24

ชั่วโมง และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการดูดซับน้ำเริ่มลดลง โดยสามารถสังเกตเห็นว่า ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิดและชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีแนวโน้มค่าการดูดซับน้ำเริ่มคงที่เมื่อเวลาในการแช่น้ำ 96 ชั่วโมง ผลดังกล่าวนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับที่อธิบายไว้ในคำอธิบายรูปที่ 2 แต่ผลของการมีอยู่ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ และผลของการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนจะเห็นผลอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อเวลาในการแช่น้ำมากกว่า 24 ชั่วโมง

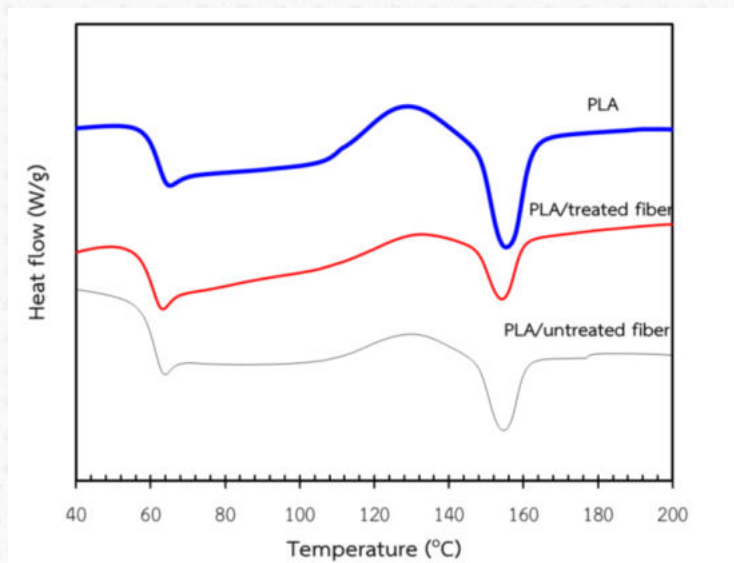


รูปที่ 2 ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ เวลาในการแช่น้ำ 0 ถึง 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3 ค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด และชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ณ เวลาในการแช่น้ำ 0 ถึง 120 ชั่วโมง

รูปที่ 4 และตารางที่ 1 แสดงผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์และผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด โดยทำการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี จากการให้ความร้อนครั้งที่ 2 สำหรับผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ พบว่า การมีอยู่ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวแบบต่อเนื่องมีผลทำให้ค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และจุดหลอมเหลวผลึกมีค่าลดลงไม่มากนัก แต่มีผลต่อการเกิดผลึกเกิดได้ยากมากขึ้น โดยพิจารณาจากผลของค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกที่เพิ่มสูงขึ้น และปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดที่ลดลงเมื่อมีการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ผลดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่า การมีอยู่ของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิด ผลที่ได้นี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Seong และคณะ [6] ซึ่งพบว่า การเติมเส้นใยที่มีความยาวเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้การเกิดผลึกของพอลิเมอร์มีแนวโน้มลดลง สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด พบว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลว



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดในชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี สำหรับการให้ความร้อนครั้งที่ 2

ตารางที่ 1 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดในชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

| ชิ้นงาน | Tg (°C) | Tc (°C) | Tm (°C) | ΔHcc (J/g) | ΔHm (J/g) | %Crystallinity |
|--|---------|---------|---------|------------|-----------|----------------|
| พอลิแลคติกแอซิด | 59.14 | 128.83 | 155.83 | 7.29 | 6.56 | 1.03 |
| วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน | 57.40 | 131.50 | 154.50 | 3.08 | 2.80 | 0.29 |
| วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว | 58.62 | 130.83 | 155.17 | 4.34 | 3.80 | 0.56 |

ผลึกสำหรับกรณีวัสดุเชิงประกอบที่เติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีวัสดุเชิงประกอบที่เติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว แต่มีผลทำให้การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิดมีแนวโน้มเกิดได้ยากขึ้น เมื่อวัสดุเชิงประกอบเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี

ไซเลน โดยพบว่า สำหรับกรณีวัสดุเชิงประกอบที่เติมเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และปริมาณผลึกของพอลิแลคติกแอซิดมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีวัสดุเชิงประกอบที่เติมเส้นใยป่านครนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ผลดังกล่าวนี้ แสดงให้เห็นว่า การยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีขึ้นสำหรับกรณีเส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิด

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านครนารายณ์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีต่อค่าการดูดซับน้ำ และสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด จากผลการวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ผลของการเติมเส้นใยป่านครนารายณ์ พบว่า การมีอยู่ของเส้นใยป่านครนารายณ์มีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยป่านครนารายณ์เป็นวัสดุที่ชอบน้ำ โดยสามารถสังเกตเห็นผลชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อเวลาในการแช่น้ำมากกว่า 24 ชั่วโมง และการเติมเส้นใยป่านครนารายณ์มีผลทำให้การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิดเกิดได้ยากมากขึ้น
- ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า ช่วยลดค่าการดูดซับน้ำของวัสดุเชิงประกอบให้มีค่าลดลง และมีผลทำให้การเกิดผลึกของพอลิแลคติกแอซิดเกิดได้ยากมากขึ้น เนื่องจากการยึดเกาะที่ดีระหว่างเฟสของเส้นใยยาวต่อเนื่องอาจไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิแลคติกแอซิด
- สำหรับข้อเสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยนี้ในอนาคต คือ การนำผลการทดสอบการดูดซับน้ำที่ได้มาสร้างเป็นสมการความสัมพันธ์ เพื่อนำสมการมาประยุกต์ใช้งานกับการใช้งานจริง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณอุดหนุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2564 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สัญญาเลขที่ 64-1305-06

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Auras, L.T. Lim, S.E.M. Selke, H.Tsuiji. Poly(Lactic Acid): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Applications, John Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [2] A.T. Öz, Ö. Süfer, Y. Çelebi Sezer, Poly(lactic acid) films in food packaging systems. *Food Science and Nutrition Technology*. 2(2017)000131.
- [3] L. Jiménez, M.J. Mena, J. Prendiz, L. Salas, J. Vega-Baudrit, Polylactic acid (PLA) as a bioplastic and its possible applications in the food industry. *Journal of Food Science & Nutrition*. 5(2019)100048.
- [4] สุพรรณษา นพวง, อรวรรณ มีใย และกัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกชีวภาพและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารไซเลน. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 3 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 2563. 71-78.
- [5] N. Vasanthan, O. Ly, Effect of microstructure on hydrolytic degradation studies of poly(L-lactic acid) by FTIR spectroscopy and differential scanning calorimetry. *Polymer Degradation and Stability*. 94(2009)1364–1372.
- [6] D.G. Seong, C. Kang, S.Y. Pak, C.H. Kim, Y.S. Song, Influence of fiber length and its distribution in three phase poly(propylene) composite. *Composite Part B: Engineering*. 168(2019)218–225.

ต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาด:

เทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากบ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก

Prototype of a greenhouse with clean energy automatic control: the foundation technology for Ban Laem Pho, Phitsanulok

สมบัติย์ มงคลชัยชนะ

สาขาครุศาสตร์เครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Email: sombat@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

ต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้พลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก ประกอบด้วย ระบบพัดลมระบายอากาศ ระบบให้น้ำแบบตั้งเวลา ระบบควบคุมอุณหภูมิ และระบบพลังงานสะอาด ผลการทดสอบปลูกผักในโรงเรือน คือ คะน้าฮ่องกง กวางตุ้ง กวางตุ้งฮ่องเต้และผักกาดขาวปลี พบว่าผลผลิตผักกาดขาวปลีให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงสุด(1.94 กก.) คะน้าฮ่องกง(0.68 กก.) กวางตุ้ง(0.44กก.) และกวางตุ้งฮ่องเต้(0.33 กก.) โรงเรือนไม่สามารถป้องกันศัตรูพืชประเภทเลื้อยคลานได้ ต้นทุนในการสร้างโรงเรือนไม่รวมค่าแรงอยู่ที่ 99,554.52บาทต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดอยู่ที่ 549.6 บาทได้ผลผลิตผักอยู่ที่ 6.71 กก.มีรายได้อยู่ที่ 1,006.51 บาทจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 218.84 กก.

คำสำคัญ: โรงเรือน พลังงานสะอาด

Abstract

The prototype of a greenhouse with clean energy automatic control: the foundation technology for Ban Laem Pho, Phitsanulok. Major components of the proposed greenhouse comprise of ventilation fan unit, watering unit, temperature controlling unit, and clean energy. The result of the research to tested Hong Kong Kale, Cantonese, Hong Tae Cantonese and Chinese cabbage. Chinese cabbage yielded highest average yield (1.94 kg.), Hong Kong kale (0.68 kg.), Cantonese (0.44 kg.) and Hong Tae Cantonese (0.33 kg). Greenhouse was unable to protect against saw-crawling pests. The Greenhouse costs were 99,554.52 baht. It was expenses at 549.6 baht, yielding 6.71 kg of vegetables, income of 1,006.51 baht and break-even point of 218.84 kg.

Keywords: greenhouse, clean energy

1. บทนำ

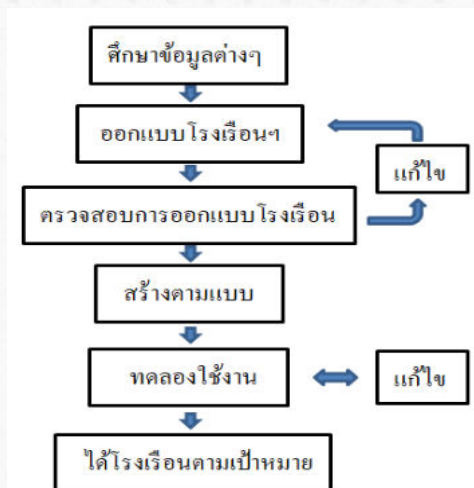
ผักเป็นหนึ่งในอาหารหลัก5หมู่ที่มีความสำคัญต่อร่างกายผักมีวิตามินและสารอาหารช่วยบำรุงอวัยวะในร่างกายช่วยในระบบขับถ่าย เป็นต้น ผักที่เรารับประทานนั้นต้องสดสะอาดและปราศจากสารเคมีตกค้าง ดังนั้นแหล่งผลิตผักจำเป็นต้องมีการปลูกแบบปลอดสารพิษได้แก่แหล่งปลูกผักอินทรีย์ ผักกางมุ้ง ผักโรงเรือน การปลูกผักแบบปลอดสารพิษมักได้ผลผลิตต่ำและเสียหายสูงไม่คุ้มค่าใช้จ่ายในการปลูกต้องดูแลเป็นพิเศษ แต่มีราคาจำหน่ายตามท้องตลาดที่สูงกว่าผักที่จำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป2-3เท่า[7]ดังนั้นจึงมีนักศึกษาศึกษาวิจัยหาวิธีปลูกผักปลอดสารพิษ บ้านแหลมโพธิ์ จังหวัดพิษณุโลก เป็นแหล่งปลูกผักปลอดสารพิษในรูปแบบการปลูกกลางแจ้ง ปลูกกางมุ้งหรือปลูกในโรงเรือนการปลูกไม่ว่ารูปแบบใดปัญหาที่พบคือในสภาพ

อากาศในช่วงฤดูร้อนหรือมีอากาศร้อนผลผลิตได้รับความเสียหายทำให้ต้องสูญเสียรายได้และฐานผู้บริโภค[7]ดังนั้นแนวทางแก้ปัญหาคือการควบคุมอุณหภูมิอากาศ จากข้อมูลเอกสารงานวิจัยต่างๆเช่น งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปร์ยละอองน้ำแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ระบบนี้(PLC)ทำหน้าที่รับสัญญาณจากตัวตรวจจับสัญญาณเพื่อประมวลผลส่งให้ระบบสเปร์ยละอองน้ำทำงานหากมีอุณหภูมิสูงขึ้นชุดการระเหยน้ำจะทำงานร่วมกันเพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 85% [2] งานวิจัยเรื่องโรงเรือนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่ายเป็นระบบที่ควบคุมการทำงานของระบบต่างในโรงเรือน เช่น ระบบน้ำผ่านพรางแสง ระบบควบคุมอุณหภูมิวัสดุปลูก พลังงานจากโซลาร์เซลล์ ผลการทดสอบปลูกผักพบว่ามีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าการปลูกกลางแจ้ง [5] และจากวิจัยเรื่องการเลือกสารทำความเย็นที่เหมาะสมในระบบปรับอากาศขนาดการทำทำความเย็น 1TR สำหรับปลูกพืชกัญชาโดยทำการเปรียบเทียบสารทำความเย็น 3 ชนิดคือ R-32 R-452B และ R-466A ควบคุมอากาศภายในห้องเพาะเลี้ยงในช่วง 22-28 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 50-55% ตัวแปรอันประกอบไปด้วยผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมคุณสมบัติทางกายภาพ มวลของสารทำความเย็นต่อปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ปริมาณสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศ และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ พบว่าสารทำความเย็น R32 มีความเหมาะสมที่นำมาใช้ในระบบปรับอากาศสำหรับกัญชาเนื่องจากมีปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีคุณสมบัติการติดไฟต่ำ มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำทำความเย็นประมาณ 7 ปริมาณน้ำที่ได้จากการควบแน่นของระบบปรับอากาศประมาณ 18 V/day ใช้เพาะปลูกกัญชาได้ 23 ต้น [6] จากผลการศึกษาดังกล่าวนำมาเป็นแนวทางเพื่อสร้างต้นแบบโรงเรือนปลูกผักต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้พลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พืชณุโลกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบ หาผลการใช้งานและค่าใช้จ่าย สร้างเป็นต้นแบบสำหรับเกษตรกร บ้านแหลมโพธิ์ พืชณุโลก เพื่อไปสร้างหรือประยุกต์ใช้ปรับปรุงในส่วนของโรงเรือนของตนเองที่ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิในโรงเรือนได้ โรงเรือนนี้จุดเด่นใช้ระบบปรับอากาศและพัดลมระบายอากาศช่วยระบายความร้อนออกนอกระบบที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางเพื่อลดความร้อนในโรงเรือน

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

วิธีการทดลองมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

2.1 การสร้างโรงเรือนปลูกผักมีขั้นตอนดังภาพที่ 1 ส่วนภาคการคำนวณนั้นใช้สมการในข้อ 2.2 ได้เรื่องเรือนต้นแบบดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสร้างโรงเรือน



ภาพที่ 2 โรงเรือนต้นแบบ

2.2 การสร้างต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้พลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พิชญ์โลก มีสมการใช้ในการสร้างโรงเรือน คือ

2.2.1 การหาขนาดของเครื่องปรับอากาศในโรงเรือนใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{HA}{3,516.85} = \text{ต้นความเย็น} \quad (1)$$

เมื่อ H = ความร้อนของแสงแดดส่องลงพื้นที่(J/m²) A = พื้นที่ที่สัมผัสกับแสงอาทิตย์(m²) และต้นความเย็น = ขนาดความของเครื่องปรับอากาศ (Ton) [3]

2.2.2 การหาขนาดของปั้มน้ำใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{v^2 + Hh + Hl}{2g} = Pm \quad (2)$$

เมื่อ Pm = ขนาดของปั้มน้ำคิดเป็นหน่วยความสูง(m) v = ความเร็วในการไหลของน้ำ(m/s) Hh = ค่าความสูญเสียหลักคิดเป็นหน่วยความสูง(m) Hl = ค่าความสูญเสียรองคิดเป็นหน่วยความสูง(m) และ g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s²) [4]

2.2.3 การหาความเร็วลมใช้สมการต่อไปนี้

$$\frac{m_m}{a} = V1 \quad (3)$$

เมื่อ V1 = ความเร็วลม(m/s) m_m = อัตราการไหล (m³/s) และ a = พื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศ(m²) [4]

2.2.4 การหาปริมาณไฟฟ้าใช้สมการดังนี้

$$Pn = \epsilon VI = \epsilon P \quad (4)$$

เมื่อ ϵP = ปริมาณไฟฟ้ารวมทั้งระบบ(VI) ϵVI = ผลรวมของคูณของกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า(VI) และ Pn = ปริมาณไฟฟ้าแต่ละชุดวงจร (VI) [8]

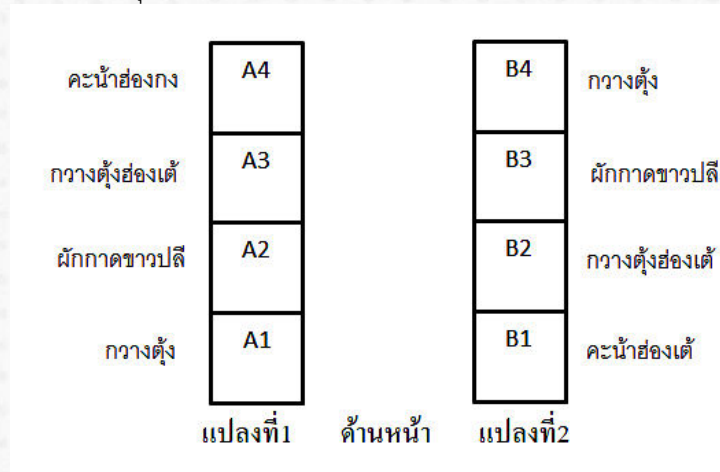
2.3 เก็บข้อมูลต้นแบบโรงเรือนที่ได้นำมาเขียนลงรายละเอียดเป็นแบบ

2.4 วิธีการทดลองหาผลการใช้งานโรงเรือนปลูกผักระบบปรับอากาศแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากบ้านแหลมโพธิ์ พิชญ์โลก ดังนี้

2.4.1 การทดลองหาผลการใช้งานโรงเรือนมีขั้นตอนดังนี้

2.4.1.1 ตัวอย่างผักที่ใช้ในการทดลอง คือ คื่นช่าย กวางตุ้ง กวางตุ้งฮ่องเต้และผักกาดขาวปลี นำเมล็ดเพาะในถาดเพาะให้ต้นกล้าเจริญเติบโตแข็งแรง (ประมาณ15วัน)

2.4.1.2 เตรียมพื้นที่เพาะปลูกสำหรับโรงเรือนเป็น 2 แปลงแต่ละแปลงแบ่งพื้นที่ละ 1.25 เมตร (ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1.25 เมตร) ดังภาพที่ 3 ใส่ปุ๋ยและปรับสภาพดินให้พร้อมใช้งาน



ภาพที่ 3 ผังการปลูกผักแต่ละชนิดในโรงเรือน

2.4.1.3 นำตัวอย่างผักทดลองตามข้อ 2.4.1.1 ปลูกลงในแปลงที่เตรียมไว้ตามผังตามข้อ 2.4.1.2 ปลูกเว้นระยะห่างระหว่างแถวต้น 15x20 เซนติเมตร

2.4.1.4 เก็บข้อมูลผลผลิตที่ได้ อายุการเก็บเกี่ยว การทำลายของศัตรูพืช นำข้อมูลที่ได้มาแปลผลเป็นตาราง

2.5 การหาค่าใช้จ่ายสำหรับต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติ พลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก สำหรับวิสาหกิจชุมชนเกษตรปลอดภัย บ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก ใช้สมการในการหาค่าดังนี้

2.5.1 การหาจุดคุ้มทุนใช้สมการดังนี้

$$\frac{TFC}{(P - AVC)} = Q \quad (5)$$

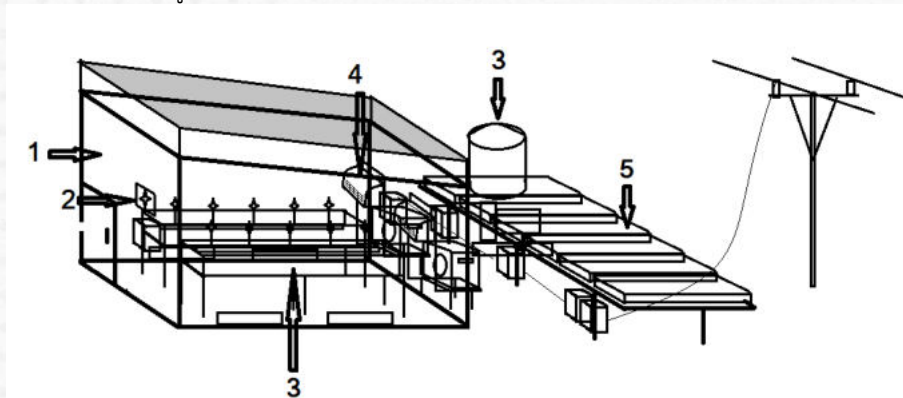
เมื่อ Q = จุดคุ้มทุน(หน่วย) TFC = ต้นทุนคงที่(บาท) P = ราคาขาย(บาท) และ AVC = ต้นทุนแปรผัน(บาท) [9]

2.5.2 เก็บข้อมูล ต้นทุนคงที่หรือต้นทุนในการสร้างโรงเรือนจากข้อ 2.1 ต้นทุนผันแปรจากข้อ 2.4 นำข้อมูลที่ได้แปลผลเป็นตาราง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

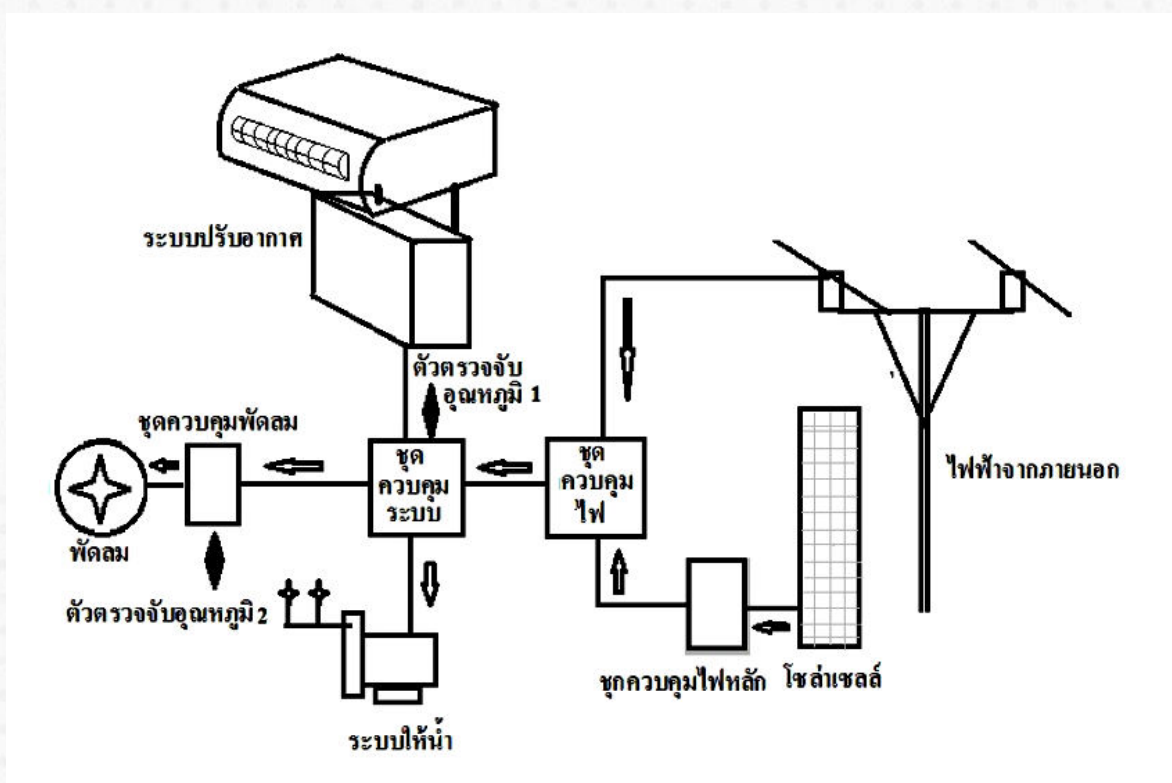
ผลการทดลอง

3.1 ผลการสร้างต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้พลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก จากภาพที่ 4 ได้ข้อมูลดังนี้



ภาพที่ 4 แบบโรงเรือนปลูกผัก

3.1.1 หมายเลข1 เป็นส่วนของโรงเรือนมีขนาดพื้นที่ 3x6 เมตร ด้านหน้าสูง 4 เมตร ด้านหลังสูง 3 เมตรโรงเรือนเป็นโครงเหล็กชุบกันสนิมคลุมด้วยพลาสติกด้านบนและด้านหลังด้านบนติดตั้งตาข่ายบังแดดกรองแสงได้ 60% ประตูด้านหน้าขนาด 0.5x2 เมตร หมายเลข 2 เป็นส่วนของพัดลมระบายอากาศขนาด 20 ลม.ต่อนาทีควบคุมการทำงานช่วง 32-35 °C โดยชุดควบคุมพัดลม อากาศจะผ่านช่องระบายด้านล่างของโรงเรือนด้านละ 2 ช่อง(ขนาด0.25X1เมตร)เพื่อระบายอากาศออกภายนอกทางด้านพัดลมเป่าอากาศ หมายเลข 3 เป็นส่วนของระบบให้น้ำแบบสปริงเกอร์อัตราการให้น้ำอยู่ที่ 50ลิตรต่อนาทีสปริงเกอร์ติดตั้งอยู่บนชุดแปลงเพาะปลูก มีชุดควบคุมระบบสั่งปั้มน้ำให้ทำงานโดยการควบคุมจากสวิทซ์ตั้งเวลาหมายเลข4 เป็นส่วนของระบบควบคุมอุณหภูมิควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 35 °Cหมายเลข 5 เป็นส่วนของชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาดกำลังไฟสูงสุด 3 KWAC แผงโซล่าเซลล์ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเข้าชุดแหล่งจ่ายไฟหลักแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ป้อนเข้าสู่ชุดควบคุมไฟหลักโดยมีระบบไฟฟ้าจากภายนอกมาต่อรวมกันเพื่อรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่และจ่ายไฟฟ้าไปเลี้ยงวงจรต่างๆ ภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผังวงจรควบคุมโรงเรือน

เป็นผังวงจรควบคุมโรงเรือนโดยชุดควบคุมไฟรับไฟฟ้าจากภายนอกและจากชุดควบคุมไฟหลักที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์ ไฟฟ้าที่ได้จะส่งไปชุดควบคุมระบบเพื่อควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ระบบปรับอากาศทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากตัวตรวจจับอุณหภูมิ 1 ชุดควบคุมพัดลมจะทำงานเมื่อรับสัญญาณจากตัวตรวจจับอุณหภูมิ 2 ส่งสัญญาณสั่งพัดลมทำงาน และเมื่อถึงเวลากำหนดชุดควบคุมระบบจะสั่งให้ปั้มน้ำทำงานตามระยะเวลาที่ตั้งไว้

3.2 ผลการทดลองหาผลการใช้งานต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้พลังงานสะอาด บ้านแหลมโพธิ์พิษณุโลก ดังนี้

จากตารางที่1 ทำการทดลองช่วง 9 พ.ค.2564 - 2 ก.ค.2564 (ภาพที่5ผักที่อยู่ในโรงเรือนปลูกผักแปลง (ก) และ (ข) และภาพที่ 7 เก็บเกี่ยวผลผลิตผักทดสอบ) พบว่า ผลผลิตผักกาดขาวปลีได้ผลผลิตที่สูงเฉลี่ย1.94ก.ก.คะน้าฮ่องกงได้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 0.68 ก.ก.กวาดตุงได้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 0.44 ก.ก. และกวาดตุงฮ่องเต้ได้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 0.33 ก.ก. (ไม่ได้น้ำหนัก) คะน้าฮ่องกงบางชนิดเดียวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ที่ 54 วันช้ากว่าเกณฑ์สูงสุด9วันเนื่องผักคะน้าฮ่องกงต้องการปุ๋ยและไม่ต้องการรดน้ำชุ่ม ผักกาดขาวปลีถูกเฉลี่ยอ่อนทำลายดังภาพที่ 6 การกำจัดโดยใช้สารชีวภัณฑ์อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาผลการใช้โรงเรือนปลูกผักแบบอัตโนมัติ

| ชนิดผัก | รายการ | เกณฑ์* | โรงเรือนปลูกผักระบบปรับอากาศฯ | | |
|--------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|-----------|
| | | | แปลงที่1 | แปลงที่2 | ค่าเฉลี่ย |
| ผักกระป๋องทอง | พื้นที่ | - | A4 | B1 | - |
| | ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว | 9พ.ค.64-23มิ.ย. 64 | 9พ.ค.64-2ก.ค.64 | 9พ.ค.64-2ก.ค.64 | - |
| | อายุการเก็บเกี่ยว(วัน) | 35 – 45 | 54 | 54 | 54 |
| | ผลผลิต (กก./คร.ม.) | - | 0.80 | 0.55 | 0.68 |
| | ศัตรูพืชทำลาย | - | ไม่มี | ไม่มี | - |
| ผักกวางตุ้ง | พื้นที่ | - | A1 | B4 | - |
| | ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว | 9พ.ค.64-18มิ.ย. 64 | 9พ.ค.64-17มิ.ย.64 | 9พ.ค.64-17มิ.ย.64 | - |
| | อายุการเก็บเกี่ยว(วัน) | 35 – 40 | 39 | 39 | 39 |
| | ผลผลิต (กก./คร.ม.) | - | 0.36 | 0.48 | 0.44 |
| | ศัตรูพืชทำลาย | - | ไม่มี | ไม่มี | - |
| ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ | พื้นที่ | - | A3 | B2 | - |
| | ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว | 9พ.ค.64-20มิ.ย. 64 | 9พ.ค.64-17มิ.ย.64 | 9พ.ค.64-17มิ.ย.64 | - |
| | อายุการเก็บเกี่ยว(วัน) | 38 – 42 | 39 | 39 | 39 |
| | ผลผลิต (กก./คร.ม.) | - | 0.36 | 0.29 | 0.33 |
| | ศัตรูพืชทำลาย | - | ไม่มี | ไม่มี | - |
| ผักกาดขาวปลี | พื้นที่ | - | A2 | B3 | - |
| | ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว | 9พ.ค.64-26มิ.ย. 64 | 9พ.ค.64-25มิ.ย.64 | 9พ.ค.64-25มิ.ย.64 | - |
| | อายุการเก็บเกี่ยว(วัน) | 42 – 48 | 47 | 47 | 47 |
| | ผลผลิต (กก./คร.ม.) | - | 2.06 | 1.81 | 1.94 |
| | ศัตรูพืชทำลาย | - | เพลี้ยอ่อน | เพลี้ยอ่อน | - |

*ที่มาจากเกษตรกรก้าวหน้า [1]



(ก) แปลงที่1



(ข) แปลงที่2

ภาพที่ 5 ผักที่อยู่ในโรงเรือนปลูกผักแปลง(ก)และ(ข)



ภาพที่ 6 ผักกาดขาวปลีถูกเพลี้ยอ่อนทำลาย



(ก) ค่ะน้ำฮ่องกง

(ข) กวางตุ้ง

(ค) กวางตุ้งฮ่องเต้

(ง) ผักกาดขาวปลี

ภาพที่ 7 เก็บเกี่ยวผลผลิตผักทดสอบ

3.3 ผลการทดลองหาผลค่าใช้จ่ายสำหรับโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลกใช้สมการในการหาค่าดังนี้

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายสำหรับโรงเรือนปลูกผักแบบอัตโนมัติ*

| รายการ | ต้นทุนคงที่ | | ต้นทุนผันแปร | | | | | รายได้ | | จุดคุ้มทุน | |
|--|----------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|------------------|------------|-------------------|
| | ต้นทุนสร้างโรงเรือนฯ (บาท) | ค่าสาธารณูปโภค (บาท) | ค่าแรงงาน* (บาท) | ค่าใช้จ่ายในการปลูกผัก(บาท) | ค่าซ่อมแซมราคา (บาท) | ผลรวมต้นทุนผันแปร (บาท) | น้ำหนักผลผลิต (กก.) | ราคา คิดราคาเฉลี่ย (บาท) | รวมราคาขาย (บาท) | | รายได้สุทธิ (บาท) |
| 1โรงเรือนปลูกผักระบบปรับอากาศฯ (18ตร.ม.) | 99,554.52 | 299.6 | - | 200 | 50 | 549.6 | 6.71 | 150 | 1,006.51 | 454.91 | 218.84 |

* ไม่คิดค่าแรงเกษตรกร

จากตารางที่ 2 โรงเรือนปลูกผักมีต้นทุนในการสร้างโรงเรือนไม่รวมค่าแรงอยู่ที่ 99,554.52บาท ต้นทุนผันแปรอยู่ที่ 549.6บาท ผลผลิตผักอยู่ที่ 6.71กก.ราคาจำหน่ายอยู่ที่150 บาท รายได้อยู่ที่1,006.51บาท รายได้สุทธิอยู่ที่ 454.91บาท และจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 218.84กก.โรงเรือนต้นแบบนี้สามารถทำอะไรได้บ้างมีค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนที่สูงเนื่องจากติดตั้งระบบปรับอากาศที่ทำให้ไหลเวียนภายในระบบและแผงโซลาร์เซลล์ที่ช่วยลดค่าไฟฟ้าเมื่อนำไปใช้งานจริง

อภิปรายผล

ต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลกมีเป้าหมายเพื่อให้ปลูกผักได้ในช่วงที่มีอากาศร้อนที่ส่งผลต่อผลผลิตเสียหาย เป็นต้นแบบสำหรับเกษตรกรได้ประยุกต์ใช้พัฒนากับโรงเรือนของตนเองที่มีอยู่ ต้นทุนโรงเรือนที่สูงเนื่องจากมีระบบควบคุมอุณหภูมิใช้ระบบปรับอากาศที่อากาศไหลเวียนในระบบโรงเรือนช่วยป้องกันสารเคมีเข้าโรงเรือนและแผงโซลาร์ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า(จากการทดลองใช้พลังงานเพียง 300บาทต่อครั้งที่เพาะปลูก)การออกแบบเป็นระบบควบคุมส่งผ่านระบบไร้สายหากชุดชุดการซ่อมแซมทำได้ยากไม่เหมาะการควบคุมในพื้นที่ไม่มีสัญญาณ การใช้ระบบอิวร่วมกับระบบสปริงน้ำมีข้อจำกัดเรื่องน้ำที่ต้องสะอาด อากาศจากภายนอกที่เข้าโรงเรือนต้องมีระบบป้องกันแมลงศัตรูพืช เสี่ยงต่อสารเคมีที่มากับอากาศ เมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 218.84กก.หากสามารถผลิตผักที่ได้ช่วงเวลาเก็บเกี่ยวที่สั้นได้น้ำหนักและราคาที่สูงจะสามารถคืนทุนได้เร็วขึ้น เช่นการปลูกผักกาดขาวปลี ได้ผลผลิตเฉลี่ยอยู่ที่1.94 กก.การป้องกันศัตรูพืชไม่สามารถป้องกันศัตรูพืชประเภทเลื้อยคลานการป้องกันการใส่สารชีวภัณฑ์ร่วมด้วย เช่น ไตโคดามา บิวบีเรีย น้ำส้มควันไม้ เป็นต้น ผักคะน้าฮ่องกงเป็นผักที่ต้องการปุ๋ยและไม่ต้องการช่มน้ำ เป็นสาเหตุที่มีการเจริญเติบโตช้า

4. บทสรุป

ต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก บ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลก มีระบบต่างๆที่ควบคุมอัตโนมัติ คือระบบควบคุมอุณหภูมิป้องกันผักเสียหายเนื่องจากความร้อนจากแสงแดด แหล่งจ่ายไฟจากโซลาร์เซลล์ที่ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า ระบบพัดลมระบายอากาศทำให้อากาศถ่ายเทสู่ภายนอก และระบบให้น้ำตามเวลาที่ปรับตั้ง ถึงแม้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างสูงหากสามารถ บริหารจัดการการปลูกที่ดี ปลูกพืชที่ได้น้ำหนัก อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ราคาสูงการคืนทุนทำได้เร็วขึ้น การป้องกันศัตรูพืชอาจใช้สารชีวภัณฑ์ร่วมด้วยป้องกันอีกชั้นหนึ่ง การปลูกผักในโรงเรือนควรปลูกเป็นชนิดเดียวกันหรือประเภทเดียวกันเพราะผักแต่ละประเภทมีความต้องการน้ำ ปุ๋ย ฯ แตกต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องต้นแบบโรงเรือนปลูกผักแบบควบคุมอัตโนมัติพลังงานสะอาดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากบ้านแหลมโพธิ์ พิษณุโลกสำเร็จด้วยดีต้องขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยนเรศวรโดยเครือข่ายการวิจัยภาคเหนือตอนล่างรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแหล่งทุนภายนอก(สป.อว.)โครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานรากประจำปีงบประมาณ 2563

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เกษตรก้าวหน้า.(15กรกฎาคม 2564). อายุการเก็บเกี่ยวผักแต่ละชนิด (ออนไลน์).สืบค้นจาก<https://www.kasetkwna.com/article>.
- [2] ธนากร น้ำหอมจันทร์และอดิกร เสรีพัฒนานนท์.ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำ แบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้.วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย. 8(2014) 98-110.
- [3] นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. การถ่ายเทความร้อน.ฟิสิกส์เชิงเทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ. 2533.
- [4] นภดล อินนา. ทฤษฎีและการคำนวณกลศาสตร์ของไหล.ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด. กรุงเทพฯ. 2536.
- [5] พรรณวิภา อรุณจิตต์และคณะ.โรงเรือนปลูกพืชควบคุมและมอนิเตอร์อัตโนมัติผ่านระบบเครือข่าย.การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 16 ปี 2558 และระดับนานาชาติครั้งที่8, กรุงเทพฯ. 2558. 54-458.
- [6] วีระ กล้วยคุ้ม นัฐพร ไชยญาติ และปริดา นาเทเวศร์ .การศึกษาสารทำความเย็นที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศสำหรับกัญชา.รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 6 รูปแบบออนไลน์. เชียงใหม่. 2563. 173-182.
- [7] อุษณีย์กรณ์ จุ้ยแหวน.(1กรกฎาคม2563). ผักปลอดสารพิษในบ้านกร่าง แหลมโพธิ์.บทสัมภาษณ์ .แหลมแหลมโพธิ์ บ้านกร่าง พิษณุโลก.
- [8] EATON.(5 สิงหาคม 2564).ความแตกต่างระหว่าง VA และ watts .สืบค้นจาก <https://powerquality.eaton.com/thailand/thoughtleadership>
- [9] Stou. (19 กรกฎาคม2564). เครื่องมือในการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ .สืบค้นจาก <https://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec>.

การประยุกต์ใช้ NodeMCU ESP8266 สำหรับพัฒนาหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาด A Garbage Collection Robot on the Beach using an NodeMCU ESP8266 Embedded Device

อาทิตย์ อยู่เย็น^{1*} ศิริเรือง พัฒน์ช่วย¹ พรประสิทธิ์ บุญทอง¹ ศิวะพร วิวัฒน์ภิญโญ¹
และ วรุตม์ บุญเยี่ยม¹

¹สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

*Email: arthit.yoo@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากในปัจจุบันชายหาดซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวเกิดปัญหาขยะที่มากขึ้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญเกี่ยวกับการรักษาความสะอาดบริเวณชายหาดซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญทางธรรมชาติและรักษาสภาพแวดล้อมของชุมชน ดังนั้นบทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาดในราคาต้นทุนต่ำและทดสอบประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งในบทความวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ระบบสมองกลฝังตัว NodeMCU ESP8266 สำหรับควบคุมการรับข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายจากสมาร์ตโฟนและนำมาประมวลผลควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างขยะ 4 ชนิด คือ ขวดพลาสติก กระป๋องน้ำอัดลม ฝาขวด และถุงขนม ซึ่งพื้นที่ที่ศึกษาเป็นบริเวณหาดเขาเต่า อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ผลการวิจัยพบว่า 1) เครื่องเก็บขยะบนชายหาดสามารถเก็บขยะได้ทุกกลุ่มตัวอย่าง 2) ผลการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องการทำงานของระบบจากกลุ่มตัวอย่างทดลองจำนวน 40 ครั้ง ซึ่งมีค่าความถูกต้องร้อยละ 93

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาด มอเตอร์ NodeMCU ESP8266 เครือข่ายไร้สาย

Abstract

Presently, the biggest problem of Khao Tao beach, where is a tourist destination, is the misplacing garbage. Therefore, the researcher recognizes the importance of keeping the beach area clean, an important natural tourist attraction, and preserving the community's environment. Therefore, this research paper aims to develop a low-cost beach trash robot and test the efficiency of the developed system. This research paper applies the NodeMCU ESP8266 embedded system device to control receiving data via a wireless network from a smartphone and use it to process motor control. The experiment was conducted with four waste samples, namely plastic bottles, soda cans, bottle caps, and candy wrappers. The study area was at Khao Tao Beach, Hua Hin District, Prachuap Khiri Khan Province. The results showed that 1) the garbage collector on the beach collected all the garbage in the sample group 2) the results of the system's accuracy performance test from the experimental sample group 40 samples has an accuracy of 93%.

Keywords: Garbage Collection robot on the Beach, Motor, NodeMCU ESP8266, Wi-Fi

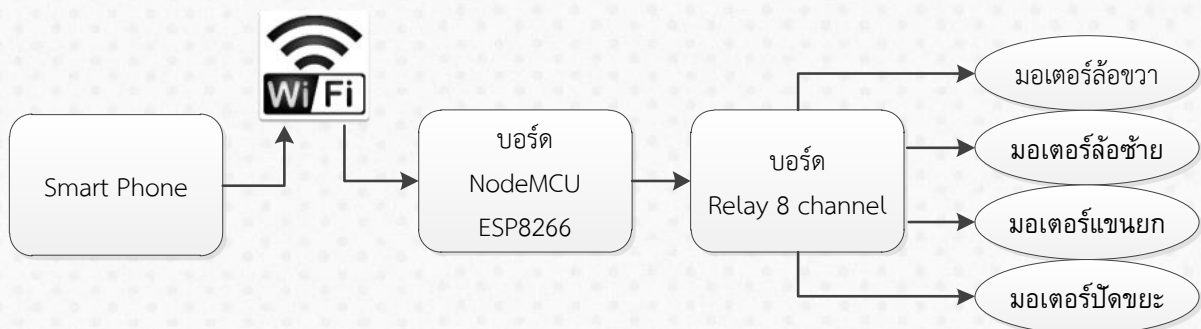
1. บทนำ

การพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อช่วยเก็บขยะ ไม่ได้เพียงแค่นำไปใช้ในพื้นที่บริเวณพื้นหญ้า พื้นปูน พื้นดิน แต่ต้องพัฒนาให้ครอบคลุมถึงการใช้งานในพื้นที่ทราย นั่นคือ บริเวณชายทะเลหรือแม้แต่พื้นที่เปียกชื้นรวมถึงในน้ำ โดย [1] ได้พัฒนาหุ่นยนต์สำหรับเก็บขยะมูลฝอยในแม่น้ำในเขตชุมชน อีกทั้งนำหลักการประมวลผลภาพการเรียนรู้เชิงลึก (Deep) มาช่วยในการแยกขยะขวดพลาสติก โดยใช้ระยะควบคุม 10 เมตรในการรู้จำเส้นทางที่การทำงาน โดยทำให้ในแม่น้ำมีสภาพที่ดีขึ้น ดังนั้นการพัฒนาหุ่นยนต์แต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมที่นำไปใช้งาน ทำให้ผู้วิจัยมองถึงประเด็นของสถานที่ท่องเที่ยวบริเวณชายหาดเขาเต่าตั้งอยู่ในชุมชนขนาดเล็กแต่แน่นอนหนาไปด้วยจำนวนประชากร และมีจุดขายที่น่าสนใจ อาทิเช่น ศูนย์หัตถกรรมทอผ้าบ้านเขาเต่า[2] ผลิตภัณฑ์ชุมชน OTOP บาติก เขาเต่า อาหารทะเลแห้ง และอาหารทะเลสดที่ชาวประมงออกไปหาด้วยเรือเล็ก เมื่อแต่ละท้องถิ่นมีจุดขายจึงทำให้ผู้ประกอบการหรือผู้นำชุมชนเล็งเห็นถึงการพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ อีกทั้ง [3] ได้วิเคราะห์ศักยภาพของชุมชนท้องถิ่นที่สอดคล้องกับความต้องการของนักท่องเที่ยว และเพื่อเสนอแนวทางพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ที่สอดคล้องกับความต้องการของนักท่องเที่ยว โดยมองจากฐานวิถีชีวิตและวัฒนธรรมท้องถิ่นเป็นประเด็นสำคัญ อีกทั้งในปัจจุบันชายหาดเขาเต่าถือเป็นจุดดึงดูดใจของนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเนื่องจากบรรยากาศที่เงียบและมีวิถีชีวิตแบบชาวบ้าน อาทิ เช่น การตกหมึก ปลา กุ้ง และหอย บริเวณชายหาดและนินยามเย็นนักท่องเที่ยวก็จะมานั่งพักผ่อนและเล่นน้ำ แต่บริเวณชายหาดก็ยังมีขยะที่เกิดจากความมั่งง่ายของนักท่องเที่ยวที่ทิ้งไม่ตรงจุด ซึ่งทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่น่าพักผ่อน จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดแนวคิดในการสร้างหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการใช้งานมุ่งเน้นสำหรับเก็บขยะบนชายหาดและประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบสมองกลฝังตัวแบบต้นทุนต่ำ ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาหุ่นยนต์ก็มีแตกต่างเฉพาะด้าน โดย [4] ได้พัฒนาหุ่นยนต์สำหรับเก็บขยะบนชายหาดด้วยล้อแบบตีนตะขาบและใช้แบตเตอรี่ที่เชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ 40W ซึ่งพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่บนทรายด้วยความเร็วเฉลี่ย 0.5 เมตรต่อวินาที อีกทั้ง [5] ได้ออกแบบหุ่นยนต์สำหรับการเก็บขยะมูลฝอย เช่น ขวด ได้ทั้งบนชายหาดและในน้ำและได้พัฒนาหุ่นยนต์สำหรับเก็บขยะรีไซเคิล ซึ่งได้ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเชิงลึกในการรู้จำลักษณะของภาพของขยะแต่ละชนิดและระบบยังสามารถวางแผนและสำรวจเส้นทางตลอดจนการทำงานของระบบยังสามารถตรวจจับและจำแนกเป้าหมายอย่างรวดเร็ว โดยตัวหุ่นยนต์ที่พัฒนานั้นใช้ระบบสมองกลฝังตัว Raspberry Pi 4B และ STM32f407 ในการควบคุมการทำงานและการประยุกต์ใช้ NodeMCU ESP8266 โดยมีแนวคิดการสร้างอุปกรณ์ต้นทุนต่ำจาก [6] ที่นำไปประยุกต์ในการควบคุมระบบถึง 9 เครื่อง อีกทั้ง [7] ก็มีแนวคิดในการพัฒนาระบบการจัดการบ้านอัตโนมัติด้วยต้นทุนต่ำเช่นกัน โดยพัฒนาฟังก์ชันเพิ่มเติมจากการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านได้แล้วยังรวมถึงการแจ้งราคาค่าไฟฟ้าให้ผู้บริการตามปกติของช่วงเวลาอีกด้วย จากการศึกษาแนวคิดจากงานวิจัยข้างต้นทำให้ผู้วิจัยนำหลักการการพัฒนาหุ่นยนต์ด้วยล้อแบบตีนตะขาบเพื่อให้เกิดการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์บนพื้นทรายได้ประสิทธิภาพมากที่สุด อีกทั้งการประยุกต์ใช้ระบบสมองกลฝังตัว NodeMCU ESP8266 ในการพัฒนาหุ่นยนต์ครั้งนี้ ด้วยต้นทุนต่ำที่สามารถทำให้ชุมชนได้นำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริง

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

จากการพัฒนาเครื่องเก็บขยะบนชายหาด ได้แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ โดยนำเสนอข้อมูลดังนี้

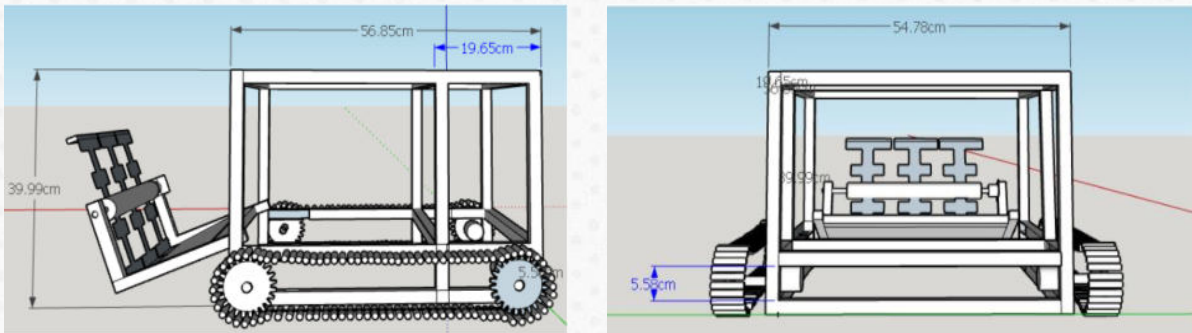
2.1 การพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์ของเครื่องเก็บขยะบนชายหาด



ภาพที่ 1 กรอบการทำงานของระบบ

การทำงานของภาครับ จะทำการเชื่อมต่อหุ่นยนต์เก็บขยะชายหาดกับสมาร์ทโฟนผ่านสัญญาณเครือข่ายไร้สาย (WIFI) และควบคุมการทำงานของตัวหุ่นยนต์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์บนสมาร์ทโฟน โดยสามารถควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ แขนยกหุ่นยนต์และที่ปิดขยะได้โดยการส่งข้อมูลผ่านสัญญาณเครือข่ายไร้สาย(WIFI) ไปยังตัวบอร์ด NodeMCU ESP8266 ซึ่งในการทำงานของภาคประมวลผล NodeMCU ESP8266 เมื่อได้รับข้อมูลผ่านสัญญาณเครือข่ายไร้สาย(WIFI) wifi จากสมาร์ทโฟนแล้ว จะส่งการไปยังบอร์ดรีเลย์เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์แต่ละตัว การทำงานของภาคเอาต์พุต จะมีมอเตอร์ที่ใช้ในการบังคับทิศทางของหุ่นยนต์ด้วยล้อตีนตะขาบ 2 ตัว มอเตอร์ที่ใช้ในการบังคับแขนที่ปิดเศษขยะขึ้นลง 1 ตัว และมอเตอร์ที่ใช้ในการปิดเศษขยะเข้าที่พักขยะ 1 ตัว

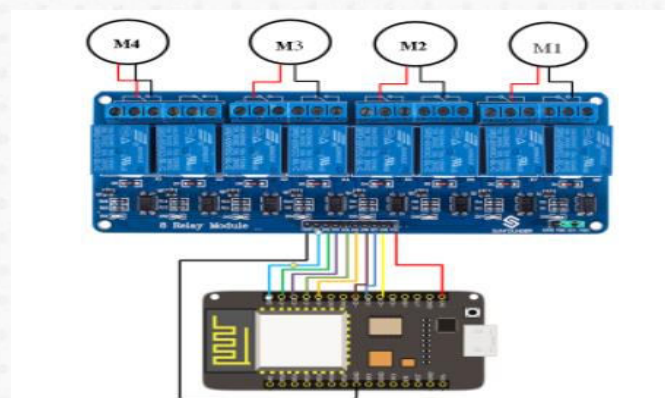
2.1.1 แบบจำลองชิ้นงานของหุ่นยนต์เก็บขยะชายหาด



ภาพที่ 2 แบบจำลองชิ้นงาน

จากภาพที่ 2 เป็นการแสดงแบบจำลองชิ้นงานของหุ่นยนต์เก็บขยะชายหาด โดยล้อจะเป็นล้อตีนตะขาบ ควบคุมด้วยมอเตอร์ 2 ตัว ส่วนหน้ามีแขนที่ปิดขยะยื่นออกมา สามารถขึ้นลงได้ มีใบพัดสำหรับปิดขยะเข้ามาเก็บในที่พักขยะที่อยู่ในส่วนกลาง ด้านหลังใช้สำหรับใส่กล่องวงจรควบคุมและแบตเตอรี่

2.2.2 วงจรควบคุมมอเตอร์



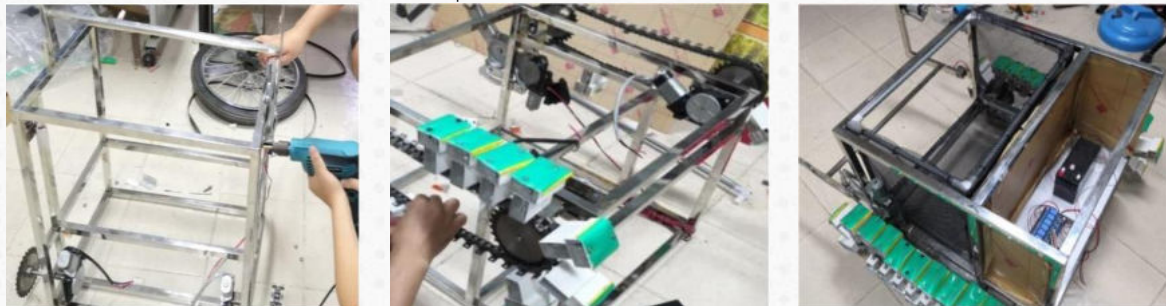
ภาพที่ 3 วงจรควบคุมมอเตอร์ของระบบ

จากภาพที่ 3 แสดงการต่อบอร์ด NodeMCU ESP8266 เข้ากับบอร์ดรีเลย์ 8 แชนแนล เพื่อใช้ควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่และใช้ในการควบคุมที่ปิดขยะ โดยมีการต่อใช้งานคือ ขา D0 ควบคุมการทำงานรีเลย์ตัวที่ 1 เพื่อสั่งการมอเตอร์ M4 เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการปิดเศษขยะเข้าที่พักขยะ ขา D2 และ D3 ควบคุมการทำงานรีเลย์ตัวที่ 3 และ 4 เพื่อสั่งการมอเตอร์ M3 เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการบังคับแขนที่ปิดเศษขยะขึ้นลง และขา D4 D5 D6 และ D7 ควบคุมการทำงานรีเลย์ตัวที่ 5-8 เพื่อสั่งการมอเตอร์ M1 และ M2 เป็นมอเตอร์ล้อตีนตะขาบด้านซ้ายและขวาเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเชื่อมต่อระหว่าง NodeMCU ESP8266 กับ Relay 8 channel

| NodeMCU ESP8266 | Relay 8 channel | Motor | การควบคุม |
|-----------------|-----------------|-------|-----------------------------|
| GND | GND | | กราวด์บอร์ดรีเลย์ |
| PIN D0 | IN1 | M4 | ใบปิดเศษขยะเข้าที่พักขยะ |
| PIN D2 | IN3 | M3 | บังคับแขนที่ปิดเศษขยะขึ้นลง |
| PIN D3 | IN4 | | |
| PIN D4 | IN5 | M2 | ล้อตีนตะขาบด้านซ้าย |
| PIN D5 | IN6 | | |
| PIN D6 | IN7 | M1 | ล้อตีนตะขาบด้านขวา |
| PIN D7 | IN8 | | |
| 3v3 | Vcc | | ไฟเลี้ยงบอร์ดรีเลย์ |

2.2.3 ขั้นตอนการประกอบหุ่นยนต์เก็บขยะชายหาด



ก) การขึ้นชิ้นงานและการต่อมอเตอร์กับการใส่ลูกปืนในส่วนของล้อตีนตะขาบ

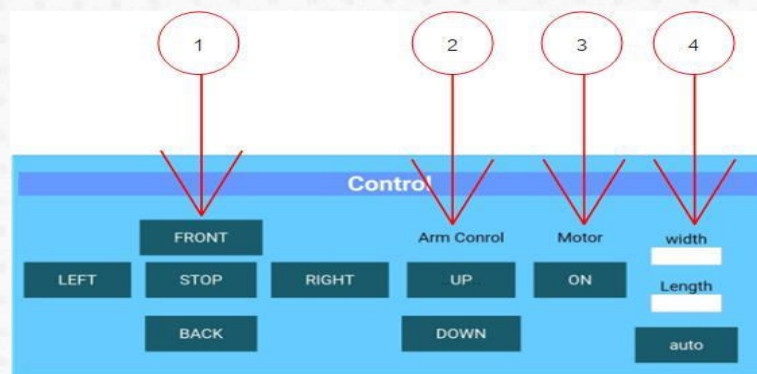
ข) การประกอบล้อตีนตะขาบ

ค) การต่อวงจรกล่องควบคุมและสร้างที่พักขยะ

ภาพที่ 4 (ก)- (ค) ขั้นตอนการประกอบหุ่นยนต์

2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ในการควบคุมหุ่นยนต์เก็บขยะชายหาด

การพัฒนาซอฟต์แวร์ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อใช้ควบคุม โดยการออกแบบการทำงานประกอบด้วย 4 ปุ่ม คือ 1) ปุ่มที่ใช้ในการควบคุมทิศทางของล้อตีนตะขาบ 2) ปุ่มที่ใช้ควบคุมการขึ้นลงของแขนที่ปิดขยะ 3) ปุ่มที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ที่ปิดขยะ และ 4) ส่วนที่ใช้ควบคุมอัตโนมัติโดยใส่ค่าความกว้างยาวของพื้นที่บริเวณที่ต้องการเก็บขยะ โดยหน่วยวัดเป็น (เมตร) โดยหุ่นยนต์เก็บขยะชายหาด ใช้ระบบสมองกลฝังตัว NodeMCU ESP8266 ในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด



ภาพที่ 5 การออกแบบซอฟต์แวร์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาด ประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

3.1 ทดสอบการเก็บขยะ โดยดำเนินการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง 4 กลุ่ม คือ ขวดพลาสติก กระป๋องน้ำอัดลม ฝาขวด และถุงขนม

| ลำดับ | กลุ่มตัวอย่าง | ผลการทดสอบ |
|-------|-----------------|--|
| 1 | ขวดพลาสติก |  |
| 2 | กระป๋องน้ำอัดลม |  |
| 3 | ฝาขวด |  |
| 4 | ห่อขนม |  |

4.2 ทดสอบระยะการควบคุม

ขั้นตอนการทดลองระยะในการควบคุม จะเริ่มทดสอบการควบคุมที่ระยะ 10 เมตร เป็นต้นไป โดยทุกๆ 1 เมตร จะทดลองควบคุมให้หุ่นยนต์เลี้ยวไปทิศทางต่างๆ เพื่อตรวจสอบกลไกระบบการทำงานของหุ่นยนต์ในการรับคำสั่งจากการควบคุม ประกอบด้วยทดสอบกับกลุ่ม 6 ตัวอย่าง คือ ระยะ 10 : 12 : 14 : 16 : 18 และ 20 (เมตร) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทดสอบระยะในการควบคุมของหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาด

| ลำดับ | ระยะการควบคุม | ระดับการควบคุม |
|-------|---------------|----------------|
| 1 | 10 เมตร | 100% |
| 2 | 12 เมตร | 100% |
| 3 | 14 เมตร | 100% |
| 4 | 16 เมตร | 100% |
| 5 | 18 เมตร | 70% |
| 6 | 20 เมตร | 30% |

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการทดสอบระยะการควบคุมของหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาดทั้งหมด 6 กลุ่ม คือ ระยะ 10-20 เมตร โดยการทำงานของหุ่นยนต์จะให้การตอบสนองการควบคุมในระยะไม่เกิน 17 เมตร จะสามารถควบคุมได้ปกติ แต่เมื่อเข้าใกล้ระยะ 18 เมตรขึ้นไปการควบคุมของระบบที่สั่งการให้หุ่นยนต์ทำงานจะเริ่มตอบสนองช้าลง ทำให้สามารถควบคุมได้ในระยะไม่เกิน 20 เมตร โดยแสดงค่าดังตารางที่ 2 ตามลำดับ

4. บทสรุป

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการพัฒนาทั้งด้านฮาร์ดแวร์คือหุ่นยนต์เก็บขยะบนชายหาดโดยใช้ระบบสมองกลฝังตัว NodeMCU ESP8266 ในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับ [8] โดยนำระบบสมองกลฝังตัว NodeMCU มาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์เก็บขยะในน้ำ ทำงานการควบคุมให้หุ่นยนต์เดินในน้ำด้วยแอปพลิเคชันระบบ IOT อีกทั้งใน [9] ได้ใช้หลักการการออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์ 4 ช่องทางในการควบคุมหุ่นยนต์เก็บขยะทั้งในน้ำ และบนพื้นหญ้าทั่วไปบริเวณสถานีต่างๆ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมองเห็นหลักการการออกแบบวงจรควบคุมหุ่นยนต์แบบ 8 ช่องทางมาประยุกต์ใช้งานในการควบคุมหุ่นยนต์ประกอบด้วย มอเตอร์ M1-M4 คือ มอเตอร์ล้อขวา ล้อซ้าย แขนยก ปิดขยะ ตามลำดับในงานวิจัยนี้ ซึ่งการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ใช้ล้อแบบตีนตะขาบเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองคือ พื้นทรายบนชายหาดจะทำให้มีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ได้ดีและด้านซอฟต์แวร์ใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อใช้ควบคุม ซึ่งผลการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง 4 ชนิด คือ ขวดพลาสติก กระป๋องน้ำอัดลม ฝาขวด และถุงขนม หุ่นยนต์สามารถเก็บลงถึงที่พักขยะได้ทุกชนิด โดยทดลองเก็บขยะประเภทต่างๆ เป็นจำนวน 40 ครั้ง แบ่งเป็นประเภทละ 10 ครั้ง โดยเกิดการผิดพลาดของการทำงานเพียง 3 ครั้ง จากฝาขวด 2 ครั้ง และห่อขนม 1 ครั้ง เนื่องมาจากขยะมีขนาดเล็กและจมลงในพื้นที่เปียก ทำให้ใบปิดขยะของหุ่นยนต์ไม่สามารถปิดฝาขวดและห่อขนมเข้าที่พักขยะได้ คิดเป็นค่าความถูกต้องร้อยละ 93 และการทดสอบการควบคุมของหุ่นยนต์นั้นผลที่ตอบสนองการสั่งการให้หุ่นยนต์ทำงานได้ดีคือ ระยะห่าง 10-17 เมตร เพราะเมื่อระยะ 18 เมตรขึ้นไป การสั่งการหุ่นยนต์จะเริ่มตอบสนองช้าลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่สนับสนุนสถานที่และห้องปฏิบัติการในการดำเนินการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hasany, S.N., et al. An autonomous robotic system for collecting garbage over small water bodies. in 2021 6th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE). 2021. IEEE.
- [2] เขมวิภา สุขเอี่ยม และสุวรรณา เขียวภักดี, การวางแผนพัฒนาศูนย์หัตถกรรมทอผ้าบ้านเขาเต่า อำเภอหัวหิน จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ | AN APPROACH OF PLANNING AND DEVELOPMENT FOR KHAO TAO HANDICRAFT CENTER IN PRACHUAP KHIRI KHAN PROVINCE, THAILAND. วารสารศิลปศาสตร์และวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2020. 7(1): p. 82-89.

- [3] นภาพร จัทรฉาย และ อัจฉราวรรณ เพ็ญวันศุกร์, การพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์จากฐานวิถีชีวิตและวัฒนธรรมท้องถิ่น กรณีศึกษา เมืองหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2020. 11(1): p. 176-189.
- [4] Watanasophon, S. and S. Outrakul, Garbage collection robot on the beach using wireless communications. Int. Proc. Chem. Biol. Environ. Eng, 2014. 66: p. 92-96.
- [5] Almosalami, A., et al. BeachBot: Crowdsourcing garbage collection with amphibious robot network. in Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 2018.
- [6] Ara, A. and S. Jawaligi, NodeMCU (ESP8266) Control Home Automation using Google Assistant. International Research Journal of Engineering and Technology, 2019. 6(7): p. 3644-3648.
- [7] Singh, H., et al. IoT based smart home automation system using sensor node. in 2018 4th International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT). 2018. IEEE.
- [8] Hari, S.S., et al. Android Application Controlled Water Trash Bot Using Internet of Things. in 2021 7th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES). IEEE, 2021. p. 538-542.
- [9] Hase, S., et al., Garbage Collection Robot on the Beach using Image Processing, 2021. 6(1): p. 863-867.

ผลของสารสกัดหยาบจากชุมเห็ดไทยต่อ Cell-Surface Hydrophobicity
ของเชื้อ Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*
Effects of Crude Extract from *Cassia tora* (Linn.) Roxb. on Cell-Surface
Hydrophobicity of Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*

อัจฉุรฉา เฟ่ม

สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

Email: atchara.ph@skru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยที่ระดับความเข้มข้น MIC (1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) 2MIC (2 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และ 4MIC (4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ต่อการเปลี่ยนแปลงความไม่ชอบน้ำของผิวเซลล์ (cell-surface hydrophobicity; CSH) ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) โดยวิธี bacterial adherence to hexadecane (BATH) พบว่า CSH ของเชื้อที่พิจารณาจากค่าดัชนีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity index, HPBI) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม low hydrophobicity ($HPBI \geq 0 < 25$) มีจำนวน 7 สายพันธุ์ (23.33%) และกลุ่ม high hydrophobicity ($HPBI \geq 25 \leq 100$) มีจำนวน 23 สายพันธุ์ (76.67%) ทดสอบสารสกัดหยาบแต่ละความเข้มข้นทำให้ค่า HPBI ของเชื้อ MRSA กลุ่ม low HPBI และเชื้อ MRSA กลุ่ม high HPBI มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 64.50-87.35 และ 80.35-94.27 ตามลำดับ โดยที่เชื้อ MRSA7 กลุ่ม high HPBI มีค่า HPBI สูงสุด เมื่อนำเชื้อ MRSA7 มาทดสอบด้วยสารสกัดหยาบที่ระดับความเข้มข้น MIC, 2MIC และ 4MIC มีค่าเป็น 82.23, 89.27 และ 94.27 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสารสกัดหยาบมีผลทำให้ค่า HPBI ของเชื้อ MRSA แต่ละสายพันธุ์เพิ่มขึ้นจะมีผลในการยับยั้งการเกาะติดของเชื้อที่ผิวเซลล์ของโฮสต์

คำสำคัญ: ความไม่ชอบน้ำของผิวเซลล์ ดัชนีความไม่ชอบน้ำ ชุมเห็ดไทย methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*

Abstract

This study aimed to determine the effects of crude extract from *Cassia tora* (Linn.) Roxb. at concentrations of MIC (1 mg/ml), 2MIC (2 mg/ml), and 4MIC (4 mg/ml) on cell-surface hydrophobicity (CSH) of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) by bacterial adherence to hexadecane (BATH) method. The CSH of MRSA were determined by hydrophobicity index (HPBI), divided into 2 groups: low hydrophobicity ($HPBI \geq 0 < 25$) had 7 strains (23.33%) and high hydrophobicity ($HPBI \geq 25 \leq 100$) had 23 strains (76.67%). The increases of HPBI values of low HPBI and high HPBI MRSA after treated with all concentrations of crude extract were in the range of 64.50-87.35 and 80.35-94.27, respectively. MRSA7 (high HPBI MRSA) showed the highest HPBI value. The HPBI values of MRSA7 after treated with crude extract at concentrations of MIC, 2MIC, and 4MIC were 82.23, 89.27, and 94.27, respectively. The results indicated that crude extract had an increased effects of HPBI value of each strains of MRSA, which inhibited the adhesion of host's cell surface.

Keywords: cell-surface hydrophobicity, hydrophobicity index, *Cassia tora*, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*

1. บทนำ

โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารสาเหตุเกิดจากการรับประทานอาหารหรือน้ำที่มีการปนเปื้อนเชื้อก่อโรคชนิดต่างๆ เชื้อก่อโรคอาหารเป็นพิษที่มีความสำคัญคือ *Staphylococcus aureus* มักพบการปนเปื้อนในอาหารจำพวกเค้ก คัสตาร์ดและเนื้อสัตว์ เป็นต้น โดยที่เชื้อ *S. aureus* สามารถสร้างสารพิษชนิดเอนเทอโรท็อกซิน (enterotoxin) 6 ชนิดที่มีความเป็นพิษที่แตกต่างกันทำให้เกิดอาการอาหารเป็นพิษ คือ คลื่นไส้ อาเจียน ภาวะอาหารและลำไส้เล็กอักเสบ การทำลายเชื้ออาศัยยาปฏิชีวนะในการรักษาหากมีการใช้ยาปฏิชีวนะบ่อยๆ และการใช้ไม่ถูกวิธีจะทำให้เชื้อก่อโรคดื้อต่อยาปฏิชีวนะ โดยเฉพาะเชื้อ *S. aureus* ที่มีวิวัฒนาการของสายพันธุ์ทำให้ดื้อต่อยาปฏิชีวนะได้หลายชนิดที่สำคัญคือ methicillin resistant *S. aureus* (MRSA) โดยเชื้อจะดื้อต่อยาปฏิชีวนะกลุ่ม penicillinase-resistant penicillin เช่น เมทิซิลิน (methicillin) ซึ่งเป็นยาหลักในการรักษา จะทำให้เกิดการติดเชื้อรุนแรง รักษาได้ยาก และมีอัตราการเสียชีวิตที่สูง [1]

ปัจจัยในการทำให้เกิดโรคของเชื้อมีหลายอย่าง เช่น การเกาะติด การสร้างสารพิษ และการสร้างไบโอฟิล์ม เป็นต้น กระบวนการแรกในการก่อโรคของเชื้อคือ การเกาะติด (adherence) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เชื้อเกาะติดผิวเซลล์ของโฮสต์ (host) ประกอบด้วยปัจจัยจำเพาะ เช่น โปรตีนในการเกาะติด (adhesin) และปัจจัยที่ไม่จำเพาะ เช่น ความไม่ชอบน้ำของผิวเซลล์ (cell-surface hydrophobicity : CSH) ปัจจัยเหล่านี้เกี่ยวกับขั้นตอนแรกในการเข้าจับเนื้อเยื่อของเชื้อ เมื่อเชื้อเจริญจะมีการสร้างเอนไซม์ สารพิษทำให้เกิดอันตรายต่อโฮสต์ แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจคือ การนำสมุนไพรมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพมาลดความรุนแรงในการเกิดโรคโดยลดการเกาะติดของเชื้อ เนื่องจากสมุนไพรมีหลายชนิดสามารถหาได้ง่าย มีความปลอดภัยในการใช้งาน และยังไม่เคยมีรายงานการดื้อยาปฏิชีวนะ [1, 2]

ชุมเห็ดไทย (*Cassia tora* (Linn.) Roxb.) เป็นพืชสมุนไพรวงศ์ Fabaceae มีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้สามารถพบได้ทุกภาคของไทย ชุมเห็ดไทยเป็นไม้พุ่มสูงประมาณ 1 เมตร มีใบประกอบแบบขนนก สามารถนำมาใช้เป็นยาช่วยให้นอนหลับได้ดี ยาแก้ไอ ขับพยาธิ และลดอาการท้องเสีย ใบชุมเห็ดไทยมีสาร sennosides เป็นองค์ประกอบหลัก รากมีสาร teacopelargonidin-3-o-alpha-1-rhamonpyranoside ดอกมีสาร kaempferol glycoside และในเมล็ดมีสาร anthraquinone glycoside และจากงานวิจัยพบว่า *C. tora* ความเข้มข้น 0.5-1 mg/ml ในการยับยั้งเชื้อ *Bacillus cereus* และเชื้อ *Pseudomonas aeruginosa* [3] และจากงานวิจัยของ Wang et al. [4] พบว่าสารสกัดจากขามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CSH ของเชื้อ *Streptococcus* spp. ทำให้มีจำนวนเชื้อที่ลดลง ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฤทธิ์ของสารสกัดขามาจากชุมเห็ดไทยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง CSH ของเชื้อ MRSA เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาสมุนไพรรักษาโรคติดเชื้อจาก MRSA ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 สมุนไพร อาหารเลี้ยงเชื้อ และสารเคมี

- 1) ชุมเห็ดไทย (*Cassia tora* (Linn.) Roxb.)
- 2) อาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy broth (TSB, Difco, Dickinson, USA)
- 3) อาหารเลี้ยงเชื้อ Tryptic soy agar (TSA, Difco, Dickinson, USA)
- 4) อาหารเลี้ยงเชื้อ Mannitol salt agar (MSA, Difco, Dickinson, USA)
- 5) อาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller Hinton agar (MHA, Difco, Dickinson, USA)
- 6) เอทานอล 95%
- 7) DMSO (Dimethyl Sulfoxide, Merck, Darmstadt, Germany)
- 8) ชุดทดสอบทางชีวเคมี เช่น catalase test และ coagulase test

2.2 อุปกรณ์

- 1) เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator, BUCHI, R-200)
- 2) microtiter plates (96-well)
- 3) multichannel micropipette 20-200 μ l (Finnpipette)
- 4) vernier caliper (Whale)

2.3 วิธีการทดลอง

2.3.1 การจำแนกและการคัดเลือกเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

เก็บตัวอย่างเค้กจากอ.เมือง จ.สงขลา จำนวน 20 ตัวอย่าง นำตัวอย่างเค้กมา 25 g ใส่ในถุงพลาสติกแล้วเติม 0.85% NaCl ปริมาตร 225 ml ทำการเจือจางให้มีระดับความเจือจางเป็น 10^{-1} - 10^{-7} ตรวจนับจำนวนเชื้อ *S. aureus* โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ mannitol salt agar (MSA) บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 24 h เก็บโคโลนีสีเหลืองทองเพื่อใช้ในการจำแนกเชื้อครั้งนี้คือ การย้อมสีแกรม ทดสอบการสร้างเอนไซม์ coagulase ทดสอบการสร้างเอนไซม์ catalase และทดสอบการหมักน้ำตาล mannitol [5] การทดสอบการดื้อต่อยาปฏิชีวนะกลุ่ม penicillinase-resistant penicillin โดยวิธี disc diffusion [6] และจากงานวิจัยของอัจฉรา เพิ่ม ทำการคัดเลือกเชื้อ MRSA ได้จำนวน 30 สายพันธุ์

2.3.2 การสกัดขุมเห็ดไทย

ใบขุมเห็ดไทย (*Cassia tora* (Linn.) Roxb.) ได้รับการพิสูจน์เอกลักษณ์จากสถานวิจัยความเป็นเลิศด้านผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ นำใบขุมเห็ดไทยมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 °C บดให้ละเอียดพอประมาณแล้วนำมาสกัดด้วยเอทานอล 95% โดยมีอัตราส่วนของสมุนไพรต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 กวนผสมใบขุมเห็ดไทยทุกๆ วันจนครบ 7 วันกรองสารสกัดและนำมาระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้ เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) นำสารสกัดมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของสารสกัดหยาบที่ได้ (% yield) ตามสูตรและเก็บสารสกัดที่อุณหภูมิที่ 4 °C (ดัดแปลงจากวิธีการของ Phoem and Voravuthikunchai [7])

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{น้ำหนักของสมุนไพรที่ได้จากการสกัด}}{\text{น้ำหนักของสมุนไพรที่ใช้ในการสกัด}} \times 100$$

และข้อมูลจากงานวิจัยของอัจฉรา เพิ่ม พบว่า minimal inhibitory concentration (MIC) ของสารสกัดใบขุมเห็ดไทยต่อเชื้อ MRSA มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-2 mg/ml ส่วนใหญ่เชื้อ MRSA มีค่า MIC เป็น 1 mg/ml

2.3.3 การทดสอบ cell-surface hydrophobicity (CSH) ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

1) การเตรียมหัวเชื้อ

นำเชื้อ MRSA จำนวน 30 สายพันธุ์ มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (tryptic soy agar, TSA) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 h ให้ได้โคโลนีเดี่ยวๆ แล้วนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ (tryptic soy broth, TSB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 3-5 h ปรับความขุ่นให้ได้เท่ากับสารละลายแบเรียมซัลเฟต McFarland no.5 ให้มีจำนวนเชื้อ 1.5×10^9 cfu/ml [8]

2) การทดสอบ CSH ของเชื้อ MRSA

ทำการทดสอบโดยวิธี bacterial adherence to hexadecane (BATH) โดยการถ่ายเชื้อจากข้อ 1) ปริมาตร 100 μ l เติมนลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ปริมาตร 900 μ l จะมีความเข้มข้นสุดท้ายของเชื้อเป็น 1.5×10^8 cfu/ml นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 h จากนั้นนำหลอดทั้งหมดไป centrifuge ที่ 5,000 rpm เป็นเวลา 10 min แล้วล้างตะกอน 2 ครั้งด้วย 0.85% NaCl นำตะกอนที่ได้มาละลาย (resuspend) ด้วย 0.85% NaCl แล้วนำไปวัดค่า Optical Density (O.D.) ที่ 570 nm บันทึกค่าเป็น O.D. เริ่มต้น (O.D.initial) ให้อยู่ในช่วง 0.8-1.0 นำหลอดดังกล่าวใส่ toluene ปริมาตร 250 μ l ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 min แล้วนำไปวัด O.D. อีกครั้ง บันทึกค่าเป็น O.D. สุดท้าย (O.D.final) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ [8] นำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาค่า hydrophobicity index (HPBI) ตามสูตรดังนี้

$$\text{HPBI} = \frac{\text{O.D.initial} - \text{O.D.final}}{\text{O.D.initial}} \times 100$$

การแปลผล low hydrophobicity (HPBI $\geq 0 < 25$) และ high hydrophobicity (HPBI $\geq 25 \leq 100$)

2.3.4 การทดสอบผลของสารสกัดหยาบจากใบขุมเห็ดไทยต่อ cell-surface hydrophobicity (CSH) ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

1) การเตรียมหัวเชื้อ

นำเชื้อ MRSA กลุ่ม high HPBI ($HPBI \geq 25 \leq 100$) 4 ลำดับแรก และกลุ่ม low HPBI ($HPBI \geq 0 < 25$) 4 ลำดับแรก มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 h ให้ได้โคโลนีเดี่ยวๆ แล้วนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 3-5 h ปรับความขุ่นให้ได้เท่ากับสารละลายแบรียมซัลเฟต McFarland no.5 ให้มีจำนวนเชื้อ 1.5×10^9 cfu/ml [8]

2) การทดสอบสารสกัดจากไบโชมเห็ดไทยต่อการเปลี่ยนแปลง CSH ของเชื้อ MRSA

ทำการทดสอบโดยวิธี bacterial adherence to hexadecane (BATH) โดยการถ่ายเชื้อจากข้อ 1) ปริมาตร 300 μ l ที่ปรับความขุ่นแล้ว และสารสกัดที่ระดับความเข้มข้น MIC (1 mg/ml), 2MIC (2 mg/ml), และ 4MIC (4 mg/ml) ปริมาตร 300 μ l เติมนลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSB ปริมาตร 2,400 μ l ส่วนชุดควบคุมมีการใช้ 1% DMSO แทนสารสกัด นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 15 min ใน water bath จากนั้นนำหลอดทั้งหมดไป centrifuge ที่ 5,000 rpm เป็นเวลา 10 min แล้วล้างตะกอน 2 ครั้งด้วย 0.85% NaCl นำตะกอนที่ได้มาละลาย (resuspend) ด้วย 0.85% NaCl แล้วนำไปวัดค่า Optical Density (O.D.) ที่ 570 nm บันทึกค่าเป็น O.D. เริ่มต้น (O.D.initial) ให้อยู่ในช่วง 0.8-1.0 นำหลอดตั้งกลวใส่ toluene ปริมาตร 250 μ l ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 min แล้วนำไปวัด O.D. อีกครั้ง บันทึกค่าเป็น O.D.สุดท้าย (O.D.final) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ [8] แล้วนำค่าทั้งหมดมาคำนวณหาค่า hydrophobicity index (HPBI)

2.3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองที่ได้รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ ผลที่ได้ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 คุณลักษณะของสารสกัดเห็ดจากไบโชมเห็ดไทยและเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

ไบโชมเห็ดไทยมีน้ำหนักเริ่มต้น 3,000 g หลังจากทำการสกัดน้ำหนักของสารสกัดเห็ดจากไบโชมเห็ดไทยมีน้ำหนัก 126 g คำนวณค่าผลผลิตตามสูตรได้ค่าผลผลิต (% yield) เป็น 4.20% และสารสกัดเห็ดจากไบโชมเห็ดไทยมีลักษณะเป็นของหนืด สีเขียว

การแยกเชื้อ *S. aureus* และทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีเบื้องต้น พบว่าเชื้อมีโคโลนีสีเหลืองทอง ย้อมติดสีแกรมบวก มีการเรียงตัวแบบพวงองุ่น ทดสอบการสร้างเอนไซม์ coagulase และการสร้างเอนไซม์ catalase ให้ผลบวก สามารถหมักน้ำตาล mannitol ได้ และเป็นเชื้อ MRSA จำนวน 30 สายพันธุ์

3.2 ผลทดสอบ cell-surface hydrophobicity (CSH) ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

การเปรียบเทียบค่า hydrophobicity index (HPBI) ของเชื้อ MRSA จำนวน 30 สายพันธุ์ โดยวิธี bacterial adherence to hexadecane (BATH) (ตารางที่ 1) พบว่า ค่า CSH ของเชื้อพิจารณาจากค่า HPBI สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม low hydrophobicity ($HPBI \geq 0 < 25$) มีจำนวน 7 สายพันธุ์ (23.33%) และกลุ่ม high hydrophobicity ($HPBI \geq 25 \leq 100$) มีจำนวน 23 สายพันธุ์ (76.67%) จะเห็นได้ว่าเชื้อ MRSA ที่แยกจากแหล่งเดียวกันจะมีค่า HPBI ที่แตกต่างกัน โดยที่เชื้อ MRSA ส่วนใหญ่มีค่า HPBI สูง โดยเชื้อที่มีผิวเซลล์เป็น hydrophobic จะมีความสามารถในการก่อโรคสูงกว่าเช่นกันเนื่องจากสามารถเกาะติดโฮสต์ได้ดี และปัจจัยที่มีผลต่อการเกาะติดที่ดีคือ ค่า HPBI คุณสมบัติผิวเซลล์ของเชื้อ และผิววัสดุที่เกาะติด [9,10] จากรายงานค่า hydrophobicity ของเชื้อก่อโรคในระบบทางเดินอาหารพบว่า เชื้อ *Escherichia coli* O157:H7 มีค่า hydrophobicity ที่สูงกว่าเชื้อ *Campylobacter jejuni* และ *Listeria monocytogenes* ซึ่งทำให้ *E. coli* O157:H7 เกาะติดพื้นผิวได้ดีกว่าเชื้ออื่น [9] และงานวิจัยของ Ciccio et al. [11] พบว่า เชื้อ *Staphylococcus aureus* มีความสามารถในการเกาะติดบนอาหารได้ดีขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ

ตารางที่ 1 ค่า hydrophobicity index (HPBI) ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

| Hydrophobicity Index (HPBI) | จำนวนเชื้อ MRSA |
|-----------------------------|-----------------|
| HPBI \geq 0<25 | 7/30 (23.33%) |
| HPBI \geq 25 \leq 100 | 23/30 (76.67%) |

low hydrophobicity (HPBI \geq 0<25) และ high hydrophobicity (HPBI \geq 25 \leq 100)

3.3 ผลของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยต่อ cell-surface hydrophobicity (CSH) ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)

ผลทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยที่ระดับความเข้มข้น MIC (1 mg/ml), 2MIC (2 mg/ml), และ 4MIC (4 mg/ml) ต่อการเปลี่ยนแปลง CSH ของเชื้อ MRSA กลุ่ม low HPBI 4 ลำดับแรก (ตารางที่ 2) พบว่า ค่า HPBI ของเชื้อแต่ละสายพันธุ์ (ชุดควบคุม) มีค่าอยู่ระหว่าง 20.17-25.15 เมื่อใส่สารสกัดจากใบชุมเห็ดไทยทำให้ค่า HPBI ของเชื้อทุกสายพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 64.50-87.35 โดยการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI ในแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และค่า HPBI มีลักษณะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เชื้อ MRSA15 มีการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI สูงสุด เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่ MIC, 2MIC และ 4MIC มีค่า HPBI เป็น 68.39, 73.31 และ 87.35 ตามลำดับ และเชื้อ MRSA6 มีการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI ต่ำสุด เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่ MIC, 2MIC และ 4MIC มีค่า HPBI เป็น 70.64, 78.50 และ 84.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยต่อ cell-surface hydrophobicity ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ที่เป็นกลุ่ม low hydrophobicity index

| สายพันธุ์ | ชุดควบคุม | Hydrophobicity Index (HPBI) | | |
|-----------|-------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| | | MIC (1 mg/ml) | 2MIC (2 mg/ml) | 4MIC (4 mg/ml) |
| MRSA2 | 22.10 \pm 2.16d | 71.25 \pm 5.35c | 76.27 \pm 3.37b | 86.15 \pm 4.28a |
| MRSA6 | 25.15 \pm 2.54d | 70.64 \pm 4.20c | 78.50 \pm 4.38b | 84.20 \pm 3.20a |
| MRSA15 | 20.17 \pm 2.31d | 68.39 \pm 4.20c | 73.31 \pm 5.13b | 87.35 \pm 5.10a |
| MRSA27 | 24.45 \pm 2.27d | 64.50 \pm 4.36c | 77.37 \pm 4.27b | 86.30 \pm 5.38a |

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวนอนที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่า HPBI ในแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การทดสอบฤทธิ์ของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยที่ระดับความเข้มข้น MIC (1 mg/ml), 2MIC (2 mg/ml), และ 4MIC (4 mg/ml) ต่อการเปลี่ยนแปลง CSH ของเชื้อ MRSA กลุ่ม high HPBI 4 ลำดับแรก (ตารางที่ 3) พบว่า ค่า HPBI ของเชื้อแต่ละสายพันธุ์ (ชุดควบคุม) มีค่าอยู่ระหว่าง 72.15-76.16 เมื่อใส่สารสกัดจากใบชุมเห็ดไทยทำให้ค่า HPBI ของเชื้อทุกสายพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80.35-94.27 โดยการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI ในแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และค่า HPBI มีลักษณะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น เชื้อ MRSA7 มีการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI สูงสุด เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่ MIC, 2MIC และ 4MIC มีค่า HPBI เป็น 82.23, 89.27 และ 94.27 ตามลำดับ และเชื้อ MRSA10 มีการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI ต่ำสุด เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารสกัดที่ MIC, 2MIC และ 4MIC มีค่า HPBI เป็น 83.15, 88.23 และ 92.22 ตามลำดับ

ผลการทดสอบด้วยสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า HPBI อาจมีผลทำให้เชื้อเกาะติดที่ epithelial cells ลดลง เนื่องจากสารสกัดประกอบด้วยสาร sennosides มีผลทำให้ cell surface protein ของเชื้อเกิดความผิดปกติ เชื้อจึงเกาะกลุ่มกันเองทำให้ร่างกายสามารถขจัดเชื้อออกจากร่างกายได้ง่ายขึ้น [3,12] สอดคล้องกับงานวิจัยของปิ่นอนงค์ โชโต [13] ที่ใช้สารสกัดจากเบญจกานี (*Quercus infectoria*) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า HPBI ของเชื้อ methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) พบว่า ค่า HPBI ของเชื้อ MRSA เพิ่มขึ้น มีลักษณะที่แปรผันตรง

กับความเข้มข้นของสารสกัดที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สารสกัดจากชา [4] และสาร propolis จากน้ำผึ้ง [14] มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า CSH ทำให้สามารถกำจัดเชื้อโรคออกจากร่างกายได้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 3 ผลของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยต่อ cell-surface hydrophobicity ของเชื้อ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) ที่เป็นกลุ่ม high hydrophobicity index

| สายพันธุ์ | ชุดควบคุม | Hydrophobicity Index (HPBI) | | |
|-----------|-------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| | | MIC (1 mg/ml) | 2MIC (2 mg/ml) | 4MIC (4 mg/ml) |
| MRSA7 | 72.15±5.17d | 82.23±4.40c | 89.27±2.15b | 94.27±3.18a |
| MRSA10 | 74.36±3.20d | 83.15±3.67c | 88.23±3.14b | 92.22±3.70a |
| MRSA22 | 75.60±2.32d | 82.37±4.32c | 87.52±5.17b | 93.16±4.30a |
| MRSA24 | 76.16±4.15d | 80.35±3.65c | 89.12±5.10b | 93.23±4.48a |

ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กในแนวนอนที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่า HPBI ในแต่ละความเข้มข้นของสารสกัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4. บทสรุป

เชื้อ MRSA ที่คัดแยกได้จากเค้กแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ high HPBI และ low HPBI เชื้อส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม high HPBI ผลของสารสกัดหยาบจากใบชุมเห็ดไทยที่ระดับความเข้มข้น MIC, 2MIC และ 4MIC ต่อการนำเปลี่ยนแปลง CSH ของเชื้อ MRSA พบว่า ค่า HPBI ของเชื้อทุกสายพันธุ์เพิ่มขึ้น โดยค่า HPBI ของเชื้อกลุ่ม high HPBI มีการเพิ่มขึ้นมากกว่าค่า HPBI ของเชื้อกลุ่ม low HPBI

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กองบรรณาธิการเรียนเชิญให้ตรวจแก้ไขงานชิ้นนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Food and Drug Administration-FDA. (6 February 2014). Bad bug book: handbook of foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins. Available: [http://www.fda.gov/downloads/Food/Foodborne Illness Contaminants/UCM297627.pdf](http://www.fda.gov/downloads/Food/Foodborne%20Illness%20Contaminants/UCM297627.pdf).
- [2] ศรีสุตา ปิณณานุสรณ์ และณัฐธิดา ม่วงสุนทร. การศึกษาการสร้างไบโอฟิล์มและคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำของเชื้อ *Candida parapsilosis*. *Thai Journal of Science and Technology*. 10(2564)74-85.
- [3] S. Shukla, S. Hegde, A. Kumar, G. Chaudhary, S. Krishna, M. Pal. Fatty acid composition and antibacterial potential of *Cassia tora* (leaves and stem) collected from different geographic areas of India. *Journal of Food and Drug Analysis*. 26(2018)107-111.
- [4] Y. Wang, L.P. Samaranyake, G.A. Dyke. Tea extracts modulate oral biofilm development by altering bacterial hydrophobicity and aggregation. *Archives of oral biology*. 122(2021)105032.
- [5] N. Krieg, J. Holt. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Williams and Wilkins, Baltimore, 1986.
- [6] V. Lorian. *Antibiotics in laboratory medicine*. 4th ed., Md: Williams and Wilkins, Baltimore, 1996.
- [7] A. N. Phoem, S. P. Voravuthikunchai. Growth stimulation/inhibition effect of medicinal plants on human intestinal microbiota. *Food Science and Biotechnology*. 21(2012)739-745.
- [8] K. M. Wiencek, N. A. Klapes, P. M. Foegeding. Hydrophobicity of *Bacillus* and *Clostridium* spores," *Applied and Environmental Microbiology*. 56(1990)2600-2605.

- [9] ณฐนนท์ ตราชู และกาญจนา จำปามี. ความไม่ชอบน้ำและการตกตะกอนรวมกลุ่มของ *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7 และ *Listeria monocytogenes*. *วารสารสงขลานครินทร์ วทท.* 27(2548)377-383.
- [10] ชยาภรณ์ วงศ์ศิริเดชชัย. สมบัติการเป็นพรีไบโอติกของโอลิโกแซคคาไรด์ที่ผลิตจากกากกาแฟด้วยแมนนาเนสจาก *Bacillus* sp. GA2(1). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2560.
- [11] P. D. Ciccio, A. Vergara, A.R. Festino, D. Paludi, E. Zanardi, S. Ghidini, A. Ianieri. Biofilm formation by *Staphylococcus aureus* on food contact surfaces: relationship with temperature and cell surface hydrophobicity. *Food Control.* 50(2015)930-936.
- [12] M. Nakayama, D. Tomiyama, N. Shigemune, A. Mitani, W. Xu, T. Miyamoto. Cell surface hydrophobicity contributes to *Lactobacillus* tolerance to antibacterial actions of catechins. *Food Science and Technology Research.* 21(2015)583-588.
- [13] ปิ่นอนงค์ โชโต.ฤทธิ์ของสารสกัดเบญจกานีและ tannic acid ต่อ cell-surface hydrophobicity ของเชื้อ *Staphylococcus aureus*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2550.
- [14] V. Vadillo-Rodriguez, M. A. Cavagnol, C. Perez-Giraldo, M. C. Fernandez-Calderon. A physico-chemical study of the interaction of ethanolic extracts of propolis with bacterial cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 200(2021)111571.

การประเมินคุณภาพน้ำในคลองบางเขนใหม่ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน Evaluation of Water Quality in Bang Khen Mai Canal using Analysis of Variance

ชวณี สุภีรัตน์^{1*} กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์¹ สุนิสา สายอุปราช¹ และปิยธิดา พันธนะ¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: chawanee.s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

คุณภาพน้ำ มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำรงชีวิต และมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในคลองบางเขนใหม่ เมื่อมีความแตกต่างระหว่างฤดูกาล และจุดเก็บตัวอย่างน้ำ โดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 50 ตัวอย่าง จากจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด ซึ่งมีระยะห่างกันประมาณ 300 เมตร เป็นระยะทาง 1.5 กิโลเมตร ครอบคลุม 3 ฤดูกาล คือ ฤดูหนาว (เดือนตุลาคม 2563 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2564) ฤดูร้อน (เดือนมีนาคม ถึง เดือนพฤษภาคม 2564) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน และกรกฎาคม 2564) โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ 3 ค่า ประกอบด้วยค่าพีเอช (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) และค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) พบว่า ค่าพีเอช (pH) เฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.10 - 7.74 ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) เฉลี่ยเท่ากับ 1.80 - 2.84 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) เฉลี่ยอยู่ในช่วง 327-517 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{S}/\text{cm}$) การเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way Analysis of Variance) พบว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในทุกพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Scheffe พบว่า ค่าพีเอช (pH) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในฤดูฝน มีความแตกต่างกันกับฤดูหนาว และฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) ฤดูหนาว มีความแตกต่างกันกับฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ

Abstract

Water quality is the great importance for life and affects the health of living things. This research aimed to compare the water quality in Khlong Bang Khen Mai when the seasons and sampling points are different. A total 50 of water samples were collected from 5 sampling points, each point approximately 300 meters apart, for a total distance of 1.5 kilometers under three seasons consist of winter (October 2020 to February 2021), summer (March to May 2021), and rainy (June and July 2021). Three parameters of this research are pH, Dissolved Oxygen (DO), and Electrical Conductivity (EC). The result shows that the average pH has ranged from 7.10 - 7.74, the dissolved oxygen (DO) was in 1.80 - 2.84 mg/L, and the electrical conductivity (EC) was in the range of 327 - 517 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A two-way analysis of variance is a statistical method used to compare the water quality in Khlong Bang Khen Mai. The results indicate that the difference between seasons influences changing the water quality in all parameters with a statistically significant level of .05. Afterward, the comparison of multiple comparisons by Scheffe's method showed that the pH and dissolved oxygen (DO) in the rainy season were significantly different from winter and

summer. For the electrical conductivity (EC), there was a statistically significant difference between summer and winter.

Keywords: water quality, two-way analysis of variance, pH, electrical conductivity, dissolved oxygen

1. บทนำ

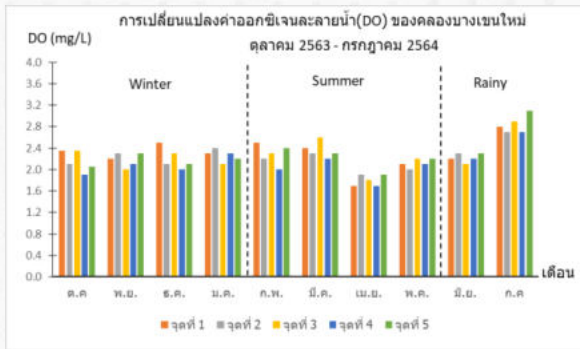
ข้อมูลการศึกษาในปัจจุบันพบว่าน้ำเสียซึ่งเกิดจากกิจกรรมของชุมชนในประเทศไทยมีปริมาณเท่ากับ 14 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในขณะที่มีเพียงประมาณ 3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่ถูกรวบรวมและนำไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบศูนย์รวม (central wastewater treatment plant) ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบดังกล่าวมีจำนวนเพียง 90 กว่าแห่งทั่วประเทศ

สำหรับการจัดการน้ำเสียโดยทั่วไปของบ้านเรือน ร้านอาหาร มักมีเพียงระบบจัดการน้ำเสียเบื้องต้น ซึ่งได้แก่ บ่อเกรอะ-บ่อซึม ซึ่งใช้บำบัดน้ำเสียเพียงบางส่วนเท่านั้น นอกจากนี้ในชุมชนเมืองอีกหลายแห่งของประเทศยังไม่มีระบบการจัดการน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นถูกระบายลงสู่ทางระบายน้ำสาธารณะและแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชุมชนหรือสถานประกอบการที่ตั้งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมชุมชนดังกล่าวสามารถส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำอย่างรวดเร็วจนในที่สุดอาจไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำดังกล่าวได้ [1,2] จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างกระบวนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากกิจกรรมของชุมชนที่อยู่ใกล้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ บริเวณแหล่งกำเนิดข้างคลองบางเขนใหม่ ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร ความยาวของคลองประมาณ 1.5 กิโลเมตร และเส้นทางไหลของคลองผ่านแหล่งชุมชน และสถานที่อาคารสำนักงานต่างๆ อีกทั้งยังเชื่อมต่อกับแม่น้ำเจ้าพระยาที่ฝั่งต้นน้ำ และท้ายน้ำ จึงเป็นพื้นที่ที่น่าสนใจในการศึกษาผลกระทบจากน้ำเสียชุมชนที่ระบายทิ้งลงสู่คลองดังกล่าว โดยมีความสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในแต่ละฤดูกาลเพื่อเป็นการเผยแพร่สถานการณ์ปัจจุบันของคลอง และส่งเสริมป้องกันมิให้มีการระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง โดยได้นำหลักการทางสถิติ มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการทดลอง และ วิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพน้ำในแต่ละฤดูกาล ซึ่งจะช่วยให้หน่วยงานที่รับผิดชอบดูแลคลองดังกล่าว มีฐานข้อมูลที่จะนำไปวางแผนการป้องกันการระบายน้ำทิ้งและฟื้นฟูสภาพคลองในอนาคตได้

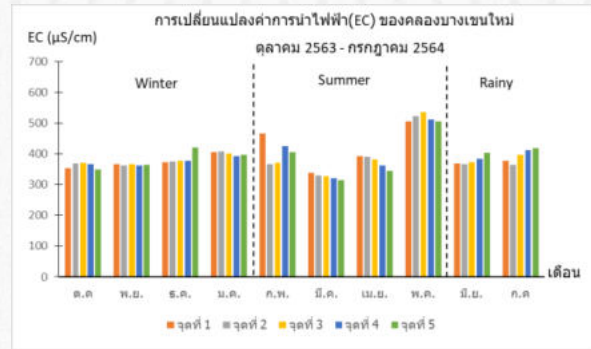
ในการวิเคราะห์ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนการป้องกันเชิงพื้นที่ มีความจำเป็นที่จะต้องนำวิธีการทางสถิติเข้ามาใช้ร่วมด้วย ซึ่งจะช่วยให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับมากขึ้น ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำของคลองบางเขนใหม่ โดยนำวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way Analysis of Variance) [3,4] มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำตามฤดูกาลต่างๆ และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Scheffe [5,6] ซึ่งวิธีทางสถิติดังกล่าวจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และอาจเป็นประโยชน์ในการต่อยอดพัฒนางานวิจัยในอนาคต ในเรื่องการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น ค่าบีโอดี (BOD) ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (TCB) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการบริหารและจัดการคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในแต่ละฤดูกาลของคลองบางเขนใหม่ได้

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำในคลองบางเขนใหม่ โดยกำหนดสถานีสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ โดยแบ่งพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็น 3 สถานี ได้แก่ บริเวณช่วงต้นน้ำ (จุดที่ 1 บริเวณข้างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และจุดที่ 2 บริเวณภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ) ช่วงระยะกลางลำคลอง (จุดที่ 3 บริเวณหลังมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ) และปลายทางของคลองบางเขนใหม่ (จุดที่ 4 บริเวณหลังวัดฝาง และจุดที่ 5 บริเวณข้างวัดปากน้ำ) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 50 ตัวอย่าง ครอบคลุม 3 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงเดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในช่วงเดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำคลองบางเขนใหม่ ประกอบด้วย ค่าพีเอช (pH) ของน้ำในคลอง มีค่าเฉลี่ยแปรผันอยู่ในช่วง 7.10 - 7.74 ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยตรวจวัดค่าพีเอชสูงสุด คือ 7.78 (จุดที่ 3 และจุดที่ 4) ในเดือนกรกฎาคม 2564 และค่าต่ำสุดคือ 6.94 (จุดที่ 4) ในช่วงเดือนตุลาคม 2563 ในส่วนของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.80 - 2.84 mg/L สำหรับค่าสูงสุด คือ 3.10 mg/L (จุดที่ 5) ในเดือนกรกฎาคม 2564 และค่าต่ำสุดคือ 1.70 mg/L (จุดที่ 1 และจุดที่ 5) ในช่วงเดือนเมษายน 2564 ดังแสดงในภาพที่ 3 สำหรับค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 327-517 µS/cm ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยพบว่า ค่าการนำไฟฟ้าสูงสุด คือ 536 µS/cm (จุดที่ 3) ในเดือนพฤษภาคม 2564 และค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุดคือ 315 µS/cm (จุดที่ 5) ในเดือนมีนาคม 2564

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษา ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ภายใต้ฤดูกาล และจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่แตกต่างกัน จะใช้วิธีการทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์การแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way Analysis of Variance) และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Scheffe ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 ถึง 3

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างระหว่างฤดูกาลจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่าพีเอช (pH) ที่แตกต่างกัน ($F = 47.42$; $p < .05$) และเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Scheffe พบว่า ฤดูฝน จะมีค่าเฉลี่ยของค่าพีเอช (pH) แตกต่างกับฤดูหนาว และฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ที่แตกต่างกัน ($F = 53.692$; $p < .05$) และเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Scheffe จะเห็นว่า ฤดูฝน จะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) แตกต่างกับฤดูหนาว และฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 พบว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่แตกต่างกัน ($F = 4.892$; $p < .05$) และเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Scheffe พบว่า ฤดูหนาว จะมีค่าเฉลี่ยของค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกับฤดูร้อน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564)

| ฤดูกาล | ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน | ค่าสถิติทดสอบ F | ค่า P-value |
|---------|--------------------------------|-----------------|-------------|
| ฤดูหนาว | 7.15±0.07 ^a | 47.42 | .000* |
| ฤดูร้อน | 7.23±0.03 ^a | | |
| ฤดูฝน | 7.46±0.04 ^b | | |

a, b เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffe ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564)

| ฤดูกาล | ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mg/L) | ค่าสถิติทดสอบ F | ค่า P-value |
|---------|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| ฤดูหนาว | 2.2±0.1 ^a | 53.692 | .000* |
| ฤดูร้อน | 2.1±0.1 ^a | | |
| ฤดูฝน | 2.5±0.1 ^b | | |

a, b เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffe ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564)

| ฤดูกาล | ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (µs/cm) | ค่าสถิติทดสอบ F | ค่า P-value |
|---------|--|-----------------|-------------|
| ฤดูหนาว | 378.25±3.38 ^a | 4.892 | .041* |
| ฤดูร้อน | 406.40±11.93 ^b | | |
| ฤดูฝน | 387.00±18.60 ^{a,b} | | |

a, b เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffe ที่ระดับนัยสำคัญ .05

4. บทสรุป

ผลการตรวจวัดค่าพีเอช จากจุดเก็บน้ำตัวอย่างทั้ง 5 จุด พบว่ามีค่าเฉลี่ยพีเอชในทุกฤดูกาลมีค่าเป็นกลาง ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยมีค่าเทียบเท่ากับมาตรฐานน้ำผิวดินทั่วไป ซึ่งมาตรฐานน้ำดื่มของการประปานครหลวงได้กำหนดค่า pH ที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่มเท่ากับ 6.8-8.2 อย่างไรก็ตามไม่ควรนำน้ำในคลองบางเขนใหม่ไปใช้อุปโภคหรือบริโภคโดยตรง หากมีความต้องการนำไปใช้จะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนถึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ แต่สามารถนำไปรดน้ำต้นไม้ได้ สำหรับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่ตรวจวัดได้ทั้ง 5 จุด มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยค่าที่ตรวจวัดได้ในคลองในช่วงฤดูร้อน จะมีค่าต่ำกว่าฤดูอื่นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝนที่มีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้น เนื่องจากการไหลของน้ำลงสู่คลองในช่วงฝนตก และการเกิดการปนเปื้อนในคลองทำให้ปริมาณออกซิเจนสูงขึ้น ส่วนค่าการนำไฟฟ้านั้น มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 5 จุด อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ สามารถบอกแนวโน้มของสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในคลองได้ เช่น แอนไอออนของคลอไรด์ โบรไมด์ ไนเตรท และ ฟอสเฟต เป็นต้น ซึ่งอาจจะเกิดจากกิจกรรมของชุมชนที่มีการปล่อยน้ำเสียลงสู่คลองที่มาจากกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวัน

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำในคลองบางเขนใหม่ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way Analysis of Variance) เพื่อวิเคราะห์ว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาล และตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างน้ำ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยจากค่าพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาทั้ง 3 ค่า แตกต่างกันหรือไม่ พบว่า ความแตกต่างระหว่างตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่แตกต่างกันทั้ง 5 จุดนั้น ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ แต่ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในทุกพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffe พบว่าค่าพีเอช (pH) และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงฤดูฝน มีความแตกต่างกันกับช่วงฤดูหนาว และฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 ในส่วนของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในช่วงฤดูหนาว มีความแตกต่างกันกับช่วงฤดูร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ .05 ซึ่งวิธีทางสถิติดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในคลองบางเขนใหม่ จะเป็นประโยชน์ในการต่อยอดพัฒนางานวิจัยในอนาคต ในส่วนของการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น ค่าบีโอดี (BOD) ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียทั้งหมด (TCB) เป็นต้น และเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการบริหารจัดการคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในแต่ละฤดูกาลของคลองบางเขนใหม่

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.
- [2] ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และจารุวรรณ สมศิริ. คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์ สำหรับการวิจัยทางการประมง. กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2528, 17-93.
- [3] การวิเคราะห์ความแปรปรวน. (7 สิงหาคม 2564). สืบค้นจาก http://sar.udontech.ac.th/52/public/files/1557995600_6108cd12199018f2d1574c2657df8d6b.pdf
- [4] S. Priya, S. Sam Manohar Das and K. Vareethiah. Analysis of Water Quality in Selected Stations along River, Tambaraparani Kanyakumari District, Tamilnadu, India. IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. Vol. 3 Issue 8(2016)319 – 323.
- [5] บุญอ้อม โฉมที. สถิติการวางแผนการทดลอง: ทฤษฎีและการวิเคราะห์ด้วย SAS. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549.
- [6] D.C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments. 8th Ed., John Wiley & Sons, New York. 2013.

**ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำชะขยะด้วยระบบบ่อดึง: กรณีศึกษา สถานที่กำจัดขยะ
เทศบาลนครขอนแก่น, ขอนแก่น**

**Efficiency of Heavy Metals Removal in Landfill Leachate by Oxidation Pond:
In case Khon Kean Municipal Landfill, Khon Kean Province**

สมคิด ตันแก้ง

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
Email: Somkid.tan@vru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบปริมาณและเปรียบเทียบการปนเปื้อนของโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม(Cd) แมงกานีส(Mn) นิกเกิล(Ni) ตะกั่ว(Pb) และสังกะสี(Zn) ในน้ำชะขยะกับค่ามาตรฐานและเพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพของการบำบัดโลหะหนักในน้ำชะขยะด้วยระบบบำบัดแบบบ่อดึงที่สถานกำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น ตัวอย่างน้ำชะขยะก่อนและหลังบำบัดถูกเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้ง(ธันวาคม)และฤดูฝน(กันยายน) 2559และนำตัวอย่างน้ำชะขยะเก็บรักษาในสภาวะกรดที่อุณหภูมิ 4 °C การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักทำตามระเบียบวิธีวิจัยมาตรฐาน U.S. EPA. 200.7 โดยการกรองตัวอย่างน้ำชะขยะผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และเบอร์ 42 แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง Inductive coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของแมงกานีสในตัวอย่างน้ำชะขยะหลังบำบัดเดือนกันยายนและตะกั่วในเดือนธันวาคมมีค่าเกินค่ามาตรฐานของ U.S. EPA. นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ระบบบำบัดแบบบ่อดึงสามารถบำบัดแคดเมียม,แมงกานีสและสังกะสีในน้ำชะขยะได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง แต่ในทางตรงข้ามระบบบำบัดนี้มีประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วที่ต่ำที่ 20% เท่านั้น

คำสำคัญ: น้ำชะขยะ โลหะหนัก ระบบบำบัดแบบบ่อดึง สถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น

Abstract

The aims of this study were to determine the heavy metal contamination in leachate and to determine the efficiency of heavy metals removal by oxidation pond at Khon Kean municipal landfill site. The leachate samples were collected in September and December 2016. The samples were preserved in acidic condition in 4 °C and filtered through filter paper No 1 and No 42, as following U.S. EPA. method 200.7. Then, the Cadmium, Manganese, Nickle, Lead and Zinc concentration was analyzed by Inductive coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES). The result shown that the concentration of manganese and lead in treated leachate was exceeded than U.S. EPA. effluent standard in September and December, respectively. The highest efficiency of heavy metals removal by oxidation pond was Cadmium, Manganese and Zinc, as 100%. In contrast, 20% of lead concentration in leachate could be remove by oxidation pond.

Keywords: Leachate, Heavy metals, Oxidation pond, Khon Kean municipal landfill

1. บทนำ

ขยะมูลฝอยมีแหล่งกำเนิดหลักจาก 3 แหล่ง คือ ขยะมูลฝอยชุมชน, ขยะจากการเกษตรกรรม และขยะจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งปริมาณของขยะมูลฝอยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร, สภาพเศรษฐกิจ, อุปนิสัยความเป็นอยู่ของประชาชนและที่ตั้งทางภูมิศาสตร์[1] ด้วยเหตุผลเหล่านี้จึงทำให้ประเทศไทยมีปริมาณขยะที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ปี 2551 จนถึงปัจจุบัน[2] จนทำให้เกิดปัญหาจากขยะ อาทิเช่น ภาวะขยะตกค้างมากขึ้นและปริมาณขยะที่ถูกจัดการไม่ถูกต้องที่เพิ่มสูงขึ้น[2]

จังหวัดขอนแก่นเป็นจังหวัดที่กำลังประสบปัญหาใหญ่และได้รับผลกระทบอย่างหนักจากปัญหาขยะที่เพิ่มสูงขึ้น[3] เหมือนกับหลายจังหวัดหัวเมืองในประเทศไทย สำหรับจังหวัดขอนแก่นเป็นจังหวัดที่มีปริมาณขยะมูลฝอยเป็นอันดับ 8 ของประเทศและเป็นอันดับที่ 1 ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ[4] ซึ่งก็เกิดมาจากเหตุผลด้านปริมาณประชากร, อัตราการขยายตัวของเมืองและลักษณะภูมิศาสตร์ที่เป็นศูนย์กลางด้านเศรษฐกิจ[4] สำหรับเทศบาลนครขอนแก่นมีปริมาณขยะสะสมสูงสุดเป็นอันดับ 1 ของจังหวัด (620,000 ตัน) [5] แต่มีเพียงสถานที่กำจัดขยะเพียงแห่งเดียวคือ สถานที่กำจัดขยะนครขอนแก่น ตั้งอยู่ที่ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งดำเนินงานมาตั้งแต่ปี 2541 และในปัจจุบันสถานที่กำจัดขยะแห่งนี้กำลังเกิดปัญหาขยะสะสม[4]เป็นจำนวนมากดังแสดงในภาพที่1 เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบขยะมีอยู่อย่างจำกัดและอัตราการเกิดขยะที่สูงขึ้น จนก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนของสารมลพิษจากหลุมฝังกลบขยะสู่สิ่งแวดล้อมตามมา อาทิเช่น การปนเปื้อนของสารมลพิษในอากาศ, การปนเปื้อนของสารมลพิษในน้ำ และการปนเปื้อนของสารมลพิษในดิน [6] เป็นต้น ซึ่งสารมลพิษที่มักจะเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมจากขยะคือ โลหะหนัก [7] เนื่องจากการปะปนของขยะอิเล็กทรอนิกส์ในขยะมูลฝอยชุมชน โลหะหนักเป็นสารที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อหลายส่วนในสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น สมดุลสิ่งแวดล้อม[8], ผลกระทบด้านวิวัฒนาการในสิ่งมีชีวิต [9]



ภาพที่ 1 ปริมาณขยะสะสมในสถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น

นอกจากนั้นโลหะหนักยังมีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต อาทิเช่น แคดเมียม(Cd)มีผลกระทบโดยตรงต่อไตของมนุษย์และหากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เป็นโรคอิตาลีไต[10] แมงกานีส(Mn)มีผลต่อระบบประสาทของมนุษย์ ทำให้เกิดความผิดปกติทางสมองหรือมีอาการคล้ายพาร์กินสัน[11] ตะกั่ว(Pb)มีผลทำให้เกิดภาวะโลหิตจาง และสังกะสี(Zn) มีผลต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ[10]

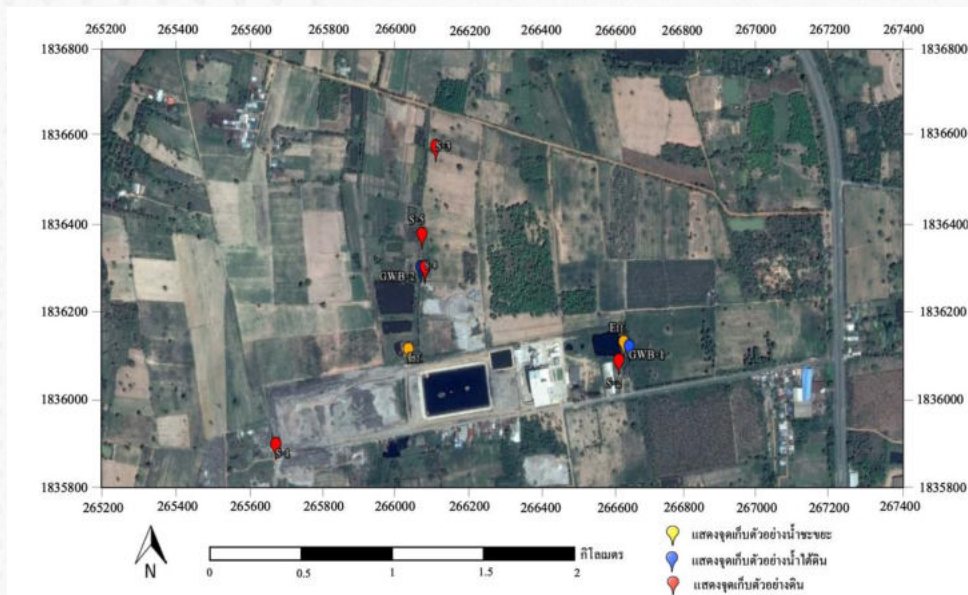
ดังนั้นจึงต้องมีระบบป้องกันการปนเปื้อนของโลหะหนักจากหลุมฝังกลบขยะที่ทำให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม โดยระบบที่มักจะถูกนำมาใช้คือ ระบบการบำบัดน้ำชะขยะแบบบ่อฝัง (Oxidation pond) [12] เนื่องจาก

ระบบนี้สามารถบำบัดสารมลพิษกลุ่มโลหะได้ เช่น เหล็ก, โคบอลต์, ตะกั่ว, สังกะสี, ทองแดง, นิกเกิล และแคดเมียม เป็นต้น [13] แต่จากการศึกษาวิจัยในอดีตพบว่า ปัจจุบันมีการตรวจพบสารโลหะหนัก เช่น แมงกานีส, ตะกั่ว และ สารหนู [6] ในร่างกายของผู้ที่เป็นแรงงานที่ทำงานในหลุมฝังกลบขยะ[13] และเมื่อพิจารณาการจัดการขยะในเชิงนโยบาย พบว่านโยบายการจัดการขยะเองก็ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลนครขอนแก่นได้เช่นกัน[14] ดังนั้นการศึกษาเพื่อตรวจติดตามการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำชะขยะที่ผ่านการบำบัดแล้วและได้ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงมีความจำเป็นเร่งด่วน เช่นเดียวกับการประเมินประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบบ่อบึง ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้ไปวางแผนจัดการและพัฒนาปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และลดปัญหาการปนเปื้อนโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลสถานที่กำจัดขยะในประเทศไทยเป็นระยะเวลา 1 ปี และได้เลือกสถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่นเป็นพื้นที่ทำวิจัย เนื่องจากสถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่นมีปัญหาเรื่องปริมาณขยะสะสมจำนวนมาก ดังนั้นจึงอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสารมลพิษจากสถานที่กำจัดขยะลงสู่สิ่งแวดล้อมได้

ในการลงพื้นที่ได้มีการเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะก่อนบำบัดบริเวณพื้นที่รวบรวมน้ำชะขยะก่อนเข้าระบบบำบัดและน้ำชะขยะหลังผ่านระบบบำบัดแบบบ่อบึงแล้วบริเวณปลายท่อปล่อยน้ำชะขยะ โดยใช้วิธีการเก็บตัวอย่างแบบ Composite samples ในช่วงฤดูฝน (กันยายน 2559) และฤดูแล้ง (ธันวาคม 2559) ดังแสดงจุดเก็บตัวอย่างในภาพที่ 2 และวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารละลายจำนวน 3 ชนิดในแต่ละตัวอย่าง



ภาพที่ 2 จุดเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบบ่อบึง

การเก็บรักษาตัวอย่างและการวิเคราะห์หาปริมาณสารละลายโลหะหนักในน้ำชะขยะจะใช้วิธีการศึกษาตามระเบียบวิธีการมาตรฐาน U.S. EPA. 200.7 [15] โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ในภาคสนาม การเก็บรักษาตัวอย่างก่อนนำเข้าทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักจะเก็บรักษาในสภาพกรดโดยการเติมกรดไนตริก 1:1 และนำตัวอย่างเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C ก่อนนำเข้าห้องปฏิบัติการ
2. นำตัวอย่างที่ได้จากภาคสนาม 50 มิลลิลิตร มากรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 และ เบอร์ 42 และเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกชนิด Polypropylene ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C
3. วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักโดยเครื่อง Inductive coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) โดยใช้ช่วงคลื่นที่ทำการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

| ชนิดของโลหะหนัก | ความยาวคลื่น (nm) | อ้างอิง |
|-----------------|-------------------|----------------------|
| แคดเมียม(Cd) | 226.502 | |
| แมงกานีส(Mn) | 257.610 | |
| นิกเกิล(Ni) | 231.604 | U.S. EPA. 200.7 [15] |
| ตะกั่ว(Pb) | 220.353 | |
| สังกะสี(Zn) | 213.856 | |



ภาพที่ 3 ระบบบำบัดน้ำชะขยะแบบบ่อฝังที่สถานกำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น



ภาพที่ 4 การเก็บตัวอย่างน้ำชะขยะหลังบำบัดที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ



ภาพที่ 5 เครื่อง Inductive coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาปริมาณโลหะหนักในน้ำชะขยะ

จากตารางที่ 2 แสดงความเข้มข้นของสารละลาย Cd, Mn, Ni, Pb และ Zn ในน้ำชะขยะ พบว่าความเข้มข้นของแคดเมียมและแมงกานีสที่ไหลเข้าสู่ระบบการบำบัดมีความเข้มข้นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารในฤดูฝนกับฤดูแล้ง แต่ในขณะที่มีความเข้มข้นของนิกเกิล, ตะกั่ว และสังกะสีมีความเข้มข้นเพิ่มสูง ซึ่งน่าจะเกิดมาจากการปนเปื้อนของขยะอันตรายที่มีการปนเปื้อนที่แตกต่างกันระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง

ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในน้ำชะขยะหลังบำบัดที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะมีปริมาณเกินค่ามาตรฐานในเดือนกันยายนคือแมงกานีส (0.769 mg/L) ในเดือนธันวาคมมีปริมาณโลหะหนักเกินกว่าค่ามาตรฐานคือตะกั่ว (0.055 mg/L) เพียงชนิดเดียว ซึ่งเกิดจากปริมาณแมงกานีส และตะกั่วในช่วงเวลาดังกล่าวมีการไหลเข้าสู่ระบบบำบัดที่มีความเข้มข้นสูง ดังนั้นระบบจึงไม่สามารถบำบัดโลหะดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักในน้ำชะขยะเดือนกันยายนและธันวาคม 2559

| ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง | ชนิดของน้ำชะขยะ | ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร \pm SD) | | | | |
|----------------------|-----------------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | แคดเมียม | แมงกานีส | นิกเกิล | ตะกั่ว | สังกะสี |
| กันยายน 2559 | ก่อนบำบัด | 0.022 \pm 0.00 | 3.280 \pm 0.46 | 0.096 \pm 0.01 | 0.005 \pm 0.00 | ND |
| | หลังบำบัด | 0.002 \pm 0.00 | 0.769 \pm 0.07 | 0.008 \pm 0.01 | 0.004 \pm 0.00 | ND |
| ธันวาคม 2559 | ก่อนบำบัด | 0.008 \pm 0.00 | 0.685 \pm 0.04 | 0.293 \pm 0.00 | 0.078 \pm 0.01 | 0.353 \pm 0.02 |
| | หลังบำบัด | ND | ND | 0.057 \pm 0.03 | 0.055 \pm 0.00 | ND |
| ค่ามาตรฐาน | | 0.005* | 0.05* | 0.07** | 0.01* | 5.00* |

หมายเหตุ: ND คือ Not detected

* คือ ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำอ้างอิงจาก U.S. EPA. [16]

** คือ ค่ามาตรฐานโลหะหนักในน้ำอ้างอิงจาก WHO [17]

จากตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบบ่อฝิ่ง ระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งสามารถบำบัดโลหะตะกั่วได้น้อยที่สุดในตัวอย่างเดือนกันยายนและธันวาคม ซึ่งจากข้อมูลที่สอดคล้องกันในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งไม่เหมาะกับการบำบัดสารตะกั่วที่ปนเปื้อนตะกั่วในน้ำชะขยะ แม้ว่าตะกั่วจะเข้าสู่ระบบบำบัดบำบัดน้อยแต่การบำบัดก็ไม่สามารถบำบัดตะกั่วได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางตรงกันข้ามระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำชะขยะที่ปนเปื้อนสารแคดเมียม แมงกานีส นิกเกิล และ สังกะสีในการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักด้วยระบบบ่อบึง

| ชนิดของโลหะหนัก | ประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนัก | |
|-----------------|----------------------------------|----------------------|
| | น้ำชะขยะเดือนกันยายน | น้ำชะขยะเดือนธันวาคม |
| แคดเมียม | 90.91% | 100% |
| แมงกานีส | 76.55% | 100% |
| นิกเกิล | 91.67% | 80.55% |
| ตะกั่ว | 20.00% | 29.49% |
| สังกะสี | ตรวจไม่พบในน้ำชะขยะทั้ง 2 ประเภท | |

4. บทสรุป

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเฉลี่ยในฤดูฝนมีความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูแล้งและความเข้มข้นของแมงกานีสเป็นโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในตัวอย่างน้ำชะขยะก่อนเข้าสู่ระบบบำบัด โดยระบบบำบัดน้ำชะขยะแบบบ่อบึงสามารถบำบัดแคดเมียม แมงกานีส นิกเกิล ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงแต่มีประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วได้ต่ำที่สุด ดังนั้นน้ำชะขยะที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบ่อบึงจึงมีความเข้มข้นของแมงกานีสและตะกั่วเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดในตัวอย่างเดือนกันยายนและธันวาคมตามลำดับ ดังนั้นเพื่อลดปริมาณสารโลหะหนักที่เข้าสู่ระบบบำบัดให้น้อยลงและระบบบำบัดจะมีความสามารถในการบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงควรมีการส่งเสริมและให้ความรู้ประชาชนในการแยกขยะอันตราย เพื่อลดการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำชะขยะ และสิ่งที่ควรปฏิบัติควบคู่กับการให้ความรู้คือสถานกำจัดขยะควรมีการปรับปรุงและดูแลระบบบำบัดอย่างสม่ำเสมอด้วยเช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องประสิทธิภาพการบำบัดโลหะหนักในน้ำชะขยะด้วยระบบบ่อบึง: กรณีศึกษา สถานที่กำจัดขยะเทศบาลนครขอนแก่น, ขอนแก่น สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์โลหะหนักจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และเทศบาลนครขอนแก่นที่อำนวยความสะดวกในการลงพื้นที่ภาคสนาม ตลอดจนขอขอบพระคุณหน่วยงานอื่นๆที่เกี่ยวข้องและไม่ได้กล่าวมา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอนามัย. คู่มือการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรณีการจัดการขยะมูลฝอยสำหรับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. กรมอนามัย. นนทบุรี. 2553.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2561. กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย. กรุงเทพฯ. 2561
- [3] สำนักงานสถิติจังหวัดขอนแก่น. (14 สิงหาคม 2564). ผังสถิติ ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: “ขยะ”. สืบค้นจาก http://khonkaen.nso.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=260&Itemid=607
- [4] สำนักงานส่วนท้องถิ่นจังหวัดขอนแก่น. แผนปฏิบัติการการบริหารจัดการขยะมูลฝอยชุมชนและของเสียอันตราย จังหวัดขอนแก่น ปี 2559-2560. สำนักงานส่วนท้องถิ่นจังหวัดขอนแก่น. ขอนแก่น. 2559
- [5] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559. สำนักงานจัดการกากของเสียและสารอันตราย. กองจัดการกากของเสียและสารอันตราย. กรุงเทพฯ. 2560
- [6] สภาขับเคลื่อนและปฏิรูปประเทศ. (10 สิงหาคม 2564). รายงานการเดินทางศึกษาดูงานด้านการบริหารจัดการขยะมูลฝอย. สืบค้นจาก <http://www.parliament.go.th>

- [7] อรวรรณ พุ่พิสุทธิ์ และศุภิสพร แสงกระจ่าง. ความเป็นพิษของขยะอิเล็กทรอนิกส์. วารสารพิษวิทยาไทย. 25(2553)67-76.
- [8] Wang. S, Shi. X, Molecular mechanisms of metal toxicity and carcinogenesis. *Mol Cell Biochem.* 222(2001)3-9.
- [9] S. A. Bhat, T. Hassan, S. Majid, Heavy metal toxicity and their harmful effects on living organisms – a review. *IJMSDR.* 3(2019)106-122.
- [10] J. S. Suffern, C. M. Fitzgerald, A. T. Szluha, Trace Metal Concentrations in Oxidation Ponds. *Water Pollution Control Federation.* 11(1981)1599-1608.
- [11] กรมอนามัย. มลพิษทางน้ำและผลกระทบต่อสุขภาพ. กรมอนามัย. นนทบุรี. 2558.
- [12] C. S. Shibambu, J. R. Gumbo, W. M. Gitari, Field study on heavy metal removal in a natural wetland receiving municipal sewage discharge. *Dev. Plann.* 1(2017)1-10.
- [13] Butler. E., Hung. Y.T., Al Ahmad. M.S., Yeh. R.Y.L., Liu. R.L.H., Fu. Y.P., Oxidation pond for municipal wastewater treatment. *Applied Water Science.* 1(2015)1-21.
- [14] เลิศชัย เจริญธัญรักษ์, อุไรวรรณ อินทร์ม่วง, กาญจนิกา ครองธรรมชาติ, เนสินี ไชยเอื้อย, และปิยะฉัตร พัชรานุฉัตร. การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากนโยบายการจัดการขยะมูลฝอย เทศบาลนครขอนแก่น. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2545
- [15] U.S. EPA. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry U.S. EPA., OHIO. 1994.
- [16] United State Environmental Protection Agency. Acid digestion of sediments sludge and soils. U.S. EPA., Washinton. 2006
- [17] World Health Organisation. Guidelines for Drinking-water Quality. WHO, Geneva. 2011

New Methods for Testing Moment Coefficient of Kurtosis: A Case Study of the Percentages of Daily Number of COVID-19 Deaths to Confirmed Cases in Thailand

Wararit Panichkitkosolkul

Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

Email: wararit@mathstat.sci.tu.ac.th

Abstract

Two new methods for testing moment coefficient of kurtosis of a gamma random variable based on the Score and Wald methods are presented in this paper. A simulation study was conducted under several shape parameter values for a gamma distribution, and the performances of the test statistics were compared based on their empirical type I error rates and powers of the tests. Their performances were then illustrated by applying them to the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand. Usually, such data are analyzed based on the fact of their fitting a gamma distribution. The simulation results show that the test statistic based on the Wald method performed better than the one based on the Score method in terms of the attained nominal significance level and is thus recommended for analyzing similar scenarios. The study concluded that the moment coefficient of kurtosis of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand did not differ from 3.5 at the 0.05 significance level.

Keywords: Score method, Wald method, moment coefficient of kurtosis, gamma distribution, coronavirus

1. Introduction

In probability theory and statistics, kurtosis is a measure of the peakness or flatness of the probability distribution of a real-valued random variable. Like skewness, kurtosis describes the shape of a probability distribution. Coefficient of kurtosis provides information for the degree of peakedness of a data distribution. Peakedness in a data distribution is the degree to which data values are concentrated around the mean. Datasets with high kurtosis tend to have a distinct peak near the mean and tend to decline rapidly, and have heavy tails. Datasets with low kurtosis tend to have a flat top near the mean rather than a sharp peak. The standard measure of a distribution's kurtosis is a scaled version of the fourth moment of the distribution.

Kurtosis plays an important role in statistical analyses in several academic fields, such as imaging, statistics, medical science, economics, and finance, among others. For example, the kurtosis possibility density function (KPDF) method is presented to evaluate the impact degree of chatter vibration [1]. Vacca

and Zoia [2] studied the kurtosis analysis in GARCH models with Gram-Charlier-like innovations. Withers and Nadarajah [3] introduced the bias-reduced estimators for skewness, kurtosis, L-skewness and L-kurtosis. Soberón and Stute [4] proposed the tests for skewness, kurtosis, and normality based on generalized least squares (GLS) residuals in linear mixed models. Kurtosis test of modality for rotationally symmetric distributions on hyperspheres was constructed by Kim, Schulz and Jung [5].

Two measures of kurtosis are based on the sample percentile and sample moments. In this study, we are interested in the moment coefficient of kurtosis, which provides information about the peakness or flatness of distribution. The ratio of the fourth central moment to the standard deviation to the fourth power is called moment coefficient of kurtosis denoted by

$$K = \frac{E[(X - \mu)^4]}{\sigma^4},$$

where μ and σ are the population mean and standard deviation, respectively. The literature on testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution is limited. However, there are many methods available for estimating confidence intervals for the population coefficient of variation (CV). Sangnawakij et al. [6] presented two confidence intervals for the CV in a gamma distribution using the Score and Wald methods that can be used to test moment coefficient of kurtosis of a gamma distribution.

The new coronavirus SARS-CoV-2, which causes the contagious disease Coronavirus 2019 (COVID-19), could become the biggest worldwide health threat of this century. The first cases of human transmission of this virus occurred in Wuhan City, Hubei Province, China, in December 2019 [7]. COVID-19 has been classified as a pandemic by the World Health Organization (WHO). Risk factors associated with severe infection and mortality from COVID-19 include advanced age and co-morbidities associated with direct or indirect suppression of the immune system [8]. The rapid spread of COVID-19 has overwhelmed the capacity of many hospitals to provide healthcare due to a shortage of medical resources, including personal protective equipment (PPE), pertinent medical supplies, and hospital beds. The world faces a severe and acute public health emergency from the emerging and ongoing spread of COVID-19 that has now been classified as a global pandemic [9]. It has caused many deaths, and the number of infections became greater than 215.61 million as of 27 August 2021. Thailand was the first country outside of China to report a case (imported) of SARS-CoV-2 infection in a visiting tourist, which occurred in January 2020 [10]. By August 27, 2021, a total of 1,139,571 confirmed cases had been reported in Thailand, with 10,587 deaths. On the same day, Thailand's Ministry of Public Health reported 18,702 newly confirmed cases within 24 hours [11].

Some circumstances have led us to consider testing the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in terms of moment coefficient of kurtosis. The moment coefficient of kurtosis provides information for the degree of peakedness of distribution. Therefore, this information could be advantageous for Thailand's Ministry of Public Health and other related organizations to rapidly expand their scientific knowledge of this virus, to track its virulence and spread, and to provide advice to Thai authorities and citizens on measures to protect their health and prevent the spread of the outbreak. The

results from a gamma quantile-quantile (Q-Q) plot (Figure 1(a)), a histogram (Figure 1(b)), and applying the Anderson-Darling goodness-of-fit test show that the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand from June 21, 2021 to July 21, 2021, fit well to a gamma distribution.

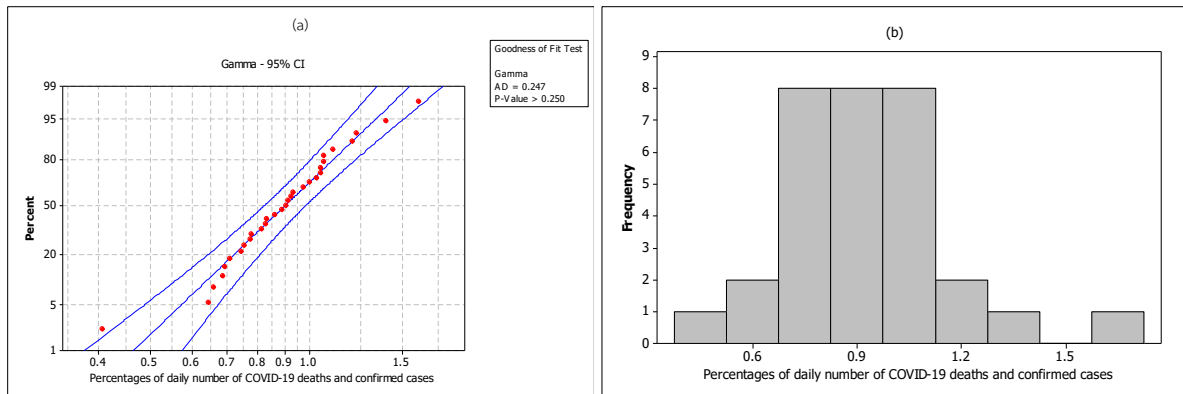


Figure 1. (a) gamma QQ plot (b) histogram of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand from June 21, 2021, to July 21, 2021.

Two confidence intervals proposed by Sangnawakij et al. [6] for the CV were based on the Score and Wald methods. They can be applied for testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution. In this study, we conducted a simulation study to compare the performance of these methods and used these results to suggest a test statistic with high power to attain a nominal significance level for practitioners. The objective of this study is to propose some methods for testing moment coefficient of kurtosis and identify the appropriate methods for practitioners.

The structure of this paper is as follows. Section 2 reviews the point estimation of parameters in a gamma distribution and presents the proposed new methods for testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution. The simulation study, simulation results and a numerical example are discussed in Section 3. Finally, discussion and recommendation, and conclusion are presented in Sections 4 and 5, respectively.

2. Methodology

2.1 Point Estimation of Parameters in a Gamma Distribution

In this section, we explain the point estimation of parameters in a gamma distribution. Let $X = (X_1, \dots, X_n)$ be a random sample from the gamma distribution with the shape parameter α and scale parameter β , denoted as $\text{Gamma}(\alpha, \beta)$. The probability density function of X is given by

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0, \alpha > 0, \beta > 0, \quad (1)$$

where $\Gamma(\cdot)$ is the gamma function. The mean and variance of X are $E(X) = \alpha\beta$ and $\text{var}(X) = \alpha\beta^2$, respectively. The CV of X is $\theta = 1/\sqrt{\alpha}$. Therefore, moment coefficient of kurtosis of X is given by $K = 3 + 6\theta^2 = 3 + 6/\alpha$. Since α is unknown parameter, it is required to be estimated.

We consider the maximum likelihood estimators for α and β . From the probability density function shown in (1), the log-likelihood function of α and β is given by

$$\ln L(\alpha, \beta) = -\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\beta} + (\alpha - 1) \sum_{i=1}^n \ln(X_i) - n \ln(\Gamma(\alpha)) - n\alpha \ln(\beta).$$

Taking partial derivatives of the above equation with respect to α and β , respectively, the Score function is derived as

$$U(\alpha, \beta) = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) - n \ln(\alpha) + \frac{n}{2\alpha} - n \ln(\beta) \\ \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{\beta^2} - \frac{n\alpha}{\beta} \end{bmatrix}.$$

Then, the maximum likelihood estimators can be conducted for α and β , respectively,

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{2 \left(\ln(\bar{X}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(X_i)}{n} \right)}, \quad \hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}},$$

where $\bar{X} = n^{-1} \sum_{i=1}^n X_i$ is the sample mean of X . Subsequently, the estimator of moment coefficient of kurtosis is given by $\hat{K} = 3 + 6/\hat{\alpha}$.

2.2 Proposed Test Statistics for Moment Coefficient of Kurtosis

Let X_1, \dots, X_n be an independent and identically distributed (i.i.d.) random sample of size n from a population with finite mean, μ and finite variance, σ^2 . We want to test for moment coefficient of kurtosis. The null and alternative hypotheses are defined as follows:

$$H_0 : K = K_0$$

$$H_a : K \neq K_0.$$

In this section, we discuss two test statistics for moment coefficient of kurtosis based on the Score and Wald methods.

2.2.1 Score method [6, 12]

Let α and β be the parameter of interest and the nuisance parameters, respectively. The Score statistic is denoted as $W_1 = U^T(\alpha_0, \hat{\beta}_0) I^{-1}(\alpha_0, \hat{\beta}_0) U(\alpha_0, \hat{\beta}_0)$, where $\hat{\beta}_0$ is the maximum likelihood estimator for β , under the null hypothesis $H'_0 : K = K_0$, $\alpha_0 = 6/(K_0 - 3)$, $U(\alpha_0, \hat{\beta}_0)$ is the vector of the Score function and $I(\alpha_0, \hat{\beta}_0)$ is the matrix of the Fisher information. Here, it is easy to derive that the Score function under H'_0 is

$$U(\alpha_0, \hat{\beta}_0) = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \ln(X_i) + \frac{n}{2\alpha_0} - n \ln(\bar{X}) \\ 0 \end{bmatrix}.$$

The inverse of the matrix of the Fisher information can be found as follows

$$I^{-1}(\alpha_0, \hat{\beta}_0) = \begin{bmatrix} \frac{2\alpha_0^2}{n} & -\frac{2\bar{X}}{n} \\ -\frac{2\bar{X}}{n} & \frac{\bar{X}^2(2\alpha_0+1)}{n\alpha_0^3} \end{bmatrix}.$$

Using the property of the Score function, we can see that the pivotal quantity

$$Z_{score} = \sqrt{\frac{2\alpha_0^2}{n}} \left(\sum_{i=1}^n \ln(X_i) + \frac{n}{2\alpha_0} - n \ln(\bar{X}) \right) \quad (2)$$

converges in distribution to the standard normal distribution. Since the variance of $\hat{\alpha}$ is $\frac{2\alpha_0^2}{n}$, it is approximated by substituting $\hat{\alpha}$ in its variance. Under H'_0 , the statistic in (2) is given as

$$Z_{score} \cong \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}} \left(\sum_{i=1}^n \ln(X_i) + \frac{n}{2\hat{\alpha}} - n \ln(\bar{X}) \right).$$

From the probability statement, $1-\zeta = P(-Z_{1-\zeta/2} \leq Z_{score} \leq Z_{1-\zeta/2})$, it can be simply written as $1-\zeta = P(l_s \leq K \leq u_s)$. Therefore, the $(1-\zeta)100\%$ confidence interval for K based on the Score method, CI_s , is given by

$$CI_s = [l_s, u_s] = \left[3 + \frac{12}{n} \left(M - Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right), 3 + \frac{12}{n} \left(M + Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right) \right],$$

where $M = n \ln(\bar{X}) - \sum_{i=1}^n \ln(X_i)$ and $Z_{1-\zeta/2}$ is the $(1-\zeta/2)^{th}$ quantile of the standard normal distribution.

Thus, we will reject the null hypothesis, $H_0 : K = K_0$, if

$$K_0 < 3 + \frac{12}{n} \left(M - Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right) \quad \text{or} \quad K_0 > 3 + \frac{12}{n} \left(M + Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} \right).$$

2.2.2 Wald method [6, 12]

The Wald statistic is an asymptotic statistic derived from the property of the maximum likelihood estimator. The general form of the Wald statistic under the null hypothesis $H'_0 : K = K_0$ is defined as $W_2 = (\hat{\alpha} - \alpha_0)^T [I^{\alpha\alpha}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})]^{-1} (\hat{\alpha} - \alpha_0)$, where $I^{\alpha\alpha}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$ is the estimated variance of $\hat{\alpha}$ obtained from the first row and the first column of $I^{-1}(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$. Using the information of partial derivatives from the previous subsection, the inverse matrix is given by

$$I^{-1}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \begin{bmatrix} \frac{2\hat{\alpha}^2}{n} & -\frac{2\bar{X}}{n} \\ -\frac{2\bar{X}}{n} & \frac{\bar{X}^2(2\hat{\alpha}+1)}{n\hat{\alpha}^3} \end{bmatrix},$$

where $I^{\alpha\alpha}(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = \frac{2\hat{\alpha}^2}{n}$. Therefore, under H'_0 , we obtain the Wald statistic

$$Z_{wald} \cong \sqrt{\frac{n}{2\hat{\alpha}^2}} (\hat{\alpha} - \alpha), \quad (3)$$

which has the limiting distribution of a standard normal distribution. Therefore, the $(1-\zeta)100\%$ confidence interval for K based on the Wald method, CI_w , is given by

$$CI_w = [l_w, u_w] = \left[3 + 6 / \left(\hat{\alpha} + Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}} \right), 3 + 6 / \left(\hat{\alpha} - Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}} \right) \right],$$

where $Z_{1-\zeta/2}$ is the $(1-\zeta/2)^{\text{th}}$ quantile of the standard normal distribution. Thus, we will reject the null hypothesis, $H_0 : K = K_0$ if

$$K_0 < 3 + 6 \sqrt{\left(\hat{\alpha} + Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}} \right)} \quad \text{or} \quad K_0 > 3 + 6 \sqrt{\left(\hat{\alpha} - Z_{1-\zeta/2} \sqrt{\frac{2\hat{\alpha}^2}{n}} \right)}.$$

3. Results

3.1 Simulation Study and Simulation Results

In this study, two methods for testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution are considered. Since a theoretical comparison is not possible, a Monte Carlo simulation was conducted using the R version 4.1.1 statistical software [13] to compare the performance of the test statistics. The methods were compared in terms of their attainment of empirical type I error rates and the powers of their performance. The simulation results are presented only for the significant level $\zeta = 0.05$. To observe the behavior of small, moderate and large sample sizes, we used $n = 10, 25, 50$ and 100 . The number of simulations was fixed at $10,000$. The data were generated from a gamma distribution with $\beta = 1$ and α was adjusted to obtain the required kurtosis measure K . Since $K > 3$, we set $K = 3.1, 3.2, 3.3, 3.4$ and 3.5 .

As can be seen in the simulation results reported in Tables 1-5, the empirical type I error rates of the Wald method were close to the nominal significance level of 0.05 for all sample sizes while those of the Score method were close to the nominal significance level of 0.05 for larger sample sizes. The Score method performed well in terms of the power of the test for $K > K_0$. On the other hand, the Wald method performed better for $K < K_0$. We observed a general pattern; when the sample size increases, the power of the test also increases and the empirical type I error rate approaches 0.05 . Also the power increases as the value of moment coefficient of kurtosis departs from the hypothesized value of moment coefficient of kurtosis. It was observed that for large sample sizes, the performance of the test statistics did not differ greatly in terms of the power and attaining the nominal significance level of the test. However, a significant difference was observed for small sample sizes.

3.2 Numerical Example

The percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand were used to illustrate the application of the two new methods for testing moment coefficient of kurtosis proposed in the previous section. The daily number of COVID-19 deaths and the number of COVID-19 confirmed cases were recorded by the Thai Department of Disease Control. The data were measured from June 21, 2021, to July 21, 2021. The descriptive statistics are as follows: sample size = 31 , mean = 0.92% , standard deviation (SD) = 0.24% , CV = 25.90 , coefficient of skewness = 0.73 , and kurtosis = 1.52 . The distribution of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases is slightly right-skewed and it has slightly heavy-tailed data distribution.

Table 1. Empirical type I error rates (underlined numeric) and powers of tests for Gamma(60, 1), $K = 3.1$.

| n | Method | K_0 | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3.02 | 3.04 | 3.06 | 3.08 | 3.10 | 3.12 | 3.14 | 3.16 | 3.18 |
| 10 | Score | 0.0666 | 0.0125 | 0.0394 | 0.1048 | <u>0.1891</u> | 0.2963 | 0.4004 | 0.5217 | 0.6114 |
| | Wald | 0.9266 | 0.5832 | 0.2656 | 0.0889 | <u>0.0306</u> | 0.0088 | 0.0066 | 0.0092 | 0.0123 |
| 25 | Score | 0.9867 | 0.5525 | 0.0937 | 0.0335 | <u>0.1077</u> | 0.2587 | 0.4425 | 0.6241 | 0.7738 |
| | Wald | 0.9995 | 0.8991 | 0.5094 | 0.1503 | <u>0.0430</u> | 0.0434 | 0.0896 | 0.1821 | 0.2975 |
| 50 | Score | 1.0000 | 0.9654 | 0.4620 | 0.0701 | <u>0.0810</u> | 0.2796 | 0.5675 | 0.8067 | 0.9317 |
| | Wald | 1.0000 | 0.9939 | 0.7668 | 0.2508 | <u>0.0442</u> | 0.0931 | 0.2581 | 0.5094 | 0.7299 |
| 100 | Score | 1.0000 | 0.9998 | 0.8781 | 0.2070 | <u>0.0647</u> | 0.3757 | 0.7748 | 0.9594 | 0.9965 |
| | Wald | 1.0000 | 1.0000 | 0.9564 | 0.4028 | <u>0.0469</u> | 0.1949 | 0.5767 | 0.8700 | 0.9802 |

Table 2. Empirical type I error rates (underlined numeric) and powers of tests for Gamma(30, 1), $K = 3.2$.

| n | Method | K_0 | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3.12 | 3.14 | 3.16 | 3.18 | 3.20 | 3.22 | 3.24 | 3.26 | 3.28 |
| 10 | Score | 0.0494 | 0.0731 | 0.1045 | 0.1439 | <u>0.1935</u> | 0.2423 | 0.2961 | 0.3458 | 0.4045 |
| | Wald | 0.2549 | 0.1567 | 0.0948 | 0.0567 | <u>0.0286</u> | 0.0153 | 0.0083 | 0.0062 | 0.0059 |
| 25 | Score | 0.1005 | 0.0399 | 0.0311 | 0.0628 | <u>0.1143</u> | 0.1725 | 0.2611 | 0.3426 | 0.4422 |
| | Wald | 0.5043 | 0.3037 | 0.1553 | 0.0769 | <u>0.0418</u> | 0.0341 | 0.0444 | 0.0654 | 0.0938 |
| 50 | Score | 0.4699 | 0.1907 | 0.0676 | 0.0448 | <u>0.0800</u> | 0.1598 | 0.2818 | 0.4216 | 0.5708 |
| | Wald | 0.7654 | 0.4955 | 0.2518 | 0.1044 | <u>0.0472</u> | 0.0459 | 0.0909 | 0.1592 | 0.2667 |
| 100 | Score | 0.8761 | 0.5501 | 0.2081 | 0.0602 | <u>0.0637</u> | 0.1736 | 0.3594 | 0.5818 | 0.7807 |
| | Wald | 0.9554 | 0.7512 | 0.4081 | 0.1463 | <u>0.0488</u> | 0.0745 | 0.1889 | 0.3612 | 0.5730 |

Table 3. Empirical type I error rates (underlined numeric) and powers of tests for Gamma(20, 1), $K = 3.3$.

| n | Method | K_0 | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3.22 | 3.24 | 3.26 | 3.28 | 3.30 | 3.32 | 3.34 | 3.36 | 3.38 |
| 10 | Score | 0.0807 | 0.1002 | 0.1346 | 0.1589 | <u>0.1855</u> | 0.2232 | 0.2588 | 0.2873 | 0.3304 |
| | Wald | 0.1404 | 0.0942 | 0.0654 | 0.0447 | <u>0.0313</u> | 0.0195 | 0.0148 | 0.0101 | 0.0090 |
| 25 | Score | 0.0339 | 0.0383 | 0.0497 | 0.0710 | <u>0.1109</u> | 0.1520 | 0.2047 | 0.2535 | 0.3087 |
| | Wald | 0.2485 | 0.1534 | 0.0975 | 0.0646 | <u>0.0407</u> | 0.0327 | 0.0385 | 0.0442 | 0.0530 |
| 50 | Score | 0.1434 | 0.0697 | 0.0450 | 0.0502 | <u>0.0799</u> | 0.1298 | 0.1993 | 0.2707 | 0.3657 |
| | Wald | 0.4082 | 0.2550 | 0.1401 | 0.0785 | <u>0.0448</u> | 0.0467 | 0.0593 | 0.0823 | 0.1321 |
| 100 | Score | 0.4331 | 0.2106 | 0.0926 | 0.0432 | <u>0.0636</u> | 0.1256 | 0.2231 | 0.3436 | 0.4952 |
| | Wald | 0.6530 | 0.4137 | 0.2228 | 0.0926 | <u>0.0488</u> | 0.0541 | 0.0996 | 0.1769 | 0.2850 |

Table 4. Empirical type I error rates (underlined numeric) and powers of tests for Gamma(15, 1), $K = 3.4$.

| n | Method | K_0 | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3.32 | 3.34 | 3.36 | 3.38 | 3.40 | 3.42 | 3.44 | 3.46 | 3.48 |
| 10 | Score | 0.1021 | 0.1284 | 0.1454 | 0.1660 | <u>0.1876</u> | 0.2161 | 0.2364 | 0.2652 | 0.2914 |
| | Wald | 0.1009 | 0.0765 | 0.0533 | 0.0387 | <u>0.0306</u> | 0.0230 | 0.0204 | 0.0147 | 0.0105 |
| 25 | Score | 0.0367 | 0.0457 | 0.0650 | 0.0827 | <u>0.1094</u> | 0.1324 | 0.1697 | 0.2158 | 0.2546 |
| | Wald | 0.1649 | 0.1198 | 0.0848 | 0.0551 | <u>0.0411</u> | 0.0332 | 0.0336 | 0.0395 | 0.0408 |
| 50 | Score | 0.0710 | 0.0463 | 0.0423 | 0.0544 | <u>0.0801</u> | 0.1117 | 0.1561 | 0.2111 | 0.2691 |
| | Wald | 0.2581 | 0.1663 | 0.1040 | 0.0721 | <u>0.0463</u> | 0.0433 | 0.0482 | 0.0621 | 0.0852 |
| 100 | Score | 0.2267 | 0.1188 | 0.0611 | 0.0477 | <u>0.0583</u> | 0.0991 | 0.1636 | 0.2488 | 0.3520 |
| | Wald | 0.4314 | 0.2672 | 0.1525 | 0.0847 | <u>0.0506</u> | 0.0485 | 0.0674 | 0.1147 | 0.1774 |

Table 5. Empirical type I error rates (underlined numeric) and powers of tests for Gamma(12, 1), $K = 3.5$.

| n | Method | K_0 | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| | | 3.42 | 3.44 | 3.46 | 3.48 | 3.50 | 3.52 | 3.54 | 3.56 | 3.58 |
| 10 | Score | 0.1184 | 0.1332 | 0.1477 | 0.1684 | <u>0.1924</u> | 0.2128 | 0.2230 | 0.2456 | 0.2658 |
| | Wald | 0.0777 | 0.0622 | 0.0492 | 0.0396 | <u>0.0328</u> | 0.0234 | 0.0216 | 0.0163 | 0.0155 |
| 25 | Score | 0.0398 | 0.0514 | 0.0718 | 0.0837 | <u>0.1088</u> | 0.1321 | 0.1566 | 0.1860 | 0.2215 |
| | Wald | 0.1240 | 0.0956 | 0.0767 | 0.0515 | <u>0.0446</u> | 0.0367 | 0.0339 | 0.0353 | 0.0386 |
| 50 | Score | 0.0479 | 0.0422 | 0.0448 | 0.0565 | <u>0.0804</u> | 0.1047 | 0.1329 | 0.1698 | 0.2175 |
| | Wald | 0.1848 | 0.1349 | 0.0931 | 0.0625 | <u>0.0474</u> | 0.0421 | 0.0450 | 0.0523 | 0.0640 |
| 100 | Score | 0.1376 | 0.0810 | 0.0508 | 0.0500 | <u>0.0548</u> | 0.0874 | 0.1293 | 0.1902 | 0.2641 |
| | Wald | 0.3022 | 0.1985 | 0.1236 | 0.0821 | <u>0.0500</u> | 0.0462 | 0.0615 | 0.0843 | 0.1179 |

A gamma quantile-quantile (QQ) plot and histogram of the data are displayed in Figure 1, while density and Box and Whisker plots are shown in Figure 2. For the Anderson-Darling (AD) goodness-of-fit test [14] via Minitab [15], the AD statistic was 0.247 and p-value > 0.250 . Moreover, Table 6 reports the Akaike information criterion (AIC) [16] results to check the fitting of the distribution for the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases. The results show that these percentages had a gamma distribution. It was found that the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand fitted well to a gamma distribution with shape parameter $\hat{\alpha} = 15.5319$ and scale parameter $\hat{\beta} = 0.0592$ using maximum likelihood estimation, while the estimator of moment coefficient of kurtosis is $\hat{K} = 3.3863$.

Our interest was in testing moment coefficient of kurtosis of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand. Suppose that the moment coefficient of kurtosis of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in USA is 3.5. Thai researcher wanted

to test the claim that moment coefficient of kurtosis equals 3.5. The null and alternative hypotheses are respectively given as follows:

$$H_0 : K = 3.5$$

$$H_a : K \neq 3.5.$$

The lower and upper critical values of both test statistics were shown in Table 7. The null hypothesis H_0 was not rejected since $K_0 \in [3.1961, 3.5848]$ and $K_0 \in [3.2607, 3.7775]$ using test statistics based on the Score and Wald methods, respectively. Thus, we concluded that the moment coefficient of kurtosis of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand did not differ from 3.5 at the 0.05 significance level.

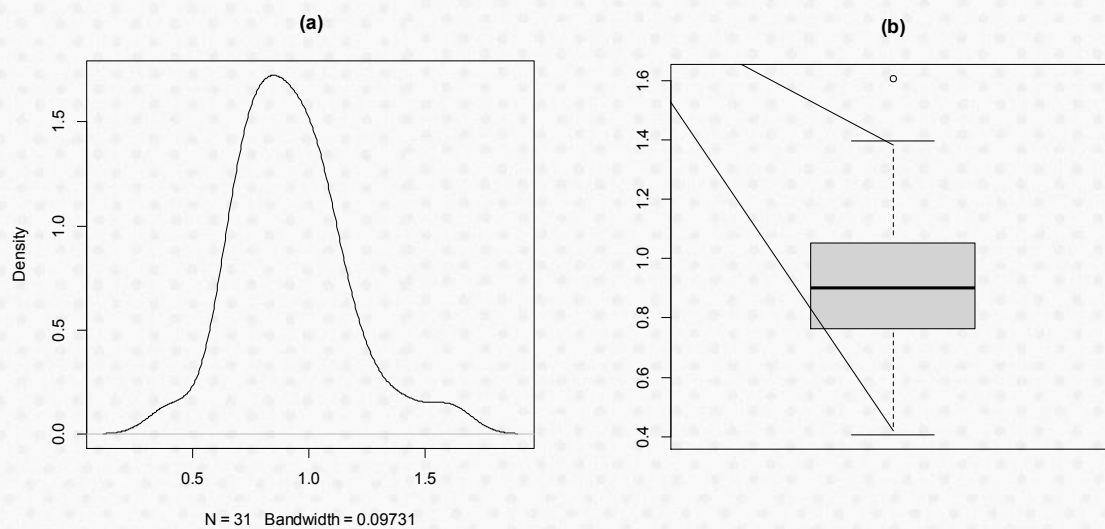


Figure 2. (a) density plot (b) Box and Whisker plot of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand from June 21, 2021, to July 21, 2021.

Table 6. Results of AIC for the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand.

| AIC | | | | | |
|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Weibull | Gamma | Exponential | Lognormal | Normal | t |
| -281.3761 | -285.0966 | -226.6888 | -284.5811 | -283.4809 | -281.9219 |

Table 7. Critical values of test statistic based on the Score and Wald methods for the significance level of 0.05

| Method | Lower | Upper |
|--------|--------|--------|
| Score | 3.1961 | 3.5848 |
| Wald | 3.2607 | 3.7775 |

4. Discussion and Recommendation

One of the objectives of this study is to identify potential methods that can be recommended to practitioners for testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution. From the simulation results presented in Tables 1-5, it is evident that the Wald method performed better than the Score method in terms of the empirical type I error rate. A general pattern was observed (as expected); as the sample size increased, the power of the test also increased and the empirical type I error rates approached 0.05. Moreover, the power increased as the value of moment coefficient of kurtosis departed from the hypothesized value of moment coefficient of kurtosis. It can be observed that for large sample sizes, the performance of these methods did not differ greatly in terms of the power and attaining the nominal size of the test. Nevertheless, a significant difference was observed for small sample sizes.

The researchers can applied the proposed methods for testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution with other data sets fitted well to a gamma distribution. For example, the gamma distribution has been used to model the age distribution of cancer incidence and rainfalls. In wireless communication, the gamma distribution is used to model the multi-path fading of signal power. Moreover, the gamma distribution is widely used as a conjugate prior in Bayesian statistics. Future research could focus on the one-tailed hypothesis testing.

5. Conclusion

In this study, two new methods for testing moment coefficient of kurtosis in a gamma distribution were derived. A simulation study was conducted to compare the performance of these methods. Based on the simulation results, the Wald method performed better than the Score method in terms of the empirical type I error rate.

The Score method performed well in the sense of the power of the test when moment coefficient of kurtosis was greater than the hypothesized value of moment coefficient of kurtosis. On the other hand, the Wald method performed better when moment coefficient of kurtosis was smaller than the hypothesized value of moment coefficient of kurtosis. In summary, we would recommend the Wald method for testing since its empirical type I error rate is close to the nominal significance level.

The percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand fitted well to a gamma distribution. Some situations have led us to consider testing these percentages in terms of the moment coefficient of kurtosis. The study concluded that the moment coefficient of kurtosis of the percentages of daily number of COVID-19 deaths to confirmed cases in Thailand did not differ from 3.5 at the 0.05 significance level.

6. Acknowledgments

The author is grateful to the anonymous referees for their constructive comments and suggestions, which have significantly enhanced the quality and presentation of this paper.

7. References

- [1] L. Wang, J. Pan, Y. Shao, Q. Zeng, X. Ding, Two new kurtosis-based similarity evaluation indicators for grinding chatter diagnosis under non-stationary working conditions. *Measurement*. 176(2021) 109215.
- [2] G. Vacca, M.G. Zoia, Kurtosis analysis in GARCH models with Gram-Charlier-like innovations. *Economics Letters*. 183(2019)1-5.
- [3] C.S. Withers, S. Nadarajah, Bias-reduced estimates for skewness, kurtosis, L-skewness and L-kurtosis. *Journal of Statistical Planning and Inference*. 141(2011)3839-3861.
- [4] Soberón, W. Stute, Assessing skewness, kurtosis and normality in linear mixed models. *Journal of Multivariate Analysis*. 161(2017)123-140.
- [5] Kim, J. Schulz, S. Jung, Kurtosis test of modality for rotationally symmetric distributions on hyperspheres. *Journal of Multivariate Analysis*. 178(2020)104603.
- [6] P. Sangnawakij, S.A. Niwitpong, S. Niwitpong, Confidence intervals for the ratio of coefficients of variation of the gamma distributions. In Huynh V.N., Inuiguchi M. and Denoeux T., Editors. *Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making*. Springer, Switzerland, 2015, 193-203.
- [7] Huang, Y. Wang, X. Li, L. Ren, J. Zhao, Y. Hu, et al., Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 395(2020)497-506.
- [8] E.J. Williamson, A.J. Walker, K. Bhaskara, S. Bacon, C. Bates, C.E. Morton, et al., Factors associated with COVID-19-related death using OpenSAFELY. *Nature*. 584(2020)430-436.
- [9] K. Tantrakarnapa, B. Bhopdhornangkul, Challenging the spread of COVID-19 in Thailand. *One Health*. 11(2020)100173.
- [10] D.R. Smith, Review a brief history of coronaviruses in Thailand. *Journal of Virological Methods*. 289(2021)114034.
- [11] Department of Disease Control, Ministry of Public Health (27 August 2021). Situation of COVID-19 in Thailand. Available: <https://ddc.moph.go.th/viralpneumonia/index.php>.
- [12] P. Sangnawakij, S.A. Niwitpong, Confidence intervals for functions of coefficients of variation with bounded parameter spaces in two gamma distributions. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 39(2017)27-39.
- [13] R. Ihaka, R. Gentleman, R: A language for data analysis and graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*. 5(1996)299-314.
- [14] S. Banik, B.M.G. Kibria, Estimating the population coefficient of variation by confidence intervals. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*. 40(2011)1236-1261.
- [15] J.D. McKenzie, Minitab student release 14: Statistical software for education. Pearson Addison-Wesley, Boston, 2004.
- [16] Y. Sakamoto, M. Ishiguro, G. Kitagawa, Akaike information criterion statistics. Springer, New York, 1986.

การศึกษา สํารวจ และวิเคราะห์องค์ประกอบของเสีย และแนวทางการใช้ของเสียอาหารทะเล ตลาดทะเลไทย จังหวัดสมุทรสาคร

Study, survey and analysis of waste composition and the application to use the food waste from seafood at Talaythai Market in Samut Sakorn

ศุภชัย หิรัญศุภโชค^{1*} และ กิตยศ ตั้งสัจจวงศ์¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: kitiyot.t@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสำรวจ และวิเคราะห์องค์ประกอบของเสีย และหาแนวทางในการใช้ของเสียจากอาหารทะเล ตลาดทะเลไทย จังหวัดสมุทรสาคร ผลการสำรวจของเสียในตลาดทะเลไทย พบว่าขยะส่วนใหญ่มาจากร้านอาหารถึงร้อยละ 96.27 เนื่องจากร้านอาหารทะเลสดส่วนใหญ่ จะให้อาหารทะเลไปทิ้งตัว จึงไม่เกิดขยะ เช่น กุ้ง หากเป็นร้านอาหาร ลูกค้าจะเหลือเศษหัวกุ้งไว้ แต่ร้านอาหารสดนั้นให้กุ้ง ปู ไปทิ้งตัว ขยะจากร้านอาหารสดจึงมีแต่ก้างปลาเท่านั้นซึ่งก็เป็นจำนวนที่น้อยมาก เพราะลูกค้าส่วนใหญ่จะรับปลาไปทิ้งตัว มีบ้างที่ให้แม่ค้าแล่ปลาและทิ้งก้างเอาไว้ แต่เมื่อวิเคราะห์ตามชนิดของขยะจะพบว่าขยะจำพวกเปลือกหอยมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 55.29 รองลงมาคือ เปลือกกุ้ง ก้างปลา หัวปลา และกระดองปู จากการศึกษพบว่าเศษขยะอาหารทะเลมีสมบัติทางวัสดุที่มีความชื้นต่ำ ร้อยละ 1.88-20.24 นอกจากนั้นยังมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเปลือกหอยลายซึ่งพบประมาณร้อยละ 98.50 ไม่เพียงแต่เปลือกหอยลายเท่านั้น ขยะจำพวกก้างปลา เปลือกกุ้ง และกระดองปู ก็เป็นขยะเศษอาหารที่มีความชื้นต่ำและมีแคลเซียมสูงเช่นเดียวกัน มีเพียงหัวปลากะพงและหัวปลาเก๋าที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก และปริมาณเถ้าที่ต่ำ ดังนั้น ขยะเศษอาหารที่ควรนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปรีไซเคิลก็คือ เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแครง เปลือกกุ้ง ก้างปลากระพง ก้างปลาเก๋า ก้างปลาหู และกระดองปู

คำสำคัญ: องค์ประกอบของเสีย อาหารทะเล ตลาดทะเลไทย 3Rs

Abstract

This research is a survey study, analyze the waste composition, and finding guidelines for the use of seafood waste in Talaythai market, Samut Sakhon Province. According to the survey, 96.27 percent of the waste comes from restaurants. When analyzed by type of waste, it found that shell waste was the highest. Which is up to 55.29 percent. Followed by shrimp shells, fish bone and fish heads and crab shells, the study found that seafood debris had material properties with low moisture content. It also contains calcium as the main component. For example, shellfish is found in approximately 98.50 percent. Not only striped shells Fishbone, shrimp and crab shells are also low humidity and high in calcium. Only a sea bass head and a grouper head found a high amount of organic matter, and low ash content. Food waste that should be analyzed for the possibility of recycling are striped shells, cockle shells, shrimp shells, fishbone shells, fishbone and crab shells.

Keywords: Waste component, seafood, Talaythai Market, 3Rs

1. บทนำ

ปัญหาขยะในประเทศไทยนับว่าเป็นปัญหาที่ใหญ่และเป็นปัญหาหลักที่พบเห็นกันในปัจจุบัน ทุกวันนี้คนไทยกว่า 60 ล้านคน สามารถสร้างขยะได้มากถึง 14 ล้านตันต่อปี แต่ความสามารถในการจัดเก็บขยะกลับมีไม่ถึงร้อยละ 70 ของขยะที่เกิดขึ้น จึงทำให้เกิดปริมาณมูลฝอยตกค้าง ตามสถานที่ต่าง ๆ หรือมีการนำไปกำจัดโดยวิธีกองบนพื้นซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และขยะมูลฝอยนั้น นับวันจะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของประชากร ถ้าหากไม่มีการกำจัดขยะมูลฝอยให้ถูกต้องและเหมาะสมแล้ว ปัญหาความสกปรกต่างๆ ที่เกิดจากขยะมูลฝอย จะต้องเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ถ้ามองกันอย่างผิวเผินแล้ว ขยะมูลฝอยนั้นไม่ได้มีผลกระทบต่อมนุษย์มากนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยตรงต่อมนุษย์ ยังอยู่ในขั้นที่ไม่รุนแรงมากนัก ผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงไม่ชัดเจนเท่าไร แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขยะมูลฝอยจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างมากและจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ด้วยทั้งโดยตรงและทางอ้อม ทั้งนี้เนื่องจากขยะมูลฝอยเป็นแหล่งอาหารและแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรค เช่น แมลงวัน แมลงสาบ ยุง ฯลฯ และเป็นพิษุขอ่อนของหนูและสัตว์อื่น ๆ ปัจจุบันขยะจากเศษอาหารมีการวิจัยและนำของเสียไปใช้ประโยชน์เป็นจำนวนมาก ขยะจากเศษอาหารที่ย่อยสลายได้ส่วนมากจะมีองค์ประกอบทางเคมีจำพวกอินทรีย์วัตถุมาก และยังมีธาตุอาหารหลงเหลืออยู่มาก ส่วนมากจะนำไปแปรรูปเป็นอาหารสัตว์ และทำเป็นปุ๋ย [7] แต่อย่างไรก็ตามมีขยะบางจำพวกเปลือกหอยมีองค์ประกอบของแคลเซียมสูง ซึ่งต่างจากขยะจากเศษอาหารจำพวกอื่น ซึ่งสมัยโบราณจะมีการนำเปลือกหอยมาทำปูนแดง [1]

ตลาดทะเลไทยขายอาหารทะเลและมีการแกะเปลือกกุ้งและหอยเป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็นแผงขายอาหารสด หรือร้านอาหารในตลาดล้วนแต่มีเปลือกหอย ก้างปลาและเปลือกกุ้งอยู่เป็นจำนวนมาก ตลาดทะเลไทยขายอาหารทะเลสดและมีส่วนของร้านอาหารและยังเป็นสถานที่ท่องเที่ยวอีกด้วย ทำให้มีลูกค้าชาวเงินมารับประทานอาหารทะเลเป็นจำนวนมาก ซึ่งตามร้านอาหารจะเปิดขายเวลา 12.00-18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการเกิดขยะ ซึ่งอินทรีย์วัตถุเหล่านี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้มากกว่าการนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การวัดองค์ประกอบของของเสียชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากเพื่อเสนอแนวทางการใช้ของเสียให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีการสำรวจความต้องการของชุมชนโดยรอบซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนในอนาคตอีกด้วย

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

สำรวจตลาดทะเลไทย 1/2 หมู่ 1 ถนน พระราม 2 ตำบล ท่าจีน อำเภอ เมืองสมุทรสาคร จังหวัด สมุทรสาคร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตลาดทะเลไทย จ. สมุทรสาคร

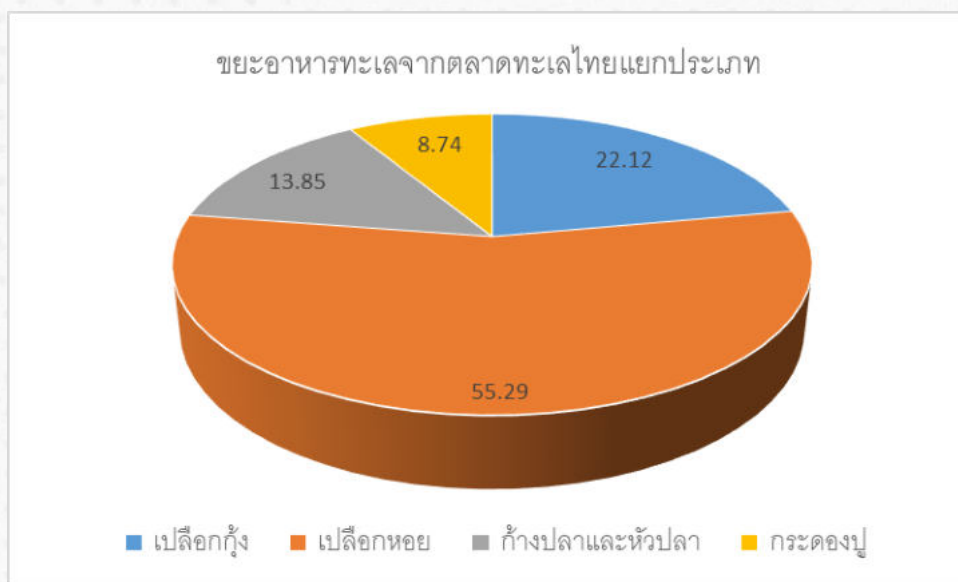
เมื่อได้สำรวจสถานที่แล้วจึงสำรวจขยะอาหารทะเล ตามร้านอาหาร ทำการแยกขยะจากอาหารทะเล เช่น เศษหัวกุ้ง เปลือกหอย ก้างปลา แล้ววัดหาองค์ประกอบของเสียจากอาหารทะเลประเภทต่าง ๆ เช่น เปลือกหอยแครง เปลือกหอยลาย เปลือกกุ้ง ก้างปลากะพง ก้างปลาเก๋า ก้างปลาหู โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คือ ความชื้น เถ้า แคลเซียม และธาตุอื่น ๆ แล้วจึงสำรวจแนวทางการจัดการของเสีย เช่น ความเป็นไปได้ในการนำส่งเผา สถานที่รับเผา เป็นต้น

การวัดความชื้นใช้วิธีการวัดน้ำหนักที่หายไปจากการระเหยของไอน้ำที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส โดยการนำเปลือกหอยไปใส่ไว้ในเตาอบลมร้อน เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำเปลือกหอยมาชั่งน้ำหนักและนำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมงจนกว่าเปลือกหอยจะมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปคำนวณหาความชื้นของเปลือกหอย ส่วนวิธีการวัดเถ้า ทำได้โดยการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือของเปลือกหอยซึ่งก็คือ ส่วนของเถ้า และคำนวณหาสัดส่วนของเถ้า ส่วนการวัดธาตุต่าง ๆ นั้น ใช้วิธีการวัดด้วยรังสีเอกซ์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาการเกิดของเสียของร้านอาหารแห่งหนึ่งในตลาดทะเลไทย

จากการสำรวจของเสียในตลาดทะเลไทย พบว่าขยะส่วนใหญ่มาจากร้านอาหารถึงร้อยละ 96.27 เนื่องจากร้านอาหารทะเลสดส่วนใหญ่ จะให้อาหารทะเลไปทั้งตัว จึงไม่เกิดขยะ เช่น กุ้ง หากเป็นร้านอาหารลูกค้าจะเหลือเศษหัวกุ้งไว้ แต่ร้านอาหารสดนั้นให้กุ้ง ปู ไปทั้งตัว ขยะจากร้านอาหารสดจึงมีแต่ก้างปลาเท่านั้นซึ่งก็เป็นจำนวนน้อยมาก เพราะลูกค้าส่วนใหญ่รับประทานไปทั้งตัว มีบ้างที่ให้แม่ค้าแล่ปลาและทิ้งก้างเอาไว้ แต่เมื่อวิเคราะห์ตามชนิดของขยะจะพบว่าขยะจำพวกเปลือกหอยมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 55.29 รองลงมาคือ เปลือกกุ้ง ก้างปลาและหัวปลา และกระดองปู ตามลำดับดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผลการสำรวจขยะเศษอาหารในตลาดทะเลไทยแบบแยกประเภท

3.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของขยะเศษอาหารทะเล

จากการศึกษาพบว่าเศษขยะอาหารทะเลมีสมบัติทางวัสดุที่มีความชื้นต่ำ จากตารางที่ 1 อาหารทะเลจำพวกเปลือกและก้าง จะมีความชื้นอยู่เพียงร้อยละ 1-3 นอกจากนั้นยังมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งอาหารทะเลจำพวกเปลือกและก้างจะพบแคลเซียมร้อยละ 85-99 เปลือกหอยลายมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุด พบแคลเซียมร้อยละ 98.50 ไม่เพียงแต่เปลือกหอยลายเท่านั้น ขยะจำพวกก้างปลา เปลือกกุ้ง และกระดองปู ก็เป็นขยะเศษอาหารที่มีความชื้นต่ำและมีแคลเซียมสูงเช่นเดียวกัน มีเพียงหัวปลากะพงและหัวปลาเก๋าที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก และมีปริมาณเถ้าที่ต่ำ ดังนั้น ขยะเศษอาหารที่ควรนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปรีไซเคิลก็คือ เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแครง เปลือกกุ้ง ก้างปลากะพง ก้างปลาเก๋า ก้างปลาหู และกระดองปู ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 1 ดังนี้

3.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้

จากผลการศึกษาสามารถแบ่งของเสียในตลาดทะเลไทยได้ออกเป็นสามกลุ่ม ดังตารางที่ 2 จากการศึกษาพบว่าเปลือกหอยประกอบด้วยสารจำพวกแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนใหญ่ สารประกอบชนิดนี้เป็นของแข็งสีขาว มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ส่วนที่เหลือเป็นสารอื่น ๆ เช่น แคลเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมคาร์บอเนต, แมกนีเซียมฟอสเฟต, แมกนีเซียมซัลไฟด์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของขยะอาหารทะเล

| ชื่อวัสดุ | ความชื้น (%) | เถ้า (%) | แคลเซียม (Ca) (%) | ธาตุอื่น ๆ (%) |
|---------------|--------------|----------|-------------------|----------------|
| เปลือกหอยลาย | 1.88 | 58.27 | 98.50 | 1.50 |
| เปลือกหอยแครง | 2.52 | 48.25 | 96.45 | 3.55 |
| เปลือกกุ้ง | 3.87 | 49.37 | 92.87 | 7.13 |
| ก้างปลากระพง | 1.59 | 60.02 | 88.46 | 11.54 |
| ก้างปลาเก๋า | 1.45 | 61.15 | 85.45 | 14.55 |
| ก้างปลาหู | 1.62 | 62.66 | 84.37 | 15.63 |
| หัวปลากระพง | 15.87 | 15.11 | 32.11 | 67.89 |
| หัวปลาเก๋า | 20.24 | 18.22 | 23.28 | 76.72 |
| กระดองปู | 1.66 | 56.78 | 80.60 | 19.4 |

เกต, โปรตีนประเภทคอนโคโอลิน เนื่องจากเปลือกหอยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ แคลเซียม เมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะได้เถ้าที่มีองค์ประกอบหลักที่เป็นแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง งานวิจัยนี้จะศึกษาการใช้ของเสียจากอุตสาหกรรมหอยลกระปอง หรือเปลือกหอยลายซึ่งมีแคลเซียมที่เป็นองค์ประกอบหลัก โดยเป็นการประเมินความเป็นไปได้ครบวงจร คือ 1. ใช้เป็นวัสดุทดแทนแคลบในโรงงานผลิตอิฐธมณู 2. ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผลิตอิฐตัวหนอน 3. ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารไก่ในโรงงานอาหารสัตว์ 4. ใช้เป็นวัสดุทนแทนคาร์บอนหรือหินฟืนม้าในการผลิตกระเบื้อง 5. ใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน และ 6. ใช้ในการปรับสภาพน้ำ

ตารางที่ 2 ผลการแบ่งกลุ่มขยะในตลาดทะเลไทย

| กลุ่ม | ตัวอย่าง | สมบัติที่พบ |
|-----------------------------|--|---|
| เปลือกหอย | เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแครง | มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง จะได้แคลเซียมออกไซด์ ซึ่งใช้แทนปูนขาวได้ |
| เปลือกกุ้ง ก้างปลา กระดองปู | เปลือกกุ้ง ก้างปลากระพง ก้างปลาเก๋า ก้างปลาหู กระดองปู | มีปริมาณแคลเซียมสูง เหมาะแก่การทำอาหารสัตว์ |
| หัวปลา | หัวปลากระพง หัวปลาเก๋า | มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก เหมาะแก่การหมักปุ๋ยหรือนำไปทำไบโอแก๊ส |

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการส่งเผา พบว่ามีบริษัทปูนซึ่งมีโรงเผาในการกำจัดของเสียอันตรายรับเผาของเสียอันตราย หรือนำส่งโรงงานเผากำจัดกากอุตสาหกรรม แต่จากการสำรวจพบว่า ลูกค้าส่วนใหญ่จากโรงงานจะไม่ได้เอาเถ้ากลับไปด้วย ทางผู้วิจัยจึงไม่ทราบว่า โรงงานเผากำจัดกากอุตสาหกรรมมีระบบรวบรวมเถ้าจากการเผาหรือไม่ ซึ่งผู้วิจัยแนะนำให้สร้างเตาเผาอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งจากการศึกษาหากนำเถ้าเปลือกหอยไปรีไซเคิลเป็นปูนขาวปรับปรุงสภาพดินแข็งจะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 10 ปี

4. บทสรุป

ผลการสำรวจของเสียในตลาดทะเลไทย พบว่าขยะส่วนใหญ่มาจากร้านอาหารถึงร้อยละ 96.27 เมื่อวิเคราะห์ตามชนิดของขยะพบว่าขยะจำพวกเปลือกหอยมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 55.29 รองลงมาคือ เปลือกกุ้ง ก้างปลาและหัวปลา และกระดองปู จากการศึกษพบว่าเศษขยะอาหารทะเลมีสมบัติทางวัสดุที่มีความชื้นต่ำ นอกจากนั้นยังมีแคลเซียมเป็น

องค์ประกอบหลัก เช่นเปลือกหอยลายซึ่งพบประมาณร้อยละ 98.50 ไม่เพียงแต่เปลือกหอยลายเท่านั้น ขยะจำพวกก้างปลา เปลือกกุ้ง และกระดองปู ก็เป็นขยะเศษอาหารที่มีความชื้นต่ำและมีแคลเซียมสูงเช่นเดียวกัน มีเพียงหัวปลากะพงและหัวปลาเก๋าที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก และมีปริมาณเถ้าที่ต่ำ ดังนั้น ขยะเศษอาหารที่ควรนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำไปรีไซเคิลก็คือ เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแครง เปลือกกุ้ง ก้างปลากะพง ก้างปลาเก๋า ก้างปลาหู และกระดองปู

จากผลการศึกษาจะสามารถแบ่งของเสียในตลาดทะเลไทยได้ออกเป็นสามกลุ่ม กลุ่มแรกคือ เปลือกหอย เช่น เปลือกหอยลาย เปลือกหอยแครง สมบัติที่พบ คือ มีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง จะได้แคลเซียมออกไซด์ ซึ่งใช้แทนปูนขาวได้ กลุ่มที่สอง คือ เปลือกกุ้ง ก้างปลา กระดองปู เช่น เปลือกกุ้ง ก้างปลากะพง ก้างปลาเก๋า ก้างปลาหู กระดองปู สมบัติที่พบ คือ มีปริมาณแคลเซียมสูง เหมาะแก่การทำอาหารสัตว์ กลุ่มที่สาม คือ หัวปลา เช่น หัวปลากะพง หัวปลาเก๋า สมบัติที่พบ คือ มีปริมาณอินทรีย์วัตถุมาก เหมาะแก่การหมักปุ๋ย หรือ นำไปทำไบโอดีเซล

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบวิจัยรายได้ประจำปี พ.ศ. 2563 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิชชีมา รุ่งปิ่น. นาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชอร์รี่และหอยนางรมเป็นสารเสริมแรงสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. (ภาควิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์). คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555
- [2] ปัตตะ ฮาแว และ พนิดา สุมานะตระกูล. การศึกษาความเป็นไปได้ของการเตรียมนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากวัสดุอินทรีย์. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 8, 2 (พฤษภาคม): 81-88. 2556
- [3] เพิ่มพล กาญจนามัย. การใช้ตะกอนจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนในอุตสาหกรรมก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2546
- [4] ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์ และ ชโลทร ศิริภัทรประวัตติ. 2553. คุณสมบัติด้านกำลังอัดและการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบที่ผสมเปลือกหอยสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และผังเมือง. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์รังสิต. 2553
- [5] สุภกร บุญยืนและคณะ. การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. วารสารมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์รังสิต. 4, 2 (พฤษภาคม): 116-122. 2558
- [6] อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ. การศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภูเสริมไม้น้ำเพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์. 2558
- [7] เอนก สภาวะอินทร์ และ ชุตินุช สุจริต. การรีไซเคิลเปลือกหอยตลับเพื่อผลิตปูนขาวสำหรับการบำบัดน้ำและน้ำเสีย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาสิ่งแวดล้อม. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 2557

สื่อการเรียนรู้วิธีใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยี ความเป็นจริงเสริม

Learning media about exercise for the elderly by AR technology

ศุทธิณี สุวรรณพงศ์¹ ชนาภานต์ ครูวิชา¹ และ วีรวรรณ จันทะทรัพย์^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: veerawan.j@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเป็นนวัตกรรมที่ได้รับความนิยมและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้การใช้งานเครื่องออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ และดำเนินการศึกษาระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยสื่อการเรียนรู้แสดงถึงวิธีการออกกำลังกายเพื่อพัฒนากล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ไหล่ หน้าอก แขน ลำตัว และขา พัฒนาคู่มือเครื่องออกกำลังกายจำนวน 10 อุปกรณ์ สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ Unity3D ใช้เครื่องมือแบบสอบถามและใช้ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ผลการทดลองโดยใช้เกณฑ์การทดสอบกับผู้เชี่ยวชาญพบว่า การทำงานของสื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมที่ได้พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับดี ในส่วนของผลความพึงพอใจในภาพรวมของผู้ใช้งานจำนวน 10 ราย ซึ่งเป็นผู้สูงอายุอยู่ในระดับดี (3.93 ± 1.32) ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ผลการทดลองและทดสอบงานวิจัยนี้สนับสนุนองค์ความรู้ด้านการพัฒนาสื่อสารสนเทศที่ทันสมัยต่อไปได้ในอนาคต

คำสำคัญ: เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม สูงอายุ

Abstract

Now, Augmented Reality (AR) as an innovation was popular and more interesting. The purpose of this research is to develop the learning media about exercise for the elderly by AR technology and finding out the users' satisfaction with the media. This research present 10 exercise equipment usability where apply to an upper body consisting of shoulder, chest, arms abdominal muscle, and leg. The tools used in the research were Unity 3D, questionnaires, and mean and standard deviation for statistics. The results of the test used the test criteria with the experts found that the performance of the AR was good. The overall satisfaction evaluated by participants of 10 users, who were elderly people is at a high level (3.93 ± 1.32) Therefore, the results of this research can be used to expand the knowledge base of advanced information media development in the future.

Keywords: Augmented Reality, Elderly

1. บทนำ

ในปัจจุบันโลกก้าวเข้าสู่เทคโนโลยีที่เรียกว่า Disruptive ซึ่งประกอบด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ อาทิ เทคโนโลยีบนมือถือ (Mobile Technology) อินเทอร์เน็ตแห่งสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT) เทคโนโลยีคลาวด์ (Cloud Technology) วิทยาการหุ่นยนต์ (Robot) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence; AI) ระบบการทำงานอัตโนมัติ (Automatic System) และเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality Technology; AR) เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยี

เหล่านี้ได้ถูกนำมาสร้างนวัตกรรมในรูปแบบใหม่ และมีอิทธิพลต่อรูปแบบการดำเนินธุรกิจ รูปแบบการทำงาน และการดำเนินชีวิต ทำให้เกิดอาชีพใหม่ขึ้นมากมาย เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม หรือ เทคโนโลยี AR คือ เทคโนโลยีที่แสดงการซ้อนทับของเนื้อหาดิจิทัลกับฉากความเป็นจริง โดยแสดงภาพกราฟิกเสมือนซ้อนทับลงบนสภาพแวดล้อมจริงในเวลาเดียวกันผ่านอุปกรณ์มือถือ หรืออุปกรณ์แท็บเล็ต ปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ได้รับความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างสื่อการเรียนรู้ต่าง ๆ อาทิ งานวิจัยของ นางเยาว์ และคณะ [1] นำเสนอสื่อการเรียนการสอนออนไลน์การเรียนรู้พื้นฐานชิ้นส่วนเครื่องจักรอุตสาหกรรมโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR ผลงานของ ญัฐกานต์ และหทัยรัตน์ [2] นำเสนอการพัฒนาสื่อการเรียนการสอนด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเพื่อพัฒนาการเรียนรู้กับเนื้อหาวิชาสารสนเทศและการสื่อสารในการเรียนการสอนนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาชั้นปีที่ 3 และผลงานของเชมปริต [3] ได้นำเสนอการพัฒนาสื่อเสริมการเรียนรู้เรื่องอุปกรณ์ไอซีที่น่ารู้ร่วมกับเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เป็นต้น ซึ่งทุกผลงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นให้ผลการวิจัยที่สอดคล้องตรงกันว่าเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมสามารถพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของผู้เรียนดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเทคโนโลยี AR ถูกนำมาสร้างสื่อการเรียนรู้เพื่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์กับงานทางด้านการส่งเสริมสุขภาพพลานามัยของผู้คน [4, 5, 6] โดยเฉพาะผู้สูงอายุ ซึ่งในอนาคตข้างหน้าจะเป็นกลุ่มบุคคลที่เป็นประชากรส่วนใหญ่ของประเทศ ดังนั้น จึงเป็นเรื่องที่สำคัญและเร่งด่วน [7] อีกทั้งสังคมไทยเราผู้สูงอายุนั้นเป็นศูนย์รวมของความรักของลูกหลาน การที่ปู่ ย่า ตา ยาย หรือผู้สูงอายุในบ้านมีสุขภาพที่แข็งแรงและปลอดภัยก็จะทำให้ลดภาวะความเครียด ลดค่าใช้จ่ายทางการแพทย์ (Medical Cost) ลดการสูญเสีย รวมทั้งส่งเสริมความสุขภาพในครอบครัว ซึ่งสถาบันครอบครัวถือเป็นสถาบันที่เล็กที่สุดในสังคม แต่มีความยิ่งใหญ่ในเรื่องของการส่งผลกระทบต่อสถาบันในสังคมใหญ่ในภาพรวมระดับประเทศนั่นเอง

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับผู้สูงอายุ โดยนำเทคโนโลยีสมัยใหม่อันประกอบด้วย โมบายเทคโนโลยี และเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้สื่อการเรียนรู้ที่สนับสนุนและส่งเสริมการออกกำลังกายอย่างถูกวิธีของเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับผู้สูงอายุ อันเป็นการดำเนินงานวิจัยเพื่อรองรับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุของประเทศอีกด้วย

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องออกกำลังกายสาธารณะ และเพื่อส่งเสริมให้ผู้สูงอายุออกกำลังกายอย่างถูกวิธี โดยนำเทคโนโลยีที่มีชื่อว่า เทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality Technology) [8, 9] เข้ามาประยุกต์ใช้ในการสร้างสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบโมเดล 3 มิติ (3D Model) โดยคณะผู้วิจัยดำเนินงานตามขั้นตอนกรอบแนวคิด 4 ส่วนหลัก คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ และการทดสอบ รายละเอียดในแต่ละส่วนมีดังต่อไปนี้

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมความต้องการ โดยดำเนินการสำรวจข้อมูลเครื่องออกกำลังกายสาธารณะ จากชุมชนตัวอย่าง คือ เทศบาลตำบลบางแม่นาง ซึ่งตั้งอยู่เลขที่ 24/5 หมู่ 4 ตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี โดยข้อมูลพื้นฐานทางด้านประชากรของตำบลบางแม่นาง ณ กรกฎาคม 2564 มีจำนวนทั้งสิ้น 48,315 คน ประกอบด้วยเพศชายจำนวน 22,135 คน และเพศหญิงจำนวน 26,180 คน จากทั้งหมด 18 หมู่บ้าน เทศบาลตำบลบางแม่นางมีสวนสาธารณะจำนวน 1 แห่ง คือ สวนสาธารณะเทศบาลเมืองบางแม่นาง ซึ่งทางเทศบาลได้จัดเป็นพื้นที่สีเขียว และให้บริการประชาชนในชุมชนได้มาพักผ่อนและออกกำลังกาย โดยจัดหาอุปกรณ์เครื่องออกกำลังกายและติดตั้งให้บริการแก่ประชาชน ซึ่งประชาชนในชุมชนได้มาออกกำลังกายกันพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้สูงอายุในชุมชน

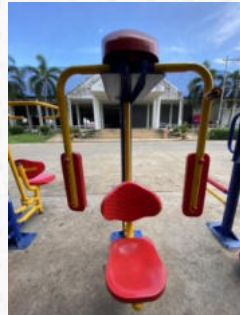
- คณะผู้วิจัยได้ลงพื้นที่พร้อมเก็บข้อมูลเครื่องออกกำลังกายตัวอย่างจำนวน 10 เครื่อง ประกอบด้วย
- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 1 อุปกรณ์บริหารขา สะโพก และหัวไหล่ (แบบโยก-วิ่งสลับเท้า)
 - เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 2 อุปกรณ์บิดเอวขนาดหลัง-ขา
 - เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 3 อุปกรณ์บริหารแขน-หัวไหล่-หน้าอก (แบบถ่าง-หุบยกตัว)
 - เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 4 อุปกรณ์บริหารแขน-หัวไหล่-หน้าอก (แบบยกตัว)

- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 5 อุปกรณ์บิดเอวแบบยืน 3 ที่ยืน
- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 6 อุปกรณ์บริหารขา สะโพก และหัวไหล่ (แบบโยก-วิ่งสลับเท้า)
- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 7 อุปกรณ์บริหารขา สะโพก และหัวไหล่ (แบบโยก-วิ่งสลับเท้า)
- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 8 อุปกรณ์เดินสลับแขน-ขาแนวราบ
- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 9 อุปกรณ์เอนปั่นจักรยาน
- เครื่องออกกำลังกายตัวที่ 10 อุปกรณ์ม้าโยกบริหารแขน-ขา-หน้าท้อง

จากนั้นดำเนินการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมของเครื่องออกกำลังกายแต่ละเครื่อง จากตำรา หนังสือวิชาการต่าง ๆ และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 1 ราย เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ใช้ในการนำเสนอบนสื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น รายละเอียดข้อมูลของเครื่องออกกำลังกายแสดงดังภาพที่ 1



อุปกรณ์บิดเอวแนวหลังและขา



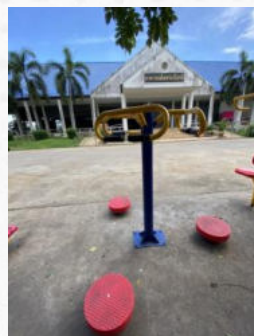
อุปกรณ์บริหารแขน หัวไหล่ หน้าอก (แบบถ่าง-หุบยกตัว)



อุปกรณ์บริหารแขน หัวไหล่หน้าอก (แบบยกตัว)



อุปกรณ์บริหารขา สะโพก และหัวไหล่



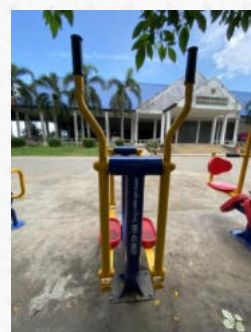
อุปกรณ์บิดเอวแบบยืน 3 ที่ยืน



อุปกรณ์บริหารขา สะโพก และหัวไหล่



อุปกรณ์เดินสลับแขนขาแนวราบ



อุปกรณ์บริหารขา สะโพก



อุปกรณ์เอนปั่นจักรยาน



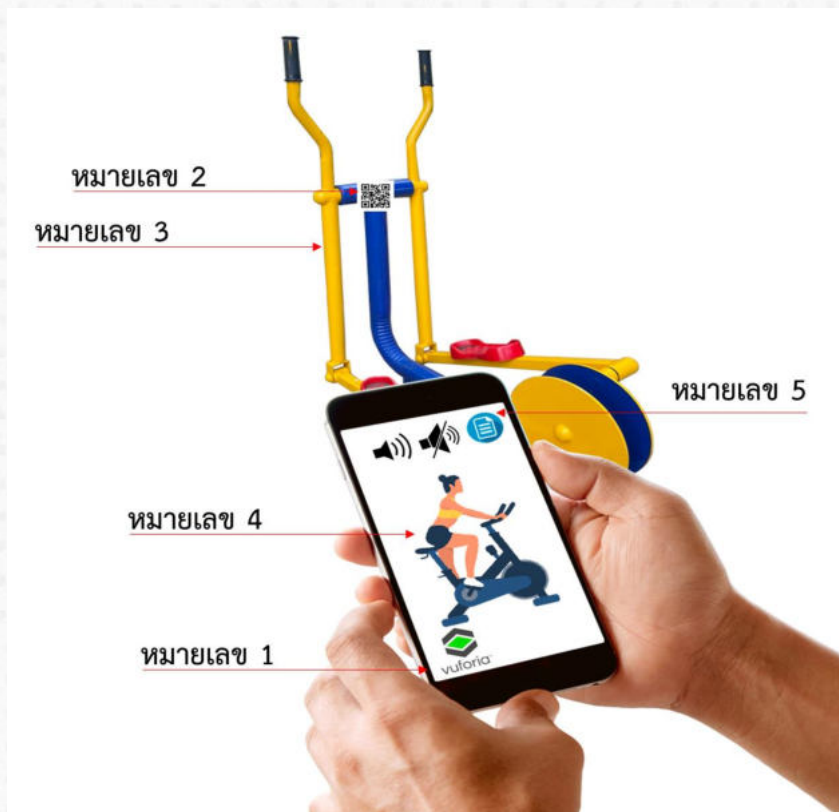
อุปกรณ์ม้าโยกบริหารแขน-ขา-หน้าท้อง

ภาพที่ 1 อุปกรณ์เครื่องออกกำลังกายที่ใช้งานวิจัย

2.2 การวิเคราะห์และออกแบบ (Analysis and Design)

คณะผู้วิจัยดำเนินการนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์และออกแบบ ด้วยการนำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR) เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้งานเครื่องออกกำลังกายของผู้สูงอายุทั้งหมด 10 เครื่อง โดยได้ดำเนินการออกแบบภาพรวมการทำงานไว้ดังนี้ ผู้ใช้งานดำเนินการติดตั้งซอฟต์แวร์ Vuforia ซึ่งเป็น SDK สำหรับพัฒนา

แอปพลิเคชัน AR ลงบนโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (หมายเลข 1) จากนั้นใช้กล้องจากซอฟต์แวร์ Vuforia ส่องไปยัง QR Code หรือมาร์คเกอร์ (หมายเลข 2) ที่ติดไว้บนอุปกรณ์เครื่องออกกำลังกายในแต่ละเครื่อง (หมายเลข 3) จากนั้นจะปรากฏสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องออกกำลังกายในรูปแบบภาพเคลื่อนไหวโมเดล 3 มิติ พร้อมมีเสียงบรรยายและคำบรรยายข้อมูลเครื่องออกกำลังกาย (หมายเลข 4) ผู้ใช้งานสามารถปฏิสัมพันธ์กับสื่อได้ด้วยการควบคุมเปิด-ปิดเสียงบรรยาย และเปิด-ปิดข้อมูลรายละเอียดเครื่องออกกำลังกายได้ด้วยการสัมผัสไปยังปุ่มคำสั่งบนหน้าจอ (หมายเลข 5) แบบจำลองภาพรวมการทำงานของสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้งานเครื่องออกกำลังกายแสดงดังภาพที่ 2



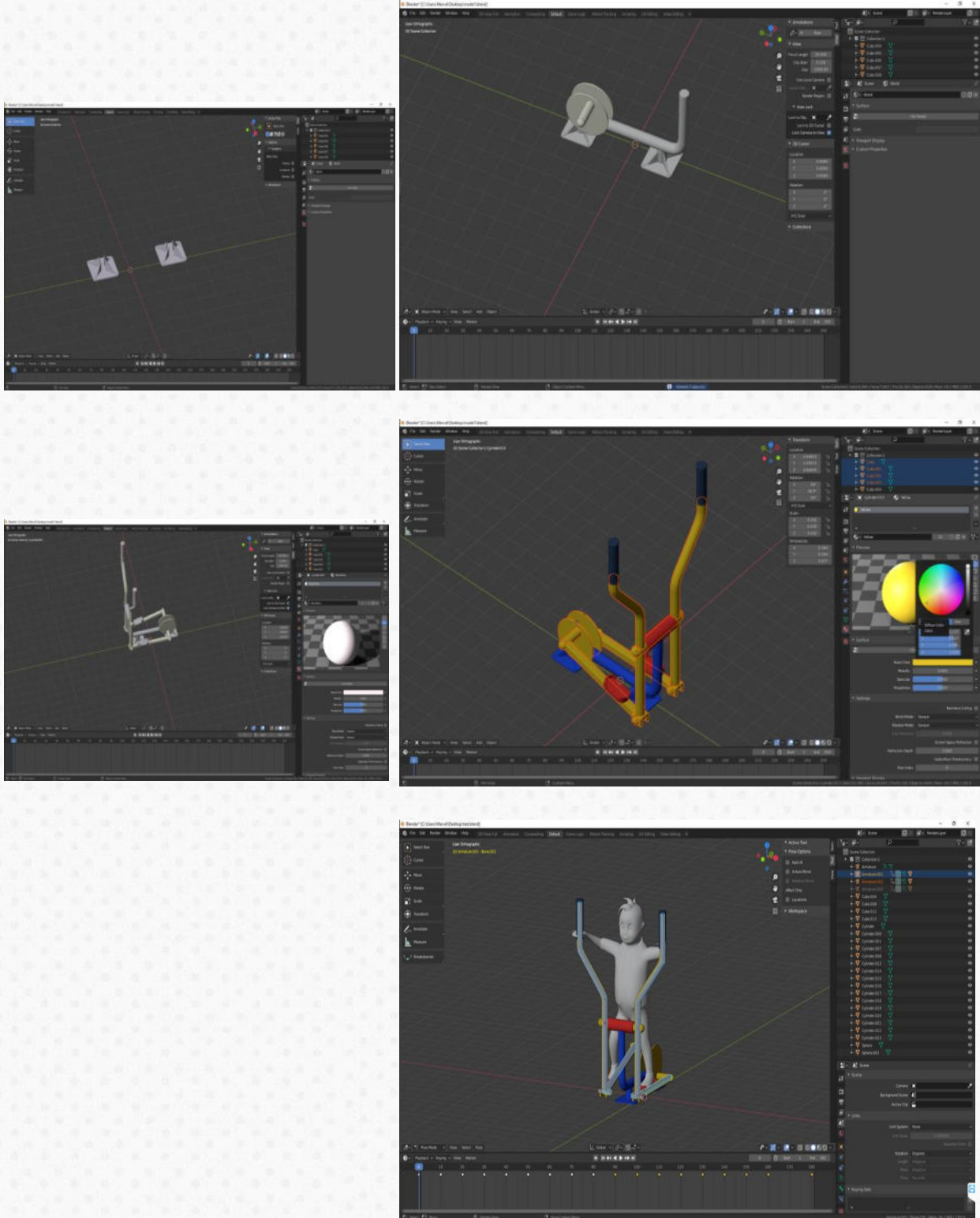
ภาพที่ 2 แบบจำลองภาพรวมการทำงานของสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องออกกำลังกาย

2.3 การพัฒนา (Development)

การพัฒนาสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องออกกำลังกายใช้ซอฟต์แวร์ Blender สร้างตัวต้นแบบ 3 มิติ (3D Model) และสร้างการเคลื่อนไหว (Animations) ทั้งในส่วนเครื่องออกกำลังกาย และตัวการ์ตูนแสดงการใช้งานเครื่องออกกำลังกาย ใช้ภาษา C# เขียนสคริปต์คำสั่งควบคุมปุ่มเสียง และการแสดงผลรายละเอียดของข้อมูลเครื่องออกกำลังกาย และใช้ซอฟต์แวร์ Unity3D [10] ร่วมกับซอฟต์แวร์ Vuforia สำหรับพัฒนาส่วนความเป็นจริงเสริม (AR) โดยพัฒนาบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์รุ่น 10 และระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ประเภทส่วนบุคคล หน่วยประมวลผล Intel core i7-6700 หน่วยความจำ 16GB. การ์ดจอแบบ VGA ขนาด 4GB. ตัวอย่างภาพการพัฒนาตัวต้นแบบ 3 มิติ แสดงดังภาพที่ 3

จากภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างภาพการสร้างโมเดล 3 มิติ ทั้งในส่วนเครื่องออกกำลังกาย ตัวการ์ตูนมนุษย์ และการนำโมเดลทั้งสองส่วนมาประกอบกัน พร้อมสร้างท่าทางการออกกำลังกาย จัดทำให้อยู่ในรูปแบบโมเดล 3 มิติแบบเคลื่อนไหว (Animation) จากนั้นดำเนินการบันทึกเสียงบรรยายแนะนำเครื่องออกกำลังกาย วิธีการใช้งาน ผลต่อสุขภาพที่จะได้รับ และข้อควรระวังสำหรับผู้ที่เป็นโรคที่อาจได้รับผลกระทบต่อการออกกำลังกาย พร้อมนำเสียงบรรยายตัดต่อลงในภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ ดำเนินการเช่นนี้กับอุปกรณ์ตัวอย่างจำนวน 10 อุปกรณ์ ตัวอย่างภาพผลลัพธ์สื่อการเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องออกกำลังกาย

สาธารณะสำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมผ่านกล้องของซอฟต์แวร์ Vuforia ที่ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ Unity3D ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 ตัวอย่างภาพการสร้างแบบจำลอง 3 มิติเครื่องออกกำลังกาย และการ์ตูนสาธิตการใช้งาน



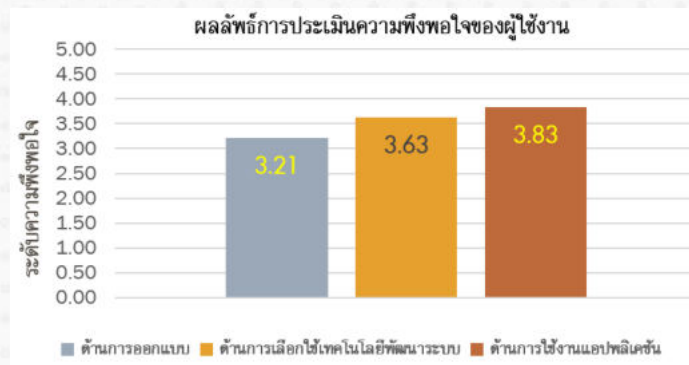
ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพผลลัพธ์สื่อการเรียนรู้วิธีการใช้งานอุปกรณ์บริหารฯ สะโพกและหัวไหล่

2.4 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดสอบระบบโดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ (1) การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการใช้งานในภาพรวมโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย โดยงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญจากศูนย์ออกกำลังกายศิริราชพยาบาล (Siriraj Fitness Center) งานสร้างและส่งเสริมสุขภาพ คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล จำนวน 1 ท่าน และ (2) การทดสอบความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีต่อสื่อการเรียนรู้ที่ได้พัฒนาขึ้น จำนวน 10 ราย ซึ่งเป็นผู้มีอายุ 60 ปีขึ้นไปที่ใช้เครื่องออกกำลังกายสาธารณะของเทศบาลตำบลบางแม่นาง อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรีเป็นประจำโดยเฉลี่ยอาทิตย์ละ 1 ครั้ง และมีโทรศัพท์มือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้เครื่องมือแบบฝึกปฏิบัติตามคำสั่งจำนวน 10 คำสั่ง เพื่อศึกษาสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะ จำนวน 10 อุปกรณ์ โดยขณะฝึกปฏิบัติ ใช้งานสื่อจะมีทีมงานนักวิจัยคอยให้คำแนะนำตลอดการใช้งาน และใช้เครื่องมือแบบสอบถามความพึงพอใจโดยมีประเด็นข้อคำถาม 3 ด้าน ประกอบด้วย (1) ด้านการออกแบบ (2) ด้านการเลือกใช้เทคโนโลยีพัฒนา และ (3) ด้านความพึงพอใจการใช้งาน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองพบว่า ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลเครื่องออกกำลังกาย คำอธิบายท่าทางในส่วนภาพเคลื่อนไหวในการออกกำลังกายถูกต้องสมบูรณ์ครบถ้วน นอกจากนั้นผู้เชี่ยวชาญยังให้คำแนะนำเพิ่มเติมในส่วนของการใช้งานสื่อควรเพิ่มรูปแบบของตัวการ์ตูนเพื่อผู้ใช้งานได้เลือก และอาจเพิ่มส่วนของสื่อสังคมออนไลน์ ทั้งนี้ก็เพื่อทำให้เกิดความหลากหลาย และเป็นการเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น สำหรับการทดสอบการใช้งานสื่อกับผู้สูงอายุจำนวน 10 ราย พบว่าเป็นเพศชายจำนวน 6 ราย และเพศหญิงจำนวน 4 ราย ดำเนินการทดสอบการใช้งานตามคำสั่งที่กำหนดจำนวน 10 คำสั่ง เพื่อศึกษาสื่อการเรียนรู้วิธีการใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะ จำนวน 10 อุปกรณ์ พบว่า ผู้สูงอายุทุกคนสามารถปฏิบัติตามคำสั่งได้ครบถ้วนทุกคน สำหรับผลการทดลองด้านความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อของผู้สูงอายุจำนวน 10 ราย พบว่า ผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานสื่อในระดับมากที่ค่าเฉลี่ย 3.93 เมื่อพิจารณาในด้านการเลือกใช้เทคโนโลยี AR มาพัฒนาสื่อการเรียนรู้ได้รับความพึงพอใจที่ค่าเฉลี่ย 3.63 รายละเอียดผลการประเมินความพึงพอใจแสดงดังภาพที่ 6 สำหรับข้อเสนอแนะจากการทดสอบการใช้งานพบว่า ผู้ใช้งานส่วนใหญ่ไม่เข้าใจรูปแบบการใช้งานในรอบแรกที่ทดลองใช้งาน แต่เมื่อได้รับคำแนะนำจากทีมงานนักวิจัยผู้ควบคุมขณะทดสอบแล้วก็พบว่า มีความเข้าใจ และมีความสุขสนุกสนานในการใช้งาน รวมทั้งได้รับความรู้ด้านวิธีการใช้เครื่องออกกำลังกาย และประโยชน์ที่จะได้รับเพิ่มเติมจากสื่อการเรียนรู้ที่ได้พัฒนาขึ้น



ภาพที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ทดสอบ

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาสื่อการเรียนรู้การใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะสำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมในรูปแบบโมบายแอปพลิเคชัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้การใช้งานเครื่องออกกำลังกายสาธารณะอย่างถูกวิธี และทราบถึงข้อควรระวังต่าง ๆ สำหรับการออกกำลังกายในแต่อุปกรณ์ของผู้สูงอายุที่มาออกกำลังกายสวนสาธารณะเทศบาลตำบลบางแม่นาง และเพื่อลดความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุขณะออกกำลังกาย โดยนำเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริมหรือเทคโนโลยี AR เข้ามาประยุกต์ในการสร้างสื่อการเรียนรู้ ผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าได้รับยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพและการออกกำลังกาย รวมทั้งได้รับความพึงพอใจจากผู้สูงอายุที่ได้ดำเนินการทดสอบการใช้งานในระดับมาก อย่างไรก็ตามผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งาน อาทิ การเพิ่มฟีเจอร์ให้ผู้ใช้งานกำหนดตัวละครให้หลากหลายได้เอง โดยอาจกำหนดสภาพร่างกายตามอายุ เพศ สีผิว ทรงผม เสื้อผ้า เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสุขสนุกสนานในการใช้งานมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังควรมีส่วนของสังคมออนไลน์ เช่น การถ่ายภาพคลิปวิดีโอขณะออกกำลังกายแล้วเผยแพร่ให้แก่ผู้อื่นได้ ทั้งนี้ก็เป็นอีกทางหนึ่งในการประชาสัมพันธ์ความรู้เกี่ยวกับการออกกำลังกายอย่างถูกวิธีของเครื่องออกกำลังกายสาธารณะต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณศุภจินาภ ภัคติกกลาง นักวิทยาศาสตร์การกีฬาจากศูนย์ออกกำลังกายศิริราชพยาบาล (Siriraj Fitness Center) งานสร้างและส่งเสริมสุขภาพ คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบและทดสอบความถูกต้องและการใช้งานแอปพลิเคชัน และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการเผยแพร่ผลงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นงเยาว์ สอนจะโปะ และคณะ. สื่อการเรียนรู้การสอนออนไลน์ การเรียนรู้พื้นฐานชิ้นส่วนเครื่องจักรอุตสาหกรรมโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AR. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ, 2564. 204-207.
- [2] ณัฐกานต์ ภาคพรต และหทัยรัตน์ ศรีสวัสดิ์. การพัฒนาสื่อการเรียนรู้การสอนด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงเพื่อพัฒนาการเรียนรู้. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 9(2562). 22-29.
- [3] เขตปริต ขุนราชเสนา. พัฒนาสื่อเสริมการเรียนรู้เรื่องอุปกรณ์ไอซีที่นำรู้ร่วมกับเทคโนโลยีความจริงเสริม. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 4, เพชรบูรณ์, 2560. 921-928.
- [4] Bruno Arnaldi, Pascal Guitton, and Guillaume Moreau. Virtual Reality and Augmented Reality: Myths and Realities. Wiley Publishing, New York City, 2018.
- [5] Timothy Jung and M. Claudia tom Dieck. Augmented Reality and Virtual Reality. Springer Nature, 2018.

- [6] เพ็ญภพ พันธุ์เสื่อ. ประสิทธิภาพของการออกกำลังกายแบบซิ่งกตอสภาวะซิมเศร่าในผู้สูงอายุไทย. ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2560.
- [7] กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. แผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม (Digital Thailand). กรุงเทพฯ : กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2559.
- [8] Jon Peddie. Augmented Reality: Where We Will All Live. Springer International Publishing, California, 2017.
- [9] Tomy Parisi. Learning Virtual Reality. O'Reilly Media, Inc. California, 2015.
- [10] Kelvin Sung and Gregory Smith. [Online]. Basic Math for Game Development with Unity 3D. Apress, 2019. Available from <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5443-1>

การพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึมโดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ

The Development of Social Skills for Children with Autism by Using Storytelling Activities Together with Hand Puppet

ภัชชากาญจน์ ลพหล้า

สาขาวิชาจิตวิทยาการศึกษาและการให้คำปรึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email: patchakan2508@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นวิจัยแบบกึ่งการทดลอง (quasi - experimental design) ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองโดยการทดลองแบบกลุ่มเดียว วัดก่อน-หลัง (one-group pretest – posttest design) มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ และ 2) เพื่อเปรียบเทียบทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึมก่อนและหลังได้รับการจัดกิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เด็กที่มีภาวะออทิสซึมที่มารับบริการที่ห้องคูนานสำหรับบุคคลออทิสติกโรงเรียนธนากรสงเคราะห์ จำนวน 5 คน มีปัญหาด้านทักษะทางสังคม ได้แก่ การมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น และการปฏิบัติตนในสังคม ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดกิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ จำนวน 8 แผน 2) นิทานร่วมกับหุ่นมือ จำนวน 8 เรื่อง และ 3) แบบประเมินทักษะทางสังคมทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึม โดยผู้วิจัยใช้สถิติพื้นฐานในการวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ผลการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึมในแต่ละช่วงของการทดลองฯ สูงขึ้น และทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึมหลังการทดลอง สูงขึ้นกว่าก่อนการทดลอง ทั้ง 5 คน แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึม สามารถพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึมได้ดี

คำสำคัญ: ทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิสซึม การเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ

Abstract

This research is a quasi-experimental design, the researcher conducted a one-group pretest – posttest design with the objectives 1) to develop social skills of children with autism using storytelling activities with hand puppets; and 2) to compare social skills of children with autism before and after receiving storytelling activities with hand puppets. The target group used in this research were children with autism 5 people who received services at the inclusive classroom for autistic persons at Thanakorn Songkhro School and had problems with social skills, interacting with others and behavior in society. It was obtained by selecting a specific method (Purposive Sampling). The research tools were 1) eight Lesson Plan, 2) eight storytelling activities with hand puppets, 3) behavioral observation form and 4) Social skills assessment form for children with autism. The researcher will analyze using basic statistics, find the mean, bring the data to show in the form of tables and line graphs. The results showed that using storytelling activities together with hand puppets to develop social skills in children with autism higher in each period of the experiment, the social skills of the five children with autism after the experiment increased, indicating that the use of hand puppet storytelling activities to develop social skills in children with autism able to improve social skills of children with autism.

Keywords: Social Skills of Children with Autism, Storytelling Activities Together with Hand Puppet

1. บทนำ

การจัดการศึกษาสำหรับคนพิการของประเทศไทย ได้ดำเนินการโดยตระหนักถึงเรื่องสิทธิมนุษยชนที่ทุกคนควรจะได้รับโอกาสทางการศึกษาทัดเทียมกันซึ่งการดำเนินงานในส่วนคนพิการนั้นถือเป็นภาระหน้าที่โดยตรงของกระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2482 จนถึงปัจจุบันและกำลังจะพัฒนาการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต การดำเนินการจัดการศึกษาเพื่อคนพิการ เป็นประเด็นได้รับความสนใจจากสังคมและผู้เกี่ยวข้องเป็นอันมาก กระทรวงศึกษาธิการได้เสนอเรื่องนี้เข้าที่ประชุมรัฐมนตรีและได้รับความเห็นชอบกำหนดให้ปี พ.ศ. 2542 และได้มีการประกาศต่อสาธารณชนทั่วไปว่า"คนพิการทุกคนที่อยากเรียนต้องได้เรียน"สอดคล้องกับรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2560 ที่ได้รับไว้ในหมวด 5 มาตรา 54 ว่า รัฐต้องดำเนินการให้เด็กทุกคนได้รับการศึกษาเป็นเวลา 12 ปี ตั้งแต่ก่อนวัยเรียนจนจบการศึกษาภาคบังคับอย่างมีคุณภาพโดยไม่เก็บค่าใช้จ่าย รัฐต้องดำเนินการให้เด็กเล็กได้รับการดูแลและพัฒนาจนเข้ารับการศึกษา ตามวาระหนึ่งเพื่อพัฒนาร่างกาย จิตใจวินัยอารมณ์ สังคม และสติปัญญาให้สมกับวัยโดยส่งเสริม และสนับสนุนให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคเอกชนเข้ามีส่วนร่วมในการดำเนินการด้วย รัฐต้องดำเนินการให้ประชาชนได้รับการศึกษาตามความต้องการในระบบต่าง ๆรวมทั้งส่งเสริมให้มีการเรียนรู้ตลอดชีวิตและจัดให้มีการร่วมมือกันระหว่างรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นภาคเอกชนในการจัดการศึกษาทุกระดับและโดยรัฐมีหน้าที่ดำเนินการส่งเสริมและสนับสนุนให้การจัดการศึกษาดังกล่าวให้มีคุณภาพได้มาตรฐานสากลทั้งนี้ ตามกฎหมายว่าด้วยการศึกษาแห่งชาติซึ่งอย่างน้อยต้องมีบทบัญญัติเกี่ยวกับการจัดทำแผนการศึกษาแห่งชาติและการดำเนินการและตรวจสอบการดำเนินการให้เป็นไปตามแผนการศึกษาแห่งชาติด้วย ประกอบกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และ ที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 หมวด 2 มาตรา 10 ที่ได้ให้ความสำคัญกับการจัดการศึกษาสำหรับผู้ที่มีความบกพร่องทางร่างกาย จิตใจ สติปัญญา อารมณ์ สังคม การสื่อสารและการเรียนรู้ หรือมีร่างกายพิการ หรือทุพพลภาพ หรือบุคคลซึ่งไม่สามารถพึ่งตนเองได้ หรือไม่มีผู้ดูแลหรือด้อยโอกาสกว่า รัฐต้องจัดให้บุคคลดังกล่าวมีสิทธิและโอกาสได้รับการศึกษาขั้นพื้นฐานเป็นพิเศษ โดยการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการในวรรคสองให้จัดตั้งแต่แรกเกิดหรือพบความพิการ โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และ ในหมวด 4 มาตรา 22 กล่าวไว้ว่า การจัดการศึกษาต้องยึดหลักให้ผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตัวเองได้ และถือว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด กระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการ พ.ศ. 2551 มาตรา 5 ระบุว่า คนพิการมีสิทธิได้รับการศึกษาโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายตั้งแต่แรกเกิดหรือพบความพิการจนตลอดชีวิต พร้อมทั้งได้รับเทคโนโลยี สิ่งอำนวยความสะดวก สื่อ บริการและความช่วยเหลืออื่นใดทางการศึกษามีสิทธิเลือกบริการทางการศึกษา สถานศึกษา ระบบและรูปแบบการศึกษา โดยคำนึงถึงความสามารถ ความสนใจ ความถนัดและความต้องการจำเป็นพิเศษของบุคคล และได้รับการศึกษาที่มีมาตรฐานและประกันคุณภาพการศึกษา รวมทั้งการจัดหลักสูตร กระบวนการเรียนรู้ การทดสอบทางการศึกษาที่เหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการจำเป็นพิเศษของคนพิการแต่ละประเภทและบุคคล พระราชบัญญัติการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการ พ.ศ.2551 มาตรา 5 ระบุว่าคนพิการ มีสิทธิทางการศึกษา โดยเลือกบริการทางการศึกษา สถานศึกษา ระบบและรูปแบบการศึกษาโดยคำนึงถึง ความสามารถ ความสนใจ ความถนัดและความต้องการจำเป็นพิเศษของบุคคลนั้นสำนักบริหารงานการศึกษาพิเศษ มีสถานศึกษาที่ให้บริการผู้เรียนที่มีความต้องการจำเป็นพิเศษในลักษณะศูนย์การศึกษาพิเศษ ที่มีบทบาทหน้าที่ตามพระราชบัญญัติการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการ พ.ศ.2551 และประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง การปฏิบัติหน้าที่อื่นของศูนย์การศึกษาพิเศษ พ.ศ.2553 กระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งกำหนดบทบาทหน้าที่ศูนย์การศึกษาพิเศษ ดังนี้ (1) จัดและส่งเสริม สนับสนุนการศึกษาในลักษณะ ศูนย์บริการช่วยเหลือระยะแรกเริ่ม (Early Intervention : EI) และเตรียมความพร้อม ของคนพิการเพื่อเข้าสู่ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กโรงเรียนอนุบาลโรงเรียนเรียนร่วม โรงเรียนเฉพาะความพิการ ศูนย์การเรียนเฉพาะความพิการหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเป็นต้น (2) พัฒนาและฝึกอบรมผู้ดูแลคนพิการ บุคลากรที่จัดการศึกษาสำหรับคนพิการ (3) จัดระบบและส่งเสริมสนับสนุนการจัดทำแผนการจัดการศึกษาเฉพาะบุคคล (Individualized Education Program : IEP) (4) จัดระบบบริการช่วงเชื่อมต่อสำหรับคนพิการ (Transition Services) (5) ให้บริการฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการ โดยครอบครัวและชุมชนด้วยกระบวนการทางการศึกษา (6) เป็นศูนย์ข้อมูลรวมทั้งจัดระบบข้อมูลสารสนเทศด้านการศึกษาสำหรับคนพิการ (7) จัดระบบสนับสนุนการจัดการเรียนร่วมและประสานงานการจัดการศึกษาสำหรับคนพิการในจังหวัด และ (8) ภาระหน้าที่อื่นตามที่กฎหมายกำหนดหรือตามที่ได้รับมอบหมาย

เด็กที่มีภาวะออทิสซึม (Children with autism spectrum) เป็นเด็กที่มีความต้องการจำเป็นพิเศษประเภทหนึ่งที่มีความสำคัญและต้องการความช่วยเหลืออย่างเร่งด่วน เด็กที่มีภาวะออทิสซึมนี้นี้มีความผิดปกติทางพัฒนาการในด้านปฏิสัมพันธ์

ทางสังคม การสื่อความหมายและพฤติกรรมรวมทั้งการขาดจินตนาการ โดยจะปรากฏให้เห็นได้ในระยะ 3 ปีแรกของชีวิต มีลักษณะทางพฤติกรรม และอารมณ์ที่บ่งพร่อง เช่น ยึดติดไม่ยอมเปลี่ยนแปลงในชีวิต ประจำวัน มีความสนใจที่จำกัด เด็กบางคนแสดงออกทางอารมณ์ไม่เหมาะสมกับวัย ร้องไห้หรือหัวเราะโดยไม่มีเหตุผล บางคนมีปัญหาด้านการปรับตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมต่างๆ จะอาละวาดหรือแสดงพฤติกรรมก้าวร้าวออกมา เช่น ร้องไห้ ทำลายข้าวของ (สมพร หวานเสด็จ, 2551) เด็กที่มีภาวะออทิซึมบางคนไม่สามารถพูดได้เลย หรือพูดแบบนกแก้วนกขุนทอง หรือบางคนพูดได้ดีแต่ไม่สนใจคนรอบข้าง แยกตัวจากกลุ่มไม่สามารถเล่นกับเพื่อนวัยเดียวกันได้นาน มีพฤติกรรมซ้ำๆ หรือสนใจสิ่งหนึ่งสิ่งใดมากเกินไปจนมองวัตถุที่เคลื่อนไหว หรือวัตถุที่หมุนๆ มีความล่าช้าหรือมีความผิดปกติในด้านความสัมพันธ์ทางสังคมและโต้ตอบกับคนรอบข้างมีปฏิริยาตอบสนองต่อการรับรู้ต่อการรับรู้ประสาทรับความรู้สึกต่างจากคนปกติ ได้ยินคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าคนทั่วไป กล่าวในสิ่งที่ไม่ควรกลัว เช่น ในบางรายกลัวนาฬิกาโบราณ แต่ไม่กลัวในสิ่งที่น่ากลัว เช่น การวิ่งออกไปนอกถนนเพื่อดูป้ายทะเบียนรถแล้วมาบันทึก บางคนมีความจำดีแต่จำในสิ่งที่ไม่เป็นสาระสำคัญที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้ (เพ็ญแข ลิมศิลา, 2540) จากการรายงานของมูลนิธิออทิสติกไทยเกี่ยวกับสถานการณ์ และแนวโน้มของคนเป็นโรคออทิซึมสเปกตรัมในไทย คาดว่ามีประมาณ 3.7 แสนคน และจากสถิติปี 2555 เฉลี่ยเด็กไทยใน 1,000 คน พบว่าเป็นโรคออทิซึมสเปกตรัมถึง 6 คน ซึ่งถือเป็นอัตราส่วนที่สูงมาก และ เพิ่มขึ้นทุกปี จากการศึกษางานวิจัยที่สำรวจเด็กอายุ 18-48 เดือน ที่พ่อแม่พามาใช้บริการจิตเวชใน ณ คลินิกเด็กดี รพ.จุฬาลงกรณ์ ปี 2557-2558 โดยมีการคัดกรองภาวะโรคออทิซึมสเปกตรัมด้วยแบบประเมิน M-CHAT (Modified Checklist for Autism in Toddlers) พบว่า อุบัติการณ์โรคออทิซึมสเปกตรัมใน เด็กที่มาใช้บริการคลินิกเด็กดีในอัตราส่วน 1:81 จำนวนที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งมาจากผู้ปกครองมีความรู้ เกี่ยวกับโรคออทิซึมสเปกตรัมมากขึ้น ผู้ปกครองที่สงสัย ในพฤติกรรมของเด็กได้พาเด็กเข้ารับการตรวจคัดกรองเพิ่มขึ้น (สุทธนันท์ กัลละ, 2561) สาเหตุการเกิดของโรคออทิซึมสเปกตรัมปัจจุบัน ยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่เชื่อว่าเกิดจากปัจจัย หลายอย่างร่วมกันทั้งเรื่องปัจจัยทางพันธุกรรม เช่น ความเกี่ยวข้องของยีนในหลายตำแหน่ง การเกิดใน ฝาแฝด และในพี่น้องที่เป็นโรคออทิซึมสเปกตรัม ปัจจัยด้านสารสื่อประสาท โดยเฉพาะสารซีโรโทนินที่พบว่าสูงขึ้น ปัจจัยโครงสร้างของสมองที่พบว่า สมองของผู้ที่เป็นโรคออทิซึมสเปกตรัมจะมีขนาดใหญ่กว่าของคน ทั่วไป หรืออาจมีขนาดของสมองที่ผิดปกติ ปัจจัยการติด เชื้อระหว่างการตั้งครรภ์และหลังคลอด อาการของโรคออทิซึมสเปกตรัมส่วนใหญ่จะแสดงตั้งแต่เล็กก่อน อายุ 3 ขวบส่งผลให้เกิดความยากลำบากในการสื่อสารและการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม มีรูปแบบของกิจกรรม หรือพฤติกรรมที่ซ้ำๆ โดยอาการที่เกิดมีผลต่อความบกพร่องทางสังคม (สุทธนันท์ กัลละ, 2561) ทักษะทางสังคมถือเป็นปัญหาหลักของเด็กออทิสติก เด็กออทิสติกขาดความเข้าใจ กฎเกณฑ์ทางสังคม การสร้างปฏิสัมพันธ์ไม่เป็นธรรมชาติ มีพฤติกรรมทางสังคมไม่เหมาะสมกับวัย ไม่สนใจสิ่งที่เกิดขึ้นรอบข้างแม้บุคคลในครอบครัวมีขอบเขตจำกัดในการแสดงออกทางสีหน้าและการสื่ออารมณ์ที่ไม่สอดคล้องกับ เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ไม่สามารถรับรู้การแสดงอารมณ์ทางใบหน้าที่ทำทาง เพราะเด็กอ่านจิตใจคนไม่เป็น (เพ็ญแข ลิมศิลา, 2540) การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนควรเน้นในเรื่องพัฒนาทักษะทางสังคม และอารมณ์ (ผดุง อารยะวิญญู, 2546) เพื่อให้เด็กออทิสติกมีพัฒนาการให้มากที่สุดตามศักยภาพของตนโดยมีเป้าหมายสูงสุด คือ ให้เด็กที่มีภาวะออทิซึมสามารถดำรงชีวิตได้อย่างอิสระ

การพัฒนาทักษะทางสังคมเป็นทางด้านหนึ่งที่ควรส่งเสริมในเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า วัยเด็กโดยเฉพาะตั้งแต่แรกเกิดจนถึง 8 ปี เป็นระยะที่สำคัญที่สุดของการพัฒนาทั้งร่างกาย สติปัญญา อารมณ์ จิตใจ สังคม และบุคลิกภาพ เป็นช่วงแห่งพลังการเจริญเติบโตองงาม สำหรับชีวิตเหมาะแก่การพัฒนาและให้ความสำคัญในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็นทางด้านร่างกาย อารมณ์-จิตใจ สังคม และสติปัญญาจะเป็นพื้นฐานสำหรับชีวิตในอนาคตเพราะเด็กในปัจจุบันจะเติบโตขึ้นเป็นผู้ใหญ่ที่มีส่วนในการดำรงอยู่ของสังคมที่เด็กได้รับในวัยนี้ ดังนั้นทักษะทางสังคมกับเด็กที่มีภาวะออทิซึมในการเรียนการสอนควรเป็นเรื่องที่สร้างสรรค์ ควรมีการสอดแทรกคุณธรรมจริยธรรมเข้าไปด้วย เพื่อให้เด็กได้รู้ถึงหน้าที่ และแนวทางที่ถูกต้องในการประพฤติปฏิบัติ เพื่อบุคลิกลักษณะที่พึงประสงค์ในการแสดงออก ทั้งด้านพฤติกรรม อารมณ์ อีกทั้งจิตสำนึกของเขาด้วย การเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ที่จะส่งเสริมพัฒนาทักษะทางสังคมให้กับเด็กที่มีภาวะออทิซึม เป็นกิจกรรมที่ให้ความสุข สนุกสนาน เป็นความรู้ที่เด็กได้โดยไม่รู้ตัว และนิทานทำให้คนเป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ได้ระดับหนึ่งตามศักยภาพตลอดจนนิทานสามารถสร้างจินตนาการ ความฝัน ความคิด ความเข้าใจ และการรับรู้ให้กับเด็ก เมื่อเด็กฟังนิทานก็จะวาดภาพในความคิดของเขาตามตัวละครในนิทาน และแสดงออกทางความรู้สึกตามตัวละครที่เด็กได้ดูและได้ฟัง กิจกรรมเสริมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ เป็นการกระตุ้นเด็กที่มีภาวะออทิซึม ให้มีความอยากรู้ ความคิดตามเรื่องราว ซึ่งเป็นการตอบสนองพัฒนาทักษะทางสังคมได้เป็นอย่างดีที่เห็นว่า การเลียนแบบมีบทบาทสำคัญมากในวัยเด็ก เพราะเป็นการวางรากฐานของบุคลิกภาพและแบบแผนแห่งพฤติกรรม และนิทานสามารถส่งเสริมทักษะทางสังคมให้กับเด็กที่มีภาวะออทิซึม คือ เมื่อเด็กได้ดูและได้ฟัง

นิทานเด็กก็จะซึบซับสิ่งที่ตัวละครในนิทานปฏิบัติ ซึ่งครูจะเป็นผู้ชี้ให้เด็กเห็นว่าสิ่งใดที่เด็กควรทำหรือไม่ควรทำ เช่น เด็กรู้จักขอบคุณเมื่อมีคนช่วยเหลือหรือให้สิ่งของ รู้จักขอโทษเมื่อตัวเองทำผิด สามารถปฏิบัติตามกฎกติกาในห้องเรียน รู้จักอดทนรอคอยเมื่อตัวเองมาทีหลัง รวมทั้งสนทนากับเด็กเกี่ยวกับเนื้อหาในนิทาน โดยนิทานที่ครูนำมาเล่าจะเป็นนิทานที่ส่งเสริมทักษะทางสังคมให้กับเด็ก จากสภาพปัญหาและความสำคัญของการจัดกิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เป็นการจัดกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้เด็กเป็นผู้สร้างความคิดได้ใช้ประสบการณ์เดิมของตน เชื่อมโยงกับการปรับตัวให้เข้ากับเพื่อน จนในที่สุดสามารถพัฒนาทักษะทางสังคมได้ด้วยตนเอง ถือว่าเป็นกิจกรรมที่ยึดเด็กเป็นสำคัญ ตอบสนองต่อความสนใจ และความแตกต่างระหว่างบุคคลของเด็ก การจัดกิจกรรมแบบนี้จะส่งเสริมให้เด็กรู้จักการรอคอย การให้ การรับ การขอโทษ การขอบคุณ และการมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อน ซึ่งจะเป็นผลให้เด็กพัฒนาทักษะทางสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างสงบสุข

การเล่านิทาน เป็นการสร้างการเรียนรู้ให้กับเด็ก ทั้งทางด้านสังคม อารมณ์ คุณธรรม และสติปัญญา ทั้งนี้การเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือซ้ำๆ หลายครั้งจะช่วยให้อารมณ์ในส่วนลึกของนิทานสามารถเข้าไปมีอิทธิพลกับจิตใจของเด็ก ซึ่งจะช่วยให้เด็กสามารถจับใจความ เก็บเอาความคิดและความหมายในนิทานเข้าไปพัฒนา เป็นความเข้าใจอย่างถ่องแท้ภายในตัวของเขาเองซึ่งจะเป็นความเข้าใจที่ลึกซึ้งและยาวนานมากกว่าการเล่าเพียงครั้งเดียว ในการเล่าเรื่องในครั้งต่อไปอาจเปลี่ยนจากที่นักเรียนเคยเป็นแต่เพียงผู้ฟังมาเป็นผู้พูดหรือ ผู้เล่าและพร้อมกันนั้นนอกจากจะเป็นผู้เล่าแล้วก็จะได้เข้าถึงเรื่องราวโดยผลัดเปลี่ยนไปเป็นผู้แสดงประกอบการเล่าเรื่อง เพื่อให้เข้าใจในเนื้อเรื่องได้ชัดเจนลึกซึ้งขึ้น (ลัดดา บุญมาวรรณ และคณะ, 2560) การเล่านิทานให้เด็กฟังส่งผลกระทบด้านบวกแก่เด็ก และผู้เกี่ยวข้องได้อย่างชัดเจน เป็นกระบวนการที่สามารถเข้าถึงเด็กได้ ทั้งเด็กในชุมชนเมืองและชุมชนชนบท เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่ง ทั้งในด้านการส่งเสริมจินตนาการ การพัฒนาสมาธิ การเตรียมความพร้อมด้านภาษา การปลูกฝังค่านิยมที่ดี ปลูกฝังนิสัยรักการอ่าน และยังช่วยให้พ่อแม่ลูกมีการสื่อสารและเสริมสร้างความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน นอกจากนี้กิจกรรมหุ่นมือ เล่าเรื่อง จะช่วยสร้างเสริมทักษะทางสังคมในการสื่อสาร การเล่นเชิดหุ่นส่งเสริมให้เด็กมีการใช้กล้ามเนื้อในการขยับปลายนิ้วเพื่อเชิดหุ่น ช่วยในการคิดและการจำ เช่น การเล่นสมมติจินตนาการที่สำคัญช่วยสร้างเสริมทักษะทางสังคมและอารมณ์ เช่น สามารถเล่นกับเด็กคนอื่นได้ การเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เป็นสื่อในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนเด็กที่มีภาวะออทิซึม มีประสิทธิภาพในการพัฒนาในด้านต่าง ๆ อย่างครบถ้วน โดยเฉพาะพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม เพราะนอกจากจะสร้างการเรียนรู้ในเชิงสร้างสรรค์แล้ว ยังเป็นสิ่งที่สำคัญที่ช่วยกระตุ้น และดึงดูดความสนใจให้เด็กอยากเรียนรู้ และจินตนาการในสิ่งที่เล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เสนอผ่านการแสดงของตัวละครและเรื่องราวที่สนุกสนาน ซึ่งจะทำให้เด็กสามารถจดจำและนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ คือตัวละครที่ไม่มีชีวิต เคลื่อนไหวจากการกระทำของผู้เล่น เพื่อการถ่ายทอดเรื่องราวและแนวคิดต่างๆ ให้กับผู้ชม หุ่นมือจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถดึงความสนใจเด็กๆ ได้ เพราะเด็กในวัยนี้ชอบการเล่นสมมติ และเรื่องราวที่เป็นจินตนาการ การเคลื่อนไหวของหุ่นมือจึงสามารถความสนใจของเด็กได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้จะใช้หุ่นมือในการสร้างความบันเทิงให้เด็กๆ ได้แล้ว ก็ยังสามารถพลิกแพลงสร้างความสนุกด้วยการเสริมความรู้ โดยใช้หุ่นมือบอกเล่าเรื่องราวเพื่อฝึกทักษะต่างๆ ในบทเรียน หรือใช้บทสนทนาโต้ตอบในชีวิตประจำวันเพื่อฝึกทักษะการปฏิสัมพันธ์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถสร้างลักษณะนิสัยในด้านการคิด ส่งเสริมจินตนาการที่สร้างสรรค์

จากที่กล่าวมาข้างต้น การเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เป็นสื่อในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่สำคัญสำหรับเด็กที่มีภาวะออทิซึม ซึ่งส่งเสริมพัฒนาการในด้านต่างๆ อย่างครบถ้วน โดยเฉพาะพัฒนาการทางด้านทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม ดังนั้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เพื่อให้เด็กที่มีภาวะออทิซึม สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลรอบข้างได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะเป็นผลให้เด็กพัฒนาทักษะทางสังคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างสงบสุข

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เป็นการวิจัยแบบกึ่งการทดลอง (quasi - experimental design) ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองโดยการทดลองแบบกลุ่มเดียววัดก่อน - หลัง (one-group pretest - posttest design) ใช้แบบแผนการทดลองที่มีลักษณะ ดังแสดงในตาราง (ชูศรี วงศ์รัตน และองอาจ นัยพัฒน์, 2551)

ตารางที่ 1 แสดงแบบแผนการทดลอง

| กลุ่มทดลอง | T ₁ | X | T ₂ |
|---------------------------------|--|---|----------------|
| สัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบการวิจัย | | | |
| T ₁ | แทน การประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ | | |
| X | แทน การดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม | | |
| T ₂ | แทน การประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ | | |

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สรุปผลการวิจัย ผลการวิจัยครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาผลการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม จำนวน 5 คน โดยใช้แบบประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมในแต่ละช่วงของการทดลอง 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงที่ 1 เป็นการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ดำเนินการทดลองโดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ และบันทึกการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม และช่วงที่ 3 เป็นการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ พบว่า หลังการทดลองใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือเด็กที่มีภาวะออทิซึมมีทักษะทางสังคมสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ

| ช่วงที่ | ครั้งที่ | ผลการพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ | | | | |
|---------|--------------------|--|------------|------------|------------|------------|
| | | คนที่ 1 | คนที่ 2 | คนที่ 3 | คนที่ 4 | คนที่ 5 |
| 1 | 1 | 4 | 5 | 3 | 6 | 7 |
| | 2 | 5 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| | 3 | 7 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| | 4 | 6 | 6 | 7 | 4 | 7 |
| | 5 | 7 | 5 | 5 | 7 | 8 |
| | ผลรวม ค่าเฉลี่ย | 29 5.80 | 26 5.20 | 24 4.80 | 28 5.60 | 33 6.60 |
| 2 | 6 | 8 | 8 | 7 | 9 | 10 |
| | 7 | 7 | 9 | 8 | 9 | 9 |
| | 8 | 9 | 11 | 9 | 10 | 11 |
| | 9 | 11 | 12 | 10 | 9 | 10 |
| | 10 | 13 | 10 | 11 | 10 | 12 |
| | 11 | 11 | 12 | 11 | 10 | 11 |
| | 12 | 13 | 14 | 13 | 11 | 14 |
| | 13 | 14 | 15 | 14 | 12 | 12 |
| | 14 | 13 | 14 | 15 | 14 | 11 |
| | 15 | 15 | 16 | 17 | 13 | 12 |
| 16 | 14 | 13 | 16 | 14 | 14 | |

| | | | | | | | |
|---------|--------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| | 17 | 15 | 15 | 17 | 15 | 12 | |
| | 18 | 16 | 16 | 18 | 16 | 13 | |
| | 19 | 16 | 13 | 16 | 16 | 14 | |
| | 20 | 17 | 16 | 17 | 17 | 12 | |
| | 21 | 17 | 14 | 16 | 15 | 15 | |
| | 22 | 16 | 15 | 17 | 17 | 14 | |
| | 23 | 17 | 17 | 18 | 16 | 16 | |
| | 24 | 18 | 16 | 17 | 15 | 15 | |
| | 25 | 17 | 18 | 16 | 16 | 17 | |
| | 26 | 18 | 16 | 18 | 17 | 17 | |
| | 27 | 17 | 17 | 17 | 17 | 16 | |
| | 28 | 17 | 17 | 17 | 16 | 18 | |
| | 29 | 18 | 17 | 18 | 17 | 18 | |
| | ผลรวม ค่าเฉลี่ย | 347 14.46 | 341 14.21 | 353 14.71 | 331 13.79 | 323 13.46 | |
| ช่วงที่ | ครั้งที่ | ผลการพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ | | | | | |
| | | คนที่ 1 | คนที่ 2 | คนที่ 3 | คนที่ 4 | คนที่ 5 | |
| 3 | 30 | 14 | 14 | 17 | 16 | 14 | |
| | 31 | 17 | 17 | 16 | 15 | 16 | |
| | 32 | 17 | 18 | 17 | 15 | 17 | |
| | 33 | 17 | 16 | 14 | 12 | 16 | |
| | 34 | 18 | 17 | 17 | 14 | 16 | |
| | ผลรวม ค่าเฉลี่ย | 83 16.60 | 82 16.40 | 81 16.20 | 72 14.40 | 79 15.80 | |

จากตารางที่ 2 การพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ
ของกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 5 คน โดยแสดงค่าคะแนนในแต่ละช่วงของการทดลอง 3 ช่วง พบว่า

ช่วงที่ 1 ประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการทดลอง

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยบันทึกพฤติกรรมทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมลงในแบบประเมินทักษะทางสังคม
ของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนในการเกิดทักษะทางสังคมของ
เด็กที่มีภาวะออทิซึม จำนวน 1 สัปดาห์ละ 5 วัน วันละ 1 ครั้ง รวม 5 ครั้ง ระยะเวลา 10.30 – 11.00 น. ครั้งละ 30 นาที
ในช่วงนี้ผู้วิจัยจะยังไม่ใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ พบว่า กลุ่มเป้าหมายคนที่ 1 มีค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมทักษะ
สังคม เท่ากับ 5.80 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.20 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 3 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.80
กลุ่มเป้าหมายคนที่ 4 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 5.60 และกลุ่มเป้าหมายคนที่ 5 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 6.60

ช่วงที่ 2 ดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม

ดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม
โดยมีกิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ทั้งหมด 8 กิจกรรม สัปดาห์ละ 1 กิจกรรม ตามตารางที่ผู้วิจัยกำหนด ให้ครบทั้ง
8 กิจกรรม วันละ 1 ครั้ง จำนวน 8 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 30 นาที รวม 24 ครั้ง พบว่า กลุ่มเป้าหมายคนที่
1 มีค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมทักษะสังคม เท่ากับ 14.46 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 2 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 14.21 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 3
มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.71 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.79 และกลุ่มเป้าหมายคนที่ 5 มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 13.46

ช่วงที่ 3 ประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการทดลอง

ผู้วิจัยประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมเป็นช่วงเวลาอีก 1 สัปดาห์ๆละ 5 วัน วันละ 1 ครั้ง รวม 5 ครั้ง ระหว่างเวลา 10.30 – 11.00 น. ครั้งละ 30 นาที กลุ่มเป้าหมายที่ 1 มีคะแนนทักษะทางสังคมเฉลี่ยเท่ากับ 16.60 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.40 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.20 กลุ่มเป้าหมายคนที่ 4 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 14.40 และกลุ่มเป้าหมายคนที่ 5 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.80

จากผลการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม ทั้ง 10 พฤติกรรม คือ การแบ่งปัน การรอคอย การแสดงความรู้สึก การแสดงหรือเอ่ยปากช่วยเหลือ การตอบสนองคำขอร้องของผู้อื่น การเล่นกับผู้อื่นได้อย่างสนุกสนาน การตั้งใจฟังสิ่งที่ครูหรือผู้อื่นพูด การปฏิบัติตามกฎกติกาข้อตกลง การยอมรับการช่วยเหลือจากเพื่อน และการขอสิ่งของจากผู้อื่นของกลุ่มเป้าหมายจำนวน 5 คน พบว่า มีค่าเฉลี่ยทักษะทางสังคมที่สูงขึ้นหลังจากการทดลอง

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบผลของใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนและหลังการทดลอง

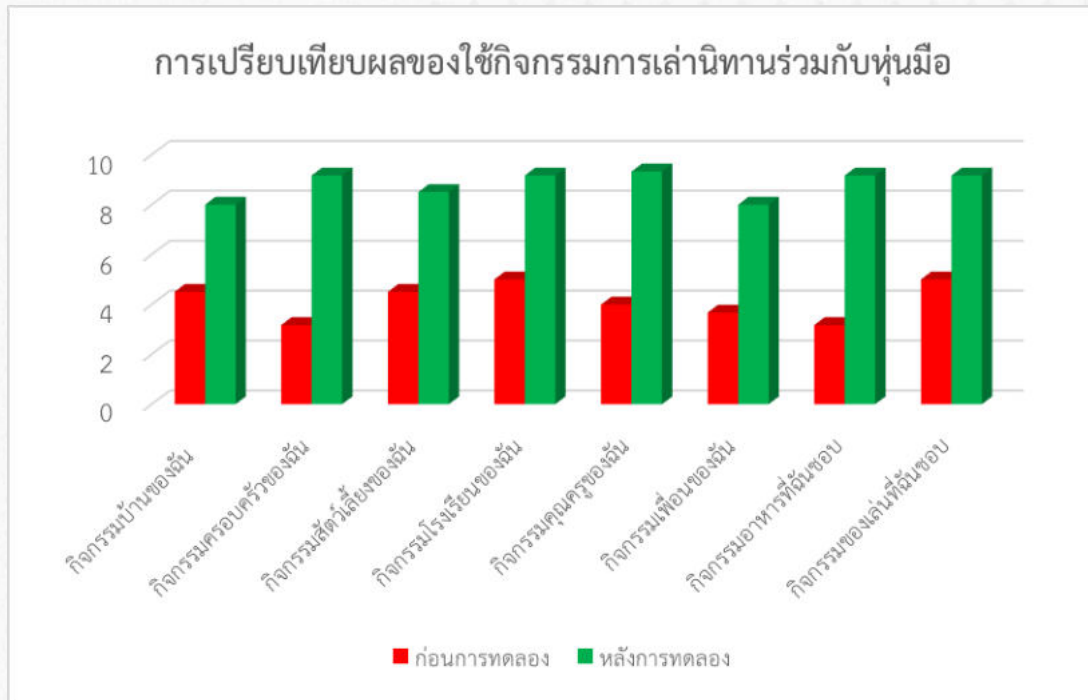
ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยมีกิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ทั้งหมด 8 กิจกรรม คือ กิจกรรมบ้านของฉันทัน กิจกรรมครอบครัวของฉันทัน กิจกรรมสัตว์เลี้ยงของฉันทัน กิจกรรมโรงเรียนของฉันทัน กิจกรรมคุณครูของฉันทัน กิจกรรมเพื่อนของฉันทัน กิจกรรมอาหารที่ฉันทันชอบ และกิจกรรมของเล่นที่ฉันทันชอบ โดยมีระยะเวลาการทดลอง ดังนี้ ช่วงที่ 1 ประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการทดลอง จำนวน 5 ครั้ง ช่วงที่ 2 ดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ จำนวน 24 ครั้ง และช่วงที่ 3 ประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการทดลอง จำนวน 5 ครั้ง จากการจัดกิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ก่อน-หลังการทดลอง ที่ได้จากแบบประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม จากการดำเนินการทดลองพบว่า ทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมสูงขึ้นหลังการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลของใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนและหลังการทดลอง

| ที่ | กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ | ก่อนการทดลอง | | หลังการทดลอง | |
|-----|----------------------------------|--------------|------|--------------|------|
| | | \bar{X} | S | \bar{X} | S |
| 1 | กิจกรรมบ้านของฉันทัน | 4.50 | 0.50 | 8.00 | 0.58 |
| 2 | กิจกรรมครอบครัวของฉันทัน | 3.17 | 0.69 | 9.17 | 0.69 |
| 3 | กิจกรรมสัตว์เลี้ยงของฉันทัน | 4.50 | 0.50 | 8.50 | 0.50 |
| 4 | กิจกรรมโรงเรียนของฉันทัน | 5.00 | 0.58 | 9.17 | 0.69 |
| 5 | กิจกรรมคุณครูของฉันทัน | 4.00 | 0.58 | 9.33 | 0.75 |
| 6 | กิจกรรมเพื่อนของฉันทัน | 3.67 | 0.50 | 8.00 | 0.58 |
| 7 | กิจกรรมอาหารที่ฉันทันชอบ | 3.17 | 0.69 | 9.17 | 0.69 |
| 8 | กิจกรรมของเล่นที่ฉันทันชอบ | 5.00 | 0.58 | 9.17 | 0.69 |
| | ผลเฉลี่ย | 4.13 | 0.58 | 8.81 | 0.65 |

จากตารางที่ 3 การเปรียบเทียบผลของใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนและหลังการทดลอง พบว่า ทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.13 จากการใช้แบบประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม และเมื่อดำเนินการทดลองใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมทั้งหมด 8 กิจกรรม โดยกำหนดการจัดกิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ จำนวน 8 สัปดาห์ ๆ 3 วัน ได้แก่ วันจันทร์ วันพุธ วันศุกร์ วันละ 30 นาที รวม 24 ครั้ง ระหว่างเวลา 10.30 – 11.00 น. และบันทึกผลลงในแบบประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการใช้กิจกรรมการเล่นิทาน

ร่วมกับหุ่นมือ พบว่า กลุ่มเป้าหมายมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 8.81 จะเห็นได้ว่า เด็กที่มีภาวะออทิซึมมีทักษะทางสังคมที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 ผลการเปรียบเทียบผลของใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนและหลังการทดลอง

3.2 การอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi - experimental design) แบบกลุ่มเดียว วัดก่อน - หลัง (one - group pretest - posttest design) ดำเนินการทดลองเป็น 3 ช่วง ช่วงที่ 1 ประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการทดลอง จำนวน 5 ครั้ง ช่วงที่ 2 ดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ จำนวน 24 ครั้ง และช่วงที่ 3 ประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการทดลอง จำนวน 5 ครั้ง เริ่มปฏิบัติการทดลองตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 ผู้วิจัยใช้แบบประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการทดลอง จำนวน 5 คน

จากผลการวิจัยพบว่า

3.2.1 ผลการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมสูงซึ่งพฤติกรรมทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม ทั้ง 10 พฤติกรรม คือ การแบ่งปัน การรอคอย การแสดงความสุภาพ การแสดงหรือเอ่ยปากช่วยเหลือ การตอบสนองคำขอร้องขอผู้อื่น การเล่นกับผู้อื่นได้อย่างสนุกสนาน การตั้งใจฟังสิ่งที่ครูหรือผู้อื่นพูด การปฏิบัติตามกฎกติกาข้อตกลง การยอมรับการช่วยเหลือจากเพื่อน และการขอสิ่งของจากผู้อื่นในแต่ละช่วงของการทดลองฯ 3 ช่วง สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดสอดคล้องกับถนัด จิวแพ (2549) ที่ได้ศึกษาผลการเล่านิทานประกอบภาพที่มีต่อพฤติกรรมความเอื้อเฟื้อของเด็กปฐมวัย พบว่า เด็กปฐมวัยที่ได้รับการจัดกิจกรรมเสริมประสบการณ์เล่านิทานประกอบภาพก่อนมีพฤติกรรมความเอื้อเฟื้อสูงขึ้นกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 รวมถึงในเรื่องของการใช้หุ่นมือ ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ นงลักษณ์ รักพงษ์ (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาหุ่นมือและกิจกรรมเพื่อสร้างความพร้อมด้านการฟังและการพูดของนักเรียนระดับปฐมวัย ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของหุ่นมือประกอบกิจกรรมการเล่านิทานมีค่าสูงสุดเท่ากับ 80.15/89.80 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้และคะแนนความพร้อมด้านการฟังและการพูดของนักเรียนระดับปฐมวัยหลังการใช้หุ่นมือประกอบกิจกรรมการเล่านิทานสูงกว่าก่อนการใช้กิจกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.05

3.2.2 ทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการทดลองสูงขึ้นทั้ง 5 คน แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมการเล่านิทานประกอบหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม สามารถพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะ

ออกซิซึมได้ดี ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องจาก กิจกรรมการเล่านิทานประกอบหุ่นมือในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม เป็นกิจกรรมในชีวิตประจำวันและคุ้นเคยเป็นอย่างดี ประกอบกับการได้จัดสภาพแวดล้อมกระตุ้นและชี้แนะเด็กอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลา 10 สัปดาห์ จึงส่งผลให้เด็กที่มีภาวะออทิซึมได้เรียนรู้จากรูปภาพ การฟัง และการปฏิบัติจริง โดยเด็กมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นได้อย่างเหมาะสม ทำกิจกรรมร่วมกับผู้อื่นและสามารถปฏิบัติตนในสังคมได้อย่างเหมาะสม ที่สำคัญคือเด็กสามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุขผ่านกิจกรรมในชีวิตประจำวัน การเปิดโอกาสให้เด็กที่มีภาวะออทิซึมได้ลงมือกระทำ ผู้ปกครองสนับสนุนให้เด็กควบคุมตนเองในการปฏิบัติโดยการทำซ้ำ ๆ ตามความพอใจจะช่วยให้เด็กที่มีภาวะออทิซึมพัฒนาการทักษะทางสังคมได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับที่ศรียา นิยมธรรม (2541) ได้กล่าวว่า ทักษะทางสังคมจะช่วยให้เด็กเข้ากับผู้อื่นได้ดีขึ้นเนื่องจากทักษะนี้ไม่สามารถเกิดขึ้น เรียนรู้ หรือปฏิบัติได้หากเด็กอยู่คนเดียวตามลำพัง สอดคล้องกับที่จอห์นสัน และจอห์นสัน (Piaget, 1959; อ้างอิงจาก Johnson; & Johnson. 1994: online) กล่าวว่าเมื่อเด็กเข้าไปมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนๆ ว่าจะทำกิจกรรมอะไรก็จะช่วยลดการยึดตนเองเป็นศูนย์กลาง (egocentric) ของเด็กลง มีความสัมพันธ์ที่ดีต่อกัน มีทักษะทางสังคมมากขึ้น ยิ่งเด็กที่มีความต้องการพิเศษก็จะได้รับการส่งเสริมทักษะการมีปฏิสัมพันธ์สังคมกับเพื่อน และการควบคุมอารมณ์จากการเล่นแบบร่วมมือด้วย เวสต์วูด (Westwood, 1997) ได้กล่าวถึงพื้นฐานทักษะทางสังคมที่สอดคล้องกันไว้คือว่า ทักษะทางสังคมเป็นทักษะพื้นฐานที่สำคัญของบุคคล ซึ่งควรได้รับการฝึกฝนและปลูกฝังเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข และสร้างประโยชน์ให้แก่สังคม พื้นฐานทักษะทางสังคมที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การเล่นและการทำงานร่วมกับผู้อื่น เช่น เล่นตามกฎกติกา แบ่งปันช่วยเหลือกัน รู้จักผลัดเปลี่ยน การประนีประนอม การแสดงความยินดีกับผู้อื่น รู้จักขอโทษและขอบคุณสอดคล้องนางสาวณิชาญ ยี่สุนเรือง (2560) ได้ศึกษาการพัฒนาทักษะการใช้ภาษา ด้านทักษะการพูด เป็นการพัฒนาทักษะพื้นฐานที่เหมาะสม สำหรับเด็กปฐมวัย เพื่อเป็นการวางรากฐานสำหรับการพัฒนาทักษะการใช้ภาษา ในด้านอื่น ๆ เมื่อเรียนในระดับที่สูงขึ้นไป มีวัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อศึกษาการพัฒนาทักษะการพูดของเด็กปฐมวัย โดยการใช้กิจกรรมการ เล่านิทานประกอบภาพ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เด็กนักเรียนระดับ ปฐมวัย ซึ่งกำลังศึกษาที่ศูนย์พัฒนาเด็กเล็กวัดหนองกล้วย อำเภอนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ ในภาค เรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 5 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง ผลการศึกษาพบว่า การใช้กิจกรรมการเล่านิทานประกอบภาพส่งผลทำเด็กปฐมวัยมีการพัฒนาทักษะการพูด นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยทักษะการพูดหลังการจัดกิจกรรมสูงกว่าก่อนการจัดกิจกรรมโดยมีทักษะ การพูดด้านออกเสียงพูดชัดเจนมากที่สุด รองลงมาคือเล่าเรื่องได้เชื่อมโยงกับภาพ และพูดโต้ตอบได้เชื่อมโยงกัน และระดับสูงมีพัฒนาการที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอด 3 สัปดาห์จากระดับค่าเฉลี่ย 44.2, 56.6 และ 82 ตามลำดับ โดยสรุป การจัดกิจกรรมการเล่านิทานโดยใช้นิทานประกอบภาพ สามารถพัฒนาทักษะการพูด ของเด็กปฐมวัยจึงควรส่งเสริมให้ครูผู้สอนระดับปฐมวัยนำไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน เพื่อพัฒนาความสามารถของนักเรียนระดับปฐมวัยให้ดียิ่งขึ้น

จากผลการครั้งนี้ สรุปได้ว่า ดำเนินการใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือ เป็นกิจกรรมที่ส่งเสริมเด็กได้อย่างหลากหลาย ทั้งทางด้านทักษะทางสังคม ทักษะทางภาษา และการปฏิบัติตนอยู่ในสังคม เป็นสิ่งที่สำคัญต่อชีวิตเด็กช่วยให้เด็กมีความสุขให้แง่คิดและคติสอนใจ รวมถึงการจัดประสบการณ์ให้เด็กโดยใช้นิทานเป็นสิ่งจำเป็น เพราะการเล่านิทานสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาและเตรียมความพร้อมให้กับเด็ก โดยสังเกตได้ว่าในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีผู้วิจัยให้ความสนใจในการศึกษาถึงระบบนี้อย่างมากมายซึ่งในแต่ละงานวิจัยนั้นมุ่งประโยชน์ให้กับผู้ใช้บริการ ทั้งผู้เรียน ผู้สอน อาจารย์ ช่างราชการ บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาประชาชนทั่วไปรวมถึงสถานศึกษาที่สนใจ สามารถสนองความต้องการที่หลากหลายกลุ่มเป้าหมายได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยเกิดความเชื่อว่ากิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือสามารถพัฒนาเด็กเด็กที่มีภาวะออทิซึมหรือเด็กประเภทต่างๆได้ดี เพราะนอกจากนิทานจะช่วยให้เด็ก ๆ มีความสุขสนุกสนานแล้ว ยังเป็นโลกแห่งจินตนาการที่สมบูรณ์แบบที่คอยช่วยถักทอสายใยความรักความฝัน สานสัมพันธ์อันอบอุ่น ความละมุนละไมในกลุ่มสมาชิกของครอบครัว อีกทั้งนิทานยังให้แง่คิดคติสอนใจและปรัชญาชีวิตอันล้ำลึกแก่เด็ก นิทานมีความสำคัญต่อพัฒนาการของเด็ก ได้ความรู้ได้อย่างกว้างขวาง ในฐานะที่ผู้วิจัยเป็นบุคลากรทางการศึกษาพิเศษ จึงใช้กิจกรรมการเล่านิทานร่วมกับหุ่นมือในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม และจะได้นำผลการวิจัยในครั้งนี้ เป็นพื้นฐานในการพัฒนารูปแบบการให้ความรู้กับครูผู้สอนและผู้ปกครอง เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับนักเรียนหรือบุตรหลานของตนเองให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลให้มากที่สุดต่อไป

4. บทสรุป

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือเป็นการวิจัยแบบกึ่งการทดลอง (quasi - experimental design) การทดลองโดยการทดลองแบบกลุ่มเดียว วัติก่อน - หลัง (one-group pretest - posttest design) นำเสนอสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาทักษะสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม โดยใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาผลการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม จำนวน 5 คน โดยใช้แบบประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมในแต่ละช่วงของการทดลอง 3 ช่วง ประกอบด้วย ช่วงที่ 1 เป็นการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมก่อนการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ดำเนินการทดลองโดยใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ และบันทึกการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม และช่วงที่ 3 เป็นการประเมินทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ พบว่า หลังการทดลองใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ เด็กที่มีภาวะออทิซึมมีทักษะทางสังคมสูงขึ้น

4.2 ผลการใช้กิจกรรมการเล่นิทานร่วมกับหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมสูงขึ้น ในแต่ละช่วงของการทดลองฯ สูงขึ้น ทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมหลังการทดลอง สูงขึ้นทั้ง 5 คน แสดงให้เห็นว่าการใช้กิจกรรมการเล่นิทานประกอบหุ่นมือ ในการพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึม สามารถพัฒนาทักษะทางสังคมของเด็กที่มีภาวะออทิซึมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากท่านอาจารย์ ดร.สุชาติ ทังสิทธิ์สิมา และ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ ศรีสุรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำเอาใจใส่ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เบญจมาภรณ์ ซ้อยเครือ ที่กรุณาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.สมพร หวานเสร็จ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ประจำสาขาวิชาจิตวิทยาการศึกษา และการให้คำปรึกษาทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้คำแนะนำ สั่งสอน ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ขอขอบพระคุณ นางสาวอำพร ราชติกา ผู้อำนวยการศูนย์การศึกษาพิเศษประจำจังหวัดหนองคาย อาจารย์ธนาวุฒิ คำประเทือง อาจารย์สาขาวิชาการศึกษาพิเศษ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และนางสาวมาลีณี คำมะมูล ครูการศึกษาพิเศษ ศูนย์การศึกษาพิเศษประจำจังหวัดหนองคาย ที่ได้กรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญและให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์ ทำให้งานวิทยานิพนธ์มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ นายเจริญ สอนคำหาร ผู้อำนวยการโรงเรียนธนากรสงเคราะห์ คณะครูและพี่เลี้ยงเด็กพิการทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลวิจัย ขอขอบพระคุณ นางสาวอริศรา ศรีชัดเค้า ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบใจเด็กนักเรียนห้องเรียนคู่ขนานสำหรับบุคคลออทิสติก โรงเรียนธนากรสงเคราะห์ ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่มีพระคุณสูงสุดในชีวิตมีส่วนสำคัญในการวางรากฐานชีวิตในด้านการศึกษาคอยสนับสนุนผู้วิจัยได้ศึกษาเล่าเรียน ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมและพัฒนาศึกษาสำหรับคนพิการ ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในครั้งนี้ ตลอดจนบูรพาจารย์ที่ให้ความรู้และคอยอบรมสั่งสอนแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาจิตวิทยาการศึกษาและการให้คำปรึกษาทุกท่าน ที่คอยดูแลสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอดอย่างยิ่ง จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชูศรี วงศ์รัตนะ , องอาจ นัยพัฒน์. (2551). **แบบแผนการวิจัยเชิงทดลองและสถิติวิเคราะห์: แนวคิดพื้นฐานและวิธีการ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] ณีรัชญา ยี่สุนเรือง. (2560). **การพัฒนาทักษะการพูดของเด็กปฐมวัยโดยใช้กิจกรรมการเล่นิทานประกอบภาพ**. ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสวนดุสิต.

- [3] นงลักษณ์ รักพงษ์. (2560). การพัฒนาหุ่นมือและกิจกรรมเพื่อสร้างความพร้อมด้านการฟังและการพูดของนักเรียน ระดับปฐมวัย. ปรินญาการศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [4] นฤมล จิวแพ. (2549). ผลการเล่านิทานประกอบภาพที่มีต่อพฤติกรรมความเอื้อเฟื้อของเด็กปฐมวัย. ปรินญาการศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [5] ผดุง อารยะวิญญู. วิธีสอนเด็กที่มีภาวะออทิซึม. กรุงเทพฯ: บริษัท รำไทย เพรส จำกัด; 2546.
- [6] เพ็ญแข ลีมีศิลา. การวินิจฉัยโรคออทิซึม. สมุทรปราการ: โรงพยาบาลยุวประสาทไวทโยปถัมภ์; 2540.
- [7] ลัดดา บุญมาวรรณ. (2560). การจัดประสบการณ์โดยใช้เทคนิคการเล่านิทานแบบเล่าเรื่องซ้ำเพื่อพัฒนาความสามารถด้านการจับใจความและการพูดสื่อสารของเด็กปฐมวัย. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- [8] ศรียา นิยมธรรม. (2541). การเรียนร่วมสำหรับเด็กปฐมวัย. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : เลิฟแอนด์ลิฟเฟิลส.
- [9] สมพร หวานเสร็จ. การผลิตและใช้สื่อสนับสนุนการเรียนรู้ผ่านการมองสาหรับเด็กก่อนวัยเรียนที่มีภาวะออทิซึมในบ้าน และชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: คลังนันทธรรมวิทยา; 2551.
- [10] สุทธนันท์ กัลป์กะ. (2561). การช่วยเหลือเด็กออทิสติก. ปรินญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวช วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี.
- [11] Johnson, D.W.; & Johnson, R.T. (1994). Learning Together and Alone: Cooperative, Competition, and Individualistic Learning. Boston: Allyn and Bacon.
- [12] Westwood, Peter. (1997). Commonsense Methoda for Children with Sprcial Needs. 3rd ed. London: Routledge.

การใช้เถ้าจากเปลือกหอยลายเหลือทิ้งเพื่อปรับปรุงความร่วนซุยของดิน Application of ash from abundant clam shells to increase soil friability

กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์^{1*} และ ศุภชัย หิรัญสุโขทัย¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*Email: kitiyot.t@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ คือ เปลือกหอยลายเหลือทิ้ง จากอำเภอมหาชัย จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งเป็นแหล่งที่มีการทำโรงงานอุตสาหกรรมหอยลายกระป๋อง ซึ่งเป็นของเสียเหลือใช้มากถึงปีละ 300 ตัน งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเปลือกหอยลายเหลือทิ้งจากโรงงานมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาทำเป็นวัสดุปรับปรุงดิน โดยเฉพาะเรื่องปัญหาดินแข็ง ซึ่งประสบกันมากในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงโรงงาน เปลือกหอยลายมีองค์ประกอบของแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก เท่ากับร้อยละ 98.50 ของน้ำหนักเถ้า มีความชื้น 1.88 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และเถ้า 58.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง จากการศึกษาโดยการนำเถ้าเปลือกหอยลายที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 900 1000 1100 และ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง มาใช้เป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการทดลอง ได้นำมาผสมกับดินที่มีปัญหาในพื้นที่การเกษตรที่มีการปลูกมันสำปะหลัง ผลการทดลองพบว่าดินที่ผสมเปลือกหอยลายที่เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เพิ่มอุณหภูมิในการเผาขึ้นเรื่อย ๆ ความหนาแน่นของดินจะน้อยลงตามไป นอกจากนั้นดินที่ผสมเถ้าเปลือกหอยลายที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีค่าความชื้นมากที่สุดคือ 1.14 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นการดูดซึมน้ำก็ยังดีขึ้นเรื่อย ๆ อีกด้วย จากการทดลองจะเห็นว่าเมื่อเผาหอยที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสค่า % การดูดน้ำที่เวลา 1 และ 24 ชั่วโมงมีค่าเท่ากับ 29.58 และ 33.04% ตามลำดับ ในโรงงานผลิตหอยลายกระป๋อง สามารถนำของเสียไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินได้ 72 ไร่ โดยมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 10 ปี โดยงานวิจัยนี้สามารถลดของเสียเปลือกหอยลายจากโรงงานหอยลายกระป๋องโดยใช้หลัก Zero waste เพิ่มมูลค่าเปลือกหอยลายและช่วยเหลือเกษตรกรโดยรอบที่ประสบปัญหาดินแข็งได้อีกทางหนึ่งด้วย

คำสำคัญ: เปลือกหอยลาย รีไซเคิล การปรับปรุงคุณภาพดิน ความร่วนซุย

Abstract

This research is to study the use of natural waste material, which is clams shell from Mahachai District, Samut Sakhon Province. The source is from canned clam industry which released a waste of up to 300 tons per year. Therefore, this research has an idea to use the clam shells waste from the factory by using it as a soil amendment material especially applying with the problem of hard soil which confronted a lot around the area near the factory. The study of clam shell composition found that Calcium was main composition as 98.50%VS. The moisture and ash content was 0.88% and 58.27%TS respectively. The works methodology is using ash from clam shell incinerated at temperature 900, 1000, 1100 and 1200°C in 5 hours used as a soil fertilizer agent mixed with problematic soils in agricultural areas where cassava was cultivated. The results showed that the soil mixed with clam shell burned at 1200 °C had the lowest density as 1.25 grams per cubic centimeter. The shell ash at temperature 1200oC had the highest moisture value of 1.14 percent. Besides that, the water absorption was also improved. the water

permeation at 1 and 24 hours were 29.58 and 33.04% respectively. From the canned clam factory, waste can be used to improve soil quality of 72 rai with break-even point of 10 years. This research can reduce shell waste from canned clam factory by using Zero waste principle to increase the value of clam shells. and helping the surrounding farmers who are facing hard soil problems in another way

Keywords: Clams shell, Recycle, Soil improvement, Soil friability

1. บทนำ

การจัดการขยะในประเทศไทยเป็นประเด็นหนึ่งในเรื่องของสิ่งแวดล้อมที่มีการพูดถึงกันมาก ก่อนหน้านั้นการจัดการมีเพียงแค่การนำไปไว้ในที่ใดที่หนึ่ง ต่อมาจึงมีการฝังกลบอย่างปลอดภัย (Disposal) ซึ่งเมื่อพื้นที่ฝังกลบมีจำกัดของเสียกลับมีจำนวนมหาศาล การแก้ไขปัญหาจากภาครัฐที่เห็นเป็นรูปธรรมทั้งเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติในประเทศไทย เช่น การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (Clean technology) หรือการใช้หลัก 3Rs ซึ่งนำมาปรับใช้ในทุกภาคส่วนทั้งบ้านเรือน ชุมชน และอุตสาหกรรม ซึ่งหลักการ 3Rs ประกอบด้วย 1) Reduce คือ การลดการใช้ การบริโภคทรัพยากรที่ไม่จำเป็นลง 2) Reuse คือ การนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด และ 3) Recycle คือ การนำทรัพยากรกลับไปแปรรูปเพื่อนำวัตถุดิบนั้นกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง หลักการ 3Rs นี้ถือเป็นหนึ่งในวิธีการจัดการของเสียห้าขั้นตอน ซึ่งเมื่อของเสียไม่สามารถจัดการด้วยวิธี 3Rs ได้แล้วขั้นตอนนี้จะถูกนำไปกำจัด (Treatment) และของเหลือจากของเสียที่ถูกกำจัดแล้วจะถูกนำไปฝังกลบอย่างปลอดภัย

จากที่ตำบลมหาชัยที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรสาคร ได้ชื่อว่าเป็นเมืองแห่งทะเลและน้ำเป็นแหล่งที่มีชื่อเสียงทางด้าน การประมงและอาหารทะเล มีโรงงานเกี่ยวกับการจัดหาอาหารทะเลเพื่อจัดจำหน่ายแก่ผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งในแต่ละครั้งที่มีการออกเรือเพื่อหาอาหารทะเลและจำพวกหอยต่างๆมาได้อาจต้องมีการคัดสรรทางด้านประเภท ขนาด ก่อนที่จะนำมาทำความสะอาดและแกะเปลือกเพื่อเอาเนื้อของหอยมาจำหน่าย โดยแต่ละครั้งจะมีการทิ้งเปลือกหอยจำนวนมากซึ่งไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์อะไรและทำให้เกิดผลเสียทางสภาวะแวดล้อมภายในชุมชน ซึ่งในแต่ละวันเปลือกหอยส่วนใหญ่จะถูกทำลายโดยวิธีการนำมาทิ้งในบริเวณแถบพื้นที่ของโรงงาน ทำให้เกิดมลภาวะเป็นพิษและส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิทัศน์ที่ไม่สวยงาม และมีกลิ่นเหม็นเน่าบ้างในบางครั้ง การจัดการเปลือกหอยลายที่มีจำนวนมากด้วยหลักการ 3Rs วิธีที่ดีที่สุดคือ การรีไซเคิล ซึ่งเป็นการนำเปลือกหอยไปแปรรูปเพื่อนำกลับไปใช้เป็นประโยชน์ไม่เป็นมลพิษทางขยะต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะเป็นการนำเปลือกหอยมาใช้ประโยชน์ เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการทิ้งเปลือกหอย เป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้มาประยุกต์ใช้งานและสามารถจำหน่ายเพื่อเพิ่มรายได้เป็นอาชีพเสริม เพิ่มมูลค่าของเปลือกหอยเหลือทิ้ง

เปลือกหอยลายจากโรงงานเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งแถบโรงงานในจังหวัดสมุทรสาคร จึงเป็นเหตุจูงใจให้มีการรีไซเคิลและเพิ่มมูลค่าเปลือกหอยเหล่านี้ และในพื้นที่แถบชายฝั่งทะเลซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงงานหอยลายกระป๋อง มีปัญหาเรื่องดินแข็งและดินเค็มเนื่องจากน้ำทะเลหนุน จึงเป็นเหตุจูงใจในการทำงานวิจัยนี้เพื่อเป็นการใช้ของเสียที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ หมุนเวียนมาใช้ประโยชน์เพื่อให้อาชีพเป็นศูนย์ หรือเข้าหลักการของ Zero Waste ในงานวิจัยนี้เลือกเปลือกหอยลายเพียงชนิดเดียว เนื่องจากมีจำนวนมากและเป็นหอยเพียงชนิดเดียวที่เป็นอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง การจัดการของเสียจำพวกหอยลาย จึงสามารถเป็นตัวแทนของเปลือกหอยลายชนิดอื่นได้ เนื่องจากเปลือกหอยเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง จะเปลี่ยนแคลเซียมในเปลือกหอยให้อยู่ในรูปของแคลเซียมออกไซด์หรือปูนขาวซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงดินเปรี้ยว ดินเค็ม และดินแข็งได้ ในตอนนี้ได้ทำการวิจัยการปรับปรุงดินเปรี้ยวและดินเค็มในพื้นที่ที่มีปัญหา ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องเพื่อมุ่งเน้นการปรับปรุงดินแข็งโดยการใช้เถ้าเปลือกหอยลายที่อุณหภูมิที่เหมาะสม

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาการนำเปลือกหอยไปใช้ประโยชน์โดยใช้เป็นส่วนผสมในการทำเถ้าเปลือกหอย

นำเปลือกหอยไปวัดความชื้น เถา และปริมาณธาตุต่าง ๆ การวัดความชื้นใช้วิธีการวัดน้ำหนักที่หายไปจากการระเหยของไอน้ำที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส โดยการนำเปลือกหอยไปใส่ไว้ในเตาอบลมร้อน เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำเปลือกหอยมาชั่งน้ำหนักและนำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมงจนกว่าเปลือกหอยจะมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำไปคำนวณหาความชื้นของเปลือกหอยส่วนวิธีการวัดเถ้า ทำได้โดยการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนักที่เหลือของ

เปลือกหอยซึ่งก็คือ ส่วนของเถ้า และคำนวณหา สัดส่วนของเถ้า ส่วนการวัดธาตุต่าง ๆ นั้น ใช้วิธีการวาล์วด้วยรังสีเอ็กซ์ ขั้นตอนการเตรียมเถ้าเปลือกหอยทำได้โดย นำเปลือกหอยมาล้างให้สะอาดโดยการเตรียมแต่ละครั้งจะใช้เปลือกหอยประมาณ 1 กิโลกรัม โดยนำมาเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน คือ 900 1000 1100 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อให้สารอินทรีย์หมดไป ในเตาเผาอุณหภูมิสูง เมื่อนำเปลือกหอยออกมาจากเตาเผาจะได้เถ้าเปลือกหอยที่มีสีขาวล้วนและเปราะ เมื่อทุบจะแตกละเอียด นำมาทำให้เป็นชิ้นหยาบและนำมาบดละเอียด

2.2 ศึกษาสมบัติของดินเมื่อใช้เปลือกหอยเถ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

การศึกษาความร่วนซุยของดินจะศึกษาพารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์ คือ 1. ความหนาแน่นของดิน 2. ความชื้นของดิน และ 3. การดูดซึมน้ำในดิน ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำจะแบ่งเป็นการดูดซึมน้ำในเวลา 1 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ วิธีการหาค่าความหนาแน่นของดิน คือ เตรียมบล็อกดินซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมที่หาปริมาตรของบล็อกได้ และนำดินไปใส่ไว้ในบล็อกแล้วนำไปชั่งน้ำหนักของดิน ซึ่งความหนาแน่นก็คือสัดส่วนของมวลต่อปริมาตร ความชื้นของดิน หาได้โดยวิธีการหาค่าน้ำหนักของดินที่หายไปเมื่อทำการไล่ไอน้ำด้วยวิธีอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 102 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ส่วนวิธีการหาค่าการดูดซึมน้ำทำได้โดย ชั่งน้ำหนักบล็อกดินอย่างโดยบันทึกเป็นน้ำหนักก่อนแช่น้ำ แช่ก้อนบล็อกดินในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วรีบนำบล็อกดินมาชั่งน้ำหนักที่ผิวออก และชั่งน้ำหนักทันที บันทึกเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง และจากนั้น นำก้อนบล็อกดินไปแช่น้ำอีก 24 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งตามวิธีเดิม โดยบันทึกเป็นน้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำที่ 1 ชั่วโมงและ 24 ชั่วโมง โดยคำนวณสัดส่วนของความแตกต่างของน้ำหนักหลังแช่น้ำ และก่อนแช่น้ำ กับ มวลชื้นทดสอบก่อนแช่น้ำ การเตรียมดินนั้น ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ที่ดินมีปัญหา ได้แก่ ดินที่แข็งมากในบริเวณไร่ มันสำปะหลัง ในพื้นที่จังหวัดชลบุรี เมื่อขุดดินตามจุดตัวอย่างแล้ว จึงนำดินมาผสมกัน และตากดินไว้ให้แห้งก่อนจะนำเถ้าเปลือกหอยมาผสมดิน เมื่อได้ดินที่ผสมเถ้าเปลือกหอยแล้วจึงนำไปวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมีการทดลองทั้งหมด 5 ชุดการทดลอง โดยมีชุดควบคุม และชุดตามค่าอุณหภูมิในการเผาเปลือกหอยทั้ง 4 อุณหภูมิ

2.3 ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจโดยใช้หลัก 3Rs

การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการรีไซเคิลเปลือกหอยโดยการนำมาทำวัสดุปรับปรุงดินแข็ง โดยชี้ให้เห็นจุดคุ้มทุน การลดปริมาณการเหลือทิ้งของเปลือกหอยลดต่อการนำมาแปรรูปเป็นส่วนผสมของดิน ประสิทธิภาพของดินที่เพิ่มขึ้น ต้นทุนของค่าไฟ และพลังงานในการเผาเปลือกหอยลด ว่ามีความคุ้มค่าหรือไม่อย่างไร และสุดท้าย ควรจะนำไปใช้เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าหรือไม่

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาขององค์ประกอบของเปลือกหอยลายและดิน

จากการศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นส่วนผสมในดินซึ่งได้นำเปลือกหอยลาย และดินที่ใช้ในการทดลอง มาทำการศึกษาทางด้านความชื้น เถ้า แคลเซียม และธาตุต่างๆ พบว่าในเปลือกหอยลายมีความชื้นคิดเป็น 1.88 เปอร์เซ็นต์ เถ้าคิดเป็น 58.27 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมคิดเป็น 98.50 เปอร์เซ็นต์และธาตุอื่นๆอีก 1.50 เปอร์เซ็นต์ จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าในเปลือกหอยลายมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นธาตุที่มีเป็นองค์ประกอบของหินปูนและปูนขาว สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินได้

ตารางที่ 1 สมบัติของเปลือกหอยลาย และดิน

| ชื่อวัสดุ | ความชื้น (%) | เถ้า (%) | แคลเซียม (Ca) (%) | ธาตุอื่น ๆ (%) |
|--------------|--------------|----------|-------------------|----------------|
| เปลือกหอยลาย | 1.88 | 58.27 | 98.50 % | 1.50 % |
| ดิน | 1.15 | 12.03 | 5.26 % | 11.03 % |

หมายเหตุ ดินที่วัดค่าเป็นดินก่อนที่จะมีการผสมกับเปลือกหอยลาย จากพื้นที่ที่มีปัญหาดินแข็ง คือ บริเวณไร่มันสำปะหลัง อ. บางละมุง จ.ชลบุรี

จากการศึกษาพบว่าเปลือกหอยลายและมีสมบัติทางวัสดุที่มีความชื้นต่ำ ซึ่งถ้าเปลือกหอยลายจะมีความชื้นที่ต่ำกว่า นอกจากนั้นเปลือกหอยลายมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งพบเป็นประมาณ 98.50 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียมเป็นองค์ประกอบหนึ่งของปูนขาวและหินปูนมีสมบัติทางด้าน การปรับปรุงคุณภาพดิน และจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าดินที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินนั้นมีความชื้นต่ำมาก แม้อินจะมีความแข็งมากแต่ก็มีอินทรีวัตถุอยู่มาก เนื่องจากมีสัดส่วนของเถ้าเพียงร้อยละ 12.03 เท่านั้น

3.2 ผลการศึกษาสมบัติของดินเมื่อใช้เถ้าเปลือกหอยที่เผาที่อุณหภูมิต่างๆ ผสม

เมื่อใช้เถ้าเปลือกหอยลายมาเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดินโดยเพิ่มอุณหภูมิการเผาขึ้นการทดลองละ 100 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบความหนาแน่นของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นไปตามตารางที่ 2 และจากการทดสอบค่าความหนาแน่นของดินพบว่าดินที่ผสมเปลือกหอยลายที่เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ 1.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เพิ่มอุณหภูมิในการเผาขึ้นเรื่อย ๆ ความหนาแน่นของดินจะน้อยลงตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าจากเปลือกหอยลายที่เผาที่อุณหภูมิสูงจะมีองค์ประกอบของปูนขาวมากขึ้น จึงทำให้ดินร่วนซุยดีมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อใช้เถ้าเปลือกหอยลายมาปรับปรุงคุณภาพดินโดยเพิ่มอุณหภูมิการเผาขึ้นการทดลองละ 100 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบความชื้นและการดูดซึมน้ำของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นไปตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าความชื้นและการดูดซึมน้ำของดิน

| อุณหภูมิที่เผาเปลือกหอย (องศาเซลเซียส) | ค่าความหนาแน่น (กรัมต่อลบ.ซม.) | ค่าความชื้น (%) | ค่าการดูดซึมน้ำ (%) | |
|---|-----------------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| | | | 1 ชั่วโมง | 24 ชั่วโมง |
| ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพดิน | 2.80 | 0.48 | 5.24 | 8.12 |
| 900 | 1.90 | 0.69 | 11.36 | 12.29 |
| 1000 | 1.55 | 0.76 | 18.13 | 20.19 |
| 1100 | 1.31 | 0.83 | 25.26 | 27.85 |
| 1200 | 1.25 | 1.14 | 29.58 | 33.04 |

ซึ่งจากผลการทดลองในส่วนนี้พบว่าเมื่อมีการเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น เถ้าเปลือกหอยจะมีสมบัติที่ทำให้ดินเปลี่ยนแปลงไปคือ การเผาเปลือกหอยที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นของดินน้อยลง ความชื้นของดินมากขึ้น และมีค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้นตามลำดับ และที่อุณหภูมิการเผาสูงสุดคือ 1200 องศาเซลเซียส ดินมีความหนาแน่นน้อยที่สุด และมีความชื้นมากที่สุด มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด ทั้งนี้เพราะปริมาณแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งก็คือปูนขาว มีสมบัติในการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งในงานวิจัยนี้ก็คือ ความร่วนซุย ซึ่งความหนาแน่นลดลง 2.2 เท่า ความชื้นเพิ่มขึ้น 2.4 เท่า ค่าการดูดซึมน้ำที่ 1 ชั่วโมงเพิ่มขึ้น 5.6 เท่า และค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมงเพิ่มขึ้นถึง 4 เท่า

3.3 ผลการศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้หลัก 3Rs

จากการศึกษาอัตราการจับหอยลายบริเวณอ่าวไทยตอนใน พบว่ามีการจับหอยลายช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม ปี 2550 เฉลี่ยเท่ากับ 5,371.3 กิโลกรัมต่อวัน เดือนมีนาคมเป็น เดือนที่มีการทำประมงหนาแน่นที่สุด มีอัตราการจับเฉลี่ยเท่ากับ 5,761.40 กิโลกรัม/วัน ในขณะที่เดือนเมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม มีการทำประมงน้อยมาก อัตราการจับอยู่ในช่วง 1,814.70-6,706.50 กิโลกรัม/วัน ในช่วงระยะเวลา 5 เดือนนี้ จะมีการออกเรือวันเว้นวัน ซึ่งในช่วงระยะเวลา 5 เดือนนี้ จะมีการออกเรือวันเว้นวัน หรือมีการออกเรือและส่งหอยลายเข้าโรงงานโดยเฉลี่ย 15 ครั้งต่อเดือนในช่วงที่มีการทำการ ส่วนในเดือนมกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคม ไม่พบการทำประมง เมื่อคำนวณปริมาณหอยลายที่จับได้ในแต่ละปี พบว่ามีปริมาณ 402.85 ตันต่อปี ซึ่งหอยลายจำนวนนี้จะถูกส่งเข้ากระบวนการผลิตหอยลายกระป๋อง ซึ่งจะต้องมีการแกะเนื้อหอยลายออกจากเปลือก โดยเปลือกหอยลายจะกองไว้ข้างโรงงาน จากการศึกษาโดยการชั่งน้ำหนักหอยลายและเปลือกหอยลายพบว่า น้ำหนักของเปลือกหอยลายซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตมีน้ำหนักประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของวัตถุดิบ หรือคิดเป็น 302.14 ตันต่อปี

จากผลการทดสอบ พบว่าหากนำเปลือกหอยลายนำมาปรับปรุงคุณภาพดิน ถ้าปรับปรุงกระบวนการการผลิตใน อนาคต จากการศึกษาพบว่าดินพื้นที่ 1 ตารางเมตร ใช้เปลือกหอยถึง 1 กิโลกรัม ดังนั้นพื้นที่การเกษตร 1 ไร่ จะใช้เปลือกหอย 1,600 กิโลกรัม หรือ 1.6 ตันต่อพื้นที่การเกษตร 1 ไร่ ดังนั้นใน 1 ปี โรงงานอุตสาหกรรมหอยลายจะมีของเสียที่เกิดขึ้นเป็นจำนวน 302.14 ตันต่อปี ของเสียนี้สามารถนำมาผลิตเป็นเปลือกหอยลายได้ 114.60 ตันต่อปี และใน 1 ปี หากจะนำไปใช้ในการปรับปรุงพื้นดินเพื่อกำจัดของเสียให้หมด จะต้องใช้กับพื้นที่การเกษตร 72 ไร่

เมื่อนำเปลือกหอยนำไปปรับปรุงดินพบว่าการใช้เปลือกหอย 1 โรงงานต่อพื้นที่ 72 ไร่ นั้นมีความเป็นไปได้สูงซึ่งเกษตรกร 1 รายในไร่มีน้ำสำหรับหลังจะมีพื้นที่มีน้ำสำหรับอยู่ 5-10 ไร่ คิดเฉลี่ยได้ประมาณ 10 ครัวเรือน ซึ่งไม่มีเงินซื้อปุ๋ยขาวปรับปรุงดินซึ่งหากจะต้องใช้ปุ๋ยขาวในการปรับปรุงดินแล้วจะต้องใช้ปุ๋ยขาว 1 ตันต่อพื้นที่ 1 ไร่ ซึ่งต้องปรับปรุงปีละสองครั้ง และราคาปุ๋ยขาวในท้องตลาดคือ 35 บาทต่อ 10 กิโลกรัม เมื่อกำหนดปุ๋ยขาวที่ใช้ในการปรับปรุงดินทั้งหมด 72 ไร่แล้ว คิดเป็นจำนวน 504,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับค่าไฟที่ต้องใช้ในการเผาเปลือกหอยทั้งหมด 302 ตัน อาจจะต้องใช้เตาเผาขนาดใหญ่ซึ่งมีต้นทุนสูง แต่จากกรณีการศึกษาการเผาของเสียในโรงงานปูนค่าใช้จ่ายในการเผาเปลือกหอยอยู่ที่ 300,000 บาทต่อปี ซึ่งถ้าคิดกำไรแล้วจะได้กำไรประมาณ 2 แสนบาทต่อปี ซึ่งค่าใช้จ่ายต้นทุน ค่าซ่อมแซม ค่าบำรุงเตาเผาเมื่อสำรวจจากโรงงานที่มีการเผาของเสียแห่งหนึ่ง มีราคา 2,000,000 บาท โดยประมาณ ดังนั้นจุดคุ้มทุนของงานวิจัยนี้คือ 10 ปี

4. บทสรุป

เมื่อได้นำเปลือกหอยลายมาใช้ประโยชน์ โดยการเผาให้เป็นเปลือกหอยลายแล้วนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินที่มีความแข็งมาก บริเวณไร่มีน้ำสำหรับหลัง จังหวัดชลบุรี จากการศึกษาสมบัติของดินและเปลือกหอย มาทำการศึกษาด้านความชื้น เถ้า แคลเซียม และธาตุต่างๆ พบว่าในเปลือกหอยลายมีแคลเซียมเป็นองค์ประกอบหลัก

เมื่อมีการใช้เปลือกหอยลายที่เผาที่อุณหภูมิ 900 1000 1100 1200 องศาเซลเซียสตามลำดับพบว่า ดินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีความหนาแน่นลดลง ความชื้นเพิ่มขึ้น และมีการดูดซึมน้ำดีขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกหอยลายที่เผาที่อุณหภูมิสูงจะมีองค์ประกอบของปูนขาวมากขึ้น จึงทำให้ดินร่วนซุยดีมากขึ้นตามลำดับ และเมื่อใช้เปลือกหอยลายที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นของดินจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของน้ำซึมผ่านดินได้มากขึ้น ปูนขาวที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิสูงก็เมื่อมีมากก็ยิ่งทำให้คุณภาพของดินดีขึ้นไปอีกทางหนึ่งด้วย แต่เมื่อมีการเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาจุดที่คุ้มค่าที่สุดของอุณหภูมิที่เผาได้เพิ่มเติม งานวิจัยนี้พบว่าเปลือกหอยลายนั้นสามารถช่วยแก้ปัญหาดินแข็งที่เกิดขึ้นตามจังหวัดที่มีการเกิดดินเค็มและดินแข็งบริเวณชายฝั่งได้ เช่น จ.ชลบุรี จ.สมุทรสาคร เป็นต้นซึ่งเกษตรกรประสบปัญหานี้และไม่มีเงินใช้จ่ายในการแก้ปัญหาดินแข็ง ซึ่งจากการสำรวจและคำนวณแล้ว งานวิจัยนี้มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 10 ปี ซึ่งไม่ขาดทุน ช่วยลดปัญหาของเสียในโรงงานหอยลายประปรอง และเป็นการช่วยเกษตรกรได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเฉพาะเกษตรกรไร่มีน้ำสำหรับหลังที่ประสบปัญหาดินแข็ง และอยู่ในพื้นที่ที่ไม่ไกลจากโรงงานด้วย ซึ่งแนวคิดนี้ตรงตามแนวคิด Zero waste หรือการทำของเสียให้เป็นศูนย์ได้ทีเดียว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิชิริมา รุ่งปิ่น. 2555. นาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกหอยเชอร์รี่และหอยนางรมเป็นสารเสริมแรงสำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555
- [2] ปัตตะ ฮาแว และ พนิดา สุมานะตระกูล. การศึกษาความเป็นไปได้ของการเตรียมนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจากวัสดุอินทรีย์." วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 8, 2 (พฤษภาคม) : 81-88. 2556

- [3] ศศิพันธุ์ ฐ สงขลา และคณะ. การวิเคราะห์ธาตุในเปลือกหอยโดยวิธีนิวเคลียร์. กองฟิสิกส์. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ. 2549
- [4] สุภกร บุญยืนและคณะ. การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย.” วารสารมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ รั้งสิต. 4, 2 (พฤษภาคม): 116-122. 2558
- [5] อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ และ ณิชภา มินาบุลย์. การศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาผสมเปลือกหอยแมลงภู่มะพร้าวเพื่อนำมาผลิตหลักนำทาง.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์. 2558
- [6] เอนก สภาวะอินทร์ และ ชุตินุช สุจริต. การรีไซเคิลเปลือกหอยตลับเพื่อผลิตปูนขาวสำหรับการบำบัดน้ำและน้ำเสีย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. ภาควิชาสิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 2557

การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าแบบเคลื่อนที่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

Study of mobile wastewater treatment from dye using activated carbon from coconut shell

กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์^{1*} และ ศุภชัย หิรัญศุภโชค¹

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: kitiyot.t@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการย้อมผ้าหรือการย้อมผ้าใช้เองตามบ้าน จะมีการทิ้งน้ำที่เหลือจากการย้อมผ้าลงท่อและไหลลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียตามมา จึงได้มีการจัดทำระบบบำบัดน้ำเสียชนิดคอลัมน์โดยใช้ระบบกรองควบคู่กับระบบการดูดซับ วัสดุที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าคือ กรวด ทราย ถ่านไม้ และถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว โดยมีการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเพื่อใช้ในการดูดซับสี โมเลกุลต่างๆ และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวคือ 200 400 600 และ 800 กรัม ร่วมกับวัสดุกรองและวัสดุดูดซับอื่นๆ โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมงในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้า ดัชนีที่ใช้วัดคุณภาพน้ำประกอบด้วย ค่าสี ค่าพีเอช ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ค่าซีโอดี และค่าทีเคเอ็น เพื่อบอกถึงค่าคุณภาพน้ำทั้งก่อนและหลังการบำบัดว่าประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่จัดทำขึ้นนี้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานแล้ว อัตราส่วนที่สามารถบำบัดสีได้ดีที่สุดคือ สูตรที่มีปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 800 กรัม ต่ออัตราส่วนอื่น ๆ คือ กรวด ทราย และถ่านไม้ รวม 600 กรัม โดยสามารถบำบัดสีได้ค่าเท่ากับ 5.94 SU คิดเป็น ร้อยละ 99.43 เทียบกับน้ำเสียก่อนการบำบัด

คำสำคัญ: กะลามะพร้าว การดูดซับ ถ่านกัมมันต์ น้ำเสีย สีย้อมผ้า

Abstract

The dyeing industry both of business size and household size where the remaining water from the dyeing process is dumped into pipes and flows into natural water sources, causing sewage problems. Therefore, a column type wastewater treatment system has been developed by using a filtration system along with an adsorption system. The materials used to treat the wastewater from dyeing are gravel, sand, charcoal from wood and activated carbon from coconut shell. The study was conducted on the synthesis activated carbon from coconut shell using for color and molecules adsorption. The amount of activated carbon from coconut shell was varied at 200, 400, 600 and 800 g applying with filter media and other adsorption materials taking 1 hour to treat the wastewater from dyeing. The parameter using to measure water quality consisted of color value, pH, suspended solids, conductivity, turbidity value, COD and TKN to indicate the water quality before and after treatment evaluating the efficiency of the wastewater treatment system. The best ratio that can treat the color is the formula containing 800 g of coconut shell activated carbon. It was able to treat the color equal to 5.94 SU or 99.43 percent compared to the wastewater before treatment.

Keywords: Coconut shell, Adsorption, Activated Carbon, Wastewater, Dying,

1. บทนำ

น้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้า มีสาเหตุหลักมาจากการใช้สีย้อมผ้าในโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในชุมชนขนาดเล็กตามพื้นที่ต่างจังหวัด ซึ่งนิยมย้อมผ้าเพื่อนำมาใช้เองตามหมู่บ้าน การย้อมในลักษณะนี้จะไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ หรือบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เป็นสาเหตุก่อให้เกิดปัญหาทางด้านทัศนียภาพ กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ และระบบนิเวศแหล่งน้ำเสียสมดุล นอกจากนี้ปัญหานี้ยังเกิดจากน้ำย้อมผ้ายังมีผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ไม่สามารถนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค ทำให้วิถีการดำรงชีวิตเปลี่ยนแปลงไป

ประเทศไทยเป็นประเทศแห่งการเกษตรกรรม มีสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศเหมาะแก่การเพาะปลูก ทำให้มีผลผลิตทางการเกษตรและของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นจำนวนมากการนำวัสดุเหลือใช้หรือของเสียจากอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องพิจารณาอย่างเป็นระบบ (System Approach) ทำให้มีการศึกษาและวิจัยจนมีแนวคิดในการทำถ่านกัมมันต์ จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด กะลามะพร้าว เปลือกทุเรียน เปลือกมังคุด เป็นต้น ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการดูดซับ (Adsorption) เพราะมีรูเล็กๆ (Micro porosity) จำนวนมากบริเวณพื้นผิวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับให้มีความสูงชัน มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย และกะลามะพร้าวก็เป็นของเหลือทิ้งซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก ปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำกะลามะพร้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หลายทาง อาทิ นำไปเผาเพื่อใช้เป็นพลังงานโดยตรง สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะนำกะลามะพร้าวมาใช้ประโยชน์ในการผลิตถ่านกัมมันต์ เพื่อนำถ่านกัมมันต์ไปบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการย้อมผ้าในชุมชน ด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเป็นวัสดุที่มีการเหลือทิ้งมากและมีคุณสมบัติในการทำถ่านกัมมันต์ เช่น มีความชื้นต่ำ มีความแข็งแรงเหมาะสมในการเผา งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กะลามะพร้าวเป็นวัสดุทดแทนถ่านกัมมันต์

จากปัญหาการย้อมสีผ้าในแหล่งชุมชน ซึ่งพบว่าน้ำเสียที่เกิดขึ้นไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธี ทำให้น้ำเสียที่ถูกปล่อยทิ้งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบริการกำจัดน้ำเสียแบบเคลื่อนที่จึงเป็นแนวคิดหนึ่งในการแก้ปัญหา และยังสามารถนำแนวคิดการใช้อุปกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบเคลื่อนที่มาให้บริการแก่ชุมชนและบุคคลที่สนใจ เนื่องจากระบบบำบัดมีขั้นตอนการเตรียมการอย่างง่ายมีน้ำหนักเบา และใช้พื้นที่น้อย งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำวัฏจักรระบบบำบัดแบบเคลื่อนที่ และเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้า ด้วยกระบวนการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าวร่วมกับวัสดุตัวกรอง โดยเน้นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง และประชาชนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

นำกะลามะพร้าวมาทำการอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นแล้วนำมาบดอัดเป็นแท่ง ขูดหลุมขนาด 156x78 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร นำอิฐบดค้อนมาก่อในหลุมแล้วจึงนำกะลามะพร้าวมาทำการเผา โดยใช้หญ้ากกเป็นเชื้อเพลิง จากนั้นรอให้ไฟลามติดกะลามะพร้าวในเตาทั้งหมด วิธีนี้เป็นเผาแบบเปิด เมื่อกะลามะพร้าวติดไฟหมดแล้วจึงทำการปิดเตาด้วยสังกะสีและนำดินเหนียวมาอุดตามช่อง เพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าไปเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และหลังจากครบ 3 ชั่วโมงแล้วจึงเปิดเตา และนำถ่านกะลามะพร้าวที่ได้ไปจุ่มน้ำเปล่าแล้วนำขึ้นทันที นำถ่านกะลามะพร้าวที่ได้มาแช่น้ำเกลือในอัตราส่วนน้ำ 1 ลิตร ต่อเกลือ 7 กรัม โดยขั้นตอนการแช่น้ำเกลือนี้จะใช้ถ่านกะลามะพร้าวทั้งหมด 3 กิโลกรัม แล้วนำไปเผาในเตาแบบเปิดซ้ำอีก 1 ครั้ง เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการก่อกัมมันต์ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาคือ 700-800 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการกระตุ้น 3 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวไปล้างน้ำสะอาด เพื่อเป็นการกำจัดเศษเถ้าจากนั้นนำมาตากแดดเป็นเวลา 1 วัน

2.2 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเคลื่อนที่

ตัดท่ออะคลิริกให้ได้ ความยาว 100 เซนติเมตร นำบอลวาล์วมาติดที่ปลายกระบอกด้านล่าง แล้วยึดด้วยกาวซิลิโคน จากนั้นทำการเชื่อมฐานหลักในลักษณะ 3 ขา แล้วจึง ทำการประกอบท่ออะคลิริก และฐานหลักเข้าด้วยกันจะได้คอลัมน์ระบบบำบัดน้ำเสียดังกล่าวที่ 1 โดยการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบกะ หรือ batch reactor โดยกักน้ำเสียไว้ 1 ชั่วโมงในแต่ละครั้ง



รูปที่ 1 คอลัมน์ระบบบำบัดน้ำเสีย

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียแบบเคลื่อนที่

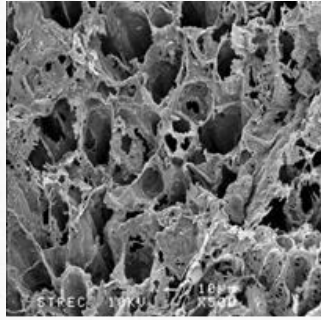
ศึกษาลักษณะของน้ำเสียจากน้ำเสียจากการย้อมผ้าซึ่งเป็นสีไดเรกต์ (Direct dye) โดยสีนั้นจะเป็นสีย้อมฝ้าย ซึ่งส่วนใหญ่จะย้อมดำหรือย้อมคราม และเลือกใช้การดูดซับพารามิเตอร์ในน้ำเสียจากถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวโดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวปริมาณน้ำเสีย และเวลาที่เหมาะสมในการบำบัด และศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดจากการเพิ่มปริมาณถ่านจากกะลามะพร้าวในคอลัมน์ โดยการกำหนดอัตราส่วน กรวด และ ทราย ที่ใช้ในการทดลองนั้น ใช้ชุดกระบอกทดลองที่ทำด้วยท่ออะคริลิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร บรรจุกรวด ทราย ถ่านไม้ และถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกะลามะพร้าวเป็นชั้น ๆ ตามลำดับ โดยใส่วัสดุไปชั้นละประมาณ 200 กรัม และใช้น้ำเสีย 200 มิลลิลิตร ต่อการบำบัดน้ำเสียแต่ละครั้ง ในแต่ละชุดการทดลองใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว 200 400 600 และ 800 กรัมตามลำดับ โดยชุดควบคุมนั้นจะไม่ใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว จะมีเพียงชั้นกรวด ทราย และถ่านไม้เท่านั้น เวลาในการดูดซับใช้เวลา 1 ชั่วโมง และพารามิเตอร์ที่ได้ทำการศึกษา คือ ค่าพีเอช ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความขุ่น ค่าซีไอที ค่าทีเคเอ็น โดยใช้วิธี Standard method ที่ APHA กำหนด โดยมีการทดลองพารามิเตอร์ละ 3 ซ้ำ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

จากการศึกษาลักษณะพื้นฐานของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวในระดับจุลภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ซึ่งมีกำลังขยายสูงสามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็ก โดยใช้ระบบการวิเคราะห์แบบ High Vacuum Mode ทำการส่องบริเวณพื้นผิวภายนอก เพื่อดูลักษณะความพรุนของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว ได้ผลการศึกษาดังรูป 2

จากผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวมีความพรุนสูงเมื่อมองจากลักษณะภายนอกซึ่งผลการทดลองนี้คาดว่าจะสามารถดูดซับเม็ดสีได้เป็นปริมาณมาก เมื่อมีการดูดซับในเวลาที่ยังพอ แต่หากพิจารณาลักษณะทางกายภาพแล้วพบว่า เมื่อเวลาผ่านไป จะไม่สามารถดูดซับสีได้เนื่องจากมีการอึดตัวเกิดขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนวัสดุดูดซับอยู่บ่อย ๆ ดังนั้น จึงต้องทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับต่อไป



รูปที่ 2 ภาพถ่ายลักษณะพื้นผิวของถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า

3.2 ผลการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับทั้ง 2 แบบ คือ ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช ซึ่งอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุล กับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ โดยสมการของแลงเมียร์เขียนได้ดังสมการ

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{bq_m} + \frac{C_e}{q_e}$$

โดยค่า C_e คือ ความเข้มข้นของตัวดูดซับที่สมดุล (mg/L)

q_e คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (mg) ต่อปริมาณตัวดูดซับ (g) ที่ภาวะสมดุล

q_m คือ ปริมาณสารที่ถูกดูดซับมากที่สุด (mg/g)

และ b คือค่าคงที่ จากการพล็อตกราฟระหว่าง C_e/q_e กับ C_e จะได้เป็นกราฟเส้นตรง

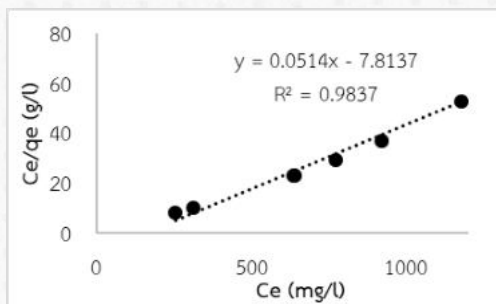
เมื่อศึกษาไอโซเทอมฟรุนดิช ซึ่งมีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอด โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น โดยมีสมการคือ

$$\log q_e = \log K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \log C_e$$

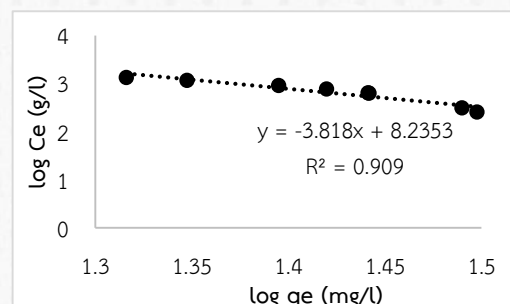
โดยค่า K_f คือ ค่าคงที่แสดงความสามารถการดูดซับแบบหลายชั้น (m/g)

และ n คือ ค่าคงที่แสดงการขึ้นลงตรงกับความสัมพันธ์ของสารละลาย

จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับทั้ง 2 แบบ คือ ไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมียร์และฟรุนดิช ซึ่งอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุล กับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่มีการดูดซับ ที่อุณหภูมิคงที่ได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 3



ก)



ข)

รูปที่ 3 ไอโซเทอมไอโซเทอมแบบ ก) แลงเมียร์และ ข) ฟรุนดิช

พบว่า การดูดซับสีของน้ำเสียจากการฟอกย้อมโดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวสอดคลองกับสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดลิช เนื่องจากค่า R² ของสมการแลงเมียร์มากกว่าสมการฟรุนดลิช ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับเกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางกายภาพที่ผันกลับได้ที่เกิดขึ้นแบบชั้นเดียว โดยพบว่าสมการการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่า R² เท่ากับ 0.9837 เมื่อเทียบกับการดูดซับแบบฟรุนดลิชมีค่า R² เท่ากับ 0.909 ดังแสดงในรูป

3.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังการบำบัด

น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียตามอัตราส่วนวัสดุตัวดูดซับ และเวลาที่กำหนด ให้ผลหลังการบำบัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณวัสดุตัวดูดซับที่ใช้ในการในการบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณภาพน้ำเสียก่อนการบำบัดและหลังการบำบัด

| พารามิเตอร์ | ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ | | | | | |
|--------------------------|-------------------------|---|------------|-----------|-----------|-----------|
| | ก่อนการบำบัด | ปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว (กรัม) | | | | |
| | | ควบคุม | 200 | 400 | 600 | 800 |
| 1. พีเอช | 8.17±0.2 | 7.72±0.3 | 7.81±0.4 | 7.76±0.2 | 7.88±0.3 | 8.07±0.2 |
| 2. สี (SU) | 1,041±10.1 | 84.83±0.7 | 314.10±0.8 | 33.69±0.9 | 5.48±0.2 | 5.94±0.1 |
| 3. ความขุ่น (NTU) | 694±7.2 | 309±3.5 | 425±3.9 | 170±2.4 | 53.5±1.5 | 46.5±1.4 |
| 4. ค่าการนำไฟฟ้า (µs/cm) | 1,926±13.2 | 2.64±0.3 | 4.22±0.3 | 3.20±0.01 | 5.75±0.02 | 4.27±0.01 |
| 5. ซีโอดี (mg/L) | 1,040±10.2 | 520±6.1 | 1,040±8.1 | 480±5.8 | 320±4.6 | 224±1.9 |
| 6. ของแข็งแขวนลอย (mg/L) | 84±0.9 | 620±10.2 | 200±1.5 | 40±0.2 | 100±1.1 | 40±1.2 |
| 7. ทีเคเอ็น (mg/L) | 25.85±0.1 | 7.28±0.1 | 16.32±0.8 | 9.52±0.3 | 3.92±0.1 | 3.92±0.1 |

หมายเหตุ สภาวะควบคุม คือ ชุดการทดลองที่ไม่ได้ใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว

โดยเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดค่าพีเอชของน้ำ 5.5-9.0 สีไม่เกิน 300 ADMI ความขุ่นไม่ได้กำหนดไว้ ค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้กำหนดไว้ ค่าซีโอดีกำหนดไว้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ของแข็งแขวนลอยกำหนดไว้ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็นกำหนดไว้ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบค่า COD จากชุดทดลองที่ดีที่สุด (800 กรัม) มีค่าเท่ากับ 224 mg/l เมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ยังพบว่า มีค่าเกินมาตรฐาน (120 mg/l) จึงสรุปได้ว่างานวิจัยนี้มีจุดเด่นในการลดค่าสีจากน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า แต่การลดค่า COD นั้น อาจจะใช้วิธีอื่นบำบัดร่วม เช่น การเติมอากาศเป็นต้น เมื่อเทียบงานวิจัยนี้ สรวุฒิ (2550) ศึกษาเรื่อง การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน ด้วยกระบวนการคาร์บอนในเซชันสองแบบ คือ กระบวนการคาร์บอนในเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและภายใต้ความดัน ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกทุเรียนและบำบัดแล้ว สามารถดูดซับสีเบสิกกรีน 4 มากกว่า สีแอสิตบลู 113 และสีไตรีคท์บลู 80 ส่วนประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเบสิกกรีน 4 และไอออนโลหะตะกั่วของถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอนในเซชันภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เท่ากับ 312.50 และ 7.97 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ถ่านกัมมันต์ที่คาร์บอนในเซชันภายใต้ความดันสูญญากาศ เท่ากับ 312.50 และ 8.43 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

อีกการศึกษาหนึ่ง คือ สัญชวล (2539) ศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการลดซีโอดี และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ถ่านไม้ และถ่านแกลบ เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพของสารดูดซับ โดย การทดสอบไอโซเทอมการดูดซับสี เมื่อทดสอบความสามารถในการดูดซับสีของซีโอดีและสีโดยใช้ถ่านดูดซับแบบแห้งปล่อยน้ำเสียแบบไหลลง ความสูงถัง 3 เมตร โดยความสูงชั้นสารดูดซับสี 0.3 0.6 0.9 และ 1.2 เมตร การทดลองนี้ใช้น้ำชะมูลฝอยจริงที่มีความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 500 750 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียจริง พบว่า ถ่านไม้และถ่านแกลบ สามารถดูดซับสีซีโอดีและสีต่ำ ส่วนถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพเริ่มต้นของการลดซีโอดี 78-89 เปอร์เซ็นต์ และสีอยู่ในช่วง 37-96 เปอร์เซ็นต์ ชั้นความสูงของถ่านกัมมันต์ 1.2 เมตร ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสามารถในการลดซีโอดีและสีได้ดีที่สุด เพราะฉะนั้นซีโอดีที่กำจัดได้ในงานวิจัยนี้ แม้จะกำจัดได้มาก แต่เนื่องจากซีโอดีมีค่าเริ่มต้นสูง จึงต้องใช้การบำบัดแบบใช้อากาศร่วมด้วย และจุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ สามารถใช้วัสดุเหลือใช้ในการดูด

ซับสีในเวลาเพียงแค่ 1 ชั่วโมงเท่านั้น และจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การใช้เวลาการดูดซับมากกว่าหนึ่งชั่วโมง น้ำไม่ได้เปลี่ยนสีอย่างมีนัยยะ แต่การเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว นั้น เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยเสนอแนะให้ต่อยอดต่อไป

4. บทสรุป

การบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าด้วยวัสดุกรองร่วมกับถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว พบว่าน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วนั้นมีคุณภาพดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวร่วมกับวัสดุกรองอื่นๆ ลงไป โดยลักษณะถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ผลิตได้ พบว่ามีลักษณะเป็นท่อนจะมีการกักเก็บน้ำได้ดี และมีไอโซเทอมของการดูดซับเป็นแบบแลงเมียร์ ซึ่งปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่เติมลงไปใ้ในคอลัมน์ที่มีวัสดุกรอง คือ กรวด และทราย และวัสดุดูดซับ คือ ถ่านไม้ และสามารถบำบัดน้ำเสียจากการย้อมผ้าได้เหมาะสมและดีที่สุด คือ 800 กรัม โดยสามารถบำบัดสีซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บำบัดได้ยากที่สุด ได้ร้อยละ 99.43 บำบัดค่าการนำไฟฟ้าได้ร้อยละ 99.38 และบำบัดค่าที่เคเอ็นได้ ร้อยละ 84.84 ซึ่งทั้ง 3 พารามิเตอร์มีค่าอยู่เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังพบว่าการบำบัดน้ำเสียจากการฟอกย้อมด้วยถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวร่วมกับวัสดุกรองยังสามารถช่วยในการบำบัดความขุ่นได้เท่ากับ 46.5 NTU บำบัดซีโอติ ได้เท่ากับ 224 mg/L และบำบัดของแข็งแขวนลอย ได้เท่ากับ 40 mg/L ซึ่งทั้ง 3 พารามิเตอร์มีค่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ สามารถใช้วัสดุเหลือใช้ในการดูดซับสีในเวลาเพียงแค่ 1 ชั่วโมงเท่านั้น และบำบัดได้มากที่สุดในทุกพารามิเตอร์ และจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่า การใช้เวลาการดูดซับมากกว่าหนึ่งชั่วโมง น้ำไม่ได้เปลี่ยนสีอย่างมีนัยยะ แต่การเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว นั้น เป็นสิ่งที่ผู้วิจัยเสนอแนะให้ต่อยอดต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พงศธร ไคว้ชชาภรณ์. ถ่านกัมมันต์จากซังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2537
- [2] วจันสิริ ประยูรพรหม. ขนาดของรูพรุนที่เหมาะสมของถ่านกัมมันต์เม็ดสำหรับการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานย้อมผ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539
- [3] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลาย โดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2558
- [4] วนิตา ชูอักษร. เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2542
- [5] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. เทคโนโลยีการบำบัดสีของน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2556
- [6] สราวุฒิ ศรีคุณ. การศึกษาการดูดซับสีย้อมและไอออนโลหะตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากเปลือกทุเรียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2550
- [7] สัญชวัล อิงคภาคย์. ประสิทธิภาพการลดซีโอติ และสีออกจากน้ำชะมูลฝอยด้วย กระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านกัมมันต์ถ่านไม้ และถ่านกลบ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539

การพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน

Development of the short courses in the production of household chemicals

อุดมเดชา พลเยี่ยม^{1*} ส้งเวย เสวกวิหารี¹ ธนาพร บุญชู¹ อัญชญา ชัตติยะวงศ์¹
 และ วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ¹

¹ หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: udomdeja.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน กลุ่มเป้าหมายได้จากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) หลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน ได้แก่ หลักสูตรน้ำยาทำความสะอาดพื้น หลักสูตรน้ำยาล้างห้องน้ำ และหลักสูตรสบู่เหลวล้างมือฆ่าเชื้อโรค 2) แบบประเมินการฝึกอบรมวิชาชีพหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที (t-test) ผลการวิจัย พบว่า 1) องค์ประกอบของหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนประกอบด้วย ส่วนที่ 1 การจัดการฝึกอบรม ได้แก่ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการผลิต การบรรจุและเก็บรักษา การคิดต้นทุนกำไร และการจำหน่าย ส่วนที่ 2 วิทยากรหลักสูตรฝึกอบรม ได้แก่ การบริหารจัดการหลักสูตร และการประเมินผลและรายงาน ส่วนที่ 3 เอกสารหลักสูตร ได้แก่ คู่มือการฝึกอบรมสำหรับผู้เข้ารับการฝึกอบรม คู่มือการดำเนินการฝึกอบรมสำหรับวิทยากร และคู่มือติดตามผลการดำเนินงาน การประเมินความเหมาะสมพบว่า ทุกองค์ประกอบมีคุณภาพอยู่ในระดับมาก 2) ผู้เข้ารับการอบรมมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดฝึกอบรมวิชาชีพหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนหลังฝึกอบรมสูงกว่าก่อนการฝึกอบรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) ผู้เข้ารับการอบรมมีความพึงพอใจต่อหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: นวัตกรรมหลักสูตรระยะสั้น, ผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน

Abstract

This research aimed to develop a short-term vocational training course in the production of household chemicals. The research instruments consisted of 1) a short-term vocational training course in the production of household chemicals such as the floor cleaner, toilet cleaner, and a liquid soap course 2) An assessment form for vocational training in a short course in the production of household chemicals. The sample was obtained by purposive sampling of 10 people. The statistics used were mean, standard deviation. And t-test. The results of the research found that 1. The composition of the short-term course in the production of household chemicals consists of part 1, training management, such as raw materials, production processes packing, and storage profit costing and distribution. Part 2 training course instructors are course management and assessments and reports, and part 3 course documents are training manuals for trainees, Guide to conducting training for speakers and follow-up manual is the assessment of suitability found that all components were of high quality. 2. The trainees had a higher understanding of the short-term vocational training course in the production of household chemicals after the training than

before the training, which is statistically significant at the .05 level and 3. The trainees' satisfaction with the short-term vocational training course in household chemicals production was highest.

Keywords: short course innovation, household chemicals

1. บทนำ

การพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศไทยในระยะยาวจำเป็นต้องลงทุนในทรัพยากรบุคคลและสถาบันความรู้ซึ่งถือเป็นปัจจัยเอื้อที่จจะยกระดับการพัฒนาประเทศไทยไปสู่อนาคตและมีทิศทางพัฒนาสอดคล้องกับแนวโน้มของโลกที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งด้านเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ ความท้าทายด้านสิ่งแวดล้อม ภูมิรัฐศาสตร์ และการปรับเปลี่ยนอำนาจทางการเมืองโลก ทั้งนี้เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป็นของตนเองและก้าวสู่ความเป็นผู้นำในสาขาที่เป็นจุดแข็งของประเทศเพื่อลดการพึ่งพาทรัพยากรบุคคลผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ ลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศซึ่งจะนำไปสู่การขาดดุลทางเศรษฐกิจและเพื่อสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับประเทศในระยะยาว และผลักดันให้ประเทศไทยกลายเป็นประเทศพัฒนาแล้ว การเรียนรู้ตลอดชีวิตและพัฒนาทักษะเพื่ออนาคต มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากลไกและมาตรการเพื่อส่งเสริมการศึกษาและการเรียนรู้ตลอดชีวิตเพื่อเพิ่มพูนสมรรถนะใหม่ๆรองรับอาชีพที่เปลี่ยนแปลงไปตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของโลกตามนโยบายและยุทธศาสตร์การอุดมศึกษาวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น การทำความสะอาดที่อยู่อาศัยการฉีดพ่นกำจัดเชื้อไวรัส เชื้อโรค เพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของไวรัส ทั้งภายในอาคาร ผู้โดยสารสนามบิน โรงแรมที่พัก รถขนส่งสาธารณะ และสถานที่จัดประชุมต่างๆ ที่มีประชาชนเข้าร่วมงานจำนวนมาก และสิ่งของเครื่องใช้ อย่างเครื่องครัวเพื่อสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยให้กับประชาชนและเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน เป็นหนึ่งในมาตรการป้องกันโรคจากเชื้อไวรัสโควิด-19 เนื่องจากไวรัสโคโรนาสามารถอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาหลายชั่วโมงถึงหลายวัน ในการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรคที่ปนเปื้อนอยู่ตามพื้นผิวต่างๆ จึงควรใช้สารที่มีประสิทธิภาพ ในการกำจัดเชื้อได้ในระยะเวลาสั้น องค์การอนามัยโลก แนะนำว่า การทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อ ในสิ่งแวดล้อม แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนสำคัญ คือ การทำความสะอาด และการฆ่าเชื้อโรค ตั้งแต่ขั้นตอนการ เตรียมอุปกรณ์ การเตรียมสารทำความสะอาดเพื่อฆ่าเชื้อ การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิว การจัดการภายหลังทำความสะอาด และข้อควรระวัง

จากข้อมูลดังกล่าวคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนที่ประชาชนทั่วไปสามารถนำไปใช้ได้ รวมไปถึงการส่งเสริมให้ประชาชนมีรายได้เสริม โดยงานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักเพื่อพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน ได้แก่ หลักสูตรน้ำยาทำความสะอาดพื้น หลักสูตรน้ำยาล้างห้องน้ำ และหลักสูตรสบู่น้ำยาล้างมือฆ่าเชื้อโรค และสนับสนุนและส่งเสริมสร้างองค์ความรู้ที่เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของสังคมไทยและสังคมโลก

2. วิธีการวิจัย

2.1 กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้จากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 10 คน

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1. หลักสูตรฝึกอบรมอาชีพระยะสั้น และ 2. แบบประเมินความพึงพอใจหลักสูตรฝึกอบรมอาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.3.1 การพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน

โดยการวิเคราะห์สถานการณ์และการศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง การจัดเตรียมเพื่อกำหนดข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นและต้องการในการพัฒนาหลักสูตรระยะสั้นประกอบด้วย

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนจำนวน 15 ชนิด คือน้ำยาล้างจาน พิมเสนน้ำ ยาหม่องสมุนไพร น้ำยาปรับผ้านุ่ม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาถูพื้น การทำโลชั่น น้ำยากัดกระจก แอลกอฮอล์แข็ง น้ำยาซักผ้า ขจัดคราบ น้ำยาล้างสุขภัณฑ์ เจลล้างมือ แชมพูล้างรถ สบู่ก้อนสูตรน้ำมัน และน้ำยาซักผ้าอ้อมเด็ก

2. การศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การเลือกเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การสร้างหลักสูตรฝึกอบรม องค์ประกอบของหลักสูตรฝึกอบรม จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ สังเคราะห์และสรุปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน จำนวน 3 ชนิด

3. การสร้างและการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน ทำการสร้างหลักสูตรพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนขั้นตอนดำเนินการ 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 การสร้างโครงสร้างหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้น

ขั้นที่ 2 การตรวจสอบโครงสร้างหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้น

ขั้นที่ 3 การปรับปรุงหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นเพื่อนำไปทดลองใช้ โดยนำโครงสร้างหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ

2.3.2 การทดลองใช้หลักสูตรฝึกอบรมหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนเพื่อหาประสิทธิภาพ ทำการทดลองใช้หลักสูตรฝึกอบรมกับบุคลากรภายใน มทร.พระนครจำนวน 10 คน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของหลักสูตรและปรับปรุงแก้ไขหลักสูตรฝึกอบรม

2.3.3 การประเมินผลหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน นำหลักสูตรฝึกอบรมที่ผ่านการทดลองใช้และได้ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปใช้ในสถานการณ์จริงกับประชาชนทั่วไปจำนวน 10 คน เพื่อประเมินหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นและนำผลการประเมินมาปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้หลักสูตรฉบับสมบูรณ์

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การทดลองใช้หลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน

1. วิเคราะห์ระดับความพึงพอใจของผู้เข้าอบรมต่อการทดลองใช้หลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน โดยการหา ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เป็นรายชื่อ

2. วิเคราะห์เปรียบเทียบระดับความรู้ โดยการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบค่าที (t-test)

3. ผลการศึกษา

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคิดเห็นของผู้เข้ารับการฝึกอบรมต่อรูปแบบหลักสูตรระยะสั้น

| ข้อความ | \bar{x} | SD. | ระดับ |
|--|-----------|-----|-----------|
| 1. ความเหมาะสมของหลักสูตรกับระยะเวลาอบรม | 4.30 | .48 | มาก |
| 2. ขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ของแต่ละหลักสูตรมีความชัดเจน | 4.30 | .48 | มาก |
| 3. จำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมมีความเหมาะสม | 4.40 | .51 | มาก |
| 4. หลักสูตรสามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ | 4.80 | .42 | มากที่สุด |
| 5. หลักสูตรสามารถใช้เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพ | 4.60 | .51 | มากที่สุด |
| รวม | 4.48 | .50 | มาก |

จากตารางผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดฝึกอบรมหลักสูตรระยะสั้นด้านหลักสูตรสามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ และ หลักสูตรสามารถใช้เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนความเหมาะสมของหลักสูตรกับระยะเวลาอบรม ขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ของแต่ละหลักสูตรมีความชัดเจน จำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรมมีความเหมาะสมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าเปรียบเทียบความรู้ก่อนและหลังการอบรม

| ความรู้ | N | \bar{x} | S.D. | t |
|---------|----|-----------|------|-------|
| ก่อน | 10 | 3.30 | 0.82 | .000* |
| หลัง | 10 | 4.70 | 0.48 | |

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางผู้เข้ารับการฝึกอบรมมีความรู้ด้านการจัดการฝึกอบรม วิทยากรหลักสูตรฝึกอบรม และเอกสารหลักสูตร หลังการอบรมแตกต่างจากก่อนการอบรม โดยมีความรู้ในการจัดฝึกอบรมหลักสูตรระยะสั้นมากขึ้น

4. การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

4.1 การอภิปรายผล

4.1.1 การทดลองใช้หลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน จากการวิจัยพบว่าผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดฝึกอบรมหลักสูตรระยะสั้น ขั้นตอนการฝึกอบรม จำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรม 1.30 ชม. ต่อ 1 หลักสูตร หลักสูตรระยะสั้นสามารถนำไปปฏิบัติได้ และหลักสูตรสามารถนำไปเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพ อยู่ในอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนจำนวนผู้เข้ารับการอบรม 4 คน ต่อกลุ่ม ต่อ 1 หลักสูตรอยู่ในระดับมากและ ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อวิทยากรการจัดการฝึกอบรมหลักสูตรระยะสั้น ด้านการอธิบายส่วนประกอบต่างๆของ เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายขั้นตอนการผสม เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การสอดแทรกเทคนิคการผสม เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายข้อควรระวัง ในการผสมเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน และการอธิบายวิธีการบรรจุเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ สิริวิชัย วราโชติชนกานต และ วิสูตร โพธิ์เงิน (2560) ศึกษาเรื่องการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมอาชีพระยะสั้น สำหรับผู้ประกอบการอาหารปรุงสำเร็จเพื่อสุขภาพ

4.1.2 การประเมินผลหลักสูตรระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน จากการวิจัยพบว่าผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดฝึกอบรมหลักสูตรระยะสั้น ขั้นตอนการฝึกอบรม จำนวนชั่วโมงในการฝึกอบรม 1.30 ชม. ต่อ 1 หลักสูตร หลักสูตรระยะสั้นสามารถนำไปปฏิบัติได้ และหลักสูตรสามารถนำไปเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพอยู่ในอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนจำนวนผู้เข้ารับการอบรม 4 คน ต่อกลุ่ม ต่อ 1 หลักสูตรอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับ อังคณา เรืองชัย (2555) ศึกษาการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้น เรื่อง การทำน้ำสมุนไพรเพื่อเป็นอาชีพเสริมในครอบครัว และผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อวิทยากรการจัดการฝึกอบรมหลักสูตรระยะสั้น ด้านการอธิบายส่วนประกอบต่างๆของ เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายขั้นตอนการผสม เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การสอดแทรกเทคนิคการผสม เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายข้อควรระวัง ในการผสมเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน และการอธิบายวิธีการบรรจุเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนอยู่ในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ สิริวิชัย วราโชติชนกานต และ วิสูตร โพธิ์เงิน (2560) ศึกษาเรื่องการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมอาชีพระยะสั้น สำหรับผู้ประกอบการอาหารปรุงสำเร็จเพื่อสุขภาพ

4.2 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. หลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือนทั้ง 3 หลักสูตรได้แก่น้ำยาทำความสะอาดพื้น น้ำยาล้างห้องน้ำ และสบู่เหลวล้างมือ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพ
2. การพัฒนาวิทยากรและผู้บริหารหลักสูตรฝึกอบรมวิชาชีพระยะสั้นด้านการผลิตเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน ควรได้รับเรียนรู้ทั้ง 3 ช่วงของการอบรมคือ ช่วงก่อนการอบรม ได้แก่ การจัดทำโครงการ การเตรียมวัสดุ การจัดซื้อ แหล่งจำหน่าย ราคา การเตรียมเอกสาร การรับสมัคร ช่วงระหว่างการอบรม ได้แก่ ขั้นตอนในการถ่ายทอดความรู้ การอธิบายส่วนประกอบต่างๆของ เคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายขั้นตอนการผสมเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การสอดแทรกเทคนิคการผสมเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายข้อควรระวังในการผสมเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน การอธิบายวิธีการบรรจุเคมีภัณฑ์ในครัวเรือน และการตอบคำถามของผู้เข้ารับการอบรม และช่วงหลังการอบรม ได้แก่ การประเมินผล การจัดทำเล่มรายงานผล และการประชาสัมพันธ์ความสำเร็จของโครงการในสื่อต่างๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้ทุน “วิจัยสถาบัน” สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการสำหรับการจัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จำรัส อินทลาภพร. (2558). “การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการจัดการเรียนรู้ ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับครูระดับประถมศึกษา” วารสารวิชาการ Viridian E-journal, Silpakorn University ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม).

- [2] ใจทิพย์ เชื้อรัตนพงษ์. (2539). การพัฒนาหลักสูตร: หลักการและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: อีสันเพลส.
- [3] ชูชัย สมितिไกร. (2540). การฝึกอบรมบุคลากรในองค์กร. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมการจัดการเรียนการสอนตามสภาพจริงโดยผ่านกระบวนการวิจัยสำหรับครูในสถานศึกษาขั้นพื้นฐาน.
- [5] นิติ นาชิต ชัยวิจิต เชียงชนะ และสิริรักษ์ รัชชุศานติ. 2559. การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมการนำรูปแบบการประเมินหลักสูตรวิชาชีพระยะสั้นตามแนวคิดการประเมินแบบเสริมพลังอำนาจไปใช้ในสถานศึกษาสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา. วารสารวิชาการ Veridian E-Journal, Silpakorn University. ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 (มกราคม – เมษายน).
- [6] พิสิฐ เมธภัทร. (2549). การพัฒนาหลักสูตรอาชีวะและเทคนิคศึกษา. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] วิชัย วงษ์ใหญ่.(2537). กระบวนการพัฒนาหลักสูตรและการเรียนการสอนภาคปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- [8] สุวิมล ว่องวานิช. (2548). การวิจัยประเมินความต้องการจำเป็น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] สิริวิชัย วราโชติชนกานต และ วิสูตร โพธิ์เงิน. 2560. การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมอาชีพระยะสั้น สำหรับผู้ประกอบการอาหารปรุงสำเร็จเพื่อสุขภาพ. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม -ธันวาคม 2560).
- [10] สุภารัตน์ ทองชุม ณิชฐ์วิชิตา เลิศพงศ์รุจิกร และ นงลักษณ์ มโนวัลย์เลา. 2560. การพัฒนาหลักสูตรสอนเสริมระยะสั้น เรื่องการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน 2 จังหวัดขอนแก่น. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์. ปีที่ 32 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม).
- [11] พอเจตน์ ธรรมศิริขวัญและคณะ. (2552) การพัฒนาหลักสูตรบูรณาการกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยีเพื่อเสริมสร้างพฤติกรรมเชิงจริยธรรมของนักเรียน. วารสารการศึกษาและพัฒนาสังคม ปีที่ 5 ฉบับที่ 1-2. (พฤษภาคม 2551 – เมษายน 2552).
- [12] อังคณา เรืองชัย และสุภาพร แพรวพนิต (2555). การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้นเรื่องการทำน้ำสมุนไพรเพื่อเป็นอาชีพเสริมในครอบครัว. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 (มกราคม – มิถุนายน 2555).

The Min proteins oscillations of cell division in *Escherichia coli*: one and two dimensional lattice Boltzmann simulation

Paisan Kanthang

Division of Science, Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Email: paisan.ka@rmutp.ac.th

Abstract

This paper presents a lattice Boltzmann method (LBM) for studying the dynamics of the oscillations of the *min* proteins in *E. coli*. The oscillations depend on MinC, MinD, and MinE proteins. These proteins are required for proper placement of the division septum at middle of the bacterial cell. Here, the LBM is applied to the set of the deterministic reaction diffusion equations proposed by Howard *et al.* to describe the dynamics of the *min* proteins. This determines the midcell division plane at the cellular level. We use LBM to study the dynamics pole-to-pole oscillations of the *min* proteins in one and two dimensional problems. The LBM results are in good agreement with those of Howard *et al.*, and agree qualitatively with the experimental results. Our results indicate that the LBM can be an alternative computational tool for simulating problems dealing with complex biological system which are described by the reaction-diffusion equations.

Keywords: Lattice Boltzmann method, bacteria, *E. coli*, cell division, min proteins, MinCDE oscillation

I. INTRODUCTION

Cell division or cytokinesis is the process by which a cell separates into two after its DNA has been duplicated and distributed into the two regions, which will become the future daughter cells. For a successful cell division to take place, the cell has to determine the optimal location of the cell separation and the time to start the cell cleavage. This involves the identification of the midpoint of the cell where the septum or cleavage furrow will form. For *Escherichia coli* and other rod-like bacteria, evidence accumulated over the past few years indicate that the separation into two daughter cells is achieved by forming a septum perpendicular to its long axis. To induce the separation, the FtsZ ring (Z ring) and a tubulin-like GTPase is believed to initiate and guide the septa growth by contraction [19]. The Z ring is usually positioned close to the center, but it can also form in the vicinity of the cell poles. Two processes are known to regulate the placement of the division site: nucleoid occlusion [32] and the action of the *min* proteins [8]. Both processes interfere with the formation of the Z ring, which is believed to determine the division site. Nucleoid occlusion is based on cytological evidence that indicates that the Z ring assembles preferentially on those portions of the membrane that do not directly surround the dense nucleoid mass [24].

The *min* proteins that control the placement of the division site are the MinC, MinD, and MinE proteins [8]. Experiments, involving the use of modified proteins show that MinC is able to inhibit the formation of the FtsZ-ring [9]. MinD is an ATPase that is connected peripherally with the cytoplasmic

membrane. It can bind to MinC and activate the function of the MinC [10, 17]. Recent studies show that MinD recruits MinC to the membrane. This suggests that MinD stimulates the MinC by concentrating it near its presumed site of activation [16, 28]. MinE provides topological specificity to the division inhibitor [12]. Its expression results in a site-specific suppression of the MinC/MinD action so that the FtsZ assembly is allowed at the middle of the cell but is blocked at other sites [8]. In the absence of MinE, the MinC/MinD is distributed homogeneously over the entire membrane. These results in a complete blockage of the Z-ring formation and the subsequent formation of the long filamentous cell which would fail to divide [16, 28, 29, 30]. By fluorescent labeling, MinE was shown to attach to the cell wall only in the presence of MinD [18, 27]. Because MinD interacts with MinC, it is likely that they oscillate together. This results in the concentration of the division inhibitor at the membrane on either cell end alternating between being high or low every other 20 second, so that the period of oscillation is about 40 second per cycle [16, 28]. MinE is not only required for the MinC/MinD oscillation, it is also involved in setting the frequency of the oscillation cycle [29]. Several lines of evidence indicate that the MinE localization cycle is tightly coupled to the oscillation cycle of MinD. Recently, microscopy of fluorescently labeled proteins involved in the regulation of *E. coli* division have uncovered coherent and stable spatial and temporal oscillations of these three proteins [13]. The proteins oscillate from end to end of the bacterium, and move between the cytoplasmic membrane and cytoplasm. The detail mechanism by which these proteins determine the correct position of the division plane is currently unknown, but the observed pole-to-pole oscillations of the corresponding distribution are thought to be of functional importance.

The mathematical models have been proposed for the mechanism of the *min* proteins. The model of Meinhardt et al. [42] shows the pattern formation of the Min system, which requires the interaction of a self-enhancing component and its long-ranging antagonist. Moreover, they consider the dynamic of FtsZ proteins in their model.

The model of Howard et al. [15], the reaction consists of an associate and dissociate to the membrane, which is clear for the interaction of MinD and MinE. This model evince that MinE is recruited to the membrane by membrane-associated MinD. For the model of Kruse [41], it found that the clustering of membrane-bound MinD in combination with attachment and detachment rates depends on the concentration of molecules presence on the membrane. All these models successfully generate oscillation patterns. Another model [40] includes the *in vitro* interactions of MinD and MinE can take into account for the Min oscillations. However, all these model deal with the macroscopic behavior by modeling reaction-diffusion equations. Our paper focus on the reaction of MinD and MinE and present the alternative method for finding the position of cell division of *E. coli* which deal with the mechanism of Min system in the microscopic level.

II. Lattice Boltzmann method and model description

In the last decade, the lattice Boltzmann method (LBM) has developed into an alternative numerical scheme for simulating fluid dynamics. The LBM scheme has been particularly successful in simulating fluid flow applications for a broad variety of complex physical systems and has found application in different areas, such as hydrodynamic systems [5, 11], multiphase and multi-component fluids [20], advection-dispersion [33] and blood flow [14, 23, 31]. LBM evolved from the lattice gas model in order to overcome the difficulties encountered with the lattice gas model (LGM) [3, 5]. LGM or lattice gas automata are a method to determine the kinetics of particles utilizing a discrete lattice and discrete time [21]. It has provided insights into the underlying microscopic dynamics of the physical system,

whereas most other approaches focus only on the solution of the macroscopic equation. However, LGM in which the particles obey an exclusion principle has microscopic collision rules. These rules are very complicated and require many random numbers. These random numbers create noise or fluctuations. Though LBM is based on particle dynamics, its central focus is the averaged macroscopic behavior leaving out the fluctuation. It is relatively easy to implement the more complex boundary condition such as the curved boundary [36] when compared with the conventional grid-based numerical integration. In addition, for the model whose dynamics is very complex, using the parallel computing [5] in combination with LBM algorithm would be greatly beneficial in term of simulation time with the straightforward manner.

The LBM can also be viewed as a special finite difference scheme for kinetic equation of the discrete-velocity distribution function. While the traditional computational fluid dynamics such as finite element method, finite difference method and finite volume method solve macroscopic fluid dynamics equations, LBM solves microscopic equations and the density; velocity can be recovered from the macroscopic properties [39]. LBM consists of simple arithmetic calculations and is therefore easy to program. In LBM, the space is divided into a regular Cartesian lattice grid as a consequence of the symmetry of the discrete velocity set. Each lattice point has an assigned set of velocity vectors with specified magnitudes and directions connecting the lattice point to its neighboring lattice points. The total velocity and particle density are defined by specifying the number of particles associated with each of the velocity vectors. The microscopic particle distribution function which is the only unknown evolves at each time step through a two-step procedure: convection and collision. The first step, convection (or streaming process), is to simply advance the particles from one lattice site to another lattice site along the directions of motion according to their velocities. This feature is borrowed from kinetic theory. The second step or collision is to model various interactions among particles by allowing for the relaxation of a distribution towards an equilibrium distribution using a linear relaxation parameter. The averaging process uses information based on the whole velocity phase space.

Most research reported in the literature is limited to the LBM for the Navier-Stokes equations [4, 26]. Application to complex biological systems at the cellular and the molecular biological levels has been rare. In the present paper, we use a LBM to study the partitioning of the bacterial cell during cell division. This provides an alternative method to investigate quantitatively the division of the cell. We compare our results with those obtained by numerically solving a set of deterministic coarse-grained coupled reaction diffusion equations [15] to demonstrate the validity of the LBM.

Reaction-diffusion equation model

We focus on the *E. coli* bacteria, a commonly studied rod shaped bacteria of approximately $2 - 6 \mu\text{m}$ in length and around $1 - 1.5 \mu\text{m}$ in diameter. Each *E. coli* bacteria divides roughly every hour via cytokinesis. We adopted the dynamic model of the compartmentization in the bacterial cell division process proposed by Howard *et. al.* In the Howard model, dynamics at the mean-field level are given by a set of coarse-grained non-linear reaction-diffusion equations (RDE). Due to the model is the coarse-grained level, some detailed interactions are omitted. Therefore, the model only reflects the mechanism of how the (continuum) min proteins interact according to the given rules which lead to the at least qualitatively determining of the Z ring position. Under the suitable (experimental) conditions such as initial concentration of Min proteins [10, 38], cell dimension (typically 2 micron) the model would give the right determining of Z ring, otherwise, the correct feature will not occur. The RDE have often been used in biological applications to model self-organization and pattern formation [25].

Our starting point is the set of deterministic coupled RDE used to describe the dynamics of the interactions between the local densities of MinD and MinE proteins given by Howard *et al.* They describe the time rates of change of the densities due to the diffusion of the MinD and MinE and to the mass transfer between the cell membrane and the cytoplasm. Based on the experimental results given in [28], which showed that the MinC dynamics are similar to those of MinD, we have not written out the equations for MinC. In dimensionless form, the dynamics are written as:

$$\frac{\partial n_D}{\partial t} - D_D \nabla^2 n_D = R_D = -\frac{\sigma_1 n_D}{1 + \sigma'_1 n_e} + \sigma_2 n_e n_d, \quad (1)$$

$$\frac{\partial n_d}{\partial t} - D_d \nabla^2 n_d = -R_D = \frac{\sigma_1 n_D}{1 + \sigma'_1 n_e} - \sigma_2 n_e n_d, \quad (2)$$

$$\frac{\partial n_E}{\partial t} - D_E \nabla^2 n_E = R_E = \frac{\sigma_4 n_e}{1 + \sigma'_4 n_D} - \sigma_3 n_D n_E, \quad (3)$$

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} - D_e \nabla^2 n_e = -R_E = -\frac{\sigma_4 n_e}{1 + \sigma'_4 n_D} + \sigma_3 n_D n_E, \quad (4)$$

where ∇^2 is the Lapacian operator, n_s is the mass density of particle of species $s = \{D, d, E, e\}$ at time t and position \vec{x} . The first equation is for the cytoplasmic MinD density n_D . The second is for the membrane bound MinD density n_d . The third is for the cytoplasmic MinE density n_E and the last is for the membrane bound MinE density n_e . R_s is the non-linear reaction term which depends on the density of the species n_s and on the densities of the other species that react with species s . D_s is the diffusion coefficient. In this paper, we assume that D_s is isotropic and independent of \vec{x} . The constant σ_1 represents the association of MinD to the membrane [30]. σ'_1 corresponds to the membrane-bound MinE suppressing the recruitment of MinD from the cytoplasm. σ_2 reflects the rate that MinE on the membrane drives the MinD on the membrane into the cytoplasm. Based on the evidence of the cytoplasmic interaction between MinD and MinE [17], we let σ_3 be the rate that cytoplasmic MinD recruits the cytoplasmic MinE to the membrane while σ_4 corresponds to the rate of dissociation of MinE from the membrane to the cytoplasm. Finally, σ'_4 corresponds to the cytoplasmic MinD suppressing the release of the membrane-bound MinE. The time scale of the diffusion on the membrane is much slower than that in cytoplasm. It seems therefore reasonable to set D_d and D_e to zero. In this dynamics, we allow for the Min protein to bind/unbind from the membrane but not to be degraded in the process. Thus the total amount of each type of Min proteins is conserved. The zero flux boundary condition will be imposed. This boundary condition gives a closed system with reflecting or hard-wall boundary conditions.

Lattice Boltzmann equation

The dynamics determined by eqns. (1) - (4) can be simulated using a Lattice-Boltzmann method, in microscopic level. Let $f_s(\vec{x}, \vec{i}, t)$ be the one-particle distribution function of species s with velocity \vec{e}_i at some dimensionless time, t , and dimensionless position \vec{x} . The coordinate \vec{x} only takes on discrete values: the nodes of the chosen lattice. The nearest neighbor vectors are defined as

$$\bar{e}_i = \begin{cases} (0,0) & i = 0, \\ (\cos \theta_i, \sin \theta_i), & \theta_i = (i-1)\pi, \quad i = 1,2, \end{cases} \quad (5)$$

for the case of one-dimensional lattice with three speed (D1Q3) and

$$\bar{e}_i = \begin{cases} (0,0) & i = 0 \\ (\cos \theta_i, \sin \theta_i), & \theta_i = (i-1)\pi/2, \quad i = 1,2,3,4, \\ \sqrt{2}(\cos \theta_i, \sin \theta_i), & \theta_i = (i-5)\pi/2 + \pi/4, \quad i = 5,6,7,8, \end{cases} \quad (6)$$

for the case of two-dimensional square lattice with nine speed (D2Q9). For each lattice site, we have three and nine states, respect to the lattice model, for each species. The lattice Boltzmann equation was directly derived from continuous Boltzmann transport equation [37]. The Following [21], the lattice Boltzmann equation for $f_s(\bar{x}, i, t)$ can be written as

$$f_s(\bar{x} + \bar{e}_i, i, t+1) - f_s(\bar{x}, i, t) = \Omega_s(\bar{x}, i, t) \quad (7)$$

where Ω_s is the collision operator for the species s and depends on the distribution function f_s . The collision operator Ω_s can be separated into two parts [7], a nonreactive term (Ω_s^{NR}) and a reactive term (Ω_s^R), i.e,

$$\Omega_s = \Omega_s^{NR} + \Omega_s^R. \quad (8)$$

In order to relate the results obtained by solving eqn. (7) with the solutions of eqns. (1)-(4), we need to derive the evolution equations for the moments of the function f_s . The zeroth moment of f_s , the total number of particles of species s at time t and position \bar{x} , is defined as

$$n_s(\bar{x}, i, t) \equiv \sum_{i=0}^b f_s(\bar{x}, i, t) = \sum_{i=0}^b f_s^{eq}(\bar{x}, i, t), \quad (9)$$

where b is the number of neighboring node, $b = 2$ for (D1Q3) and $b = 8$ for (D2Q9). For the nonreactive term, Ω_s^{NR} we use the BGK approximation with a single relaxation time τ_s [1]

$$\Omega_s^{NR} = -\frac{1}{\tau_s} [f_s(\bar{x}, i, t) - f_s^{eq}(\bar{x}, i, t)], \quad (10)$$

where the equilibrium distribution function of species $f_s^{eq}(\bar{x}, i, t)$ depends on \bar{x} and t through the local density and velocity. Here we use the simple equilibrium distribution function corresponding to a system with zero mean flow as follow:

$$f_s^{eq} = w_{s,i} n_s, \quad (11)$$

where the weights $w_{s,i}$ is dependent on the lattice symmetry [2]. We can write

$$w_{s,i} = \begin{cases} 2/3 & i = 0 \\ 1/6 & i = 1,2, \end{cases} \quad (12)$$

for D1Q3 and

$$w_{s,i} = \begin{cases} 4/9 & i = 0 \\ 1/9 & i = 1,2,3,4, \\ 1/36 & i = 5,6,7,8, \end{cases} \quad (13)$$

for D2Q9. For the reactive term Ω_s^R , we use the simple isotropic form: [2]

$$\Omega_s^R = w_{s,i} R_s, \quad (14)$$

R_s depends on the densities of the reacting species. Thus, it couples the Boltzmann equations for the different species. The choice given in eqn. (14) is the simplest choice that can provide the right macroscopic solution using LBM (as we shall see later).

To show that lattice Boltzmann equation is valid for reacting system, we employ a procedure called the Chapman-Enskog expansion [5]. We, first, expand the left hand side of eqn. (7) via a Taylor series

$$f_s(\bar{x} + \bar{e}, i, t + 1) - f_s(\bar{x}, i, t) \cong \frac{\partial}{\partial t} f_s(\bar{x}, i, t) + \bar{e}_i \cdot \nabla f_s(\bar{x}, i, t) + \frac{1}{2} \bar{e}_i \bar{e}_i : \nabla \nabla f_s(\bar{x}, i, t) = \Omega_s. \quad (15)$$

We then expand f_s about the equilibrium distribution function in terms of the parameter ε

$$f_s \cong f_s^{eq} + \varepsilon f_s^{(1)}. \quad (16)$$

We now assume [7]:

$$\nabla \rightarrow \varepsilon \nabla \quad (17)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow \varepsilon^2 \frac{\partial}{\partial t} \quad (18)$$

$$R_s \rightarrow \varepsilon^2 R_s. \quad (19)$$

Substituting eqns. (16), (17), (18) and (19) into eqn. (15), we obtain

$$\bar{e}_i \cdot \nabla f_s^{eq}(\bar{x}, i, t) = -\frac{f_s^{(1)}(\bar{x}, i, t)}{\tau_s} \quad (20)$$

to order ε^1 and

$$\frac{\partial}{\partial t} f_s^{eq}(\bar{x}, i, t) + \bar{e}_i \cdot \nabla f_s^{(1)}(\bar{x}, i, t) + \frac{1}{2} \bar{e}_i \bar{e}_i : \nabla \nabla f_s^{eq}(\bar{x}, i, t) = w_{s,i} R_s \quad (21)$$

to order ε^2 . From eqn. (20), we immediately obtain

$$f_s^{(1)}(\bar{x}, i, t) = -\tau_s \bar{e}_i \cdot \nabla f_s^{eq}(\bar{x}, i, t) \quad (22)$$

Inserting eqn. (21) to eqn. (22), we have,

$$\frac{\partial}{\partial t} f_s^{eq}(\bar{x}, i, t) - \left(\tau_s - \frac{1}{2} \right) \bar{e}_i \bar{e}_i : \nabla \nabla f_s^{eq}(\bar{x}, i, t) = w_{s,i} R_s. \quad (23)$$

From eqn. (9) and eqn. (11), summing eqn. (23) from $i = 0$ to b with weight $w_{s,i}$, we get

$$\frac{\partial n_s}{\partial t} - \frac{1}{3} \left(\tau_s - \frac{1}{2} \right) \nabla^2 n_s = R_s, \quad (24)$$

for both $b = 2$ and $b = 8$, which is the dimensionless version of the initial reaction-diffusion equation with the diffusion coefficient constant:

$$D_s = \frac{1}{3} \left(\tau_s - \frac{1}{2} \right). \quad (25)$$

To summarize, we will now implement the numerical evaluation in two steps

- Collision step: $\tilde{f}_s(\bar{x}, i, t+1) = f_s(\bar{x}, i, t) - \frac{1}{\tau_s} [f_s - f_s^{eq}] + w_{s,t} R_s$

- Streaming step: $f_s(\bar{x} + \bar{e}_i, i, t+1) = \tilde{f}_s(\bar{x}, i, t+1)$.

The boundary treatment is an important issue in the LBM simulation and advancement are still being made [6, 35]. Here we use the impermeable boundary suggested by Zhang *et al* [34].

III. Numerical results and discussion

To demonstrate the validity of the proposed LBM applied to the Howard model for determining the partition of *E. coli* mediated by *min* proteins, we implemented the LBM as given in the previous section on a PC using C programming. In the simulation, we use the same parameters given by [15]. For one-dimensional cell division, the 2 micron long bacterium is divided into 250 grids. The discrete space steps are therefore $dx = 8 \times 10^{-3} \mu m$. Time step of $dt = 6.4 \times 10^{-5} s$ are chosen. The dimensionless parameters are $D_D = 0.28$, $D_E = 0.6$, $D_d = D_e = 0$, $\sigma_1 = 1.28 \times 10^{-3}$, $\sigma_4 = 5.12 \times 10^{-5}$, $\sigma_2 = 4.032 \times 10^{-7}$, $\sigma_3 = 2.56 \times 10^{-6}$, $\sigma'_1 = 0.028$, $\sigma'_4 = 0.027$. The relaxation time is calculated by eqn. (25) from given diffusion coefficient D_s . The initial number of MinD and MinE is randomly initialized as 3000 for n_D and 170 for n_E . Each simulation takes 156,250,000 iterations for $10^4 s$ of the time division of the bacterium. However, we wait some time for them to relax to the oscillation regime (about 500-1000 second). We therefore, throwaway the transient and retain the data from that time step mark on. We now present some results to show the validity and accuracy of our LBM and compare them with the results obtained from the deterministic reaction-diffusion equations approach.

In Figure 1, the space-time plots of the MinD and MinE concentrations for a cell of length $2 \mu m$ are shown. They are in qualitative agreement with the simulation obtained by Howard *et al.*, and are also in agreement with the experimental results. The MinE forms a line up in the middle of the cell and then sweeps towards a cell pole, displacing the MinD, which then reforms at the opposite pole.

In Figure 2, we plot the time averaged MinD and MinE densities as a function of position. These are again in excellent agreement with those given in by Howard *et al.* The results in both works are also in excellent agreement with the experimental data of Hale *et al.* The MinE concentration peaks at the mid cell and has minimum at the cell rims, with MinD virtually out of phase with MinE.

In Figure 3, we plot the period of oscillation of MinE as a function of bacterial length by varying the cell length from $1.0 \mu m$ to $9.0 \mu m$. We measure the period of oscillation at the midcell by using fast Fourier transformation. The period increases with length. It is the best fit with quadratic equation. The

oscillation is stable in range about 1.5-6.0 μm . The period of MinD is the same value as MinE. The period of the cell lengths of 2 μm is around 50 second which is good agreement with experiments of Raskin. et al. [29].

In Figure 4, we show the oscillation pattern of relative concentration of MinD and MinE at several position of bacterial length of 2 μm . We show the pattern only the position in a half cell from a pole to midcell because the pattern is symmetry of midcell axis. And we plot the phase-diagram of MinD and MinE on the right hand side of Figure 4. The diagram shows the competition of the two species of proteins and reflects oscillation behavior of two proteins. It is the closed loop which distorts corresponding to the position. At the midcell the loop is smaller than at the pole and the period of oscillation at midcell is small than the period of oscillation at the pole which is around 100 second.

For the case of two-dimensional cell division, we used 50x100 grids to simulate the bacterium size 1x2 micron. We choose discrete space steps $dx = dy = 2 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ and time step $dt = 4 \times 10^{-4} \text{ s}$. The dimensionless parameter are the same as one-dimensional problem except $\sigma_1 = 8.0 \times 10^{-3}$, $\sigma_4 = 3.2 \times 10^{-4}$, $\sigma_2 = 2.52 \times 10^{-6}$, $\sigma_3 = 1.6 \times 10^{-5}$. The simulation should take 25,000,000 iterations. Then we show the time evolution of oscillation of concentration of MinD as shown in Figure 5, and MinE as shown in Figure 6. The concentrations of *min* proteins are homogenous in *y* axis. The two proteins dominant oscillate in *x* axis. We compare our results with the experimental result of Hale. et al. [13], it is qualitatively agreement. They oscillate from pole to pole. In Figure 7, show the time average of concentration of MinD and MinE. The average concentration of MinD is minima at midcell site and, opposite situation; the average concentration of MinE is maxima at midcell site. It agrees with one-dimensional result and experimental results.

We try to simulate the *min* proteins oscillation of several shape of bacterial as shown in Figure 8-11. According to computational effort, to use small number of grids, we choose discrete space steps $dx = dy = 0.1 \mu\text{m}$ and time step $dt = 1 \times 10^{-2} \text{ s}$. The dimensionless parameter are the same as one-dimensional problem except $\sigma_1 = 0.2$, $\sigma_4 = 0.008$, $\sigma_2 = 6.3 \times 10^{-5}$, $\sigma_3 = 4.0 \times 10^{-4}$. The simulation takes 1,000,000 iterations. And we vary the number of grids space to simulate the different shape of bacteria.

IV. CONCLUDING REMARKS

In this paper, we have proposed a new LBM approach to investigate the dynamic pole-to-pole oscillations of *min* proteins used to determine the middle of the bacterial cell division. We have developed a numerical scheme based on the LBM to simulate the coarse-grained coupled reaction-diffusion equations model used to describe the MinD/MinE interaction. It is found that our results are in good agreement with those given by Howard *et al.* The results are also in qualitative agreement with experimental results, in particular the oscillatory pattern of *min* proteins [22]. We use LBM technique for 2 dimensional models to simulate the dynamics and compare the results such as the time evolution of the MinD & MinE with the DIC monograph as observed in experiment [13]. They show better and clearer evident of agreement between those two results.

The LBM approach provides an alternative fast computational tool to study the protein oscillation. We believe that the LBM is a useful scheme for simulating at the cellular lever those biological systems which are governed by the reaction-diffusion equations. In a future work, we will generalize the current LBM so that it can be used to study the effects of the inhomogeneity in the intracellular space and the possibility of the asymmetrical cell division.

Acknowledgements

We thank M. Howard for their useful comments and suggestion.

References

- [1] Bhatnagar, P. L., Gross, E. P., and Krook M.: “A Model for Collision Processes in Gases. I. Small Amplitude Processes in Charged and Neutral One-Component Systems”, *Phys. Rev.* **94** (1954), 511-525.
- [2] Blaak, R. and Sloot, P. M.: “Lattice dependence of reaction-diffusion in lattice Boltzmann modeling”, *Comp. Phys. Comm.* **129** (2000), 256-266.
- [3] Benzi, R., Succi, S. and Vergassola, M.: “The lattice Boltzmann equation: theory and applications”, *Phys. Rep.* **222** (1992), 145-197.
- [4] Chen, H., Chen, S. and Matthaeus, W.H.: “Recovery of the Navier-Stokes equations using a lattice-gas Boltzmann method”, *Phys. Rev. A* **45** (1992), R5339-R5342.
- [5] Chen, S. and Doolen, G.D.: “Lattice Boltzmann method for fluid flows”, *Ann. Rev. Fluid Mech.* **30** (1998), 329-364.
- [6] Chen, S., Martinez, D.O. and Mei, R.: “On boundary conditions in lattice Boltzmann methods”, *Phys Fluids* **8** (1996), 2527-2536.
- [7] Dawson, S. P., Chen, S. and Doolen, G. D.: “Lattice Boltzmann computations for reaction-diffusion equations”, *J. Chem. Phys.* **98** (1993), 1514-1523.
- [8] de Boer, P.A.J., Crossley, R. E., and Rothfield, L.I.: “A division inhibitor and a topological specificity factor coded for by the minicell locus determine proper placement of the division septum in *E. coli*.” *Cell.* **56** (1989), 641-649.
- [9] de Boer, P.A.J., Crossley, R.E. and Rothfield, L.I.: “Central role for the *Escherichia coli* min C gene product in two different cell division inhibition systems”, *PNAS (USA)* **87** (1990), 1129-1133.
- [10] de Boer, P.A.J., Crossley, R.E., Hand, A.R. and Rothfield L.I.: “The MinD protein is a membrane ATPase required for the correct placement of the *Escherichia coli* division site”, *EMBO J.* **10** (1991), 4371-4380.
- [11] Doolen, G.D.: *Lattice Gas Methods: Theory, Applications and Hardware*, 2nd ed.; MIT: Cambridge, MA, 1991.
- [12] Fu, X., Shih, Y.-L., Zhang, Y. and Rothfield, L.I.: “The MinE ring required for proper placement of the division site is a mobile structure that changes its cellular location during the *Escherichia coli* division cycle”, *PNAS (USA)* **98** (2001), 980-985.
- [13] Hale, C.A., Meinhardt, H. and de Boer, P.A.J.: “Dynamic localization cycle of the cell division regulator MinE in *Escherichia coli*”, *EMBO J.* **20** (2001), 1563-1572.

- [14] Hirabayashi, M., Ohta, M., Rufenacht, D.A. and Chopard, B.: "A lattice Boltzmann study of blood flow in stented aneurism", *FGCS 20* (2004), 925-934.
- [15] Howard, M., Rutenberg, A. D. and de Vet, S.: "Dynamic Compartmentalization of Bacteria: Accurate Division in *E. coli*", *Phys. Rev. Lett.* **87** (2001), 278102-278104.
- [16] Hu, Z. and Lutkenhaus, J.: "Topological regulation of cell division in *Escherichia coli* involves rapid pole to pole oscillation of the division inhibitor MinC under the control of MinD and MinE", *Mol. Microbiol.* **34** (1999), 82-90.
- [17] Huang, J., Cao, C. and Lutkenhaus, J.: "Interaction between FtsZ and inhibitors of cell division", *J. Bacteriol.*, **178** (1996), 5080-5085.
- [18] Huang, K.C., Meir, Y. and Wingreen, N.S.: "Dynamic structure in *Escherichia coli*: Spontaneous formation of MinE rings and MinD polar zone", *PNAS (USA)* **100** (2003), 12724-12728.
- [19] Lutkenhaus, J.: "FtsZ ring in bacterial cytokinesis", *Mol. Microbiol.* **9** (1993), 403-409.
- [20] Martys, N.S. and Chen, H.D.: "Simulation of multicomponent fluids in complex three-dimensional geometries by the lattice Boltzmann method" *Phys. Rev. E* **53** (1996), 743-50.
- [21] McNamara, G. and Zanetti, G.: "Use of the Boltzmann Equation to Simulate Lattice-Gas Automata", *Phys. Rev. Lett.* **61** (1988), 2332-2335.
- [22] Meinhardt, H. and de Boer, P.A.J.: "Pattern Formation in *Escherichia coli*: A model for the pole-to-pole oscillations of Min proteins and the localization of the division site", *PNAS (USA)* **98** (2001), 14202-14207.
- [23] Migliorini, C., Qian, Y.H., Chen H, H., Brown, E., Jain, R. and Munn, L.: "Red blood cells augment leukocyte rolling in a virtual blood vessel", *Biophys. J.* **84** (2002), 1834-1841.
- [24] Mulder, E. and Woldringh, C.L.: "Actively replicating nucleoids influence positioning of division site in *Escherichia coli* filamentous forming cells lacking DNA", *J. Bacteriol* **171** (1989), 4303-4314.
- [25] Nicolis, G. and Prigogine, I.: *Self organization in Nonlinear Systems* (Wiley, New York), 1977.
- [26] Qian, Y.H., d'Humieres, D. and Lallemand, P.A.: "Lattice BGK models for Navier-Stokes equation", *Europhys. Lett* **17** (1992), 479-484.
- [27] Raskin, D.M. and de Boer, P. A. J.: "The MinE ring: an FtsZ independent cell structure required for selection of the correct division site in *Escherichia coli*", *Cell.* **91** (1997), 685-694.
- [28] Raskin, D.M. and de Boer, P. A. J.: "MinDE dependent pole-to-pole oscillation of division inhibitor MinC in *Escherichia coli*", *J. Bacteriol.*, **181** (1999), 6419-6424.
- [29] Raskin, D. M. and de Boer, P. A. J.: "Rapid pole-to-pole oscillation of a protein required for directing division to the middle of *Escherichia coli*", *PNAS. (USA)* **96** (1999), 4971-4976.
- [30] Rowland, S.L., Fu, X., Sayed, M.A., Zhang, Y., Cook, W.R. and Rothfield, L.I.: "Membrane redistribution of the *Escherichia coli* MinD protein induced by MinE", *J. Bacteriol.*, **182** (2000), 613-619.
- [31] Sun, C.H., Migliorini, C. and Munn, L.: "Red blood cells initiate leukocyte rolling in postcapillary expansions: A lattice Boltzmann analysis", *Biophys. J.* **85** (2003), 208-222.
- [32] Woldringh, C.L., Mulder, E., Huls, P.G. and Vischer, N.: "Toporegulation of bacterial division according to the nucleoid occlusion model", *Res. Microbiol.* **142** (1991), 309-320.

- [33] van der Sman, R.G.M. and Ernst, M.H.: “Advection-diffusion lattice Boltzmann scheme for irregular lattices”, *J. Comput. Phys.* **60** (2000), 766-782.
- [34] Zhang, X., Crawford, J. W., Bengough, A. G. and Young, I. M.: “On boundary conditions in the lattice Boltzmann model for advection and anisotropic dispersion equation “”, *Adv. Water Resour.* **25** (2002), 601-609.
- [35] Zou, Q. and He, X.: “On pressure and velocity boundary conditions for the lattice Boltzmann BGK model”, *Phys Fluids* **9** (1997), 6202-6205.
- [36] Mei, R., Luo, L.- S. and Shyy, W.: “An accurate curved boundary treatment in the lattice Boltzmann method”, *J. Comp. Phys.* **155** (1999), 307-330.
- [37] He, X. and Luo, L.- S.: “Theory of the lattice Boltzmann method: From the Boltzmann equation to the lattice Boltzmann equation”, *Phys. Rev. E* **56** (1997), 6811-6817.
- [38] Zhao, C.- R., de Boer, P. A. J. and Rothfield, L.I.: “Proper placement of the *Escherichia coli* division site requires two functions that are associated with different domains of the MinE protein”, *PNAS (USA)* **92** (1995), 4313-4317.
- [39] Zhou, J.G.: *Lattice Boltzmann Methods for Shallow Water Flows*; Springer-Verlag: Germany, 2004.
- [40] Huang, K. C., Meir, Y., and Wingreen, N.S.: “Dynamic structures in *Escherichia coli*: Spontaneous formation of MinE ring and MinD polar zones”, *PNAS.(USA)* **100** (2003),12724-12728.
- [41] Kruse, K.: “A Dynamic Model for Determining the Middle of *Escherichia coli*”, *Biophys. J.* **62** (2002), 618-627.
- [42] Meinhardt, H., and de Boer, P.A.J.: “Pattern formation in *Escherichia coli*: A model for the pole-to-pole oscillations of Min proteins and the localization of the division site”, *PNAS. (USA)* **98** (2001), 14202-14207.

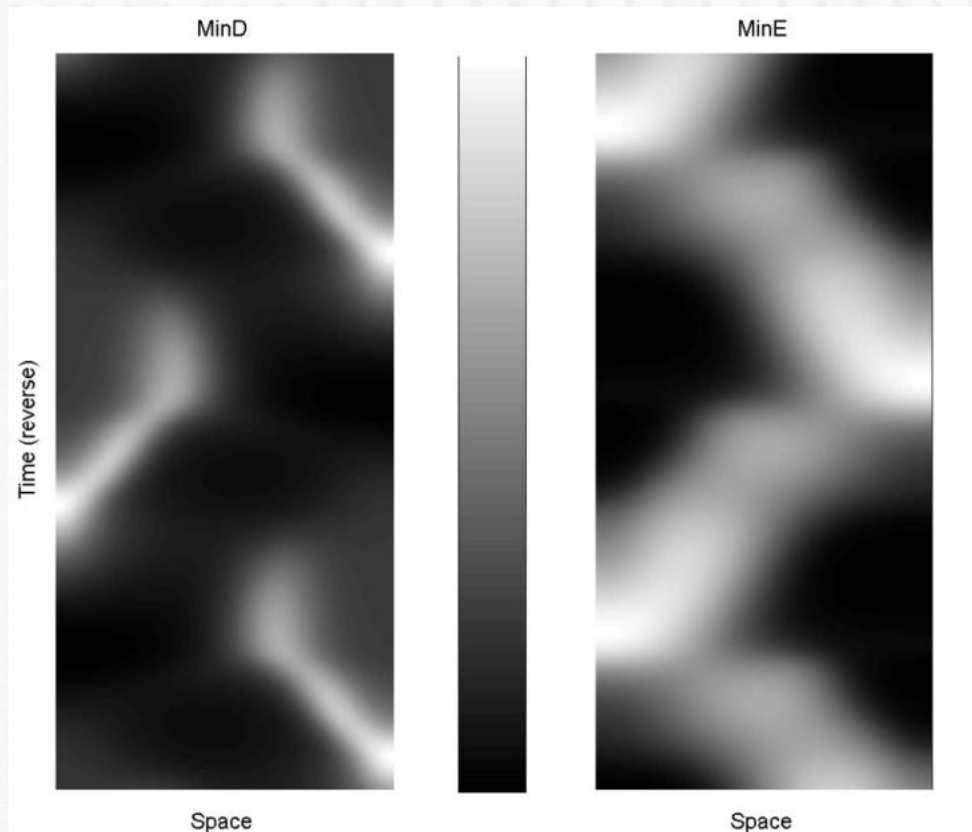


Figure 1. Space-time plots of the total MinD (left) and MinE (right) densities. The color scale runs from the lowest (black) to the highest (white). The MinD depletion from midcell and the MinE enhancement at the midcell are immediately evident. Times increase from top to bottom, and the pattern repeats indefinitely as time increases. The vertical scale spans the time 100 second. The horizontal scale spans the bacterial length ($2 \mu m.$)

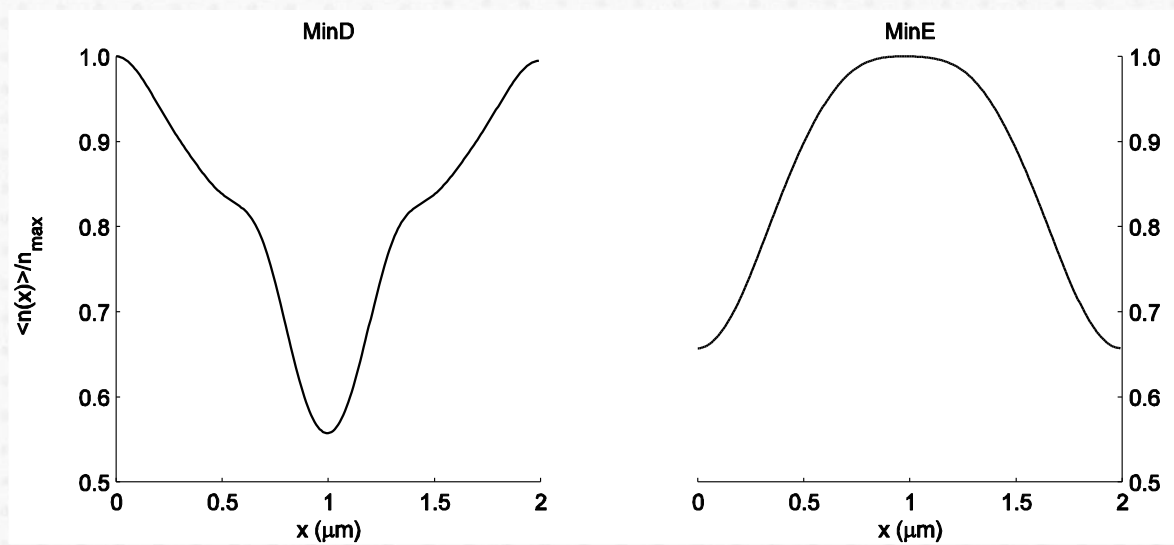


Figure 2. The time average MinD (left) and MinE (right) densities $\langle n(x) \rangle / n_{max}$, relative to their respective time-average maxima, as a function of position x (in μm) along the bacterium.

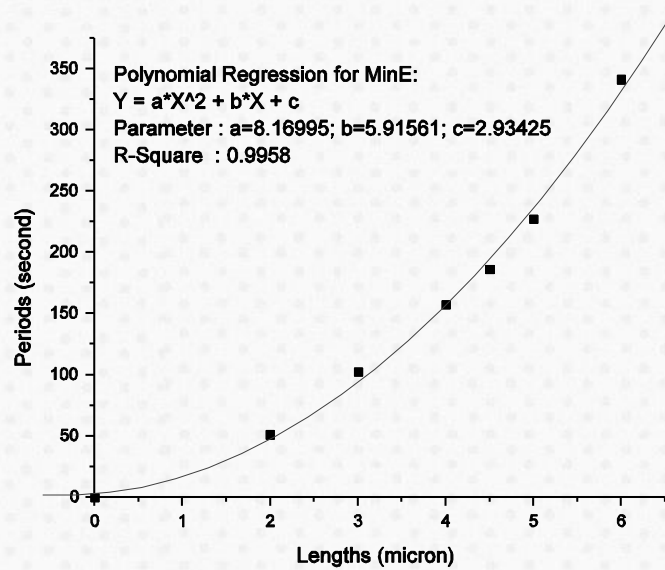


Figure 3. Plot of period of oscillation (in second) of MinE versus bacterial lengths from 2 μm to 6 μm at the midcell.

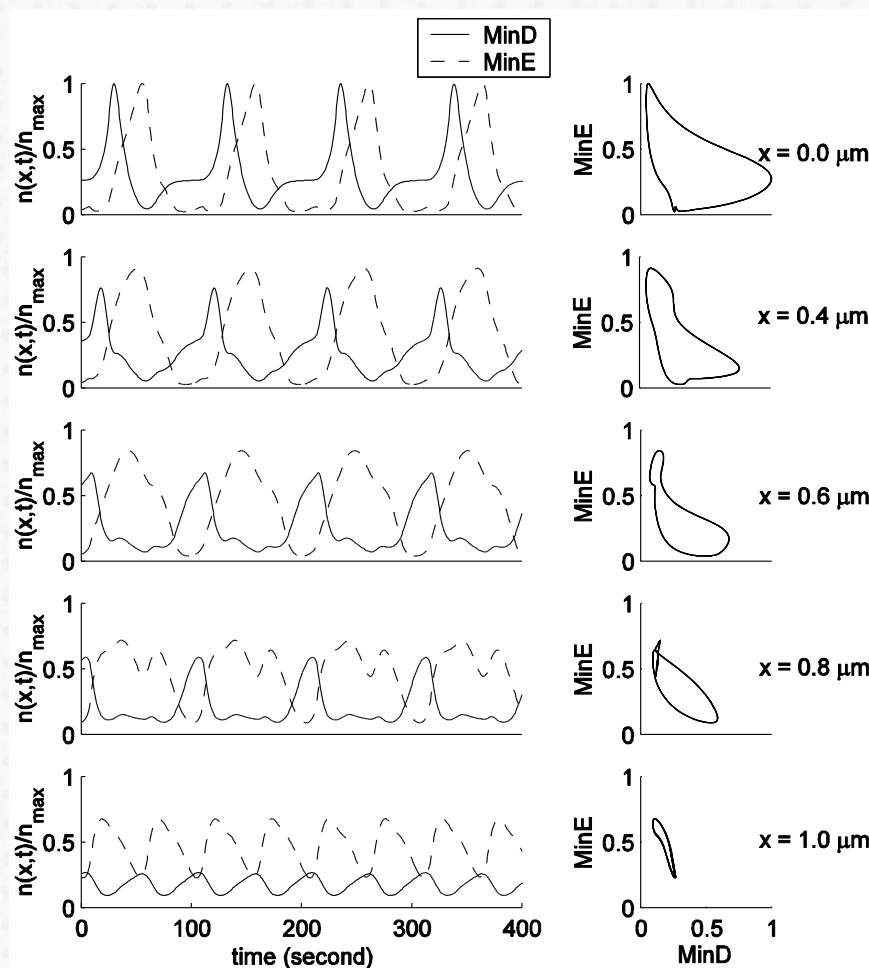


Figure 4. Left hand side: The relative concentration of MinD and MinE by comparing with the maximum concentration of each protein as a function of time at the several positions. The right hand side: the phase-diagram of MinD and MinE.

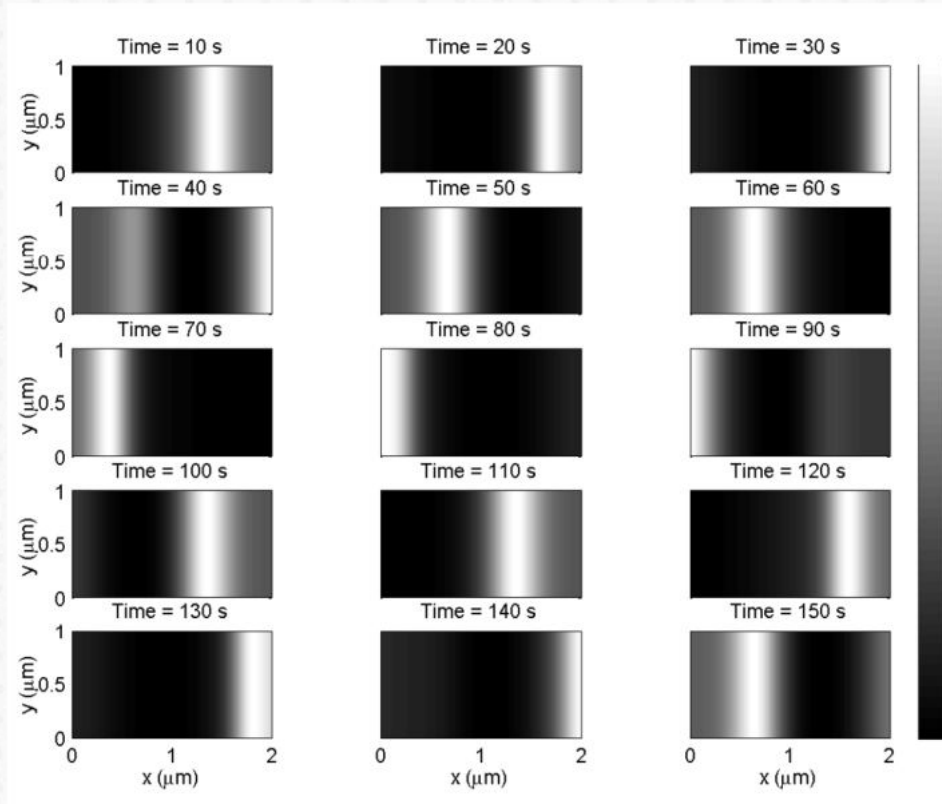


Figure 5. Time evolution of total concentration of MinD as function of position (x, y) . The color scale runs from the lowest (black) to the highest (white).

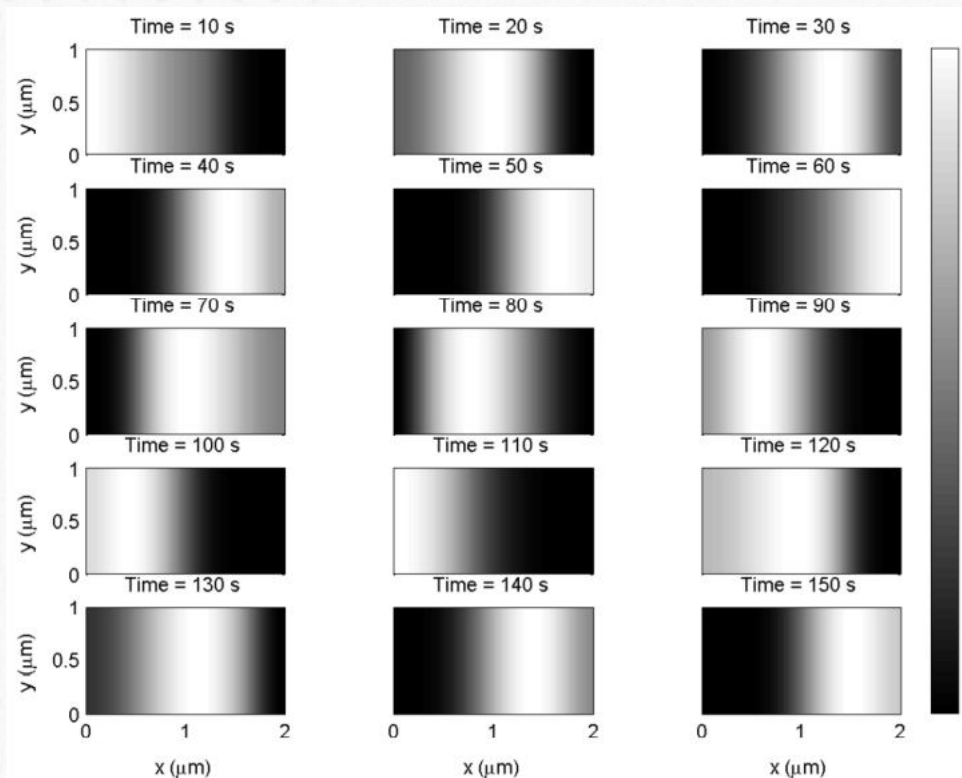


Figure 6. Time evolution of total concentration of MinE as function of position (x, y) . The color scale runs from the lowest (black) to the highest (white).

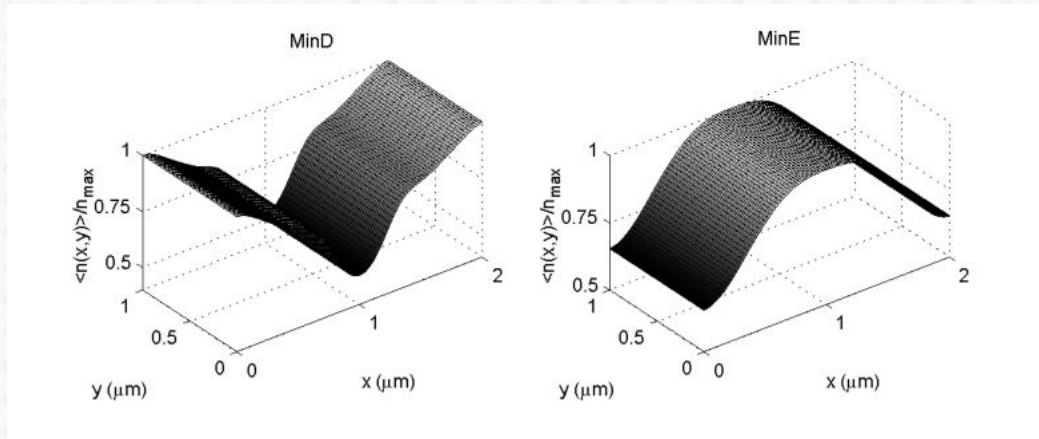


Figure 7. The time average MinD (left) and MinE (right) densities $\langle n(x, y) \rangle / n_{max}$, relative to their respective time-average maxima, as a function of two-dimensional position $\vec{x} = (x, y)$ (in μm) along the bacterium. The bacterial shape is $1 \times 2 \mu m$.

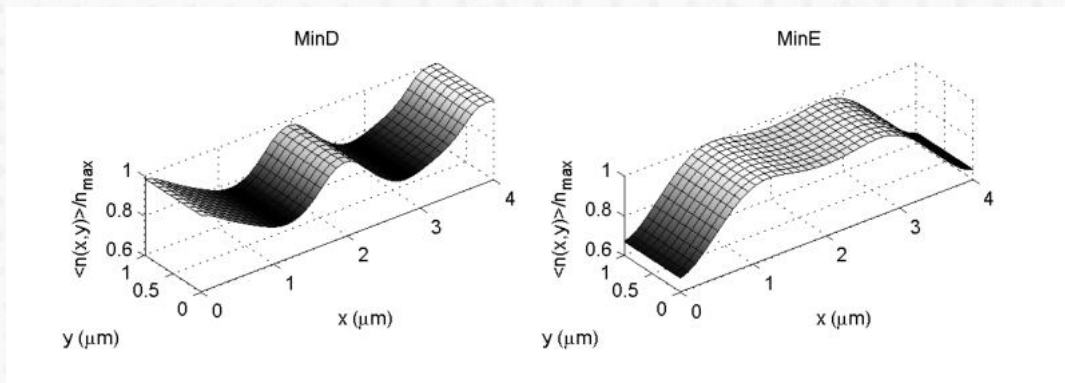


Figure 8. The time average MinD (left) and MinE (right) densities $\langle n(x, y) \rangle / n_{max}$, relative to their respective time-average maxima, as a function of two-dimensional position $\vec{x} = (x, y)$ (in μm) along the bacterium. The bacterial shape is $1 \times 4 \mu m$.

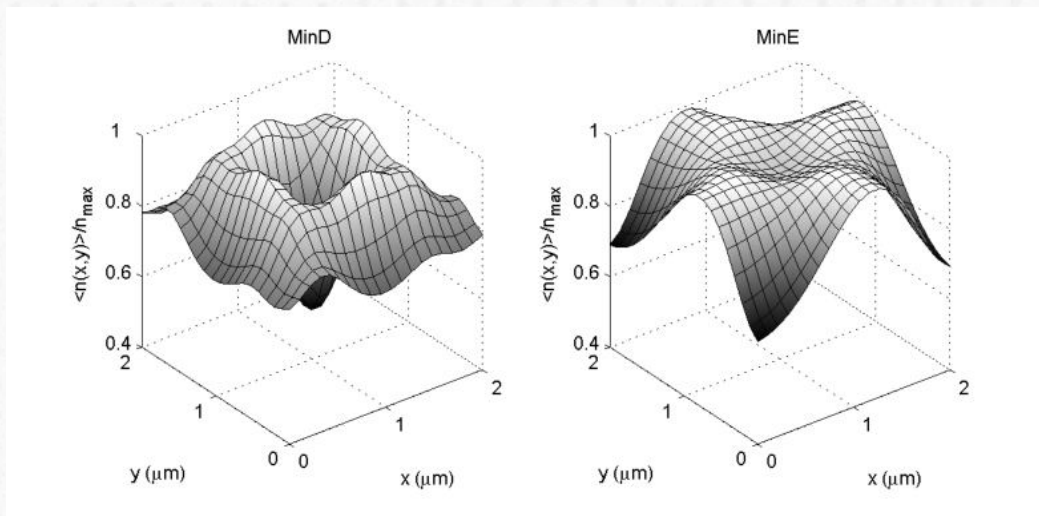


Figure 9. The time average MinD (left) and MinE (right) densities $\langle n(x, y) \rangle / n_{max}$, relative to their respective time-average maxima, as a function of two-dimensional position $\vec{x} = (x, y)$ (in μm) along the bacterium. The bacterial shape is $2 \times 2 \mu m$.

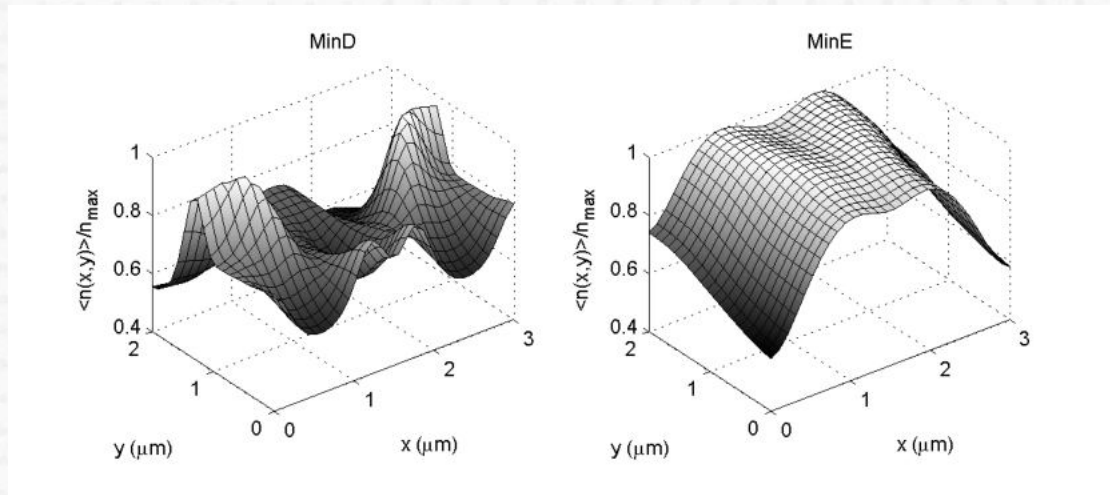


Figure 10. The time average MinD (left) and MinE (right) densities $\langle n(x, y) \rangle / n_{max}$, relative to their respective time-average maxima, as a function of two-dimensional position $\vec{x} = (x, y)$ (in μm) along the bacterium. The bacterial shape is $2 \times 3 \mu m$.

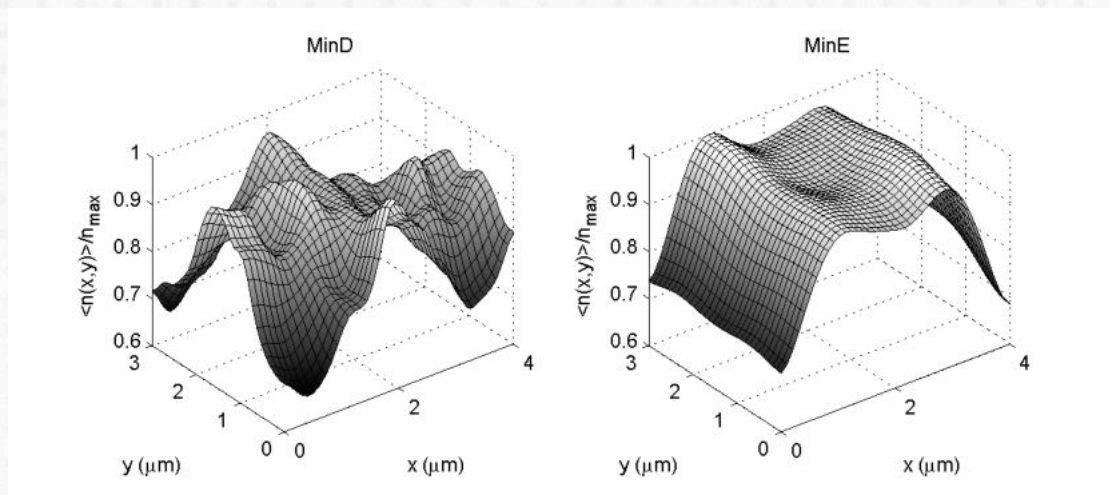


Figure 11. The time average MinD (left) and MinE (right) densities $\langle n(x, y) \rangle / n_{max}$, relative to their respective time-average maxima, as a function of two-dimensional position $\vec{x} = (x, y)$ (in μm) along the bacterium. The bacterial shape is $3 \times 4 \mu m$.

ผลิตภัณฑ์แผ่นกรองชั้นในของเครื่องฟอกอากาศจากไผ่และใบอ้อยเพื่อกำจัดฝุ่น PM 2.5 The Product of the Inner Filter of the Air Purifier Made from Bamboo and Sugarcane Fibers for Removing PM 2.5 Dust

ดวงฤทัย นิคมรัฐ^{1*} ภัทริกา สูงสมบัติ¹ ณัฐชัมย์ ลักษณะอำนาจพร¹ นิภาพร ปัญญา² ภัสสร สิงห์ธรรม²
 อนัญพร ลอมาเอ๊ะ¹ รุ่งนภา งานเฉลียว¹ อรทัย ศรีจำรัส¹ สุธัญย ลีลาอุดม¹ และ สุภาพร น้อยลา¹

¹สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาสาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: duongruitai.n@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ทีมผู้วิจัยมีความต้องการพัฒนาแผ่นกรองชั้นในของเครื่องฟอกอากาศที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยการใช้เส้นใยพืชจากพืชส่วนที่เป็นวัสดุย่อยสลายได้ และจัดเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตร แผ่นกรองด้านในของเครื่องฟอกอากาศที่พัฒนาทำมาจากการใช้เส้นใยใบอ้อยที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า จากเส้นใยไผ่ที่นิยมนำมาทำกระดาษถูกเปรียบเทียบกับเส้นใยกรองไฟเบอร์กลาสชนิดเฮปา (HEPA filter) ในการยับยั้งฝุ่นละอองขนาดพีเอ็ม 2.5 ที่รวมถึงจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในอากาศ ในการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่าการใช้การกรองด้วยกระดาษทำจากเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยไผ่มีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่น PM 2.5 กระดาษจากเส้นใยไผ่และใบอ้อยและอย่างหยาบที่มีขนาดมากกว่า 1 - 5 มิลลิเมตรมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาดตั้งแต่ขนาดเล็ก PM 2.5 - PM 10 ได้ดีกว่าเส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 - 0.5 มิลลิเมตร โดยพบว่าเหลือปริมาณของ PM 2.5 ในอากาศหลังจากการกรองด้วยเครื่องฟอกอากาศที่ใช้กระดาษทำจากเส้นใยพืชดังกล่าวเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง คือ 16 µg และ 33 µg ตามลำดับ และเมื่อนำกระดาษที่ทำจากเส้นใยใบอ้อยทั้งสองแบบที่มีผ่านการปั่นให้มีทั้งหยาบและละเอียดปนกันสามารถช่วยกำจัดฝุ่นได้ดี ไม่แตกต่างจากการใช้เส้นใยชนิดหยาบ นอกจากนี้พบว่ากระดาษกรองดังกล่าวสามารถทำหน้าที่กรองฝุ่น PM 2.5 ได้อย่างน้อยร้อยละ 50 เมื่อเปิดเครื่องฟอกอากาศเป็นเวลานาน 36 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง ตัวกระดาษที่ผลิตสามารถย่อยสลายได้หมดภายใน 3 วันเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกรองอากาศไฟเบอร์กลาสทางการค้า จากการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ในการเลือกใช้แผ่นกรองชั้นในของเครื่องฟอกอากาศทำด้วยด้วยเส้นใยใบอ้อยและไผ่ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทดแทนการใช้วัสดุสังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องศึกษาอายุการใช้งานของตัวกรองกระดาษดังกล่าวต่อไป

คำสำคัญ: ฝุ่นขนาดพีเอ็ม 2.5 แผ่นกระดาษกรอง ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ มิตรต่อสิ่งแวดล้อม เส้นใยพืช

Abstract

The research team aimed to develop an environmentally friendly inner filter for air purification by using paper made of plant fibers as biodegradable materials typed an agricultural waste. The developed inside filter of the air purifier was made of useless sugarcane leaf fibers or bamboo leaf fibers, commonly used to make paper. Both filters were compared for their capability in air filtration with those using HEPA

filter fibers, especially inhibiting PM 2.5 particulate matters and air contaminated microorganisms. The studies have shown that the coarse sugarcane and/or bamboo fibers with the sizes of 1 - 3 millimeters were more effective in filtering PM 2.5. They could effectively trap dust with particle sizes from small PM 2.5 to PM 10 better than fine fibers with size of smaller than 0.5 - 1 mm. The amount of PM 2.5 left in the air after 3 hours of air filtration by coarse and fine fibers was 16. μg and 33 μg , respectively, and when both coarse and fine fibers were well-mixed, the dust reduction was not significantly different. The filter paper was found to be able to filter for at least 36 hours continuously and the paper itself was completely biodegradable in 3 days, compared to commercial fiberglass air filters. From all these results, paper filters made of sugarcane and bamboo leaf fibers, the environmentally friendly green approach, can be one alternative to replace the use of non-biodegradable synthetic materials. However, it is necessary to further study the lifetime of such filters.

Keywords: PM 2.5 dust, Paper filter, Naturally biodegradable, environmentally friendly, plant fibers

1. บทนำ

สถานการณ์ "ฝุ่นพิษ" หรือ "ฝุ่น PM 2.5" และปัญหาการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา(โควิด-19) ที่เป็นโรคริดติดต่อกันก่อนอันตรายต่อสุขภาพของวัยผู้สูงอายุอย่างยิ่ง พบในประเทศไทยที่เริ่มทวีคูณ กลับมารุนแรงอีก และมีแนวโน้มว่าจะมีความรุนแรงและยาวนานมากกว่าปีที่ผ่านมา ในการแก้ปัญหาทั้งฝุ่นโดยเฉพาะขนาดเล็กลงกว่า 2.5 ไมครอน หรือเรียกว่า ฝุ่น PM 2.5 (PM 2.5) ที่มาจากขยะ การเผาไหม้ในชุมชนการเกษตร และโรงงานอุตสาหกรรม อันก่อให้เกิดการรวมตัวของควันใหม่กับก๊าซอันตรายในบรรยากาศ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) รวมทั้งสารพิษอื่นๆ เช่น สารปรอท (Hg), แคดเมียม (Cd), อาร์เซนิก (As) หรือโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ยังรวมถึงละอองน้ำและน้ำลายที่มีเชื้อจุลินทรีย์ (Plant et al., 2013) โดยเฉพาะโคโรนาไวรัสที่เป็นสาเหตุของโรคโควิด 19 โดยทั้งหมดที่กล่าวมาได้มีการระบุว่าประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศและการติดเชื้อโรคโควิด 19 อันส่งผลไปถึงระบบสังคม และเศรษฐกิจ รวมไปถึงค่าใช้จ่ายที่รัฐต้องสูญเสียเกี่ยวเนื่องกับค่ารักษาพยาบาลผู้ป่วยจากสถานการณ์ดังกล่าว จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นส่วนที่จำเป็นเร่งด่วนในการจัดการหาแนวทางการลดการปนเปื้อนสารเหล่านี้ในอากาศ

ในการหาแนวทางในการพัฒนาการป้องกัน ลดปัญหาดังกล่าวจากฝุ่นและเชื้อก่อโรคที่อยู่ในสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันแนวทางการใช้หน้ากากอนามัย เช่น N95 สามารถป้องกันฝุ่นและเชื้อจุลินทรีย์ขนาดเล็กมากๆ ในระดับ 2.5 ไมครอน ไปจนถึงพวกฝุ่นควันขนาดใหญ่ในสิ่งแวดล้อม และยังป้องกันเชื้อโรคชนิดต่างๆ ทั้งเชื้อไวรัส เชื้อรา เชื้อแบคทีเรียได้ดี มีประสิทธิภาพในการกรองมากถึง 95% แม้มีอายุการใช้งานนานประมาณ 3 สัปดาห์และ สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำ แต่มีราคาแพงกว่าหน้ากากอนามัยทั่วไป ไม่เหมาะที่จะใช้ร่วมกับผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืด โรคปอด และหญิงตั้งครรภ์ เพราะลมหายใจจะผ่านเข้าออกได้ยากขึ้นเนื่องจากแรงต้านภายใน (Chua et al., 2020) ในการป้องกันตนเองจาก PM 2.5 และลดการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมกับการทำงานในอาคารมากกว่าการออกกลางแจ้ง คือ การใช้เครื่องฟอกอากาศเพื่อกรองฝุ่นและกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยระบบการกรองฝุ่นในอากาศที่มีขนาดเล็กถึง PM 2.5 แล้วอยู่แต่ ด้วยเครื่องฟอกอากาศที่สามารถฟอกอากาศบริสุทธิ์ มีตัวกรองที่มีเทคโนโลยีการกรอง หรือฟอกอากาศที่มีประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศหลายชั้น แผ่นกรองอากาศในแต่ละชั้นมีหน้าที่ดูดซับสิ่งต่างๆ ที่ลอยอยู่ในอากาศ โดยการดูดเข้ามาภายในเครื่อง ละอองเกสรดอกไม้ ฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (PM 10) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ ฝุ่นจิ๋ว (PM 2.5) กลิ่นไม่พึงประสงค์ สารเคมี เชื้อโรคต่างๆ อย่าง เชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย แต่ส่วนมากจะไม่สามารถกรองเชื้อไวรัสได้ เพราะมีขนาดเล็กเกินกว่าที่แผ่นกรองอากาศจะสามารถกรองได้ ทั้งนี้ราคาของตัวกรองสูง มีอายุการใช้งานขึ้นกับปริมาณฝุ่นในบรรยากาศที่จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนทิ้ง (Liu et al., 2015)

โดยทั่วไปเครื่องกรองอากาศมีส่วนของแผ่นกรองอากาศในเครื่องฟอกอากาศ อยู่ 3 ชั้นประกอบด้วย 1) แผ่นกรองอากาศขั้นต้น (Pre Filter) ซึ่งเป็นแผ่นกรองชั้นแรกอยู่นอกสุด มีลักษณะเป็นตาข่ายถี่ ขนาดไม่ใหญ่มาก สามารถถอดออกมาล้างทำความสะอาดได้ ทำหน้าที่คัดกรอง ดักจับฝุ่นละอองขนาดใหญ่ 1-10 ไมครอน ก่อนที่ฝุ่นจะเข้าไปในแผ่นกรองด้าน

ใน ส่วนนอกนี้ช่วยยืดอายุการทำงานแผ่นกรองชั้นถัดไปจนถึงขั้นสุดท้าย ให้มีประสิทธิภาพการกรองฝุ่น 2). ส่วนของแผ่นกรองอากาศ HEPA (HEPA Filter) แผ่นกรองอากาศ HEPA เป็นตัวช่วยให้เครื่องกรองมีประสิทธิภาพสูง HEPA ผลิตมาจากเส้นใยไฟเบอร์กลาส มีหน้าที่ดักจับฝุ่นที่มีขนาดเล็กถึง 0.3 ไมครอน ทำให้สามารถกรอง PM 2.5 ฝุ่นละออง แบคทีเรีย เกสรดอกไม้ ไรฝุ่น มีเพียงอากาศบริสุทธิ์เท่านั้นที่สามารถเล็ดลอดเข้าไป 3). แผ่นกรองคาร์บอน (Carbon Filter) เป็นแผ่นที่ทำหน้าที่กรองกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีลักษณะเป็นสีดำ เพราะมีส่วนผสมของคาร์บอน หรือถ่าน เพื่อช่วยดับกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นจากการประกอบอาหาร กลิ่นบุหรี่ กลิ่นอับ เป็นต้น

การพัฒนากระดาษจากเส้นใยใบพืชอาศัยหลักการทำกระดาษทั่วไปและมีการปรับปรุงเพื่อให้สามารถนำไปใช้เฉพาะงาน เช่น เนื้อด้วยใยที่มีความหยาบ ได้ถูกนำไปต้มด้วยสารละลายโซดาไฟร้อยละ 35 และปั่นให้เป็นเส้นใยสั้น ก่อนการนำไปซ้อนเย็บเป็นกระดาษ (กรณีท สุขสวัสดิ์, 2562) และงานทำเยื่อกระดาษจากใบอ้อยด้วยมือจากใบอ้อยในงานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์ โดยมีการทำให้เส้นใยสีขาวด้วยการต้มในสารละลายฟอกขาวชนิดสารไฮโดรเจนออกไซด์ สารโซเดียมซัลไฟด์ สารแมกนีเซียมซัลเฟต และสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (วิชัย หฤทัยธนาสันต์, 2551) ผักตบชวาที่มีเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติในการดูดซับและยังเป็นวัสดุธรรมชาติที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษต่อผู้ใช้ เมื่อทำเป็นแผ่นกรองอากาศพบว่าสามารถกรองฝุ่นละอองและสามารถยับยั้งแบคทีเรียในอากาศได้ (กันต์ สอนสิงห์ และพฤกษ์ แสงอรุณ, 2562) ทั้งนี้เส้นใยอ้อยที่ได้มีการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพด้วยการเคลือบให้ที่มีความเหนียวทน จากงานวิจัยของบุษรา สร้อยระย้า และคณะ (2551) เสนอแนวทางการเคลือบเส้นใยใบอ้อยที่ผ่านการฟอกขาวแล้วด้วยสารละลายจากผงบุกร้อยละ 0.5 ทำให้ได้กระดาษที่มีขนาดเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่อไป

จากปัญหาและแนวทางการจัดการแก้ปัญหาดังกล่าวเพื่อให้ตอบโจทย์ของปัญหาที่เกิดขึ้นมลพิษอากาศและการแพร่ของเชื้อไวรัสโควิด-19 ทีมงานวิจัยจึงเสนอการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตัวกรองที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาจากระดาษที่ทำจากเส้นใยพืช ด้วยงานวิจัยดังกล่าว เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์กระดาษจากใบพืชซึ่งนำมาสู่ความสนใจในการศึกษานี้ที่ทำจากเส้นใยพืชที่เป็นคือ ใบไม้และใบอ้อย ด้วยที่เส้นใยกระดาษมาจากเส้นใยใบพืชซึ่งเป็นการนำวัสดุทางการเกษตรที่เหลือใช้มาเพิ่มคุณค่า โดยมีวัตถุประสงค์การศึกษาคือ 1) ศึกษาคุณสมบัติของกระดาษกรองที่ทำมาจากเส้นใยใบอ้อยและใบไม้ในการกรองฝุ่น PM 2.5 หลังจากการสกัดเส้นใยแล้วขึ้นรูปเป็นกระดาษกรองแล้วประกอบเป็นแผ่นกรองกระดาษ แล้ว 2) ศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยใบอ้อยและใบไม้เคลือบในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ 3) ศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยใบอ้อยและใบไม้ เพื่อบ่งบอกความสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เปรียบเทียบกับวัสดุตัวกรอง HEPA

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การผลิตแผ่นกรองจากเส้นใยใบไม้และใบอ้อย

ทำการเตรียมตัวอย่างใบไม้ และใบอ้อยที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร แล้วตัดใบไม้และใบอ้อยจำนวน 2 กิโลกรัมให้เป็นชิ้นที่มีขนาดเล็ก แล้วต้มใบพืชแต่ละชนิดจำนวน 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตรที่ผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในอัตราส่วน 1/10 เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จนใบไม้เปื่อยยุ่ย แล้วกรองน้ำออกและล้างเส้นใยใบไม้ด้วยน้ำสะอาด 2-3 ครั้ง ก่อนบีบน้ำออกจากใบไม้ และผสมรวมกับกาวแป้งเปียก โดยการใช้แป้ง 50 กรัม (ภาพที่ 1) ทำการช้อนเยื่อในน้ำด้วยตะแกรงช้อนเยื่อ อัตราส่วนของเยื่อใบไม้ 600 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร และเกลี่ยเยื่อเส้นใยใบไม้ให้มีความสม่ำเสมอแล้วผึ่งแดดให้แห้งและลอกแผ่นกรองออกจากตะแกรงช้อนเยื่อ



(ก)



(ข)



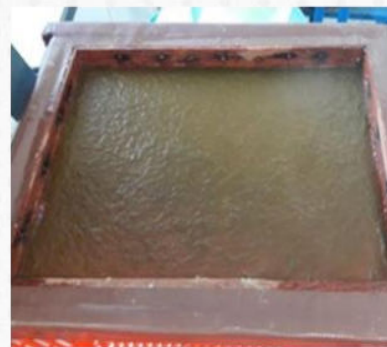
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)

ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่ (ช้าย) และใบอ้อย (ชวา)

(ก) ตัดไผ่หรือใบอ้อยให้เป็นชิ้นที่มีขนาดเล็ก (ข) นำไผ่หรือใบอ้อยที่ต้มมาล้างน้ำจนสะอาด (ค) บีบน้ำออกจนแห้ง และ (ง) ผสมกาวแป้งเปียกกับไผ่ (จ) เตรียมเส้นใยที่ผสมกาวแป้งเปียกเพื่อการขึ้นรูปกระดาษ (ฉ) ขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ และ (ช) ทำการลอกแผ่นกรองอากาศออกจากตะแกรง

2.2 การทำแผ่นกรองใส่ในเครื่องฟอกอากาศ

ทำการวัดและตัดแผ่นกระดาษกรองจากเส้นใยอ้อยและไผ่ ขนาด 25 x 30 เซนติเมตร แล้วทำการพับแผ่นกระดาษกรองสลับด้านไปมาจนสุดแผ่น แล้วนำแต่ละแผ่นมาต่อกันจนได้ขนาดที่สามารถนำแผ่นกรองที่พับได้ใส่ลงในกรอบขนาดของช่องในเครื่องฟอกอากาศ ติดเทปกาวระหว่างแผ่นก่อนการนำไปวางในเครื่องกรองอากาศ จะได้แผ่นกรองอากาศ (ภาพที่ 2)



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทำแผ่นกรองใส่ในเครื่องฟอกอากาศ

(ก) แผ่นกระดาษกรองหลังจากขึ้นเยื่อใยโปไฟและใบอ้อย (ข) แผ่นกระดาษกรองจากเยื่อใยโปไฟและใบอ้อยแห้ง และ (ค) ทำการพับซ้อนกลับไปมาแล้วนำมาต่อกันหลายแผ่นจนได้ตัวกรองกระดาษและ (ง) ตัวกรองกระดาษจากกระดาษกรองเยื่อใยโปไฟและใบอ้อย

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพการกรองอากาศของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโปไฟและใบอ้อย

ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศก่อนการทดสอบ ด้วยเครื่องวัดปริมาณและอนุภาคของฝุ่นรุ่น AEROCET 531S ยี่ห้อ Met one Instruments โดยในการศึกษานี้เลือกทำการทดสอบในตู้ที่มีขนาด 57X89X202 ตารางเซนติเมตร แล้วทดสอบแผ่นกรองอากาศ โดยการใส่แผ่นกรองที่เตรียมไว้เข้าไปในเครื่องฟอกอากาศแล้วเปิดเครื่องฟอกอากาศทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง โดยทำการตรวจวัดค่าฝุ่นทุกๆ 1 ชั่วโมงตรวจวัดคุณภาพอากาศหลังการทดสอบ ทำการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นกรองอากาศทั่วไปกับแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโปไฟหรือใบอ้อย (ภาพที่ 3)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพการกรองอากาศของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโปไฟหรือใบอ้อย

(ก) การตรวจวัดคุณภาพอากาศ (ข) การเปิดเครื่องฟอกอากาศทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง ด้วยเครื่องฟอกอากาศรุ่น AEROCET 531S เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.4 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศจากกระดาษเส้นใยโปไฟและใบอ้อย

ทำการตัดแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโปไฟผสมสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายขาว ให้มีขนาด 5Xตาราง 5 แผ่น 6 เซนติเมตร จำนวน วางแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโปไฟผสมสารสกัดน้ำมันหอมระเหยจากกระชายขาว ลงบนดินและ

ในดินลึก .น 00.09 ครั้งต่อวัน เวลา 1 มิลลิเมตร 600 เซนติเมตร รดน้ำปริมาตร 2 บันทึกรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่และใบอ้อย (ภาพที่ 4)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 การทดสอบการย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่หรือใบอ้อย
(ก) แผ่นกรองจากเส้นใยไผ่หรือใบอ้อยก่อน และ (ข) หลังการย่อยสลายตามธรรมชาติในดิน

2.5 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่และใบอ้อย

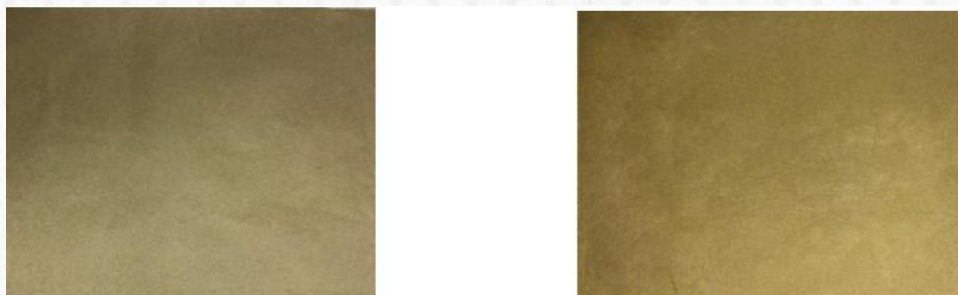
ทำการตัดตัวอย่างแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่ 26 x 30 ตารางเซนติเมตร สังเกตลักษณะทางกายภาพของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่หรือใบอ้อย โดยใช้กล้องสเตอริโอ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณภาพของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่และใบอ้อย ในการยับยั้งฝุ่น PM 2.5 รวมทั้งดูความสามารถในการย่อยสลายเองตามธรรมชาติบนดิน สามารถแสดงผลได้ดังนี้

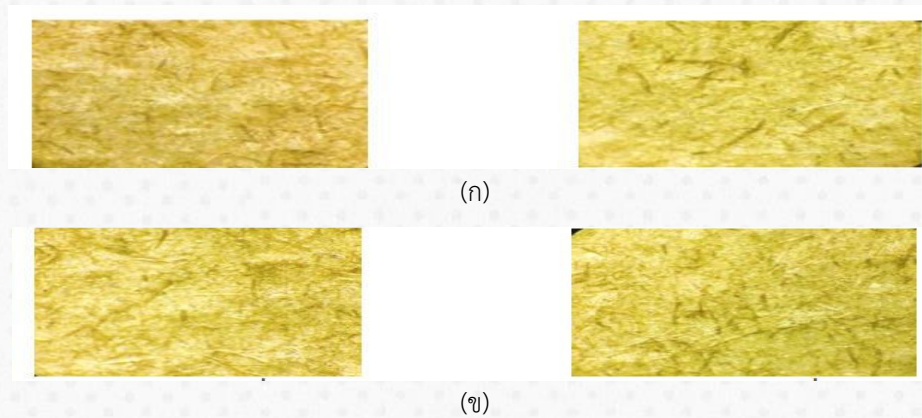
3.1 ลักษณะแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่และใบอ้อย

ในการทำแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยอ้อยที่ผ่านการปั่นให้เส้นละเอียด พบว่าเส้นใยส่วนใหญ่ มีขนาดในช่วง 1-5 มิลลิเมตร มีส่วนน้อยที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1-0.5 มิลลิเมตร พบว่าพื้นผิวของ แผ่นกรองมีเส้นใยเกาะตัวกันแน่น มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ และ สีของแผ่นกรองมีสีเข้มที่มาจากใบอ้อยมากกว่าไผ่ (ภาพที่ 4) และศึกษาลักษณะเส้นใยของแผ่นกรองด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ กำลังขยายที่ 40 เท่า (ภาพที่ 5)

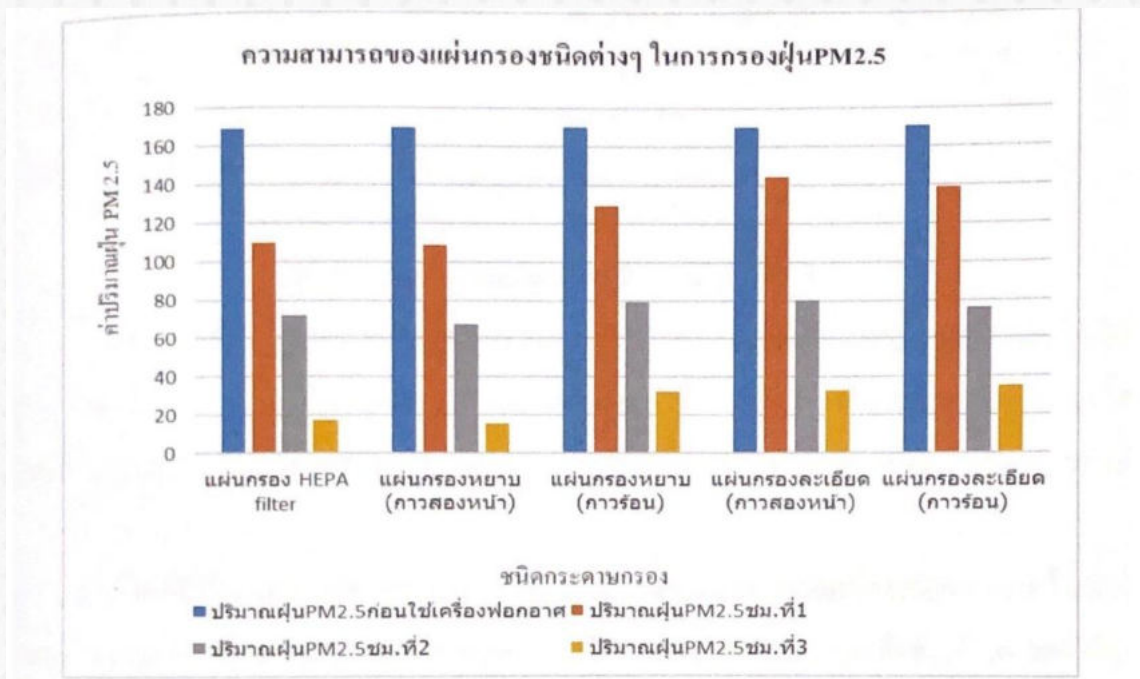


ภาพที่ 5 พื้นผิวของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่ (ซ้าย) และ ใบอ้อย (ขวา)

เนื่องจากเส้นใยกระดาษที่มาจากเยื่อเส้นใยใบไผ่และใบอ้อยที่มีเส้นใยแบบหยาบและแบบละเอียดปนกัน (ภาพที่ 6) เมื่อคัดแยกเส้นใยใบไผ่และใบอ้อยที่มีขนาดในช่วง 1 - 5 มิลลิเมตร เมื่อนำมาขึ้นรูปเป็นกระดาษ พับเป็นตัวกรองกระดาษ แล้วนำไปกรองอากาศด้วยเครื่องฟอกอากาศ พบว่ามีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาด PM 2.5 ไม่แตกต่าง แต่ค่อนข้างดีกว่าเส้นใยแบบละเอียดที่ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่า 0.1-0.5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 7) และยังพบว่าเส้นใยที่มาจากผสมของทั้งหยาบและละเอียดปนกันโดยไม่มีการคัดแยกออก ให้ผลของประสิทธิภาพในการทำงานไม่แตกต่างจากการเลือกใช้เส้นใยแบบหยาบ (ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ)



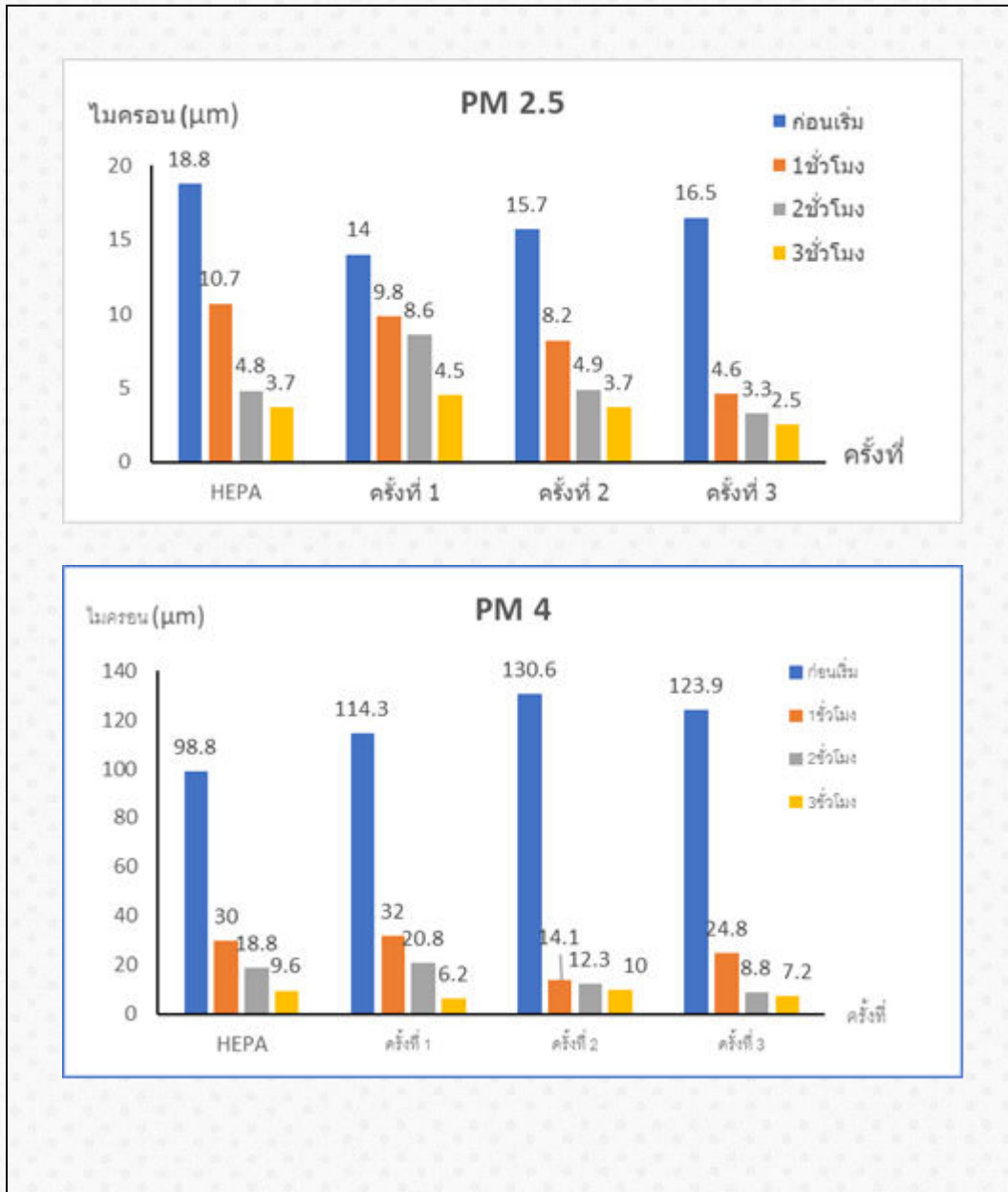
ภาพที่ 6 ลักษณะของแผ่นกรองเครื่องฟอกอากาศ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 40 เท่า ที่มีขนาดเส้นใยใบอ้อย (ก) ขนาดหยาบ มิลลิเมตร และ 5-1(ข) ขนาดเล็กกว่า 0.1-0.5 มิลลิเมตร

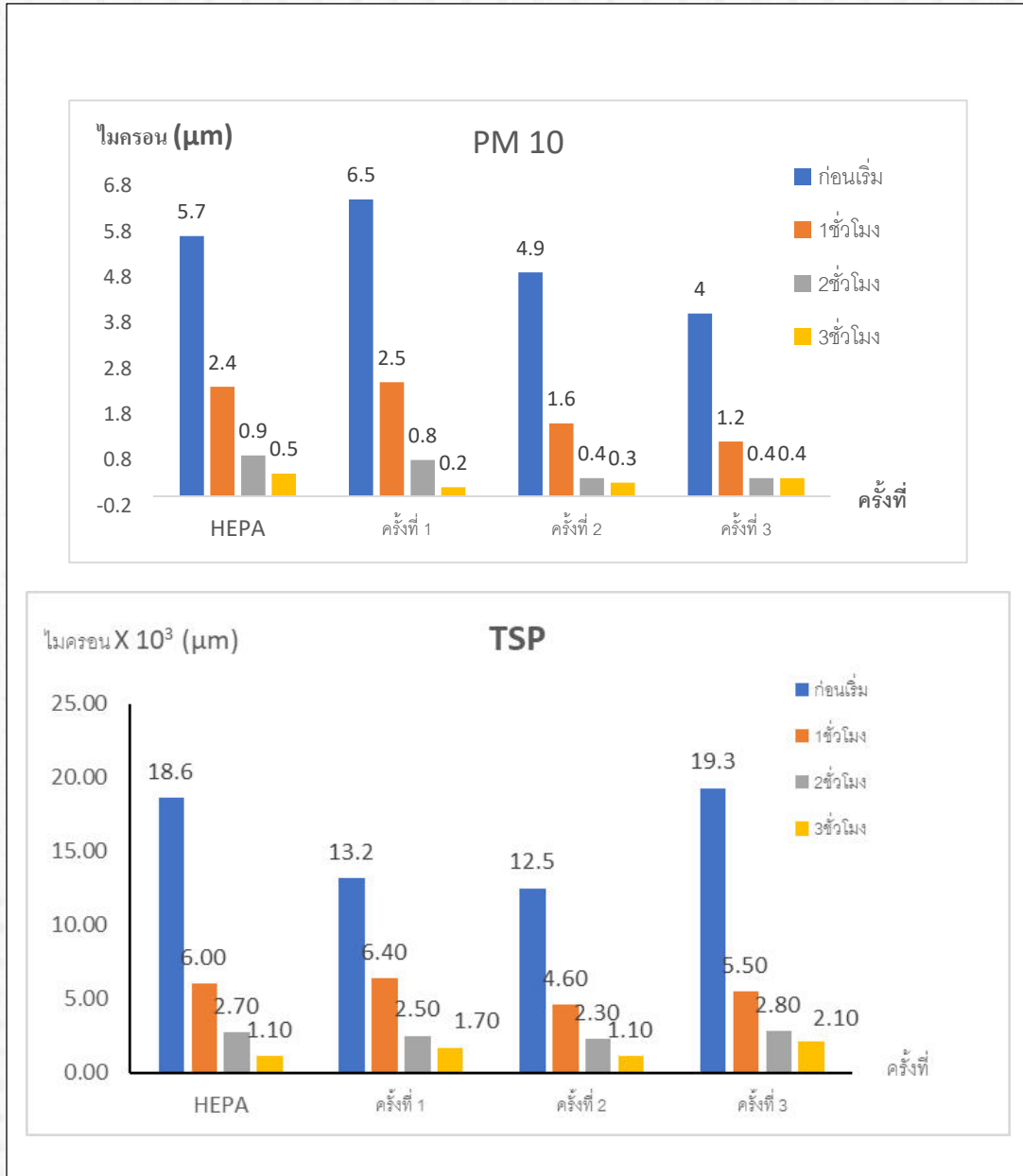


ภาพที่ 7 ความสามารถในการกรองอากาศของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยใบอ้อยที่มีขนาดหยาบและละเอียด เป็นเวลานานาน 3 ชั่วโมง โดยทำการหยุดทุกชั่วโมงเพื่อเติมฝุ่นให้ได้ระดับเท่าเดิม

3.2 ประสิทธิภาพการกรองอากาศของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโพลีไผ่และใบอ้อย

จากการทดสอบดูประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นในระยะเวลา 3 ชั่วโมง เเยื่อจากเส้นใยโพลีไผ่และใบอ้อยให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน ทั้งสองชนิดสามารถช่วยลดปริมาณฝุ่นออกจากอากาศได้ทั้งกรณีฝุ่น PM 2.5 4 10 และ TSP คือฝุ่นโดยรวมทั่วไป โดยมีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นขนาดตั้งแต่ขนาดเล็ก PM 2.5 - PM 100 ได้ดีกว่าเส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 – 0.5 มิลลิเมตร โดยพบว่าเหลือปริมาณของ PM 2.5 ในอากาศหลังจากการกรองด้วยเครื่องอากาศที่ใช้กระดาษทำจากเส้นใยพืชดังกล่าวเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง คือ 16 μg และ 33 μg ตามลำดับทั้งนี้พบว่าประสิทธิภาพของการดักฝุ่นลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ทั้งนี้จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการพบว่าสามารถดักฝุ่นลดลงได้อย่างน้อย ร้อยละ 50 เมื่อทำการเปิดเครื่องฟอกอากาศที่ใช้ตัวกรองกระดาษดังกล่าวเป็นเวลานาน 36 ชั่วโมง (ไม่แสดงผลการทดลอง) (ภาพที่ 8)





ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น (แบ่งฝุ่นทาทหน้า) ของเครื่องฟอกอากาศที่ใช้แผ่นกระดาษกรองจากเส้นใยไผ่ ในการกรองฝุ่น PM 2.5 4 10 และ TSP

3.3 ความสามารถในการย่อยสลายสลายของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่และใบอ้อย

ในการทดสอบดูความสามารถในการย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยไผ่และใบอ้อย ด้วยวิธีการวางบนดิน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศทั้งสองแบบคือจากเส้นใยไผ่ หรือเส้นใยใบอ้อยไม่พบความแตกต่าง เมื่อวางบนดินสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแผ่นกรองอากาศ โดยเริ่มมีการย่อยสลายตั้งแต่วันที่ 2 แผ่นกรองอากาศเริ่มมีการขาดและเปื่อยสามารถมองเห็นได้ชัดในวันที่ 5 และย่อยสลายหมดในวันที่ 12 ของการทดลอง (ภาพที่ 9)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 9 การย่อยสลายตามธรรมชาติของแผ่นกระดาษกรองที่วางบนดิน ผ่านการรดน้ำทุกวัน ใน (ก) วันแรก (ข) วันที่ 10 และ (ค) วันที่ 12

เมื่อทำเปรียบเทียบการย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศจากเส้นใยโพลีโพรพิลีนหรือโพลีเอสเตอร์กับแผ่นกรองอากาศไฟเบอร์กลาส โดยการฝังลงในดิน แล้วรดน้ำ พบว่าแผ่นกระดาษมีการย่อยสลายตามที่คาดไว้ คือ มีการย่อยสลายได้ดีภายในสัปดาห์ แต่ไฟเบอร์กลาสไม่มีการเปลี่ยนแปลงภายในระยะเวลาของการทดลอง คือสองเดือน (**ภาพที่ 9**) ตัวองค์ประกอบแผ่นกรองชนิด HEPA ที่เป็นไฟเบอร์กลาส จะไม่ย่อยสลายเองตามธรรมชาติ (ผลไม่ได้แสดง) และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการย่อยสลายเมื่อวางแผ่นกรองบนดินและในดิน พบว่าการวางในดินจะมีการย่อยสลายที่ดีกว่าการวางบนดิน (**ภาพที่ 9 และ 10**) แต่ไฟเบอร์กลาสที่เป็น แม้ไว้นานเกินสองเดือน



ภาพที่ 10 การย่อยสลายของแผ่นกรองอากาศจากแผ่นกระดาษกรอง (ซ้าย) และ ไฟเบอร์กลาส (ขวา) เมื่อฝังในดิน เป็นเวลานานมากกว่าสองเดือน

4. บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการใช้แผ่นกรองกระดาษจากกระดาษที่นำมาต่อกันจนได้แผ่นกรองอากาศ เพื่อใช้ในการกรองอากาศชนิด PM 2.5 4 10 และฝุ่นทั่วไป โดยการเลือกใช้เส้นใยใบพืชจากใบไผ่ หรือใบอ้อย ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อให้เกิดมูลค่า พบว่าเมื่อทำกระดาษมาต่อกันด้วยการร้อยเพื่อเป็นแผ่นกรองอากาศที่ใช้เส้นใยชนิดที่มีทั้งขนาดหยาบและละเอียดปนกัน สามารถดักจับฝุ่นได้ดีโดยสามารถดักจับฝุ่นได้ดีในระยะเวลา 3 ชั่วโมงอย่างต่ำ โดยมีความสามารถในการดักจับฝุ่นได้ดี

ด้วยความสามารถที่ย่อยสลายได้ดีของกระดาษที่ได้จากเส้นใยใบไผ่และใบอ้อย พบว่ากระดาษสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เมื่อทำการรดน้ำทุกเช้าลงบนดินที่มีแผ่นกระดาษกรองที่ฝังในดินที่จะย่อยสลาย 3 วัน และสามารถย่อยสลายได้หมดภายใน 12 วันเมื่อวางอยู่บนดิน จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพแบบฝังดินดีกว่าบนหน้าดิน ซึ่งด้วยการศึกษาจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพราะการใช้แผ่นกรองกระดาษเป็นแผ่นกรองชั้นในสามารถช่วยทดแทนการเลือกใช้ HEPA ที่เป็นแผ่นกรองไฟเบอร์กลาสแผ่นกรองชั้นในของเครื่องฟอกอากาศทั่วไป การเลือกใช้เส้นใยใบพืชที่เลือกจากการศึกษานี้ที่ใช้ตัวอย่างเส้นใยจากใบไผ่ อ้อย กล้วย ฯลฯ ยังสามารถนำไปสู่การพัฒนาการประยุกต์ใช้ได้ ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ของเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีอยู่ในแถบนั้น ๆ ทั้งนี้แม้อายุการใช้งาน และประสิทธิภาพของกระดาษคาดว่าจะน้อยกว่าไฟเบอร์กลาส โดยกระดาษที่ได้จำเป็นต้องมีการทดสอบอายุในการใช้งานต่อไป พร้อมทั้งนี้ทีมผู้วิจัยได้มีความต้องการพัฒนาการเคลือบแผ่นกระดาษของแผ่นกรองอากาศ ที่มาจากเส้นใยใบไผ่ดังกล่าวด้วย สารสกัดที่สมุนไพรรธรรมชาติ ที่มีศักยภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคที่เป็นอันตรายกับอากาศได้ต่อ นวัตกรรมที่ได้จะเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องกรองอากาศจากกระดาษที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีศักยภาพในการกำจัดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในอากาศและฝุ่น PM 2.5

5. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณทุนโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรณิศ สุสวัสดิ์ 2562. กระดาษจากใบไผ่ของเหลือใช้ที่มีมูลค่า นักวิจัยมทร.ธัญบุรี. (ออนไลน์) เข้าถึงจาก : <https://stock.newsplus.co.th/178553>, 11 กุมภาพันธ์ 2564.
- [2] กนต์ สอนสิงห์ และพฤกษ์ แสงอรุณ 2562. แผ่นกรองอากาศจากเส้นใยผักตบชวาเพื่อกรองฝุ่นละอองและยับยั้งแบคทีเรียในอากาศ. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : <https://www.nstda.or.th/sims/login/index.php?class=AbstractProposalView&id=5577>, 17 กุมภาพันธ์ 2564.
- [3] บุชรา สร้อยระย้า. 2551. “การพัฒนากระดาษจากใบอ้อยด้วยมือแบบไทย เพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [4] วิชัย หลุทัยธนาสันต์. 2551. “การผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษด้วยมือแบบไทยจากใบอ้อย เพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์”. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] J. A. Plant, A. Korre, S. Reeder, B. Smith, and N. Voulvoulis. 2013. Chemicals in the environment: implications for global sustainability. Applied Earth Science: Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B 114: 65-97.
- [6] M. H. Chua, W. Cheng, S. S. Goh, et.al. Face Masks in the New COVID-19 Normal: Materials, Testing, and Perspectives. Research (Wash D C). 2020; 2020: 7286735.
- [7] C. Liu, P. C. Hsu, P. C. Hsu, H. W. Lee, et al. 2015. Transparent air filter for high-efficiency PM2.5 capture. Nature Communications 6(1): 6205

**ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ ของบุคลากรสายวิชาการ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**
**Factors influencing on promoting higher academic positions among academic
staffs of Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of
Technology Phra Nakhon**

ธนาพร บุญชู¹ และ ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์^{2*}

¹หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²หมวดวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*Email: chanwit.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการของคณาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งประกอบไปด้วย 5 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ และสาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ SWOT Analysis พบว่า จุดแข็งที่สำคัญ คือ ความก้าวหน้าในอาชีพอาจารย์ การพัฒนาศักยภาพด้านความรู้ของตนเองเพิ่มขึ้น และความมีชื่อเสียง จุดอ่อนที่สำคัญ คือ ไม่เข้าใจวิธีการเขียนเอกสารประกอบการสอน ไม่มีเวลา และไม่มีหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจ โอกาสที่สำคัญ คือ เกณฑ์บังคับของ มหาวิทยาลัย คณะมีเงินประจำตำแหน่งทางวิชาการตอบแทน และสิทธิอื่นๆจากตำแหน่งทางวิชาการ อุปสรรคที่สำคัญ คือ ขาดงบประมาณในการทำวิจัย คณะไม่มีเจ้าหน้าที่ให้คำปรึกษาเฉพาะด้าน และคณะปรับเปลี่ยนเกณฑ์การประเมินบ่อยครั้ง ผู้วิจัยได้นำผลจากการวิเคราะห์ SWOT analysis มาจับกลุ่มหาความสัมพันธ์ด้วยเครื่องมือ TOWS Matrix โดยวิเคราะห์ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบเมตริกซ์ เพื่อกำหนดกลยุทธ์ประเภทต่างๆ เพื่อนำเสนอแนะผลของการศึกษาในการกำหนดนโยบาย เพื่อการช่วยเหลือ สนับสนุน และผลักดันให้คณาจารย์ของคณะมีศักยภาพ สามารถยื่นขอกำหนดตำแหน่งทางวิชาการต่อไป

คำสำคัญ : ตำแหน่งทางวิชาการ การวิเคราะห์ SWOT การวิเคราะห์ TOWS Matrix

Abstract

The objective of this research is to study the factors affecting the academic position of faculty members of the faculty of science and technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon which consists of 5 divisions; Division of Environmental Science and Technology, Division of Industrial Materials Science, Division of Computer Science, Division of Science and Division of Mathematics and Statistics. By using SWOT Analysis tools, it is found that the main strengths are the progress in the professions, increasing of the development of their knowledge potential and fame. The main weakness is the lack of understanding of how to write teaching documents, lack of time, and lack of interesting research topics. An opportunity is the mandatory criteria of the university. The faculty has financial support for academic positions and other rights from academic positions. The threat is the lack of research budget. The faculty does not have specialized counseling officers and frequently change the assessment criteria. We use the results of the SWOT analysis to group relationships with the TOWS Matrix tool, analyzed in the form

of a matrix relationship to define different types of strategies, to suggest the results of the study in formulating policies to help support and encourage faculty members of the faculty that can further be determined for academic.

Keywords: academic position, SWOT analysis, TOWS Matrix

1. บทนำ

จากผลการสำรวจจำนวนคณาจารย์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งประกอบไปด้วย 5 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และสาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ พบว่าจำนวนบุคลากรที่มีการดำรงตำแหน่งทางวิชาการยังมีจำนวนไม่มากคิดเป็นร้อยละ 32 ของจำนวนคณาจารย์ทั้งหมด และอยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณาคิดเป็นร้อยละ 13 ของจำนวนคณาจารย์ทั้งหมด ดังนั้น การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขอตำแหน่งตำแหน่งทางวิชาการของคณาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงจัดเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะศึกษา เพื่อรวบรวมผลการศึกษาดังกล่าวในการกำหนดนโยบายของคณะ ก่อให้เกิดการช่วยเหลือ สนับสนุน และผลักดันให้คณาจารย์ของคณะให้มีศักยภาพเพิ่มขึ้น สร้างความก้าวหน้าในสายอาชีพของตนเอง ตลอดจนเป็นประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัย ในการสร้างศักยภาพและสร้างชื่อเสียงด้านการวิจัย ตามเป้าประสงค์ที่ 6.4 การพัฒนาระบบบริหารจัดการกำลังคนและพัฒนาบุคลากรภาครัฐในการปฏิบัติราชการและมีความเป็นมืออาชีพ ภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขอตำแหน่งตำแหน่งทางวิชาการของคณาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และเพื่อใช้ผลของการศึกษาในการกำหนดนโยบายเพื่อการช่วยเหลือ สนับสนุน และผลักดันให้คณาจารย์สามารถขอตำแหน่งทางวิชาการได้อย่างเป็นรูปธรรม อันจะนำไปสู่การวางแผนการกำหนดนโยบายของคณะ เพื่อมุ่งเน้นการเพิ่มศักยภาพของคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ก่อให้เกิดการช่วยเหลือ สนับสนุน และผลักดันให้คณาจารย์ของคณะสามารถขอตำแหน่งตำแหน่งทางวิชาการของคณาจารย์ได้อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งเป็นการสร้างชื่อเสียงด้านงานวิจัยและเพิ่มจำนวนสัดส่วนคณาจารย์ที่มีตำแหน่งทางวิชาการให้แก่มหาวิทยาลัย

เทคนิคการวิเคราะห์ SWOT ถูกนำมาใช้วิเคราะห์อย่างแพร่หลายเป็นเวลานาน เนื่องจากเป็นเทคนิคที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ด้านต่างๆ มากมาย แต่อย่างไรก็ตาม SWOT ถูกมองว่าทำให้โอกาสผิดพลาดไม่น้อย เนื่องจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ ทักษะ ประสบการณ์ และความรู้ความเข้าใจในพื้นฐานของ SWOT ของผู้วิเคราะห์ ต้องทำการทบทวน SWOT เป็นระยะๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ในปัจจุบัน (ชูเพ็ญ วิบูลสันติ, 2551) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้ SWOT เช่น ความเฉพาะเจาะจงของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ผลิตภัณฑ์ นโยบายที่เกี่ยวข้อง และอื่นๆ (Piercy and Giles, 1989) การตลาดต่อกลุ่มลูกค้าที่แตกต่างกัน (Gramlich, 1994) การศึกษาความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ชุดประเภทสายไฟรถยนต์ในประเทศไทยก่อนเข้าสู่ประชาคมอาเซียน (พินิตา ศรีสว่าง, 2558) และกลยุทธ์การตลาดของสมาร์ตโฟนยี่ห้อ vivo ในเขตภาคตะวันออกเฉียง (รุ่งรัตน์ ออมประดิษฐ์กุล, 2558) เป็นต้น

TOWS Matrix จัดเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการสร้างตัวเลือกเชิงกลยุทธ์ โดยการเลือกใช้ทางถูกเลือกจากช่องที่ได้เปรียบ อันเป็นช่องทางที่จะลดความอ่อนแอ หรือภัยคุกคามจากภายนอก ด้วยการวางแผนกลยุทธ์ป้องกัน ถ้ามีการเลือกข้อมูลที่จะนำมาใช้ได้อย่างถูกต้องและเชื่อถือได้ รวมทั้งนำข้อมูลที่วิเคราะห์ทั้งหมดไปปฏิบัติจริงเพื่อหาความเป็ยเบน และวิเคราะห์ผลกระทบทั้งทางด้านบวกและลบ นำข้อมูลมาปรับปรุงทุกๆ ช่วงเวลาที่สถานการณ์มีเปลี่ยนแปลง (Management KW Website, 2557)

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample size) จัดเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้วิจัยต้องกำหนดให้เหมาะสม เนื่องจากขนาดของกลุ่มตัวอย่างจัดเป็นตัวแทนของประชากรที่ทำการศึกษาทั้งหมด ดังนั้นเพื่อช่วยให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือจึงมีผู้เสนอแนวทางการกำหนดตัวอย่างไว้หลายวิธี เช่น การกำหนดเกณฑ์ การใช้ตารางสำเร็จรูป การใช้สูตรคำนวณ เป็นต้น

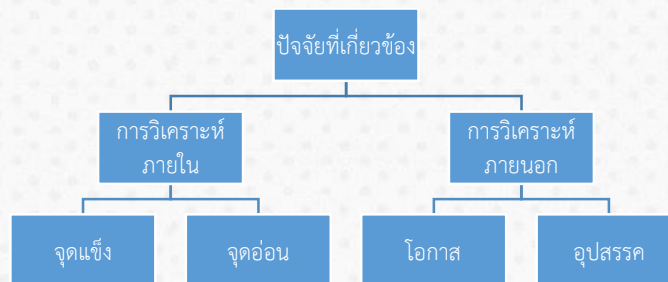
การศึกษาในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการใช้สูตรคำนวณของทาโร ยามาเน (Yamanae, 1973) ซึ่งจะใช้จำนวนประชากรทั้งหมด (N) และกำหนดระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ (e) ส่วนใหญ่มักจะใช้ค่ายอมรับความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างที่ 5% หรือ 0.05 โดย

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

เมื่อ n แทนขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
 N แทนขนาดของประชากร
 e แทนความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

2.2 การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในและภายนอก

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในและภายนอก (SWOT Analysis) เป็นการวิเคราะห์เพื่อค้นหาจุดแข็ง จุดเด่น จุดด้อย หรือสิ่งที่เป็นอุปสรรคสำคัญในการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการตัดสินใจลงทุนหรือวางยุทธศาสตร์หนึ่งขององค์กรเพื่อความเหมาะสมต่อไป



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ SWOT Analysis

การศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้นำเครื่องมือการวิเคราะห์ SWOT เพื่อเป็นการศึกษาปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการขอทุนกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ ประกอบไปด้วยจุดแข็ง (Strength) คือ ข้อได้เปรียบของที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในส่งผลทำให้เกิดการบรรลุเป้าหมาย จุดอ่อน (Weakness) คือ ข้อเสียเปรียบหรือปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดมาจากสภาพแวดล้อมภายในอันส่งผลกระทบต่อทำการบรรลุเป้าหมาย ซึ่งเป็นสิ่งที่จะต้องหาวิธีแนวทางการแก้ไขปัญหา โอกาส (Opportunity) คือ ความเป็นไปได้ อันหมายถึงสภาพแวดล้อมภายนอกเอื้อประโยชน์ต่อตัดสินใจ อุปสรรค (Threats) คือ ความเสี่ยง ภัยคุกคาม ข้อจำกัด หรืออุปสรรคต่างๆ อันมาจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ส่งผลเสียต่อการบรรลุเป้าหมาย (เอกกมล เอี่ยมศรี, 2554)

TOWS Matrix เป็นเครื่องมือที่ใช้การวิเคราะห์ในรูปแบบความสัมพันธ์แบบเมตริกซ์ (Metrix) โดยนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ SWOT Analysis เพื่อกำหนดออกมาเป็นกลยุทธ์ประเภทต่างๆ ซึ่งจากผลการศึกษาจะสามารถระบุสถานการณ์และวิเคราะห์ได้ว่าเรากำลังเผชิญสถานการณ์เช่นใดและภายใต้สถานการณ์นั้น ควรจะอย่างไร มีรูปแบบ 4 รูปแบบดังนี้

- 1) กลยุทธ์เชิงรุก (SO Strategies) ได้มาจากการนำข้อมูลการประเมินจุดแข็งและโอกาส
- 2) กลยุทธ์เชิงป้องกัน (ST Strategies) ได้มาจากการนำข้อมูลการประเมินจุดแข็งและอุปสรรค
- 3) กลยุทธ์เชิงแก้ไข (WO Strategies) ได้มาจากการนำข้อมูลการประเมินจุดอ่อนและอุปสรรค
- 4) กลยุทธ์เชิงรับ (WT Strategies) ได้มาจากการนำข้อมูลการประเมินจุดอ่อนและโอกาส

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำวิจัยของบุคลากรสายวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ใช้กรอบการวิจัยดังนี้

1. การเก็บข้อมูลเบื้องต้น
 - สำรวจจำนวนอาจารย์ แยกตามสาขาวิชา และสถานะการดำรงตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
2. การเก็บข้อมูลเชิงลึก
 - ออกแบบแบบสอบถาม
 - ศึกษาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
 - สำรวจโดยการใช้แบบสอบถามและการสัมภาษณ์
3. การวิเคราะห์ข้อมูล
 - แบ่งกลุ่มตามสถานะการขอผลงานทางวิชาการจากผลสำรวจ
 - วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้
 - จัดกลุ่มปัจจัยตามหลัก SWOT Analysis
 - ให้คะแนนความสำคัญแต่ละปัจจัย
 - คัดเลือก 3 ปัจจัยที่สำคัญในแต่ละกลุ่ม
4. การประเมินผล
 - วิเคราะห์ TOWS matrix
 - เสนอแนะแนวทางและกลยุทธ์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การประเมินสถานการณ์เบื้องต้น

จำนวนคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งประกอบไปด้วย 5 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และสาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ ประกอบไปด้วยคณาจารย์ 65 คน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครแยกตามสาขาวิชา

| สาขาวิชา | จำนวนคณาจารย์ (คน) | | |
|--|--------------------|--------------------|-----|
| | ข้าราชการ | พนักงานมหาวิทยาลัย | รวม |
| สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ | 3 | 7 | 10 |
| สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ | 10 | 3 | 13 |
| สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม | - | 6 | 6 |
| สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ | 8 | 5 | 13 |
| สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ | 16 | 5 | 23 |
| รวม | 37 | 28 | 65 |

จากข้อมูล ณ วันที่ 21 กันยายน พ.ศ.2562 จำนวนของคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร รวมทั้งสิ้น 65 คน (รวมลาศึกษาต่อจำนวน 3 คน) พบว่า มีข้าราชการจำนวน 37 คน และพนักงานมหาวิทยาลัยจำนวน 28 คน ซึ่งจากการสำรวจพบว่าคณาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประกอบด้วย

อาจารย์ที่จบวุฒิการศึกษาปริญญาโทจำนวน 37 คน (ร้อยละ 57) และปริญญาเอกจำนวน 28 คน (ร้อยละ 43) ทั้งนี้พบว่าจำนวนบุคลากรที่มีการดำรงตำแหน่งทางวิชาการยังมีจำนวนไม่มากจำนวน 21 คน (ร้อยละ 32) และอยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณาจำนวน 9 คน (ร้อยละ 13) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถานะของคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ต่อการกำหนดตำแหน่งทางวิชาการ

| สาขาวิชา | ดำรงตำแหน่ง | | | กำลังรอผลการกำหนดตำแหน่ง | | |
|--|-------------|-----|----|--------------------------|-----|----|
| | ผศ. | รศ. | ศ. | ผศ. | รศ. | ศ. |
| สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ | 5 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ | 11 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| รวม | 21 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 |

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณจากสูตรคำนวณของทาร์โย ยามาเน่ โดยใช้ค่ายอมรับความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างที่ 0.05 ดังแสดงในสมการที่ 1

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

เมื่อ

ค่าที่ใช้ในการคำนวณ

| | | |
|-----|---|------|
| n | ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง | |
| N | ขนาดของประชากร (ไม่นับอาจารย์ที่ลาศึกษาต่อ) | 62 |
| e | ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ | 0.05 |

จากการคำนวณในสมการ (1) พบว่า ขนาดกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยที่เหมาะสมคือ 54

3.2 การออกแบบแบบสอบถาม

การออกแบบแบบสอบถามสำหรับงานวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและนำไปวิเคราะห์หาจุดอ่อน จุดแข็ง โอกาส และอุปสรรคต่อการยื่นขอตำแหน่งทางวิชาการของคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนำไปสู่การกำหนดนโยบายของคณะ เพื่อให้เกิดการช่วยเหลือ สนับสนุน และผลักดันให้คณาจารย์ของคณะมีศักยภาพ สามารถยื่นขอตำแหน่งทางวิชาการต่อไป และแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ ตำแหน่ง ตำแหน่งทางวิชาการ อายุ ประสบการณ์ทำงาน ระดับการศึกษา
- ส่วนที่ 2 ข้อมูลเฉพาะด้านการขอตำแหน่งทางวิชาการ โดยจะสอบถามสถานะของการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ ซึ่งประกอบไปด้วย 3 สถานะ ได้แก่

- ไม่สนใจยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
- อยู่ระหว่างการดำเนินการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
- ยื่นขอแล้ว อยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณาการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ

ทั้งนี้ส่วนที่ 2 คำถามเฉพาะประเด็นข้อมูลเฉพาะด้านการขอตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ศึกษางานวิจัยได้สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์ประเด็นในแบบสอบถามเพื่อความสะดวกของแบบสอบถามก่อนการนำไปใช้จริง

3.3 ผลการสำรวจโดยแบบสอบถาม

จากการสำรวจโดยแบบสอบถามไปด้วยผู้ตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 54 คน ประกอบไปด้วย ผู้ที่ไม่สนใจยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการจำนวน 10 คน ผู้ที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการจำนวน 38 คน และผู้ที่ยื่นขอแล้ว อยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณาการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการจำนวน 6 คน

3.3.1 ผู้ที่ไม่สนใจยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ

จากการวิเคราะห์ผลของแบบสอบถามของคณาจารย์ผู้ที่ไม่สนใจยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการสามารถวิเคราะห์สาเหตุได้ดังนี้

- อยู่ในช่วงใกล้เกษียณอายุราชการจึงไม่มีความสนใจในการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
- ไม่มีแรงจูงใจในการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
- ไม่มีเวลาในการทำผลงานประกอบการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ โดยเฉพาะปัจจัยด้านงานวิจัยเป็นหลัก รองลงมาคือตำรา/หนังสือ
- ขาดงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย และหลายโครงการได้รับเงินสนับสนุนไม่เพียงพอสำหรับงานวิจัยในระดับสูง ทำให้ผลงานที่ได้จากงานวิจัยนั้นไม่สามารถนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ได้ในระดับที่ดี
- มีปัญหาส่วนตัว เช่น ปัญหาด้านสุขภาพ

3.3.2 ผู้ที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ

จากการวิเคราะห์ผลของแบบสอบถามของคณาจารย์ผู้ที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ ซึ่งหมายถึงกำลังอยู่ในระหว่างการรวบรวมผลงานต่างๆ โดยสามารถวิเคราะห์สถานการณ์ได้ดังนี้

- มีโครงการวิจัยที่ทำสำเร็จลุล่วงแล้ว แต่ยังไม่ตีพิมพ์เผยแพร่
- ไม่เข้าใจวิธีการเขียนเอกสารประกอบการสอนที่ถูกต้องตามหลัก ทำให้การเขียนเอกสารล่าช้า ซึ่งอาจารย์หลายท่านมีประเด็นปัญหาเกี่ยวกับรูปแบบของเอกสารประกอบการสอนที่เคร่งครัดเกินไป
- ไม่มีเวลาสำหรับทำงานวิจัย การจัดทำเอกสารประกอบการสอน เนื่องจากมีภาระงานมากเกินไปทั้งภาระงานสอน การเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และงานบริการทางวิชาการ
- ขาดงบประมาณสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย
- ไม่มีเจ้าหน้าที่ให้คำปรึกษาเฉพาะด้าน ในกระบวนการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
- ยังไม่สามารถกำหนดหัวข้อวิจัยที่เหมาะสมเพื่อขอทุนสนับสนุนในการทำวิจัยได้
- มีการปรับเปลี่ยนเกณฑ์การประเมินบ่อยครั้ง ทำให้ไม่สามารถปรับตัวได้ทัน
- ขาดแรงจูงใจในการทำผลงาน
- ไม่มีความชำนาญในด้านการทำงานวิจัย

โดยผู้กรอกแบบสอบถามต้องการให้คณะสนับสนุนในด้านต่างๆ ดังนี้

- มีการจัดตั้งหน่วยงานสำหรับพิมพ์และจัดจำหน่ายเอกสารประกอบการสอน ตำรา และหนังสือ ซึ่งอาจารย์ของคณะมีหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลและเขียนหนังสือให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ มีการส่งมอบให้โรงพิมพ์ของมหาวิทยาลัย/คณะ เพื่อจัดทำรูปเล่มตามหลักการเขียนหนังสือ มีการตรวจทานและช่วยสนับสนุนการออกแบบรูปเล่ม โดยมหาวิทยาลัย/คณะสามารถตีพิมพ์เพื่อจัดจำหน่าย เพื่อนำรายได้เข้าสู่ส่วนกลางได้ ในขณะที่อาจารย์สามารถใช้ผลงานดังกล่าวขอผลงานทางวิชาการได้เช่นกัน

- ต้องการให้ทางผู้ตรวจเอกสารประกอบคำสอนลดความยุ่งยากในการส่งเอกสาร และความเข้มข้นในการประเมิน
- ต้องการให้สนับสนุนงบประมาณสำหรับงานวิจัยที่มากพอ เนื่องจากปัจจุบันงบประมาณที่มีอยู่ไม่สามารถสนับสนุนงานวิจัยที่มีประสิทธิภาพสูงได้ ทำให้คุณภาพของการผลงานการตีพิมพ์ที่เผยแพร่จึงจัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ
- ต้องการสนับสนุนในการจัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัย โดยหลายๆ หลายวิจัยมีงบประมาณไม่เพียงพอในการจัดซื้อ หรืออาจารย์บางท่านไม่ได้รับเงินสนับสนุน จึงอยากให้มีวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และอื่นๆ ส่วนกลางสำรอง
- ต้องการเจ้าหน้าที่เฉพาะในการตรวจสอบรูปเล่มเอกสารก่อนการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
- ปรับชั่วโมงภาระงานด้านการสอนให้ลดลง เพื่อเน้นงานวิจัยให้มากขึ้น
- มีรายการตรวจเช็คลำดับขั้นตอนการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการพร้อมทั้งเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อสามารถตรวจสอบสถานการณ์ดำเนินงานและรายการที่ขาดตกบกพร่องเพื่อประกอบการยื่นขอ
- ต้องการพี่เลี้ยง เพื่อช่วยสนับสนุน ให้คำปรึกษาแนะนำ สำหรับการทำงานวิจัย
- ต้องการให้คณะจัดหลักสูตรอบรมในการขอตำแหน่งทางวิชาการ
- ต้องการให้คณะสนับสนุนงบประมาณ/ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบภาษาอังกฤษสำหรับการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย
- ต้องการให้ผู้เชี่ยวชาญ/ผู้ที่เข้าใจระบบการสอบของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นผู้ประเมินเอกสารประกอบคำสอนมากกว่าตัวแทนจากมหาวิทยาลัย/หน่วยงานอื่นซึ่งไม่รู้หรือเข้าใจระบบที่ชัดเจน

3.3.3 ผู้ที่ยื่นขอแล้วและอยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณาการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ

จากการวิเคราะห์ผลของแบบสอบถามของคณาจารย์ผู้ที่ยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการแล้ว และอยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณาการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ โดยสาเหตุหลักของการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการคือ เกณฑ์บังคับของมหาวิทยาลัย ต้องการความก้าวหน้าในอาชีพอาจารย์ เงินประจำตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นสิทธิอื่นๆจากตำแหน่งทางวิชาการ และการพัฒนาศักยภาพด้านความรู้ ความเชี่ยวชาญ โดยผู้กรอกแบบสอบถามในหัวข้อนี้รอผลการพิจารณามาแล้วไม่น้อยกว่า 10 เดือนหลังจากการยื่นขอตำแหน่ง โดยมีเพียงบางท่านได้รับแจ้งความคืบหน้าเกี่ยวกับสถานะของผลการพิจารณา ในขณะที่บางท่านไม่พึงพอใจที่ไม่ได้รับการตอบกลับถึงสถานะความคืบหน้าใดๆ ทั้งนี้ปัญหาสำคัญอีกอย่างหนึ่งคือความเข้าใจของเจ้าหน้าที่คณะที่ให้ข้อมูลในด้านกระบวนการพิจารณาการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ สามารถวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ซึ่งอยู่ในขั้นตอนนี้ได้ คือ

- ขาดการแจ้งความคืบหน้า/สถานะภาพของการดำเนินงาน
 - ผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจสอบเอกสารมีความเชี่ยวชาญไม่ตรงกับสาขาที่ส่งผลงานในการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ
 - มีเวลาการทำงานวิจัยน้อย ทำให้การขอผลงานล่าช้า
- โดยผู้กรอกแบบสอบถามต้องการให้คณะสนับสนุนในด้านต่างๆ ดังนี้
- ต้องการให้มีการแจ้งสถานะความคืบหน้าทุกๆ 3 เดือน
 - จัดให้มีการอบรมการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ โดยมีการบังคับเข้าร่วมอบรมสำหรับคณาจารย์ทุกคนในคณะ
 - จัดผู้ทรงคุณวุฒิให้ตรงกับสาขาที่ส่งผลงานในการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ อีกทั้งผู้ทรงคุณวุฒิควรมาจากภายนอกมหาวิทยาลัย

3.4 ผลการวิเคราะห์ SWOT analysis

ผู้ทำการวิจัยทำการรวบรวมผลจากแบบสอบถามเพื่อกำหนดกลุ่มและความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้นจำนวน 22 ปัจจัย ซึ่งการให้ความสำคัญต่อกลุ่มจะสอบถามจากผู้กรอกแบบสอบถามบางส่วนและสัมภาษณ์ โดยความสำคัญต่อกลุ่มจะให้คะแนนดังนี้

| | | | |
|-------------------------|-------------|---|-------|
| ความสำคัญต่อกลุ่มสูงมาก | ได้รับคะแนน | 5 | คะแนน |
| ความสำคัญต่อกลุ่มสูง | ได้รับคะแนน | 4 | คะแนน |
| ความสำคัญต่อกลุ่มกลาง | ได้รับคะแนน | 3 | คะแนน |
| ความสำคัญต่อกลุ่มต่ำ | ได้รับคะแนน | 2 | คะแนน |
| ความสำคัญต่อกลุ่มต่ำมาก | ได้รับคะแนน | 1 | คะแนน |

การคำนวณจะนำเอาคะแนนจากความสำคัญต่อกลุ่มมาคูณกับจำนวนครั้งที่พบในแบบสอบถาม เพื่อจะได้ผลคะแนนรวม นำไปวิเคราะห์ในลำดับถัดไป ผลการคัดเลือกปัจจัยได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดกลุ่มและความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการยื่นขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการของคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

| ปัจจัย | กลุ่ม | | | | ความสำคัญต่อกลุ่ม | | | | | จำนวนครั้งที่พบ | คะแนน |
|---|-------|---|---|---|-------------------|-----|------|-----|--------|-----------------|-------|
| | S | W | O | T | สูงมาก | สูง | กลาง | ต่ำ | ต่ำมาก | | |
| 1. ความก้าวหน้าในอาชีพอาจารย์ | X | | | | X | | | | | 3 | 160 |
| 2. คณะมีเงินประจำตำแหน่งทางวิชาการตอบแทน | | | X | | X | | | | | 4 | 200 |
| 3. กำลังจะเกษียณอายุราชการ | | X | | | | | | X | | 5 | 10 |
| 4. เกณฑ์บังคับของมหาวิทยาลัย | | | X | | X | | | | | 4 | 225 |
| 5. ไม่มีเวลา | | X | | | | X | | | | 4 | 160 |
| 6. ไม่มีตัวอย่างการเขียนเอกสารประกอบการสอน | | | | X | | | X | | | 7 | 21 |
| 7. ปัญหาส่วนตัวอื่นๆ | | X | | | | | | X | | 2 | 4 |
| 8. มีชื่อเสียง | X | | | | | | X | | | 2 | 81 |
| 9. ขาดงบประมาณในการทำวิจัย | | | | X | X | | | | | 5 | 250 |
| 10. ผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจผลงานไม่ตรงตามสาขาเฉพาะ | | | | X | X | | | | | 5 | 25 |
| 11. ความกดดันจากเพื่อนร่วมงาน | X | | | | | | X | | | 2 | 60 |
| 12. ไม่มีหัวข้อวิจัยที่ดีพอ | | X | | | | X | | | | 3 | 136 |
| 13. คณะปรับเปลี่ยนเกณฑ์บ่อยครั้ง | | | | X | X | | | | | 3 | 160 |
| 14. ได้รับเงินจากการตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการ | | | X | | | X | | | | 2 | 108 |
| 15. มีภาระงานสอนมากเกินไป | | X | | | | X | | | | 2 | 80 |
| 16. คณะไม่มีเจ้าหน้าที่ให้คำปรึกษาเฉพาะด้าน | | | | X | X | | | | | 4 | 235 |
| 17. ไม่เข้าใจวิธีการเขียนเอกสารประกอบการสอน | | X | | | X | | | | | 3 | 175 |
| 18. เขียนผลงานทางวิชาการยาก เพราะไม่เก่ง | | X | | | | X | | | | 3 | 120 |
| 19. ได้สิทธิพิเศษอื่นๆ จากตำแหน่งทางวิชาการ | | | X | | | X | | | | 3 | 128 |

| ปัจจัย | กลุ่ม | | | | ความสำคัญต่อกลุ่ม | | | | | จำนวนครั้งที่พบ | ประเภท |
|--|-------|---|---|---|-------------------|-----|------|-----|--------|-----------------|--------|
| | S | W | O | T | สูงมาก | สูง | กลาง | ต่ำ | ต่ำมาก | | |
| 20. ไม่มีความชำนาญในการทำวิจัย | | X | | | | | X | | | 1 | 45 |
| 21. เป็นการพัฒนาศักยภาพด้านความรู้ของตนเอง | X | | | | X | | | | | 2 | 140 |
| 22. คณะตั้งเกณฑ์ประเมินการสอนไม่ตรงตามประกาศของมหาวิทยาลัย | | | | X | | X | | | | 1 | 4 |

4. บทสรุป

4.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสำรวจคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในปี พ.ศ. 2562 (ณ วันที่ 21 กันยายน พ.ศ.2562) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และสาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ มีอาจารย์ทั้งสิ้น 65 คน ซึ่งลาศึกษาต่อจำนวน 3 คน มีอาจารย์ดำรงตำแหน่งทางวิชาการ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จำนวน 21 คน และอยู่ในระหว่างการรอผลการพิจารณา 9 คน ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยด้วยวิธีของทาโร ยามาเน่ พบว่า ขนาดกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัยที่เหมาะสมคือ 54 จึงทำการออกแบบแบบสอบถามเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ SWOT analysis หาจุดอ่อน จุดแข็ง โอกาส และอุปสรรคต่อการยื่นขอตำแหน่งทางวิชาการ เพื่อนำผลดังกล่าวไปกำหนดนโยบายของคณะ เพื่อให้เกิดการช่วยเหลือ สนับสนุน และผลักดันให้คณาจารย์ของคณะมีศักยภาพ สามารถยื่นขอตำแหน่งทางวิชาการต่อไป โดยผลการวิเคราะห์พบว่าจุดแข็งที่สำคัญ คือ ความก้าวหน้าในอาชีพอาจารย์ การพัฒนาศักยภาพด้านความรู้ของตนเองเพิ่มขึ้น และความมีชื่อเสียง จุดอ่อนที่สำคัญ คือ ไม่เข้าใจวิธีการเขียนเอกสารประกอบการสอน ไม่มีเวลา และไม่มีหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจ โอกาสที่สำคัญ คือ เกณฑ์บังคับของมหาวิทยาลัย คณะมีเงินประจำตำแหน่งทางวิชาการตอบแทน และสิทธิอื่นๆจากตำแหน่งทางวิชาการ อุปสรรคที่สำคัญ คือ ขาดงบประมาณในการทำวิจัย คณะไม่มีเจ้าหน้าที่ให้คำปรึกษาเฉพาะด้าน และคณะปรับเปลี่ยนเกณฑ์การประเมินบ่อยครั้ง

4.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวางกลยุทธ์การกำหนดนโยบายของคณะ

- 1) จัดโครงการประชาสัมพันธ์ให้แก่อาจารย์ เพื่อกระตุ้นให้อาจารย์เห็นความสำคัญและประโยชน์ที่จะได้รับจากการขอตำแหน่งทางวิชาการ
- 2) เพิ่มศักยภาพในการเข้าถึงแหล่งทุนจากภายนอกมหาวิทยาลัย โดยกำหนดเจ้าหน้าที่เฉพาะในการเป็นสมาชิกการรับข่าวสารจากแหล่งทุนต่างๆ รวมทั้งเข้าร่วมการอบรม หรือโครงการประชาสัมพันธ์เมื่อสถาบันทั้งภาครัฐและเอกชน โดยเจ้าหน้าที่ดังกล่าวมีหน้าที่ในการเผยแพร่ข้อมูลและประชาสัมพันธ์ทุนให้แก่อาจารย์ในคณะ
- 3) มีช่องทางในการเข้าถึงแหล่งทุนเพิ่มเติม จัดทำอีเมลล์เพื่อแจ้งข่าวสารทุนและแจ้งเตือนเมื่อใกล้หมดเวลา
- 4) คณะควรส่งเสริมการทำวิจัยร่วมกับหน่วยงานภายนอกมหาวิทยาลัยทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อให้เกิดงานวิจัยที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และมีองค์ความรู้ใหม่ๆ เกิดขึ้น โดยการสนับสนุนทุนการวิจัยซึ่งมีข้อผูกมัดด้วยผลงานทางวิชาการในระดับที่ต่ำมาก รวมถึงส่งเสริมให้สร้างกลุ่ม/เครือข่ายงานวิจัยกับบุคคลภายนอกทุกสาขาวิชา
- 5) มีการจัดตั้งศูนย์ให้คำปรึกษาเฉพาะด้าน ในเรื่องการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ โดยมีระเบียบปฏิบัติที่เป็นมาตรฐาน มีเจ้าหน้าที่เฉพาะในการตรวจเอกสาร ให้คำแนะนำ โดยเจ้าหน้าที่แจ้งผลความคืบหน้าแก่อาจารย์ในทุกๆ 1 – 2 เดือน หรือจัดทำเว็บไซต์/แอปพลิเคชันเพื่อแสดงสถานะ ให้อาจารย์สามารถเข้าถึงได้ด้วยตัวเอง

6) จัดทำคู่มือการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ โดยมี check list เพื่อให้สามารถตรวจสอบความครบถ้วนของเอกสาร

7) จัดตั้งหน่วยงานสำหรับพิมพ์และจัดจำหน่ายเอกสารประกอบการสอน ตำรา และหนังสือ ซึ่งอาจารย์ของคณะมีหน้าที่ในการรวบรวมข้อมูลและเขียนหนังสือให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ มีการส่งมอบให้โรงพิมพ์ของมหาวิทยาลัย/คณะ เพื่อจัดทำรูปเล่มตามหลักการเขียนหนังสือ มีการตรวจทานและช่วยสนับสนุนการออกแบบรูปเล่ม โดยมหาวิทยาลัย/คณะสามารถตีพิมพ์เพื่อจัดจำหน่าย เพื่อนำรายได้เข้าสู่ส่วนกลางได้ ในขณะที่อาจารย์สามารถใช้ผลงานดังกล่าวขอผลงานทางวิชาการได้เช่นกัน

8) จัดตั้งศูนย์ตรวจสอบด้านภาษาอังกฤษ สำหรับการเขียนบทความทางวิชาการเพื่อตรวจสอบความถูกต้องทางไวยากรณ์ตามหลักวิชาการ (โดยมีการเก็บค่าใช้จ่ายเพื่อบำรุงคณะและจ้างที่ปรึกษาในการตรวจสอบบทความ)

9) มีงบประมาณสนับสนุนในการจัดซื้อวัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับ งานวิจัย เป็นของส่วนกลาง คณะ เพื่อให้อาจารย์บางท่านไม่ได้รับเงินสนับสนุนหรือได้รับเงินไม่เพียงพอ สามารถใช้วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และอื่นๆ เพื่อ งานวิจัยได้

10) มีการจัดอบรมหลักสูตรการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการปีละ 1 ครั้ง เพื่อให้อาจารย์ได้เข้าใจตรงกัน และเปิดโอกาสได้ซักถามจากผู้อบรมได้

11) การกำหนดผู้ทรงคุณวุฒิให้ตรงกับสาขาที่ส่งผลงานในการขอตำแหน่งผลงานทางวิชาการ เพื่อให้การประเมินถูกต้องตามหลักวิชาการของสาขานั้นๆ

12) ปรับชั่วโมงภาระงานด้านการสอนให้ลดลง เพื่อเน้นงานวิจัยให้มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

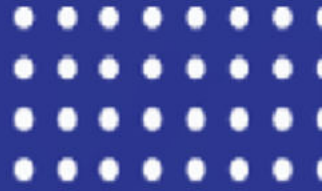
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชูเพ็ญ วิบูลสันติ. 2551. การวิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อน จุดด้อยโอกาส และอุปสรรค (ความเสี่ยง) ขององค์กร (SWOT Analysis). ค้นเมื่อ 14 สิงหาคม 2562, <https://www.pharmacy.cmu.ac.th>.
- [2] พนิดา ศรีสว่าง. 2558. การศึกษาความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ชุดประเภทสายไฟรถยนต์ในประเทศไทยก่อนเข้าสู่ประชาคมอาเซียน (AEC). การค้นคว้าอิสระ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] รุ่งรัตน์ อมรประดิษฐ์กุล. 2558. กลยุทธ์การตลาดของสมาร์ทโฟนยี่ห้อ vivo ในเขตภาคตะวันออก. งานนิพนธ์หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการธุรกิจโลก วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [4] เอกกมล เอี่ยมศรี. 2554. การวิเคราะห์ SWOT Analysis ค้นเมื่อ 13 สิงหาคม 2562, <http://oknation.nationtv.tv/blog/newmanagement/2011/05/27/entry-1>.
- [5] Gramlich, E.M. 1994. Infrastructure Investment: A Review Essay. Journal of Economic Literature. 32(3): 1176-1196.
- [6] Management KM Web. 2557. TOWS Matrix (Online) ค้นเมื่อ 18 กันยายน 2562, <http://www.drmanage.com>.
- [7] Piercy, N.F. and Giles, W. 1989. The Logic of Being Illogical in Strategic Marketing Planning. Journal of Marketing Management. 1: 19-31.
- [8] Yamane, Taro.1973. Statistics: An Introductory Analysis. Third editio. Newyork: Harper and Row Publication.



PROCEEDING BOOK



การประชุมวิชาการระดับชาติ
ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 4
“วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมสร้างสรรค์ เพื่อก้าวผ่านสถานการณ์ COVID-19”

The 4th National Conference on Science, Technology and Innovation:
Science, Technology and Innovation Creation for Conquering COVID-19

ncon-sci

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
วันจันทร์ที่ 30 สิงหาคม 2564