

ดินเหนียวประดิษฐ์เพื่อใช้ในการจำลองดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

An Artificial Clay For Simulating Soft Bangkok Clays

สายชล ชอบประดิษฐ์ กริชฤทธิ์ หยิบเจริญพร และ ก่อโชค จันทวารงูร

Saichon Choppradit, Kritrit Yibchalearnpron and Korchoke Chantawarungul

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Civil Engineering, Kasertsart University

บทคัดย่อ

ดินเหนียวประดิษฐ์ ที่ใช้ในแบบจำลองทางวิศวกรรมได้พัฒนาขึ้น โดยทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินขาว และเบentonite ให้มีสมบัติทางกายภาพ ใกล้เคียงดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ หลังจากนั้นทำการทดลองผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อปรับสมบัติทางด้านวิศวกรรม จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนผสม ที่เหมาะสมคือ ใช้ดินขาว 88% เบentonite 11% ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ III 1% และน้ำ 70% โดย น้ำหนัก ทำให้ดินเหนียวประดิษฐ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมใกล้เคียงกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

ABSTRACT

An artificial clay for engineering model was developed by trial mix of china clay and bentonite to simulate the physical properties of soft Bangkok clay. A small amount of Portland cement was added to modify the engineering properties. The experimental results indicated that the proportion of China clay 88%, bentonite 11%, Portland cement type III 1% and water content 70% by weight is suitable to give an artificial clay which has similar physical and engineering properties to soft Bangkok clays

บทนำ

การทดสอบโดยแบบจำลองทางวิศวกรรม เป็นวิธีการที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติ ทัศนวิสัย และวิเคราะห์พฤติกรรม ในวิชากลศาสตร์ดิน ที่ได้มีการพิสูจน์ และยอมรับกันแล้วว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่บ่อยครั้งการทดสอบโดยใช้แบบจำลองมักมีข้อจำกัด จากวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่คงสภาพ (Undisturbed soil sample) การเตรียมตัวอย่างดิน รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการทดสอบกับตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่มีอยู่มากในภาคกลางของประเทศไทย โดยเฉพาะบริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

เพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดจากการเตรียมตัวอย่างดินที่คงสภาพ ที่เกิดจากดินเหนียวอ่อนหรือดินที่มีความไวตัวสูง (Sensitive clay) ที่นำมาทดสอบแบบจำลองดินทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ งานวิจัยนี้จึงได้มีการทดลอง ศึกษาหาสัดส่วนวัสดุที่เหมาะสมในการประดิษฐ์ดินเหนียวอ่อนขึ้นมา ที่มีคุณสมบัติทางด้านกายภาพ และทางด้านวิศวกรรมที่มีสมบัติใกล้เคียงดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

วิวัฒนาการของดินเหนียวประดิษฐ์

ความต้องการศึกษาวิจัยขั้นพื้นฐานถึงสมบัติและพฤติกรรมทางวิศวกรรม ความเป็นมาของดินเหนียว โดยอาศัยดินเหนียวจำลอง แทนการศึกษาจากดินเหนียวธรรมชาติจริง ๆ จึงได้มีการเตรียมดินเหนียวประดิษฐ์เพื่อทดสอบในห้องปฏิบัติการขึ้นมา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง คือ

1. ดินเหนียวประดิษฐ์จากการตกตะกอน (Artificially sedimented clay)

เป็นการจำลองกระบวนการตกตะกอนของดินที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยการนำตัวอย่างดินมา ทำลายโครงสร้างดิน หลังจากนั้นนำไปทำการอัดตัวคายน้ำในสารละลายชนิดต่าง เช่น Sodium Chloride Calcium Chloride และ น้ำจืด เป็นต้น นักวิจัยที่ศึกษาเรื่องนี้เป็นคนแรกคือ Bjerrum และ Rosenqvist (1956) ต่อมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษานี้ขึ้นอีกหลายท่าน ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ ดินเหนียวประดิษฐ์ที่มีองค์ประกอบและสมบัติเหมือนกับดินจริง แต่กระบวนการในการจัดเตรียมค่อนข้างยุ่งยากและใช้เวลานาน

2. ดินเหนียวประดิษฐ์จากการผสมปูนซีเมนต์ (Artificially cemented clay)

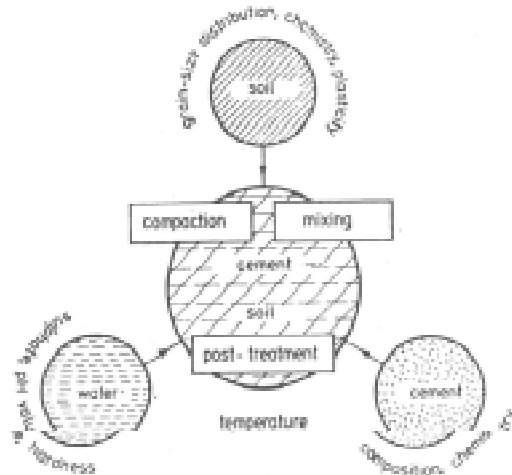
แรกเริ่มได้มีความพยายามจะเตรียมดินเหนียวประดิษฐ์จากวัสดุอื่น เช่นจากส่วนผสมของ Gelatine กับ Paraffin แต่ส่วนผสมดังกล่าวก็ถูกยกเลิกไป เนื่องจากไม่สามารถพัฒนากำลังที่จุดสูงสุด (Peak Strength) แล้วลดลงเมื่อความเครียดมากขึ้น (Strain softening) ได้ และยังเป็นวัสดุที่เปราะ ซึ่งต่อมาได้มีความพยายามใช้ดินผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อเป็นการจำลองกำลังที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอัดตัวคายน้ำ ที่มีเวลานานนับหมื่นปี เช่น ส่วนผสมระหว่าง เบนโทไนท์ กับ ปูนซีเมนต์ ส่วนผสมดังกล่าว มีการยึดหดตัวที่มากเกินไป

ผู้ที่พัฒนาดินเหนียวประดิษฐ์จากการผสมปูนซีเมนต์เป็นผลสำเร็จได้แก่ Tevenas และ Chapeau (1972) และ Tevenas และคณะ (1973) ได้เตรียมดินเหนียวประดิษฐ์ ให้คล้ายคลึงกับดินเหนียว Champlain โดยใช้ ดินขาว 400 กรัม เบนโทไนท์ 50 กรัม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ III 150 กรัม และน้ำ 1000 กรัม และได้มีการนำตัวอย่างดินเหนียวประดิษฐ์ ไปใช้เป็นตัวอย่างดินในแบบจำลองเพื่อทดสอบการแทรกซึมของกรวยให้ผลเป็นที่น่าพอใจ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าดินเหนียวประดิษฐ์ดังกล่าว มีสมบัติทางกายภาพและปริมาณน้ำแตกต่างจากสภาพจริงมาก

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังของดินผสมปูนซีเมนต์

Kezdi (1979) ได้สรุปถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลังระหว่างดินกับปูนซีเมนต์ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก คือ ดิน ปูนซีเมนต์ และน้ำ ซึ่งในองค์ประกอบหลักนี้ ยังมีองค์ประกอบย่อยอยู่อีกหลายประการ เช่น วิธีการผสม การเตรียมตัวอย่าง การบ่ม เป็นต้น

การผสมปูนซีเมนต์เข้ากับดินจะมีผลให้เกิดการเชื่อมประสาน ระหว่างเม็ดดิน ทำให้ดินมีกำลังมากขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผสมเข้าไป สำหรับดินตามธรรมชาติการเชื่อมประสานจะเกิดขึ้นจากการทับถมกันเป็นเวลานานและเกิดการอัดตัวคายน้ำ ในงานวิจัยนี้จึงใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ผสมเข้าไปเล็กน้อย เพียงเพื่อปรับสมบัติของดินประดิษฐ์ ให้มีการเชื่อมประสานเลียนแบบสภาพธรรมชาติ



ภาพที่ 1 แสดงถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนากำลักระหว่างดินกับปูนซีเมนต์
ที่มา : Kezdi (1979)

วัสดุและวิธีการพัฒนาดินเหนียวประติษฐ์

วัสดุที่ใช้พัฒนาดินประติษฐ์ประกอบด้วย

1. ดินขาว (China clay) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา จากแหล่งเขาปางคำ ต.บ้านสา อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินเหนียว Kaolinite ประมาณ 85 %
2. เบนโทไนท์ (Bentonite) มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแร่ดินเหนียว Montmorillonite ประมาณ 90 %
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท III ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็ว

ขั้นตอนการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ตามลำดับแสดงในภาพที่ 2 ประกอบด้วย วิธีการดังต่อไปนี้

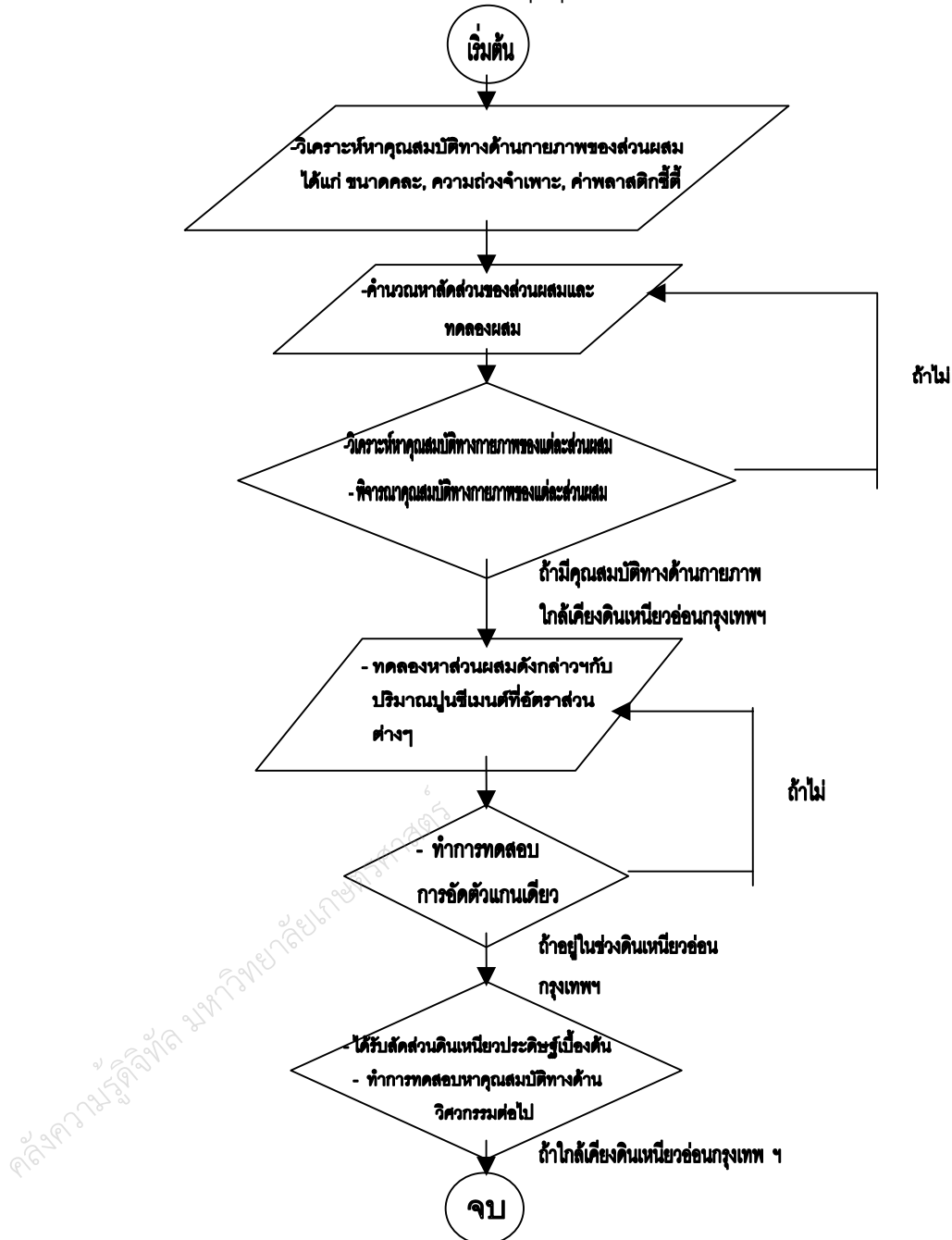
1. วิธีการทางด้านกายภาพ เป็นวิธีการที่ใช้หาสมบัติพื้นฐานของดินขาวและเบนโทไนท์ เลือกหาส่วนผสมที่มีสมบัติทางด้านกายภาพคล้ายกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ได้แก่

1. วิเคราะห์หาสมบัติเบื้องต้นทางด้านกายภาพ ได้แก่ ขนาดละเอียด ความถ่วงจำเพาะ และค่าพลาสติกซิตี

2. ทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมจากวิธีการคำนวณขนาดสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งได้อัตราส่วนระหว่างเบนโทไนท์ ต่อดินขาวประมาณ 1:1 และเมื่อนำมาทดลองผสมจริง โดยการใช้อัตราส่วนผสมดังกล่าวที่ 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, และ 1:8

3. วิเคราะห์หาสมบัติทางด้านกายภาพของแต่ละอัตราส่วน แล้วเลือกส่วนผสมที่ใกล้เคียงดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ผลจากการทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพของอัตราส่วนผสมต่างๆ สรุปไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนผสม 1:1 แม้ว่าขนาดละเอียดอยู่ในเกณฑ์ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แต่มีค่าพลาสติกซิตี สูงเกินไปมาก จึงเห็นสมควรเลือกใช้อัตราส่วนระหว่างเบนโทไนท์ต่อดินขาวที่ 1:8 เป็นเพราะค่าพลาสติกซิตีของอัตราส่วนนั้น อยู่ในช่วงดิน

เหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ถึงแม้ว่าการกระจายของขนาดเม็ดดินจะไม่อยู่ในช่วงดินเหนียวกรุงเทพฯ แต่ค่าพลาสติกชี้วัด ของดินจะเป็นตัวควบคุมคุณสมบัติของดินได้มากกว่าขนาดคละ



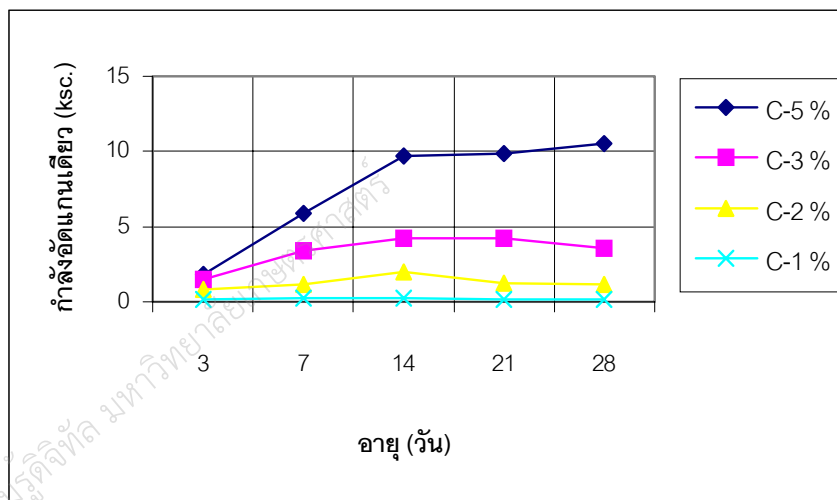
ภาพที่ 2 แผนผังการพัฒนาดินเหนียวประดิษฐ์จากการผสมปูนซีเมนต์

2. วิธีการทางด้านวิศวกรรม ทำการผสมปริมาณปูนซีเมนต์กับอัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อดินขาวที่ได้จากกระบวนการในหัวข้อ 4.1 โดยในการนี้เลือกทดลองผสมที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%, 2%, 3% และ 5% และปริมาณน้ำ 70% โดยน้ำหนักตามปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ บรรจุในแบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.0 ซม. สูง 10.0 ซม. แล้วนำไปทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดตัวแกนเดี่ยว ที่ระยะเวลาการบ่มต่าง ๆ เป็นการทดสอบในขั้นต้น ผลการทดลองดังกล่าว สรุปดังภาพที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณส่วน

ผสมปูนซีเมนต์ 1 % จะให้ค่ากำลังอัดตัวแกนเดียวใกล้เคียงกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จึงเลือกใช้เป็นส่วนผสมเพื่อทดสอบสมบัติทางด้านวิศวกรรมต่อไป โดยกำหนดการบ่มที่เวลา 7 วัน

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางด้านกายภาพที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินขาว (K) และเบนโทไนท์(B) ต่าง ๆ

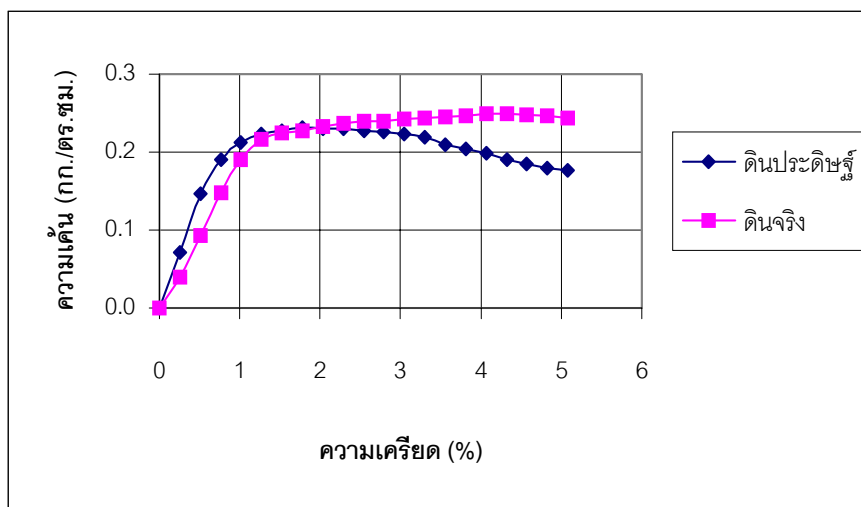
การทดลอง ที่	อัตราส่วน ผสม B:K	ขนาดผลละ			ค่าพลาสติค			ความถ่วง
		% Sand	%Silt	% Clay	LL	PL	PI	จำเพาะ
ดินขาว (K)		8.00	64.00	28.00	40.50	32.61	7.89	2.645
เบนโทไนท์ (B)		0.50	34.50	65.00	326.00	47.33	278.67	2.584
1	1:1	6.15	52.10	41.75	158.75	27.14	131.62	2.58
2	1:2	7.23	58.75	34.02	100.30	26.87	73.43	2.60
3	1:4	6.94	60.62	32.44	90.00	24.53	65.47	2.62
4	1:6	5.87	63.10	31.03	63.40	25.61	37.79	2.63
5	1:8	6.96	64.05	28.99	62.40	24.73	37.67	2.63
ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ		1-10	40-60	40-50	50-70	25-50	30-40	2.66-2.72



ภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและอายุของบ่มที่ปริมาณปูนซีเมนต์ต่างๆ

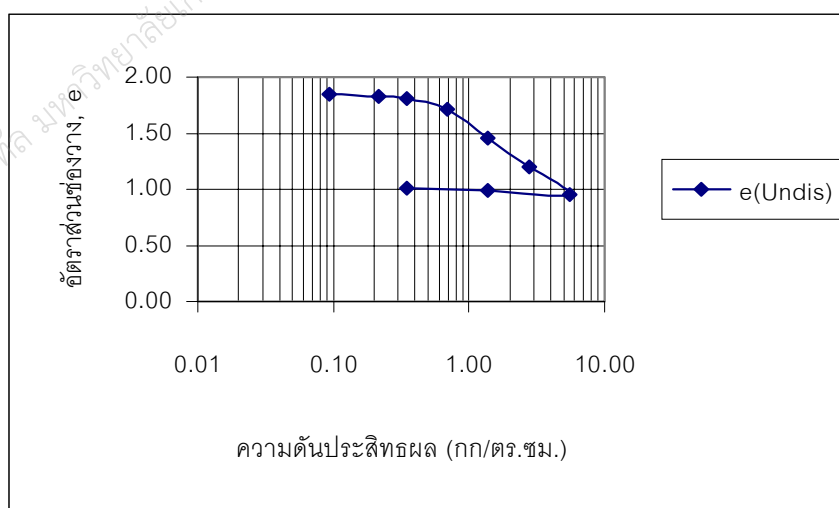
ผลการทดสอบสมบัติทางด้านวิศวกรรม

1. ผลการทดสอบกำลังอัดตัวแกนเดียว แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด ดังภาพที่ 4 จากผลการทดสอบดังกล่าว ได้ค่ากำลังอัดตัวแกนเดียวเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 กก./ตร.ซม. ที่ความเครียดประมาณ 2.5 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินจริง ที่มีค่าปริมาณความชื้นจำเพาะใกล้เคียงกัน (Akrapongpisai, 1970) จะให้ค่ากำลังอัดตัวแกนเดียวที่ใกล้เคียงกัน และมีพฤติกรรมความเค้น-ความเครียดคล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินเหนียวประติษฐ์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน เปรียบเทียบกับดินเหนียวจริง

2. ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับน้ำหนักบรรทุกดังภาพที่ 5 จากการทดสอบพบว่า มีค่าอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น, e_0 เท่ากับ 1.84 มีค่าน้ำหนักกดทับสูงสุดในอดีต (Maximum past pressure), P_c เท่ากับ 0.65 กก./ตร.ซม. มีค่าดัชนีการอัดตัว (Compression Index), C_c เท่ากับ 0.72 และมีค่าดัชนีบวมตัว (Swelling Index), C_s เท่ากับ 0.07 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพฤติกรรมกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ จริงก็มีลักษณะใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 5 พฤติกรรมการอัดตัวคายน้ำของดินเหนียวประติษฐ์ ที่อายุการบ่ม 7 วัน

สรุปและวิจารณ์ผล

จากขั้นตอนในการพัฒนาดินเหนียวประดิษฐ์ โดยการผสมปูนซีเมนต์ สรุปได้ว่ามีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินขาว 88 % เบนโทไนท์ 11 % ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ III 1 % และน้ำ 70 % โดยน้ำหนัก จากการทดสอบกำลังอัดตัวแกนเดี่ยว ได้ค่าประมาณ 0.23 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 7 วัน ผลจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำพบว่า มีอัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้นเท่ากับ 1.84 ดัชนีการอัดตัว, C_c เท่ากับ 0.72 และมีค่าน้ำหนักก่ดทับในอดีต, P_c เท่ากับ 0.65 กก./ตร.ซม. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างแล้วให้ค่าอยู่ในช่วงดินเหนียวดังกล่าว

ผลการวิจัยนี้พบว่าดินเหนียวประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสมของวัสดุดังกล่าว มีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดที่แสดงค่ากำลังสูงสุด (Peak Strength) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับแรงกระทำ ที่มีลักษณะใกล้เคียงดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ๙ นำที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุแทนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในการทดลองแบบจำลองทางวิศวกรรม เพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเก็บตัวอย่างที่คงสภาพที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอ และลดค่าใช้จ่ายในการเก็บตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Bjerrum, L. and I. Th. Rosenqvist. 1956. Some experiments with artificially sedimented of clays. *Geotechnique*, Vol.6, No.3, pp.124-136
2. Fahmy, Y. M. H. 1993. The impact of varying the apex angle on static cone penetration measurements in simulated Champlain clays. M. Eng. Thesis. Ecole Polytechnique, Montreal, Canada.
3. Kezdi, A. 1979. *Stabilized Earth Roads*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam – Oxford – New York.
4. Akrapongpisai, S. 1970. Compression of strengths measured by vane shear ,unconfined compression and triaxial shear tests in Bangkok clay. M. Eng. Thesis. .AIT.,Bangkok.
5. Tavenas, F.A., M. Roy. and P. Larochelle. 1973. An artificial material for simulating Champlain clays. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 10: 489-503