เรื่องน่าสนใจเกี่ยวกับแทนทาลัม

ตั้งแต่ต้นเดือนมิถุนายนศกนี้เป็นต้นมา ผู้ที่สนใจติดตามข่าวภายในประเทศคงจะได้ยินเรื่องราวและเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโรงงานแทนทาลัมจากสื่อมวลชนอยู่แทบไม่เว้นแต่ละวัน นักวิชาการและประชาชนทั่วไปได้กล่าวถึงและวิจารณ์กันอย่างกว้างขวางเพราะเรื่องนี้มีผลกระทบต่อประชาชนและประเทศชาติโดยตรง ซึ่งผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องจะต้องศึกษาและพิจารณาอย่างรอบคอบถึงรายละเอียดต่าง ๆ ในการดำเนินงานขั้นต่อไป บทความนี้จึงขอเสนอเรื่องราวของแทนทาลัมดังนี้

แทนทาลัม (Tantalum—Ta) เป็นชื่อของธาตุชนิดหนึ่ง มีเลขอะตอมเท่ากับ ๗๓ มวลอะตอมเท่ากับ ๑๘๐.๙๔๘ จัดเป็นโลหะแทรนซิชัน มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับไนโอเบียม (Niobium—Nb) โดยมีสมบัติคล้ายคลึงกัน *ธาตุนี้ที่เกิดในธรรมชาติไม่เป็นสารกัมมันตรังสีเป็นที่รู้จักมากที่สุดในฐานะที่เป็นโลหะทนไฟชนิดหนึ่ง* จากสมบัติดังกล่าวและสมบัติพิเศษอื่น ๆ อีกทำให้นำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย

ประวัติความเป็นมา นักเคมีชาวสวีเดนชื่อเอคเบิร์ก (Ekeberg) ค้นพบธาตุนี้เมื่อปี พ.ศ. ๒๓๔๕ ในตอนนั้นยังไม่รู้จักนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ต่อมาในปี พ.ศ. ๒๔๔๕ เยอรมนีเป็นผู้นำแทนทาลัมมาใช้ผลิตเป็นเส้นลวดทำไส้หลอดไฟฟ้า ซึ่งต่อมาใช้ไส้ทังสเตนแทน ปี ๒๔๘๓ สามารถนำแทนทาลัมมาผลิตเป็นตัวเก็บประจุ (capacitor) ได้ ทำให้มีการนำแทนทาลัมมาใช้ประโยชน์มากขึ้นในเวลาต่อมา กล่าวคือใช้ผลิตตัวเก็บประจุในเรดาร์ ในระบบวิทยุสื่อสารทางทหารระหว่างสงครามโลกครั้งที่ ๒ และในสงครามเกาหลี หลังจากนั้นได้มีการค้นคว้าและพบประโยชน์สำคัญของโลหะแทนทาลัมเพิ่มขึ้นทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และยังพบว่าโลหะนี้มีความแข็งแรงทนทาน สำหรับใช้ผลิตโลหะผสมทนอุณหภูมิสูง โลหะผสมต้านการกัดกร่อน เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ทางด้านนิวเคลียร์ ด้านอวกาศ และทำเครื่องตัดโลหะ

แทนทาลัมในธรรมชาติไม่เกิดอยู่ในรูปโลหะอิสระ แต่เกิดร่วมอยู่กับไนโอเบียม ไทเทเนียมและดีบุก บางครั้งอาจเกิดร่วมกับพวกโลหะแรร์เอิร์ท (rare earth metals) ยูเรเนียม (uranium) และทอเรียม (thorium) แร่ที่มีแทนทาลัมอยู่ด้วยได้แก่ แทนทาไลต์ (tantalite) โคลัมไบต์ (columbite) สตรูเวอไรท์ (struverite) และอื่น ๆ นอกจากแร่ดังกล่าวแล้ว *แทนทาลัมยังมีปนอยู่ในเนื้อแร่ดีบุกซึ่งแยกออกไม่ได้โดยวิธีแต่งแร่ธรรมดา ต้องนำแร่ดีบุกไปถลุงจึงจะได้ตะกรันที่มีแทนทาลัมปนอยู่*

ประเทศไทยมีสภาพทางธรณีวิทยาเหมาะสม จึงมีแร่ข้างต้นในหลายท้องที่ แร่แทนทาไลต์ โคลัมไบต์และสตรูเวอไรต์นั้นพบที่จังหวัดตรัง พังงา ภูเก็ต ระนอง กาญจนบุรี ราชบุรีและอุทัยธานี สำหรับแร่แทนทาไลต์ซึ่งมีธาตุแทนทาลัมสูงกว่าแร่ชนิดอื่นนั้น พบว่ามีปริมาณแทนทาลัมคิดเป็นออกไซด์ของแทนทาลัมร้อยละ (Ta_2O_5) ๓๐—๔๕ จึงเป็นที่ต้องการของตลาดมาก ยิ่งไปกว่านี้ยังพบว่า *ตะกรันจากการถลุงแร่ดีบุกมีแทนทาลัมในรูปออกไซด์เจือปนอยู่ในปริมาณสูงที่สุดในโลก* การแยกแทนทาลัมทำได้โดยนำแร่หรือตะกรันดีบุกที่มีแทนทาลัมเจือปนในปริมาณสูงไปสกัดแทนทาลัมออกโดยวิธีเคมีโดยตรงและผลิตออกมาในรูปออกไซด์เป็นผง และผลิกโพแทสเซียมเฮพทาฟลูออโรแทนทาเลต (K_2TaF_7) ก่อน แล้วนำไปผลิตเป็นสารประกอบแทนทาลัมหรือโลหะแทนทาลัมตามต้องการต่อไป

สมบัติของโลหะแทนทาลัม โลหะแทนทาลัมเป็นโลหะเหนียวสีเทาเงิน มีจุดหลอมตัวสูงถึง ๒,๙๙๖ องศาเซลเซียส มีความต้านการกัดกร่อนสูงต่อกรดส่วนใหญ่และสารเคมีที่ใช้ในการอุตสาหกรรม ทั้งนี้เนื่องจากมีสารประกอบออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรม

ชาติเคลือบผิวของโลหะไว้ สารที่จะกัดกร่อนแทนทาลัมได้ก็คือสารที่สามารถละลายแทนทาลัมออกไซด์ออกไปหรือสารที่ป้องกันการเกิดเคลือบแทนทาลัมออกไซด์ได้เท่านั้น ดังนั้นจึงมีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องมืออุตสาหกรรม โลหะแทนทาลัมสามารถทำปฏิกิริยากับด่างแก่ได้อย่างช้า ๆ แต่ทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่ากับไอกรดกำมะถัน กรดไฮโดรฟลูออริก (กรดกัดแก้ว) และกรดผสมระหว่างกรดกัดแก้วและกรดดินประสิว กรดกำมะถันที่อุณหภูมิต่ำกว่า ๑๕๐ องศาเซลเซียสไม่กัดกร่อนแทนทาลัม จึงมักนำโลหะแทนทาลัมไปใช้เป็นอุปกรณ์ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ที่ใช้กรดกำมะถันเป็นตัวถ่ายเทความร้อน แทนทาลัมยังสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี จึงนำมาใช้ทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หัวฉีดและภาชนะที่ใช้ในปฏิกิริยาอินทรียเคมีหรือภาชนะที่ใช้กับสารอินทรีย์ที่มีสมบัติกัดกร่อนในปฏิกิริยาด้วย นอกจากนั้นยังทนต่อโลหะเหลวหลายชนิด จึงนำมาใช้ในการบรรจุและสร้างระบบแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับโลหะเหลว

แทนทาลัมว่องไวต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เช่น กับก๊าซออกซิเจนหรืออากาศ ปฏิกิริยาการรวมตัวจะเริ่มเกิดที่อุณหภูมิ ๒๖๐ องศาเซลเซียสและจะเกิดอย่างรวดเร็วที่ ๔๐๐ องศาเซลเซียส ได้สารประกอบออกไซด์ ปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนเกิดที่อุณหภูมิสูงกว่า ๒๕๐ องศาเซลเซียส ก๊าซแอโลเจนทุกชนิดทำปฏิกิริยากับแทนทาลัมได้ เช่น ฟลูออรีนเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง กับคลอรีนเกิดที่ ๒๐๐ องศาเซลเซียส กับโบรมีนเกิดที่ ๓๐๐ องศาเซลเซียสและกับไอโอดีนเกิดที่ ๓๐๐—๓๔๐ องศาเซลเซียส สำหรับคาร์บอนและโบรอนสามารถทำปฏิกิริยาโดยตรงกับแทนทาลัมได้แทนทาลัมคาร์ไบด์และแทนทาลัมโบไรด์

โลหะแทนทาลัมเป็นโลหะที่แข็งมาก หนักเป็นสองเท่าของเหล็ก มีความคงทนเหนือกว่าโลหะทนไฟชนิดอื่น แปรรูปและเชื่อมได้ง่าย นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี มักใช้ในสภาพผงและแท่งมากที่สุด ผงแทนทาลัมส่วนใหญ่ใช้ในตัวเก็บประจุอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนแท่งแทนทาลัมใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ถ้านำโลหะแทนทาลัมมาผสมกับโลหะทังสเตนจะได้โลหะผสมที่มีความแข็งแรงและเหนียว(strength วัดเป็น tensile strength) กว่าแทนทาลัม แต่ทนการกัดกร่อนน้อยลง โลหะผสมของแทนทาลัม ทังสเตน แฮฟเนียมและคาร์บอนมีความแข็งแรงมาก นำไปใช้บรรจุโลหะเหลวในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ได้ นอกจากนี้โลหะผสมพิเศษทนไฟของแทนทาลัม นิเกิล และโคบอลต์ยังมีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง สามารถนำไปใช้ในชิ้นส่วนกังหันก๊าซ (gas turbine) ของเครื่องบินและอื่น ๆ ที่ต้องการสมบัติการทนไฟสูงอีกด้วย

ประโยชน์ของโลหะแทนทาลัม จากสมบัติพิเศษดังกล่าวข้างต้นของโลหะแทนทาลัม อาจสรุปการนำแทนทาลัมมาใช้ประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้

๑. ใช้ผลิตอุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าเป็นจำนวนร้อยละ ๕๐—๖๐ ของการใช้แทนทาลัมทั้งหมด ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่ที่ผลิตคือตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นวัสดุมาตรฐานในวงการอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีขนาดกะทัดรัด อายุการใช้งานยาวนานและมีประสิทธิภาพสูง คือมีความจุต่อหน่วยปริมาตรสูงสุดเหนือกว่าแผ่นประจุที่ทำด้วยวัสดุอื่น ใช้แทนทาลัมทำตัวเก็บประจุในเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องควบคุม เครื่องส่งสัญญาณภัย และเครื่องตั้งเวลา เป็นต้น

๒. ใช้ทำเครื่องมือตัด กลึง ไส เจาะเหล็กกล้าและโลหะชนิดพิเศษ เป็นจำนวนร้อยละ ๓๐ ของการใช้แทนทาลัมทั้งหมด โดยใช้ในรูปแทนทาลัมคาร์ไบด์ผสมกับโลหะคาร์ไบด์อื่น ๆ เช่น ทังสเตนคาร์ไบด์ ไทเทเนียมคาร์ไบด์หรือไนโอเบียมคาร์ไบด์ ซึ่งมีความแข็งมากและการสึกหรอต่ำ

๓. ใช้ผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับอุตสาหกรรมเคมีเป็นจำนวนประมาณร้อยละ ๑๐ ของการใช้แทนทาลัมทั้งหมด เนื่องจากสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี มีความแข็งแรงและนำความร้อนได้ดี เครื่องมือที่ใช้ผลิตได้แก่ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชิ้นส่วนที่ต้องใช้กับความร้อน เครื่องระเหย เครื่องควบแน่น เครื่องทำความเย็น อุปกรณ์ป้องกันเครื่องสูบ วาล์วและถังที่ใช้กับกรดและสารเคมีต่าง ๆ

ในด้านอื่น ๆ นำมาใช้ทำโลหะผสมพิเศษทนไฟสูง หรือมีความแข็งแรงสูงเพื่อใช้ในโครงสร้างของจรวด เครื่องบิน ขีปนาวุธ เครื่องมือกล อุปกรณ์นิวเคลียร์ ยานอวกาศ นอกจากนี้ยังใช้ทำด้ายเย็บกระดูกในงานศัลยกรรม ทำชิ้นส่วนที่ใช้ผลิตไยสังเคราะห์ ภาชนะที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ชุบไฟฟ้า สารประกอบแทนทาลัมบางตัวใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีและแทนทาลัมออกไซด์ใช้ทำเลนส์เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าแทนทาลัมเป็นโลหะที่มีประโยชน์มหาศาล ที่แล้วมาประเทศไทยนำแทนทาลัมมาใช้ประโยชน์โดยส่งออกในรูปของแร่แทนทาไลต์ โคลัมไบต์และตะกรันดีบุก ส่วนการนำเข้านั้นเป็นจำพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจักรและเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่มีแทนทาลัมเป็นองค์ประกอบ ในระยะหลังแทนทาลัมมีราคาสูงขึ้นมาก จึงเกิดการตื่นตัวขึ้นในวงการแร่ของเรา บริษัทไทยแลนด์แทนทาลัมอินดัสตรี จำกัด (Thailand Tantalum Industry Corporation Limited) ได้ดำเนินการก่อสร้างโรงงานถลุงแร่แทนทาลัมขึ้นที่จังหวัดภูเก็ต เป็นโรงงานแห่งแรกของประเทศไทยและเป็นโรงงานแห่งที่ ๙ ของโลก ดังที่ทราบกันทั่วไปแล้วโรงงานนี้ใช้เทคโนโลยีของแฮร์มันน์ ชตาร์ค แบร์ลิน แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (Hermann Starck Berlin—Germany)

ขบวนการผลิตโลหะแทนทาลัมโดยสังเขป

การแยกแทนทาลัมออกจากแร่และตะกรันดีบุกอาจทำได้โดยใช้วิธีทางเคมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

วิธีที่ ๑ แยกโดยวิธีตกผลึกลำดับส่วน (Marignac fractional crystallization) เพื่อตกผลึกสารประกอบแทนทาลัมออกมา พบว่ามีไนโอเบียมและสารเจือปนอื่นแขวนลอยอยู่ในชั้นสารละลาย ทำให้การแยกไนโอเบียมที่บริสุทธิ์ซึ่งเป็นผลพลอยได้ทำได้ยากขึ้น จึงเลิกใช้วิธีนี้ตั้งแต่ พ.ศ. ๒๕๐๐

วิธีที่ ๒ แยกโดยสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (methylisobutylketone—MIBK)

วิธีที่ ๓ แยกด้วยกระแสไฟฟ้า (electrolysis)

วิธีที่ ๔ แยกโดยอาศัยปฏิกิริยาของไนโอเบียมและแทนทาลัมกับสารต่าง ๆ เช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) โซเดียมเตตราคลอโรอะลูมิเนต ($NaAlCl_4$) ที่หลอมเหลวและโลหะอัลคาไลคลอไรด์ ในบรรยากาศของก๊าซไฮโดรเจน

วิธีที่ ๕ แยกโดยวิธีกลั่นลำดับส่วนไอของสารประกอบไนโอเบียมและแทนทาลัมคลอไรด์โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างไอเพนทาคลอไรด์ของไนโอเบียมและแทนทาลัมกับโลหะอัลคาไลคลอไรด์ให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรทั่วไปเป็น $AMCl_6$ (A = โลหะอัลคาไล, M = โลหะไนโอเบียมหรือแทนทาลัม) แต่วิธีนี้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง

สำหรับวิธีที่ ๒ ซึ่งใช้กันแพร่หลายทั่วโลกในเกือบทุกโรงงานที่ผลิตแทนทาลัม รวมทั้งโรงงานที่จะก่อสร้างในประเทศไทยนั้น เป็นวิธีการแยกแทนทาลัมออกมาโดยสกัดด้วยตัวทำละลาย กล่าวคือนำแร่ที่บดแล้วมาย่อยสลายด้วยกรดชนิดเดียวหรือกรดผสม เช่น กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) หรือกรดกัดแก้ว กรดกัดแก้ว—กรดเกลือ (HF—HCl) หรือกรดกัดแก้ว—กรดกำมะถัน ($HF—H_2SO_4$) โดยใช้ความร้อนช่วยในตอนต้น แล้วนำสารละลายส่วนใสที่ได้มาสกัดแยกแทนทาลัมและไนโอเบียมออกด้วยตัวทำ

ละลายอินทรีย์ต่าง ๆ เช่น เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน โดยควบคุมความเป็นกรดให้เหมาะสม จะได้แทนทาลัมในชั้น MIBK และไนโอเบียมในชั้นสารละลายกรดเจือจาง จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาและแยกต่อไป จะได้ไนโอเบียมในรูปไนโอเบียมออกไซด์ (Nb_2O_5) และแทนทาลัมในรูปแทนทาลัมออกไซด์ (Ta_2O_5) และเกลือโพแทสเซียมเฮพทาฟลูออโรแทนทาเลต (K_2TaF_7) แล้วทำให้บริสุทธิ์เพื่อนำไปผลิตเป็นโลหะไนโอเบียมหรือแทนทาลัมต่อไป

จะเห็นได้ว่าขบวนการข้างต้น*ใช้กรดกัดแก้วเป็นส่วนผสมในการย่อยสลายแร่ กรดนี้มีสมบัติเป็นกรดอ่อน มีความแรงของกรดเท่า ๆ กับกรดน้ำส้ม เพียงแต่มีความสามารถพิเศษในการกัดแก้ว หรือสารที่มีพวกซิลิกาเป็นองค์ประกอบ และสามารถย่อยสลายแทนทาลัมออกมาจากแร่ได้* กรดที่ใช้เป็นกรดเจือจางถึงกรดเข้มข้น (กรดเข้มข้นมีปริมาณกรดสูงร้อยละ ๗๐) กรดนี้ละลายน้ำได้ดี และถ้ายังมีกรดปนอยู่ในน้ำทิ้ง ก็อาจขจัดออกได้ง่ายโดยทำให้เป็นกลางด้วยด่างเช่น โซดาไฟเจือจางหรือน้ำปูนขาว

ในกรณีที่ตะกรันดีบุกมีปริมาณแทนทาลัมต่ำกว่าร้อยละ ๖ ต้องนำตะกรันไปถลุงด้วยไฟฟ้าเพื่อเพิ่มปริมาณแทนทาลัมก่อนจะนำไปแยกโดยวิธีเคมี ทั้งนี้เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองกรดที่ใช้ย่อยสลายมากเกินไป สิ่งเจือปนที่มักปนอยู่ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และเหล็กออกไซด์ (FeO, Fe_2O_3) การถลุงด้วยไฟฟ้าทำได้โดยผสมตะกรันกับตัวลดออกซิเจนหรือสารรีดิวซ์ ถลุงด้วยไฟฟ้า ๒ ครั้งที่อุณหภูมิ ๑๕๐๐ องศาเซลเซียส จะได้โลหะผสมเหล็กเฟอโรอัลลอย (ferroalloy) ซึ่งต้องนำมาทำให้เป็นออกไซด์ แล้วหลอมในเตาไฟฟ้าเพื่อแยกเหล็กออกมา จะได้หัวแร่สังเคราะห์ (synthetic tantalum niobium concentrate) ซึ่งเมื่อบดละเอียดขจัดสารเจือปนด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก จะได้หัวแร่สังเคราะห์ที่มีปริมาณแทนทาลัมและไนโอเบียมเพิ่มขึ้นถึง ๑๐ เท่า นำไปใช้บ้อนโรงงานเคมีได้เช่นเดียวกับหัวแร่แทนทาลัมทั่วไป

สารประกอบแทนทาลัม ธาตุนี้ไม่ค่อยรวมกับธาตุอื่นดังที่กล่าวแล้ว สารประกอบของแทนทาลัมจึงมีไม่มากนัก สารประกอบที่สำคัญได้แก่ แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ใช้ประโยชน์ในการทำเครื่องมือตัดเหล็กกล้าและโลหะชนิดพิเศษ โพแทสเซียมเฮพทาฟลูออโรแทนทาเลท (K_2TaF_7) ใช้ผลิตโลหะแทนทาลัม กรดเฮพทาฟลูออโรแทนทาลิก (H_2TaF_7) ใช้ผลิต K_2TaF_7 และแทนทาลัมเพนทอกไซด์ (Ta_2O_5) อย่างหลังนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงและใช้ผลิตแทนทาลัมคาร์ไบด์ได้

โทษของโลหะแทนทาลัม พบว่า *ผงแทนทาลัมและสารประกอบบางชนิดของแทนทาลัมอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเนื้อเยื่อปอดได้บ้าง ถ้าหายใจเข้าไปจะเป็นอันตราย แต่ตัวโลหะอาจนำมาใช้ภายในร่างกายโดยไม่เกิดอันตราย* โดยนำมาใช้ทำด้ายเย็บกระดูกดังได้กล่าวแล้ว แทนทาลัมในลักษณะผงสามารถลุกไหม้ได้เมื่อถูกความร้อนเปลวไฟ หรือสารออกซิไดส์ ปริมาณสูงสุดของผงแทนทาลัมที่จะมีได้ในบรรยากาศนั้นกำหนดให้เท่ากับ ๕ มิลลิกรัมต่ออากาศ ๑ ลูกบาศก์เมตร

บทความนี้คงจะให้ความรู้ขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับโลหะแทนทาลัม โดยเฉพาะประโยชน์มหาศาลที่ทำให้โลหะแทนทาลัมมีราคาสูง ถ้าประเทศสามารถสนับสนุนการดำเนินการจัดตั้งโรงงานผลิตแทนทาลัมจากตะกรันดีบุกด้วยขบวนการที่เหมาะสม ไม่สร้างปัญหามลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม มีการตรวจและควบคุมขั้นตอนการผลิตทุกระยะการปฏิบัติงาน จะเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่ประเทศได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. Droegkamp, R.E., Schussler, M., Lambert, J.B. and Taylor, D.E. Tantalum and Tantalum Compounds. Kirk–othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed., Vol.22, New York, London; John Wiley & Sons, 1983 : pp. 451–564.
2. Chilton, C.H. Columbium and Tantalum. Chemical Engineering, **92** (3) 1958: 104–107
3. Koerner, Jr., E.L., Smutz, M. and Wilhelm H.A. Separation of Niobium and Tantalum by Liquid Extraction. Chemical Engineering Progress, **54** (9) 1958 : 63–70
4. Method of Recovering Tantalum and/or Columbium. U.S. 3,712,939. Jan. 23, 1973.
5. Process of Purifying and Separating Columbium and Tantalum Values from each other. U.S. 3, 117, 833, Jan. 14,1964.

๖. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ และ ศิริวัฒนา ไทรสมบูรณ์ การสกัดไนโอเบียมและแทนทาลัมจากหางแร่ดีบุกตะกรันจากการถลุงแร่ดีบุก แร่ซามาร์สไกต์และทำให้อยู่ในรูปบริสุทธิ์. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการประจำปี ๒๕๒๘ "จุฬากับการพัฒนาอุตสาหกรรม" ๒๕–๒๖ มีนาคม กรุงเทพฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ๒๕๒๘ หน้า ๑–๑๖.

๗. ชาคร จารุพิสิฐธร อุตสาหกรรมถลุงแทนทาลัมในประเทศไทย. วิศวกรรมสารฉบับพิเศษ เหมืองแร่ ๒๕๒๙ หน้า ๘๕–๘๙.

๘. เดชนา ชุตินารา ประโยชน์ของแทนทาลัมและไนโอเบียม. บรรณสารกทช. ๓ (๑๐) ๒๕๒๘:๖๔–๖๙

๙. แทนทาลัมและตะกรันดีบุก ภาวะธุรกิจและอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ ธนาคารแห่งประเทศไทย ๒๕๒๔ หน้า ๑๘–๒๔

๑๐. แทนทาลัมและตะกรันดีบุก ภาวะธุรกิจและอุตสาหกรรม กรุงเทพฯ ธนาคารแห่งประเทศไทย ๒๕๒๕ หน้า ๓๘–๔๒

๑๑. ธีรพร รับคำอินทร์ การแยกแทนทาลัมออกจากไนโอเบียม. ข่าวสารการธรณี ๒๕ (๑๐) ๒๕๒๓:๒๕–๓๑.

๑๒. กฤษณา แก้วสวัสดิ์ บทบาทของแทนทาไลต์–แทนทาลัมในอุตสาหกรรมเหมืองแร่. ข่าวสารการธรณี ๒๗ (๕) ๒๕๒๕:๕๒–๖๖.

๑๓. สันต์ รัชฎาวงศ์ (กองเศรษฐกิจและเผยแพร่ กรมทรัพยากรธรณี) แทนทาไลต์–แทนทาลัม. รายการสัมภาษณ์เพื่อออกวิทยุกระจายเสียง ๑๕ ก.ย. ๒๕๒๓. กรุงเทพฯ กรมทรัพยากรธรณี ๒๕๒๓

High Temperature Combustion Boat (ต่อจากหน้า ๒)

นอกจากนี้ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ยังเป็นประโยชน์ต่อสถานศึกษาในด้านการเรียนการสอนและเป็นแนวทางให้ผู้ที่มีความสนใจมาลงทุนในอุตสาหกรรมประเภทนี้เพื่อเป็นการสร้างงานซึ่งเป็นการช่วยพัฒนาประเทศในด้านเศรษฐกิจอีกด้วย ผู้สนใจต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการผลิตและการใช้งานของ High Temperature Combustion Boat โปรดติดต่อศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ในวันเวลาราชการ