

การดูดซับโลหะหนักโดยใช้หินพัมมิชกับวัสดุคอมโพสิต (Heavy Metal Absorption Using Pumice Stone and Its Composite)

สำเนียง อภิสันติยาคม*

*ภาควิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
ในพระบรมราชูปถัมภ์ 1 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

บทคัดย่อ

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน การเกษตร และภาคอุตสาหกรรมสร้างปัญหามลพิษทางน้ำที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน เนื่องจากมีสารอินทรีย์และโลหะหนักเจือปน โดยทั่วไปการนำน้ำทิ้งผ่านกระบวนการบำบัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาตินั้นมีความค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง งานวิจัยนี้จึงประยุกต์นำวัสดุพอลิเมอร์ที่เตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันมาเป็นวัสดุคอมโพสิตกับหินพัมมิชซึ่งมีรูพรุนจำนวนมาก ทำให้มีสมบัติเฉพาะตัวที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้ดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมความเข้มข้นของโลหะหนักให้มากกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม 10 เท่า ผลการทดลองพบว่า วัสดุคอมโพสิตระหว่างหินพัมมิชกับพอลิเมอร์ที่เตรียมขึ้นโดยยึดพอลิสไตรีนเป็นโครงสร้างหลัก และทำให้เกิดพอลิเมอร์แบบคอนโทรลลิฟวิงเรดิคัล (controlled-living radical polymerization) มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักแบบต่อเนื่องได้ดีกว่าเรซิน โดยสามารถกำจัดโลหะหนักได้ร้อยละ 72.37 – 80.47

คำสำคัญ: น้ำทิ้ง/ หินพัมมิช/ อะลูมินอซิลิเกต/ โลหะหนัก/ เรซิน

Abstract

At present, wastewater from community, agriculture and industry was currently made the water pollution because of the contamination of organic substances and heavy metals. However, wastewater treatment process had high cost. This project was related to the use of polymer as composite material with pumice stone, which were numerous porous structures. According to its specific properties, this composite was used as heavy metal absorber in the synthetic wastewater. The concentrations of heavy metals were 10 times more than those values following the standard wastewater of Department of Industrial Works, Thailand. The results showed that the composite materials were prepared between pumice stone and polymer according to polystyrene as main structure. The polymerization process was controlled-living radical. The continuous adsorption efficiency of heavy metals in the synthetic composite material was better than that of resin. The heavy metal elimination was in a range of 73.37% – 80.47%.

Keywords: Wastewater/ Pumice stone/ Aluminosilicate/ Heavy metal/ Resin

บทนำ

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน การเกษตร และภาคอุตสาหกรรมเป็นสิ่งที่สร้างปัญหาหลายประการต่อสภาพแวดล้อมในสังคมปัจจุบัน เนื่องจากมีสารอินทรีย์และโลหะหนักเจือปนอยู่ การปล่อยน้ำทิ้งที่ไม่ได้รับการบำบัดอย่างถูกวิธีออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือปล่อยให้น้ำทิ้งดังกล่าวเกิดกระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติจะทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ นอกจากนี้การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การกำจัดโลหะหนักที่ปนมากับน้ำทิ้งทำได้หลายวิธี เช่น ตกตะกอน เจือจาง หรือแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หินพัมมิชซึ่งเป็นสารประกอบอนินทรีย์จากธรรมชาติประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) ที่มีไอออน

บวก (cation) อยู่ภายในโพรงของหิน จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้อย่างรวดเร็ว หินพัมมิชพบในบริเวณที่มีการปะทุ หรือเกิดจากการระเบิดอย่างรุนแรงของแมกมาจากภูเขาไฟมาก่อน จึงพบหินชนิดนี้ได้ทั่วโลก (Babasiga, 2009) หินพัมมิชมีสภาพหินคล้ายเส้นใย มีช่องว่างจำนวนมาก มีความพรุนสูง น้ำหนักเบา ลอยน้ำได้ และพบผลึกแร่ปนอยู่ภายใน ทำให้ส่วนประกอบของหินพัมมิชมีความต่างกันตามแหล่งกำเนิด (Borghai, 2007; Kitis, 2005) การที่หินชนิดนี้มีความพรุนสูง ทำให้มีพื้นที่ผิวมาก หินพัมมิชหนัก 1 กรัม อาจมีพื้นที่ผิวสูงถึง 10 ตารางเมตร (นิคม จึงอยู่สุข, 2540)

หินพัมมิชที่มี ขนาด (grain size) ต่างๆ กันจะมีพื้นที่ผิว (BET surface area) ที่ไม่เท่ากัน เมื่อขนาดยิ่งมาก ค่าพื้นที่ผิวจะมากขึ้นด้วย เนื่องจากโพรงช่องว่างภายในเนื้อหินเล็กลง

(นิคม จึงอยู่สุข, 2540) องค์ประกอบหลักของ หินพัมมิชจากแหล่งต่างๆ ทั่วโลก ได้แก่ ซิลิกอน (Silicon, Si) อะลูมิเนียม (Aluminium, Al) เหล็ก (Iron) และธาตุอื่นๆ โดยมีสัดส่วน ตามสภาพของแหล่งกำเนิดที่พบ (Panuccio, 2009) นอกจากนี้หินพัมมิชยังมีศักยภาพในการ นำมาใช้ได้จริงอย่างสะดวก ในประเทศไทยพบ ที่จังหวัดลพบุรี ลำปาง และสามารถนำเข้าจาก ประเทศอินโดนีเซียในราคาไม่สูง

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ใน อุตสาหกรรม ใช้ปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์ ผ่านอนุมูลอิสระ (free radical polymerisation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่นิยม เนื่องจากการเตรียม พอลิเมอร์ที่ง่ายและรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปฏิกิริยาพอลิเมโรไรเซชันนี้เกิดอย่างรวดเร็ว ทำให้ปฏิกิริยานี้มีจุดค้อย คือสาร ผลิตภัณฑ์จะมีขนาดของสายโซ่พอลิเมอร์ไม่ เท่ากัน (broad distribution) ทำให้สมบัติของ พอลิเมอร์ที่ได้ไม่สม่ำเสมอและไม่เหมาะต่อการ นำมาประยุกต์ใช้กับงานเฉพาะทาง ในช่วง ทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาวิธีที่ลดข้อด้อย ดังกล่าว โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์ประเภท คอนโทรลลิฟวิ่ง (controlled living) ผ่านอนุมูล อิสระ ซึ่งมีวิธีหลักๆอยู่สามวิธีด้วยกัน ได้แก่ เอ็นเอ็มพี (NMP, nitroxide mediated polymerization) เอทีอาร์พี (ATRP, atom transfer radical polymerization) และราฟท์ (RAFT, reversible addition fragmentation chain transfer polymerization) วิธีเอ็นเอ็มพีเป็น วิธีแรกที่ถูกค้นพบ ใช้ได้กับมอนอเมอร์เพียง บางชนิดและต้องใช้อนุมูลในการพอลิเมโรไร เซชันสูง ส่วนวิธีเอทีอาร์พีถึงจะแก้ปัญหา

จุดอ่อนที่เกิดจากวิธีเอ็นเอ็มพีได้ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ ได้ยังมีการตกค้างของโลหะหนักที่ใช้เป็นสาร ตั้งต้น ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวออสเตรเลีย และฝรั่งเศสได้คิดค้นวิธีที่เรียกว่าราฟท์ (RAFT) หรือเมดิซ (MADIX, macromolecular design via the interchange of xanthate) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ มีหลักการคล้ายกัน แตกต่างเพียงสูตร โครงสร้าง ของเมดิซจะเป็นสารประกอบพวกแซนเทต (xanthate)

การศึกษาการดูดซับโลหะหนักผ่าน หินพัมมิช ได้มีการพัฒนาด้วยการเตรียมเป็น วัสดุคอมโพสิตระหว่างหินพัมมิชกับพอลิเม ร์ประเภทต่างๆ ซึ่งเตรียมผ่านกระบวนการ คอนโทรลลิฟวิ่ง เช่น สไตรีนหรืออนุพันธ์ของส ไตรีน โดยปกติจะใช้แอมโมเนียมไทโอซัลเฟต (ammonium thiosulphate) หรืออนุพันธ์ของ สารประกอบเอโซ (azo) เป็นสารตั้งต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยใช้ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นสาร แลกเปลี่ยนสายโซ่ที่ใช้กับระบบราฟท์ ซึ่งเป็น ระบบที่สามารถควบคุมความยาวของสายโซ่ได้ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความ สม่ำเสมอทางโครงสร้างมากขึ้น พอลิเมอร์ที่ เตรียมได้จะมีไอออนลบอยู่ที่ปลายโครงสร้าง ของสายโซ่ จะส่งผลให้การจับปริมาณโลหะ หนักสามารถกระทำได้ในปริมาณมากขึ้นตาม ต้องการ และทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออน ได้เช่นเดียวกับกรณีการใช้หินพัมมิชเป็นตัวดูด ซับเพียงชนิดเดียว วิธีการนี้สามารถนำมาปรับ ใช้กับอุตสาหกรรมต่างๆ และมีการนำหินพัม มิชมาใช้ประโยชน์หลายๆด้าน ได้แก่ อุตสาหกรรมฟอกเสื้อผ้า อุตสาหกรรมการ

เพาะปลูก วัสดุกรองสำหรับบ่อกรองปลา และ วัสดุสำหรับเตาอย่าง เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะยึด โครงสร้างของพอลิस्टาไทรินเป็นโครงสร้างหลัก ส่วนการวัดปริมาณไอออนบวก สามารถวัดโดย วิธีไอซีพี (ICP, inductively couple plasma) ซึ่ง สามารถวัดทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพของ ธาตุต่างๆ ในระดับไมโครกรัมต่อลิตรได้หลายๆ ธาตุในขณะเดียวกัน ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น และจากการสำรวจข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่างานวิจัยในลักษณะดังกล่าวยังไม่มีการ ดำเนินการมาก่อน ดังนั้นการนำน้ำทิ้งเหล่านี้มา บำบัดแปรสภาพให้ดีขึ้น จึงเป็นอีกทางเลือก หนึ่งใน การบำบัดน้ำเสีย จะส่งผลให้เกิด สภาพแวดล้อมที่ดีกับสังคมโดยรวม งานวิจัยนี้ มีความสอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติฉบับที่ 10 นโยบายและ ยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ นโยบายของ รัฐบาลในปัจจุบัน รวมทั้งยุทธศาสตร์ของ จังหวัดปทุมธานีที่ต้องการให้เป็นจังหวัดที่มี สภาพแวดล้อมทางสังคมที่ดีด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการกำจัด แคลเซียม นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี ในน้ำเสีย โดยใช้หินพัม มิชและหินพัมมิชผสมพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุ คอมโพสิต

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ หินพัมมิช

1. การเตรียมหินพัมมิช

1.1 นำหินพัมมิชทั้งสามชนิดจาก จังหวัดลพบุรี ลำปาง และอินโดนีเซีย ที่มีขนาด

4.75 มิลลิเมตร ชนิดละ 100 กรัม แยกใส่ในบีก เเกอร์ขนาด 2 ลิตร ล้างด้วยน้ำธรรมดาเพื่อขจัด เศษฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนจำนวน 3 รอบ โดยแช่ ทิ้งไว้รอบละ 2 ชั่วโมง

1.2 นำหินพัมมิชจากข้อ 1 มาล้าง ต่อโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิค (ultrasonic) ด้วย การแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.001 โมลาร์ 1 ชั่วโมง แล้วล้างต่อด้วย การแช่ในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมง

1.3 กรองน้ำออกจากหินพัมมิชที่ ล้างแล้วในข้อ 1.2 นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้น นำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น

2. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ของหินพัมมิช

2.1 นำหินพัมมิชที่ผ่านการทำให้ ความสะอาดและอบแห้งแล้ว มาบดให้ละเอียด ชั่งน้ำหนักประมาณ 0.5 – 0.6 กรัม ใส่ลงในชาม ด้วยกระเบื้อง

2.2 เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 10 มิลลิลิตร กรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้นจำนวน 10 มิลลิลิตร และกรดไฮโดร ฟลูออริก (HF) เข้มข้นจำนวน 5 มิลลิลิตร ลงใน ข้อ 2.1 ตามลำดับ

2.3 นำด้วยกระเบื้องข้อ 2.2 ตั้งในตู้ ดูดควัน แล้วให้ความร้อนพร้อมทั้งคนอย่าง สม่ำเสมอโดยใช้แท่งกวนแม่เหล็ก จนหินพัม มิชละลาย จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงที่ อุณหภูมิห้อง

2.4 เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร (v/v) จำนวน 30 มิลลิลิตร ลงในข้อ 2.3 ตามลำดับ

2.5 ปิดด้วยกระเบื้องด้วยกระจกนาฬิกา ให้ความร้อนจนตะกอนที่เหลือละลายหมด และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2.6 นำสารละลายในข้อ 2.5 มาเจือจางด้วยน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2.7 นำสารละลายในข้อ 2.6 ไปตรวจสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักและเทคนิคทางเคมีเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของหินพัมมิช

การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์

1. การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดความเข้มข้นของโลหะหนัก ดังนี้ โลหะทองแดงเท่ากับ 2 พีพีเอ็ม (ppm) สังกะสี เท่ากับ 5 พีพีเอ็ม แคลเมียม เท่ากับ 0.03 พีพีเอ็ม ตะกั่ว เท่ากับ 0.2 พีพีเอ็ม และปรอท เท่ากับ 0.05 พีพีเอ็ม ในการทดลองนี้เตรียมน้ำเสียที่มีค่าความเข้มข้นของโลหะมากกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง 10 เท่า โดยมีวิธีการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ดังนี้

1.1 นำสารละลายมาตรฐานทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และแคลเมียม ที่ความเข้มข้นอย่างละ 1,000 พีพีเอ็ม มาปรับความเข้มข้นให้ได้เป็น 10 เท่าของมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ สังกะสี 50 พีพีเอ็ม ทองแดง 20 พีพีเอ็ม แคลเมียม 0.3 พีพีเอ็ม ตะกั่ว 2 พีพีเอ็ม และปรอท 0.05 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

1.2 ปรับค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่าง 4.5-5.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจางหรือสารละลายกรดไนตริกเจือจาง

2. สังเคราะห์สารเมทิลแอลฟาโบรโมฟีนิลแอซิเตต (methyl α -bromophenylacetate)

2.1 ชั่งโบรโมซัคซินิไมด์ (N-bromosuccinimide) จำนวน 3.5 กรัม และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) จำนวน 0.5 กรัม ลงในขวดก้นกลม

2.2 เติมนคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) 50 มิลลิลิตร และเมทิลฟีนิลแอซิเตต (methylphenyl acetate) 3 มิลลิลิตร ลงไปในข้อ 2.1 และทำการรีฟลักซ์ (reflux) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.3 กรองตะกอนของซัคซินิไมด์ (succinimide) แล้วล้างตะกอนด้วยคาร์บอนเตตระคลอไรด์และนำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

2.4 นำสารผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิ (crude product) ในข้อ 2.3 มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้สารละลายผสมของเอทอกซีอีเทน (ethoxyethane) และเฮกเซน (hexane) ในอัตราส่วน 1:9 สำหรับเป็นตัวพา

2.5 นำสารละลายที่ได้ในข้อ 2.4 ไประเหยตัวทำละลายออก จะได้ของเหลวสีเหลืองของเมทิล-แอลฟาโบรโมฟีนิลแอซิเตต ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในขั้นตอนของปฏิกิริยาการเตรียมเมทิล-2-พาราเมทอกซีเบนโซไดไฮดรอ-2-ฟีนิลแอซิเตต (methyl 2-(p-methoxybenzodi-

thioyl)-2-phenylacetate, MpBDP) ในข้อที่ 3
ต่อไป

3. การสังเคราะห์เมทิล-2-พาราเมทอกซีเบนโซอิลไดโทออล-2-ฟีนิลเอซิติเตต

3.1 ชั่งแมกนีเซียม 1.2 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม 2 คอ ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2 เติมแอนไฮดรัสเททระไฮโดรฟูแรน (anhydrous tetrahydrofuran) ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ลงในข้อ 3.1 แล้วค่อยๆ หยดพาราโบรมอานีซอล (*p*-bromoanisole) ปริมาตร 3 มิลลิลิตรลงไป และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20-30 นาที

3.3 เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ (carbon disulfide) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ ลงในข้อ 3.2 และคนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

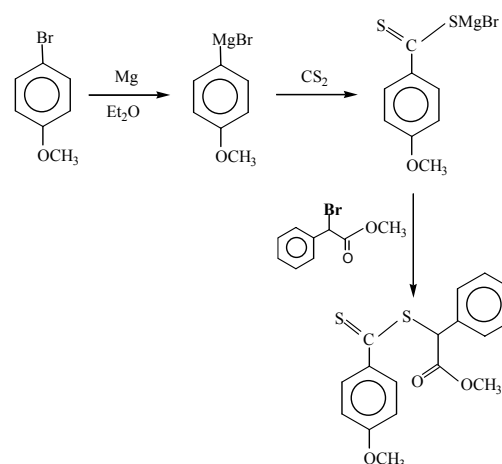
3.4 เติมเมทิลแอลฟาโบรมอานีซอ (methyl α -bromophenylacetate) ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร ลงในข้อ 3.3 หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิอย่างช้าๆ จนถึง 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.5 เทสารละลายใส่ลงในกรวยแยกแล้วเติมเอทอกซีอีเทน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการสกัดซ้ำ 3 ครั้ง นำสารอินทรีย์ที่ได้จากการแยกสกัดทั้ง 3 ครั้ง มารวมกัน แล้วนำไประเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ

3.6 นำสารผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิในข้อ 3.5 มาทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการคอลัมน์โครมาโทกราฟี โดยใช้สารละลายผสมของ เอทอกซีอีเทน และเฮกเซน (hexane) ในอัตราส่วน 1:9

เป็นตัวพา และนำผลึกที่ได้ไปศึกษาโครงสร้างด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์แบบลำแสงเดี่ยว (X-ray single crystallography)

3.7 สมการของปฏิกิริยาการเตรียมเมทิล-2-พาราเมทอกซีเบนโซอิลไดโทออล-2-ฟีนิลเอซิติเตต โดยใช้เมทิลแอลฟา-โบรมอานีซอแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สมการของปฏิกิริยาการเตรียมเมทิล-2-พาราเมทอกซีเบนโซอิลไดโทออล-2-ฟีนิลเอซิติเตต

4. การเตรียมวัสดุคอมโพสิตระหว่าง หินฟัมมิชกับสไตรีน

4.1 นำกรดพาราสไตรีนซัลฟิวริก (*p*-styrene sulfuric acid) จำนวน 0.15 กรัม และสไตรีน (styrene) จำนวน 5 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้ว (Schlenk tube) และเติมสารละลายผสมในอัตราส่วน 2:1 ระหว่างโทลูอีน (toluene) และ 2-โพรพานอล (2-propanol) ให้มีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร

4.2 ชั่งหินฟัมมิช 10 กรัม ใส่ลงในหลอดแก้วในข้อ 4.1

4.3 ใส่สารแลกเปลี่ยนสายโซ่ (chain transfer agent, MpBDP) ที่เตรียมได้จาก

ข้อ 3 ลงไปในข้อ 4.2 ในอัตราส่วนของสาร แลกเปลี่ยนสายโซ่กับสไตรีน 1:500 ปิด หลอดแก้วด้วยจุกยางซึ่งต่อท่อแก้วสำหรับผ่าน แก๊สไนโตรเจนลงไปนในสารละลายเป็นเวลา 15 นาที

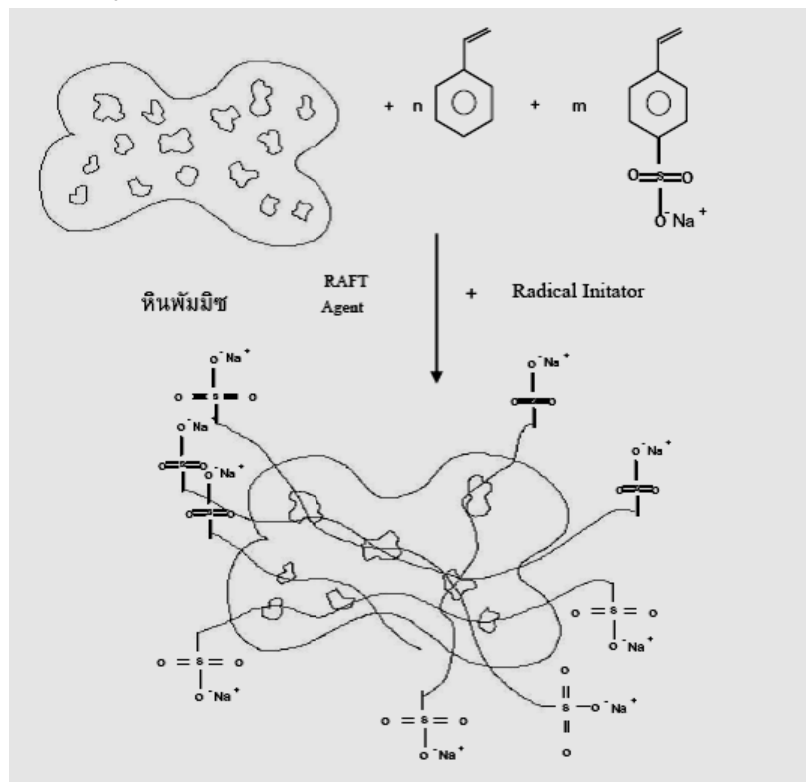
4.4 นำหลอดแก้วข้อ 4.3 ใส่ใน อ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

4.5 นำหลอดแก้วข้อ 4.4 ไปประเหย มอนอเมอร์หรือตัวทำละลายออก และล้าง ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นวัสดุคอมโพสิตโดยใช้

สารละลายไดคลอโรมีเทน(dichloromethane) เอทานอล (ethanol) น้ำ โทลูอิน(Toluene) และ เมทานอล (methanol) ตามลำดับ

4.6 นำวัสดุคอมโพสิตที่ได้ไปอบ ในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

4.7 การเตรียมวัสดุคอมโพสิต ระหว่างหินพัมมิชกับสไตรีนผ่านปฏิกิริยาพอลิ เมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระโดยใช้ราฟท์ จะทำ ให้ได้สายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบตามต้องการ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 หินพัมมิชกับสไตรีนซึ่งเตรียมผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระโดยใช้ราฟท์

5. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

การดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์ ระหว่างหินพัมมิช เรซิน และหินพัมมิชกับวัสดุคอมโพสิต

5.1 การศึกษาประสิทธิภาพการ

ดูดซับโลหะแบบต่อเนื่อง (continuous)

5.1.1 ชั่งหินพัมมิชทั้งสาม

ชนิด จากจังหวัดลพบุรี ลำปาง และอินโดนีเซีย ที่มีขนาด 4.75 มิลลิเมตร เรซิน และ หินพัมมิช

กับวัสดุคอมโพสิต ชนิดละ 5 กรัม ใส่ลงในคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นสารดูดซับ

5.1.2 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผ่านสารดูดซับและเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ไว้

5.1.3 นำสารละลายที่ได้ในข้อ

5.1.2 มาวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง ICP-OES (Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry)

5.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักแบบแช่ (batch)

5.2.1 ชั่งหินพัมมิสทั้งสามชนิด จากจังหวัดลพบุรี ลำปาง และอินโดนีเซีย ที่มีขนาด 4.75 มิลลิเมตร เรซิน และหินพัมมิซกับวัสดุคอมโพสิต ชนิดละ 5 กรัม ใส่ลงในคอลัมน์แก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร

5.2.2 เติมน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ผ่านสารดูดซับ เก็บน้ำเสียซึ่งแช่ร่วมกับตัวดูดซับทิ้งไว้เป็นเวลา 5 10 และ 15 นาที ก่อนเก็บน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านตัวดูดซับออกมา

5.2.3 นำสารละลายที่ได้ในข้อ

5.2.2 มาวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนักที่เหลือด้วยเครื่อง ICP-OES

ผลการวิจัย

1. ผลการหาค่าประกอบทางเคมีของหินพัมมิซ

งานวิจัยนี้ได้นำหินพัมมิซของประเทศ ไทยจากจังหวัดลพบุรี ลำปาง และ จากประเทศอินโดนีเซีย มาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยการเก็บตัวอย่างแบบสุ่ม 5 ตัวอย่าง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินพัมมิซจากจังหวัดลพบุรี

องค์ประกอบของหินพัมมิซ	ชนิดของหินพัมมิซ				
	ออกไซด์หลัก (ร้อยละโดยมวล)				
	ลพบุรี 1	ลพบุรี 2	ลพบุรี 3	ลพบุรี 4	ลพบุรี 5
ซิลิกา	69.45	69.27	69.55	69.41	69.45
อะลูมินา	13.64	13.71	13.88	13.27	14.23
ไอร์ออน(III) ออกไซด์	1.19	1.15	1.10	1.24	1.23
แคลเซียมออกไซด์	1.10	1.0	1.20	1.16	1.18
แมกนีเซียมออกไซด์	0.11	0.20	0.21	0.18	0.12
โซเดียมออกไซด์	1.13	1.07	1.03	1.09	1.03
โพแทสเซียมออกไซด์	5.32	5.37	5.28	5.30	5.21
แมงกานีส (IV) ไดออกไซด์	0.19	0.18	0.16	0.17	0.18

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินพัมมิชจากจังหวัดลำปาง

องค์ประกอบของหินพัมมิช	ชนิดของหินพัมมิช				
	ออกไซด์หลัก (ร้อยละโดยมวล)				
	ลำปาง 1	ลำปาง 2	ลำปาง 3	ลำปาง 4	ลำปาง 5
ซิลิกา	61.00	61.15	60.43	60.88	60.77
อะลูมินา	24.32	24.09	24.54	24.30	24.58
ไอร์รอน(III)ออกไซด์	3.42	3.23	3.12	3.33	3.25
แคลเซียมออกไซด์	3.67	3.65	3.48	3.50	3.58
แมกนีเซียมออกไซด์	0.11	0.15	0.13	0.13	0.15
โซเดียมออกไซด์	1.10	1.12	1.10	1.12	1.10
โพแทสเซียมออกไซด์	4.59	4.58	4.73	4.30	4.35
แมงกานีส (IV) ไดออกไซด์	4.35	4.30	4.28	4.25	4.40

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของหินพัมมิชจากประเทศอินโดนีเซีย

องค์ประกอบของหินพัมมิช	ชนิดของหินพัมมิช				
	ออกไซด์หลัก (ร้อยละโดยมวล)				
	อินโดนีเซีย 1	อินโดนีเซีย 2	อินโดนีเซีย 3	อินโดนีเซีย 4	อินโดนีเซีย 5
ซิลิกา	61.29	60.91	61.33	61.04	61.32
อะลูมินา	24.55	24.21	24.17	24.38	24.22
ไอร์รอน(III)ออกไซด์	3.47	3.33	3.41	3.44	3.39
แคลเซียมออกไซด์	3.85	3.82	3.81	3.80	3.82
แมกนีเซียมออกไซด์	0.15	0.11	0.13	0.14	0.11
โซเดียมออกไซด์	1.20	1.09	1.15	1.19	1.18
โพแทสเซียมออกไซด์	0.58	0.69	0.58	0.57	0.55
แมงกานีส (IV) ไดออกไซด์	5.32	5.41	5.44	5.11	5.42

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่แสดงในตารางที่ 1 และ 2 พบว่าหินพัมมิชจากลพบุรี มีปริมาณอะลูมินาน้อยที่สุด และปริมาณของอะลูมินาจะสัมพันธ์กับจำนวนตำแหน่งที่ว่างไวต์ต่อปฏิกิริยา (active site) ของไอออนลบที่

พบในโครงสร้างของหินพัมมิช ในขณะที่เดียวกันพบว่าปริมาณของอะลูมินาทั้งจากประเทศอินโดนีเซียและจังหวัดลำปางมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 3 คือ โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 24-25 ส่วนปริมาณไอออนบวก ที่เป็นตัว

ปรับสมดุลประจุของไอออนลบพบว่าปริมาณเหล็กและแคลเซียมในรูปของไอร์ออน(III) ออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ พบมากในหินพัมมิชทั้งจากประเทศอินโดนีเซียและจังหวัดลำปาง ส่วนปริมาณไอออนบวกหมู่หนึ่งทั้งโซเดียมและโพแทสเซียมพบมากในหินพัมมิชที่มีมาจากประเทศไทย

2. ผลการหาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียสังเคราะห์แบบต่อเนื่องและแบบแช่

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักโดยเปรียบเทียบระหว่าง หินพัมมิชของประเทศสไทยจากจังหวัดลพบุรี ลำปาง หินพัมมิชของประเทศอินโดนีเซีย เรซิน และหินพัมมิชกับวัสดุคอมโพสิต ในน้ำเสียสังเคราะห์แบบต่อเนื่องและแบบแช่ ซึ่งปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์แบบต่อเนื่อง

ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก				
	การแลกเปลี่ยนไอออน (ร้อยละโดยมวล)				
	หินพัมมิชลพบุรี 1	หินพัมมิชลำปาง 1	หินพัมมิชอินโดนีเซีย 1	เรซิน	คอมโพสิต
สังกะสี	68.21	68.54	75.15	67.54	72.37
ทองแดง	69.48	70.21	78.64	69.14	75.64
แคลเซียม	75.24	76.38	80.59	74.25	79.11
ตะกั่ว	69.54	81.25	84.26	68.72	80.47
ปรอท	100	100	100	100	100

ตารางที่ 5 การศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสังเคราะห์แบบแช่

ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนัก	ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนัก				
	การแลกเปลี่ยนไอออน (ร้อยละโดยมวล)				
	หินพัมมิชลพบุรี 1	หินพัมมิชลำปาง 1	หินพัมมิชอินโดนีเซีย 1	เรซิน	คอมโพสิต
สังกะสี	70.24	70.58	77.42	71.35	71.12
ทองแดง	70.87	71.54	79.52	72.54	72.53
แคลเซียม	76.21	77.85	81.79	81.76	79.36
ตะกั่ว	77.54	83.13	85.24	83.54	80.45
ปรอท	100	100	100	100	100

สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

1. ปริมาณของอะลูมินาจะสัมพันธ์กับจำนวนตำแหน่งที่ร่องไวกของไอออนลบที่พบในโครงสร้างของหินพัมมิช และพบว่าปริมาณของอะลูมินาในหินพัมมิชทั้งจากอินโดนีเซียและลำปางมีปริมาณที่ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 24-25 ส่วนหินพัมมิชจากลพบุรี มีปริมาณอะลูมินาน้อยที่สุด

2. ปริมาณเหล็กและแคลเซียมในรูปของไอร์ออน (III) ออกไซด์ และแคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวปรับสมดุลประจุของอะลูมินา พบมากในหินพัมมิชทั้งจากอินโดนีเซียและลำปาง โดยที่หินพัมมิชจากอินโดนีเซียมีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ร้อยละ 3.33-3.47 และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 3.80-3.85 สำหรับหินพัมมิชจากลำปางมีปริมาณไอร์ออน (III)ออกไซด์ ร้อยละ 3.12-3.42 และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 3.48-3.67

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักแบบต่อเนื่อง โดยใช้หินพัมมิชจากลพบุรี ลำปางและอินโดนีเซียที่มีขนาดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร พบว่าหินพัมมิชจากอินโดนีเซียดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุด ร้อยละ 84.26 แคมเมียมร้อยละ 80.59 ทองแดงร้อยละ 78.64 และน้อยที่สุดคือสังกะสีร้อยละ 75.15

4. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก (แบบ batch) โดยใช้หินพัมมิชจากลพบุรี ลำปาง และอินโดนีเซียที่มีขนาดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร พบว่าหินพัมมิชจากอินโดนีเซียดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุด

ร้อยละ 85.24 แคมเมียมร้อยละ 81.79 ทองแดงร้อยละ 79.52 และน้อยที่สุดคือสังกะสีร้อยละ 77.42

5. จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักแบบต่อเนื่องและแบบแช่ พบว่าหินพัมมิชจากลพบุรี ลำปาง อินโดนีเซีย และหินพัมมิชคอมโพสิตมีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักปรอทได้ร้อยละ 100

6. จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนักแบบต่อเนื่อง พบว่าหินพัมมิชคอมโพสิตซึ่งใช้หินพัมมิชจากลพบุรีและลำปาง มีประสิทธิภาพดีรองจากหินพัมมิชของอินโดนีเซีย และดีกว่าเรซิน โดยสามารถดูดซับโลหะหนักตะกั่วได้ดีที่สุดร้อยละ 80.47 แคมเมียมร้อยละ 79.11 ทองแดงร้อยละ 75.64 และน้อยที่สุดคือสังกะสีร้อยละ 72.37

7. วัสดุคอมโพสิตที่เตรียมระหว่างหินพัมมิชกับพอลิเมอร์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักของหินพัมมิชจากธรรมชาติได้ โดยสามารถกำจัดโลหะหนักแบบต่อเนื่อง ในช่วงร้อยละ 72.37-80.47 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักได้ดีกว่าเรซิน (กำจัดโลหะหนักแบบต่อเนื่อง ในช่วงร้อยละ 67.54-74.25) ดังนั้นจึงเป็นอีกหนี่งทางเลือกที่สามารถนำไปปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ในระบบบำบัดและกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง โดยมีต้นทุนต่ำกว่าการใช้เรซิน

ข้อเสนอแนะ

1. สถานประกอบการและโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่มีโลหะหนักในน้ำทิ้งสามารถใช้หินพัมมิชกับวัสดุคอมโพสิตซึ่งผ่านการวิจัยศึกษาไปปรับใช้และพัฒนาให้เป็น

ระบบกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการใช้เรซิน หรือวัสดุสังเคราะห์ชนิดอื่นๆทางห้องปฏิบัติการเคมี

2. ศึกษาการใช้สารเคมีหรือวิธีอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้ง กับการศึกษาครั้งนี้ให้เกิดการพัฒนาอย่างเป็นรูปธรรมในอนาคต

3. งานวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญและมีประโยชน์สำหรับศึกษาการใช้หินพัมมิชกับวัสดุคอมโพสิตในการกำจัดโลหะหนักในระดับต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2552

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2535). พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

นิคม จิงอยู่สุข. (2540). หินอุตสาหกรรมกับการเกษตรแผ่นใหม่. การประชุมเสนอผลงานทางวิชาการ กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ วันที่ 22-23 ธันวาคม พ.ศ. 2540 หน้า 7-15.

Babasiga. (2009). **Volcano near Tonga**. Retrieved August 28, 2010, from Angel Website: <http://babasiga.blogspot.com/2009/03/volcano-near-tonga.html>

Borghei, S.M. (2007). Kinetics of organic removal in fixed-bed aerobic biological reactor. **Bioresource Technology**, 98: 787–791.

Catalfamo, P., Arrigo, I., Primerano, P., Corigliano, F. (2006). Efficiency of a zeolitized pumice waste as a low-cost heavy metals adsorbent. **Journal of Hazardous Materials**, 134:140–143.

Kitis, M. (2005). Heterogeneous catalytic degradation of cyanide using copper-impregnated pumice and hydrogen peroxide. **Water Research**, 39:1652–1662.

Kitis, M. (2007). Adsorption of natural organic matter from waters by iron coated pumice. **Chemosphere**, 66:130–138.

Matyjaszewski, K. (2000). **Controlled/Living Radical Polymerization: Progress in ATRP, NMP and RAFT**. American Chemical Society: Washington, DC. 768:2921-2990.

Panuccio, M. R. (2009). Cadmium adsorption on vermiculite, zeolite and pumice-Batch experimental studies. **Journal of Environmental Management**, 90: 364-374.

Perrier, S., Takolpuckdee, P., Brown, S.,
Legge, T. M., Roy, D., Wood, M. R.,
Rannard, S. P., Duncalf, D.J. (2006).
**Controlled/Living Radical Polymeri-
sation-From Synthesis to Materials.**
In K. Matyjaszewski, K. (Ed.), ACS
Symposium Series. Washington, DC:
American Chemical Society. 944: 438-
454.

Solomon, D. H. (2005). Genesis of the CSIRO
polymer group and the discovery and
significance of nitroxide-mediated
living radical polymerization. **Journal
of Polymer Science Part A: Polymer
Chemistry**, 43:5748-5764.