



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว
เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับ

Studying the Chemical and Physical Properties of Used Plaster Mold
to Apply for the Adsorbent

โดย

รัชดาภรณ์ ปันทะรส

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2555



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็น
ตัวดูดซับ

Studying the Chemical and Physical Properties of Used Plaster Mold to Apply for the
Adsorbent

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย

ประจำปี 2554

จำนวน 70,000 บาท

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.รัชดาภรณ์ ปันทะรส

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

28 ธันวาคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วเพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับ (Studying the Chemical and Physical Properties of Used Plaster Mold to Apply for the Adsorbent) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2554 ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. ภูสิต ปุกมณี พี่เลี้ยงโครงการวิจัยที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง บริษัทอมิพีเรียล จ.ลำปาง ที่ได้เอื้อเฟื้อ โมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้ว นางสาวจริญญา ชมพู และนางสาว คณิศรวิทย์ เตชะเอื้อย ที่ได้ทุ่มเทแรงกายและแรงใจในการทำงาน นางสาวจิราภรณ์ กิตติกุล ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมีคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
อธิบายสัญลักษณ์	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
ขอบเขตการวิจัย	4
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	10
ผลการวิจัย	19
วิจารณ์ผลการวิจัย	29
สรุปผลการวิจัย	30
เอกสารอ้างอิง	30
การนำเสนอผลงานวิชาการ	32

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของยิปซัมจากธรรมชาติ และยิปซัมจากการสังเคราะห์	6
ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันของเอพิจิยิปซัมและแร่ยิปซัม	8
ตารางที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	10
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์โมลด์พลาสติกเตอร์ที่ใช้แล้วด้วยเครื่อง DTA	20
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์โมลด์พลาสติกเตอร์ที่ใช้แล้วด้วยเครื่อง TG	20
ตารางที่ 6 สภาวะของเครื่อง AAS ที่ใช้ในการทดลอง	21
ตารางที่ 7 ปริมาณโลหะในโมลด์พลาสติกเตอร์ที่ใช้แล้วที่ละลายใน pH ต่างๆ	22
ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่ pH ต่างๆ	23
ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่เวลาต่างๆ	24
ตารางที่ 10 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ	25
ตารางที่ 11 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ	27

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ	7
รูปที่ 2 SEM ของโมลด์พลาสติกอร์ที่ใช้แล้ว	19
รูปที่ 3 DTA/TG ของโมลด์พลาสติกอร์ที่ใช้แล้ว	19
รูปที่ 4 สเปกตรัม XRD ของโมลด์พลาสติกอร์ที่ใช้แล้ว	21
รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่ pH ต่างๆ	23
รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่ pH ต่างๆ	23
รูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่เวลาต่างๆ	24
รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่เวลาต่างๆ	25
รูปที่ 9 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ	26
รูปที่ 10 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ	26
รูปที่ 11 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ	27
รูปที่ 12 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ	28

อธิบายสัญลักษณ์

%	เปอร์เซ็นต์
FGD	fuel gas desulfurization
กรัม/ชม ³	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
มล/ม ³	มิลลิกรัมต่อตารางเมตร
nm	นาโนเมตร



การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้ว เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวดูดซับ

Studying the Chemical and Physical Properties of Used Plaster Mold to Apply for the Adsorbent

รัชดาภรณ์ ปันทะรส

Ratchadaporn Puntharod

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ. เชียงใหม่ 50290

บทคัดย่อ

โมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วหรือแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต (สูตรเคมี คือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จากอุตสาหกรรมเซรามิกเพิ่มขึ้น จึงใช้โมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วในการถมที่ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของปัญหาสิ่งแวดล้อมได้ จุดประสงค์การวิจัยนี้คือวิเคราะห์หาปริมาณการละลายของธาตุบางชนิด ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้ว ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และเหล็ก ภายใต้สภาวะกรดและด่าง จุดประสงค์ และติดตามการเป็นไปได้ในการนำโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่ว แต่ละโลหะที่เป็นองค์ประกอบวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ในสภาวะกรดโลหะที่มีการละลายคือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม แมงกานีสและเหล็ก ในสภาวะด่างโลหะที่มีการละลายคือ แคลเซียมและแมงกานีส สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการดูดซับโครเมียมและตะกั่วด้วยโมลด์ปลาสเตอร์ ได้แก่ ที่สภาวะไม่มีการปรับ pH ที่เวลา 20 นาที ปริมาณโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้ว 2 และ 3 กรัม สำหรับสารละลายโครเมียมและตะกั่วที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ผลการทดลองบ่งบอกเป็นนัยได้ว่าโมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้วสามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ในการกำจัดโลหะโครเมียมและตะกั่วได้

คำสำคัญ: โมลด์ปลาสเตอร์ที่ใช้แล้ว กรดและด่าง การดูดซับ โครเมียม ตะกั่ว

Abstract

Used plaster molds or calcium sulfate dihydrate (chemical formula is $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) from ceramic industries has been increased. It is used for landfill site that may be cause environmental problem. The objectives of this research are to determine the solubility of some elements as composition of used plasters mold such as sodium, potassium, calcium, magnesium, manganese, and iron under acid and base conditions and to investigate the possibility of reusing waste plaster molds to adsorb chromium and lead. The each elemental composition of the used plaster molds was determined by atomic absorption spectrophotometer. Potassium, magnesium, calcium, manganese, and iron were dissolved in acid conditions. Calcium and manganese were dissolved in base conditions. The optimized conditions to adsorb chromium and lead were control pH for 20 min with 2 and 3 g of used plaster molds for 10 ppm of chromium and lead, respectively. These results suggest that used plaster molds could be employed as an efficient adsorbent to remove chromium and lead.

Key words: used plaster molds, acid and base, adsorption, chromium, lead

คำนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จังหวัดลำปางมีโรงงานผลิตเซรามิกเป็นจำนวนมาก ผลิตภัณฑ์ที่ผลิต เช่น แก้วน้ำ จาน ชาม แจกัน กระถางต้นไม้ และอื่นๆอีกมากมาย จากโรงงานที่มีมากกว่า 300 โรง ตั้งแต่โรงงานเล็กๆแบบครอบครัว ไปจนถึงโรงงานใหญ่ที่มีเทคโนโลยีเพื่อให้สินค้าเกรด A ในโรงงานใหญ่นี้อยู่มีการใช้โมลด์พลาสติกหรือ ปูนพลาสติก (plaster of Paris) ผลิตจากแร่ยิปซัม (สูตรเคมีของยิปซัมคือ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) โดยใช้เป็นแบบพิมพ์หล่อแบบขึ้นรูปเซรามิกส์ เพื่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งแบบพิมพ์นั้นจะสามารถใช้งานได้ประมาณ 80-100 ครั้งต่อ 1 แบบพิมพ์ และปูนพลาสติกที่ใช้ทำแบบพิมพ์นั้นมีอายุการใช้งานที่จำกัด แบบพิมพ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วจะถูกทิ้งเอาไว้ ในแต่ละปีจึงมีปริมาณโมลด์พลาสติกที่เป็นแบบหล่อที่ไม่ใช้แล้วไม่ต่ำกว่า 38,000 ตันต่อปี (ลด, 2552) แม้ว่าจะมีการนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ เช่นนำมาใช้เป็นตัวเติมในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ การผลิตยิปซัมบอร์ด นำไปถมที่ แต่ผลเสียที่ตามมาคือการเพิ่มความเสี่ยงของการสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของโลกร้อนได้ และนำไปทิ้งทำให้เกิดปัญหาขยะ ในด้านเกษตรกรรมใช้ประโยชน์จากยิปซัมเป็นตัวปรับคุณภาพดิน โดยการบดยิปซัมแล้วโปรยลงดินโดยตรง หรือนำไปผสมในน้ำที่ใส่รดแปลงเพาะปลูก แคลเซียมจากยิปซัมสามารถเข้าแทนที่อนุมูลของโซเดียมในดินทำให้ความเค็มลดลงสามารถนำกลับไปได้ (กรกนก, 2551) จึงมีแนวคิดในการนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามยังไม่พบการรายงาน ข้อมูลสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว ดังนั้นเพื่อให้เกิดประโยชน์จากงานวิจัยนี้ในการนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วไปใช้เป็นตัวดูดซับโลหะได้สูงสุด ควรจะทราบถึงสมบัติเหล่านั้นได้แก่ ความเป็นผลึก องค์ประกอบทางเคมี หมู่ฟังก์ชัน พื้นที่ผิว ลักษณะพื้นที่ผิว การปลดปล่อยธาตุในสารละลายกรดและด่าง จากนั้นจึงนำทดสอบการใช้โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วเป็นตัวดูดซับโลหะ โดยสารที่จะถูกดูดซับนั้นต้องขึ้นกับสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกเช่นกัน เพื่อจะนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้อีกครั้งในกระบวนการผลิตภาชนะเซรามิกมีการใช้เคลือบซึ่งคือชั้นของแก้วบางที่หลอมละลายติดกับผิวดิน เมื่อเผาผลิตภัณฑ์ที่ความร้อนในอุณหภูมิสูง การเคลือบจะช่วยให้การชำระล้างภาชนะเซรามิกง่ายขึ้น เนื่องจากเคลือบมีสมบัติลื่นมือซึ่งทำความสะอาดได้ง่ายกว่าผิวดิน และการเคลือบยังเพิ่มความแข็งแรง ทนทาน ทำให้ภาชนะไม่บิ่นง่าย ใสของเหลวได้ ไม่เกิดการรั่วซึม วัสดุดิบที่ใช้เตรียมเคลือบได้แก่ นิกเกิลออกไซด์ (NiO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) คอปเปอร์คาร์บอเนต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) แบเรียมออกไซด์ (BaO) ตะกั่ว (Pb) และ ซิลิกา (SiO_2) ตะกั่วทำหน้าที่

เป็นตัวหลอมละลายที่ให้แก้วในอุณหภูมิค่า 900-1200 องศาเซลเซียส ส่วนโครเมียมทำหน้าที่ให้สี ซึ่งเป็นสีที่ทนไฟได้สูง วัตถุดิบเหล่านี้มีอันตรายต่อร่างกาย โดยฝุ่นของวัตถุดิบนั้นสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ ทางปากและทางผิวหนัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งตะกั่วและโครเมียม (ไพจิตร, 2537) ทั้งสองโลหะนี้มีค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน (Threshold Limit Value, TLV) ค่า หมายความว่าโลหะทั้งสองชนิดนี้มีความเป็นพิษสูง ตะกั่วและโครเมียมมีค่า TLV เท่ากับ 0.15 และ 0.5 mg/m³ ตามลำดับ หากได้รับโลหะเหล่านี้มากเกินไปทำให้ปวดศีรษะ น้ำหนักตัวลด ร่างกายสูบซึด คลื่นไส้ อาเจียน (Sax and Lewis, 1990) ในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกมีการฟุ้งกระจายของโลหะตะกั่วและโครเมียม และอาจมีการปนเปื้อนของโลหะทั้งสองในน้ำทิ้งของโรงงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาสมบัติทางเคมีและคุณภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากในโรงงานเซรามิกมาใช้ประโยชน์เป็นตัวดูดซับเพื่อกำจัดโลหะตะกั่วและโครเมียมซึ่งเป็นสารอันตรายที่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการเคลือบ งานวิจัยนี้จึงสามารถช่วยในเรื่องการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม โดยการนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วกลับคืนมาเป็นวัตถุดิบอีก เป็นการเพิ่มมูลค่าและเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วจากโรงงานเซรามิก
2. ศึกษาการละลายของธาตุบางชนิดในโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วในเงื่อนไขความเป็นกรดและด่าง
3. ศึกษาสมบัติการดูดซับ โลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว และ โครเมียม ด้วยโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วจากโรงงานเซรามิก ในจังหวัดลำปาง
2. เพื่อทำการศึกษาการละลายของธาตุบางชนิดใน โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วในเงื่อนไขความเป็นกรดและด่าง
3. เพื่อทำการศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว และ โครเมียม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มแนวทางในการนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วให้เกิดประโยชน์
2. การประยุกต์ใช้โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วตามความรู้ที่ได้จากการสมบัติทางเคมีและกายภาพ
3. นำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดปัญหาการนำโมลด์พลาสติกไปถมที่และนำไปทิ้ง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานวิจัยด้านสิ่งแวดล้อม
4. นำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว ไปปรับปรุงพื้นที่ผิวตามประโยชน์การใช้งาน
5. การเผยแพร่ในวารสารวิชาการและเผยแพร่แก่หน่วยงานที่สามารถงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ได้แก่ สาขาวิชาเคมี สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก

การตรวจเอกสาร

ปูนปลาสเตอร์ผลิตมาจากแร่ยิปซัมที่มีชื่อทางเคมีคือ แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ในโครงสร้างมีน้ำ 2 หน่วยต่อแคลเซียมซัลเฟต 1 หน่วย ยิปซัมประกอบด้วยซัลเฟอร์ ไตรออกไซด์ (SO_3) 46.5% แคลเซียมออกไซด์ (CaO) 32.6% น้ำ (H_2O) 20.9% เมื่อนำยิปซัมมาเผา แคลไซน์ น้ำบางส่วนจะระเหยออกไปกลายเป็นปูนปลาสเตอร์ ซึ่งมีชื่อทางเคมีว่า แคลเซียมซัลเฟต เฮมิไฮเดรต ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) ในโครงสร้างจะมีน้ำเพียง 1 หน่วยต่อแคลเซียมซัลเฟต 2 หน่วย ปฏิกริยาดังกล่าวนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ ดังสมการ (1)



ปูนปลาสเตอร์ที่อยู่ในรูปของผลึกมีชื่อว่า Bassanite มีโครงสร้างผลึกเป็น rhombohedral ปลาสเตอร์มีอยู่ 2 เฟส คือ แอลฟาปลาสเตอร์ (α -hemihydrate) หรือ gypsum cement มีการจัดเรียงตัวเป็นโมโนคลินิก (monoclinic) และเบต้าปลาสเตอร์ (β -hemihydrate) หรือ plaster of Paris มีการจัดเรียงตัวเป็นไตรโกนอล (trigonal) (Carvalho *et al.*, 2008) แต่ปริมาณน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นปูนปลาสเตอร์แตกต่างกัน หากเป็นแอลฟาปลาสเตอร์ อัตราส่วนปลาสเตอร์ต่อน้ำสูง ทำให้ปูนปลาสเตอร์มีความแข็งแรงสูง ความพรุนต่ำ การขยายตัวสูง และปูนปลาสเตอร์มีสมบัติหลากหลาย ส่วนเบต้าปลาสเตอร์ มีอัตราส่วนปลาสเตอร์ต่อน้ำต่ำ ทำให้ปูนปลาสเตอร์มีความแข็งแรงต่ำ ความพรุนสูง การขยายตัวต่ำ (ลดา, 2552)

ยิปซัมที่ได้จากกระบวนการการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ หรือที่เรียกว่า FDG-gypsum จากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยทั่วไปผลึกของยิปซัมมีขนาด 79 ไมครอน มีรูปร่างแบบแท่ง มีพื้นที่ผิวเท่ากับ 1.95 ตารางเมตรต่อกรัม มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.3 (Chindaprasirt, 2011)

ส่วนประกอบทางเคมีของยิปซัมจากธรรมชาติ และยิปซัมจากการสังเคราะห์มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของยิปซัมจากธรรมชาติ และยิปซัมจากการสังเคราะห์

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ยิปซัมจากธรรมชาติ (Graf, 2010)	ยิปซัมจากการ สังเคราะห์ (Graf, 2010)	FGD-gypsum จากเหมือง แม่เมาะ จ.ลำปาง (Chindaprasirt, 2011)
SiO ₂	0.37-1.69	0.27-10.24	1.69
Al ₂ O ₃	0.03-0.29	0.01-2.60	0.63
Fe ₂ O ₃	0.01-0.07	0.01-1.05	0.67
CaO	31.50-34.35	32.24-35.97	46.77
MgO	0.20-3.32	0.18-0.52	0.52
K ₂ O	0.01-0.06	0.01-1.60	0.05
Na ₂ O	0.08-0.11	0.07-0.72	0.06
TiO ₂	0.01-0.02	0.01-0.17	0.03
MnO ₂	NA	NA	0.02
SO ₃	36.11-45.50	31.86-46.31	49.54

จากการรายงานองค์ประกอบทางเคมีของยิปซัม จะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์อยู่มากกว่าร้อยละ 50 เมื่อวิเคราะห์พลาสติกจากธรรมชาติและพลาสติกที่กลับมาใช้ใหม่ (recycled plaster) ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) ที่แสดงหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิลของน้ำที่เลขคลื่น 3300 เซนติเมตร⁻¹ และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่เลขคลื่น 1200 เซนติเมตร⁻¹ เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) ที่แสดงว่าพลาสติกทั้งสองชนิดประกอบด้วยแคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (calcium sulphate hemihydrate) เป็นองค์ประกอบหลัก และเครื่องวัดค่าความร้อน (TG-DSC) แสดงปฏิกิริยาเอนโดเทอร์มิกของการเกิดแคลเซียมแอนไฮไดรด์ (calcium anhydride) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จากข้อมูลต่างๆ เหล่านี้พบว่าทั้งพลาสติกจากธรรมชาติและพลาสติกที่กลับมาใช้ใหม่ให้ผลการทดลองที่คล้ายกัน (Carvalho *et al.*, 2008)

ความสามารถในการดูดซับเป็นความสามารถของสารดูดซับ (adsorbent) ในการดึงโมเลกุลหรือสารถูกดูดซับ (adsorbate) ที่อยู่ในสถานะแก๊สหรือของเหลวให้มาเกาะติดบนพื้นผิวของสารดูดซับซึ่งกระบวนการดูดซับนี้สามารถเกิดขึ้นระหว่างพื้นผิว 2 ภูมิภาค คือ แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง ของเหลวกับของเหลว หรือ ของเหลวกับของแข็ง แสดงดังรูปที่ 1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ ได้แก่ พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน ขนาดของสารดูดซับ และเคมีที่ผิวหน้าหรือหมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวโมเลกุล โดยกระบวนการดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)



รูปที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลไม่สูง มันเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ ในการดูดซับลักษณะนี้เป็นการดูดซับที่เกิดขึ้นบริเวณใดก็ได้ภายในรูพรุน บริเวณผิวหน้าหรือโมเลกุลของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ ส่วนใหญ่แล้วการดูดซับทางกายภาพเกิดแรงระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ โดยการดูดซับแบบนี้เป็นการดูดซับที่เกิดได้หลายชั้น (multilayer adsorption)

การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่สูงมาก ซึ่งพันธะที่เกิดขึ้นในการดูดซับนี้ได้แก่ พันธะโควาเลนต์ พันธะไอออนิก การดูดซับทางเคมีนี้เกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเท่านั้น โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียว (monolayer adsorption)

ข้อแตกต่างการดูดซับทางเคมีและทางกายภาพคือ แรงยึดเหนี่ยวของการดูดซับโดยการดูดซับทางเคมีมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมากกว่าการดูดซับทางกายภาพ แต่การดูดซับทางเคมีเกิดได้ยากเพราะเมื่อบริเวณผิวหน้าของตัวดูดซับถูกปกคลุมไปด้วยตัวถูกดูดซับแล้ว จึงไม่สามารถเกิดการดูดซับได้อีก ทำให้การดูดซับทางเคมีเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ส่วนการดูดซับทางกายภาพนั้นมีแรงยึดเหนี่ยวที่อ่อนกว่าทำให้การดูดซับชนิดนี้ทำการดีซอร์พชัน (desorption) (กรรณก, 2551)

เอฟจีดีอีปซัมหรืออีปซัมสังเคราะห์มีสมบัติทางกายภาพ ทางเคมีและมีปริมาณแร่ธาตุคล้ายคลึงกับแร่อีปซัมซึ่งเป็นอีปซัมทางการค้า แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกันของเอฟจีดีอีปซัมและแร่อีปซัม [8]

คุณสมบัติ	เอฟจีดีอีปซัม	แร่อีปซัม
สี	เหลืองอ่อน	ขาว
ความถ่วงจำเพาะ (g/cm^3)	2.2	2.3
ระยะเวลาการเซตตัว (min)	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
ค่าความเป็นกรดด่าง	7.3	6.5
องค์ประกอบทางเคมี	องค์ประกอบหลักคือ CaO = 38 SO ₃ = 54	องค์ประกอบหลักคือ CaO = 59 SO ₃ = 41
องค์ประกอบทางแร่	Gypsum (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	Gypsum (CaSO ₄ ·2H ₂ O)

จากที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นพลาสติกมีอยู่ 2 เฟส คือ แอลฟาพลาสติกและเบต้าพลาสติก ทั้งสองเฟสนี้มีการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน (Carvalho *et al.*, 2008) รวมถึงขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่แตกต่างกัน โดยแอลฟาพลาสติกมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่า (Lewry and Williamson, 1994) ส่วนข้อมูลจากเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) และอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR) คล้ายคลึงกัน โดยแอลฟาและเบต้าพลาสติก แสดงหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิลของน้ำ และซัลเฟต (SO₄²⁻) และพลาสติกทั้งสองชนิดประกอบด้วยแคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต (calcium sulphate hemihydrate) เป็นองค์ประกอบหลัก (Carvalho *et al.*, 2008)

มีการศึกษาการสมบัติทางเคมี กายภาพและลักษณะของกลไกของพลาสติกจากธรรมชาติ และพลาสติกที่เปลี่ยนให้เป็นวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ (recycled plaster) ด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ และเครื่องวัดค่าความร้อน (DSC) เมื่อเปรียบเทียบ

ผลการทดลองจากทั้งสามเครื่องมือพบว่า พลาสติกจากธรรมชาติและพลาสติกที่เปลี่ยนให้เป็นวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่ให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกัน (Carvalho *et al.*, 2008) ในการศึกษาแรงผิวของผลึกยิปซัมด้วยเทคนิคอะตอมิกฟอร์ซไมโครสโคป (AFM) ได้ผลการทดลองว่าพบแรงผิวประกอบด้วยแรงดึงดูดทางฟิสิกส์อยู่ 3 ชนิดคือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals forces) แรงไฟฟ้าสถิต (electrostatic forces) และแรงดึงดูดของเหลวไปตามท่อเล็กๆ (capillary forces) (Finot *et al.*, 2001)

ในการศึกษาลักษณะการดูดซับซูปเปอร์พลาสติกไฮเซอร 2 ชนิด ได้แก่ β -naphthalene sulfuric acid (BNS) และ polycarboxylate (PC) บนพื้นผิวยิปซัม โดยค่าศักย์ซีต้า (zeta potential) ของยิปซัมเท่ากับ 19 mV หลังจากดูดซับด้วย BNS และ PC ค่าศักย์ซีต้าเท่ากับ -38.7 และ -30.4 mV ตามลำดับ ทั้ง BNS และ PC เป็นสารลดความตึงผิวชนิดประจุลบ จึงทำให้ค่าศักย์ซีต้าของยิปซัมหลังการดูดซับมีค่าเป็นลบ และส่งผลให้อนุภาคของยิปซัมเกิดการกระจายตัวเนื่องจากมีแรงผลักระหว่างอนุภาคนยิปซัม เป็นผลจากความเกาะ (steric hindrance) ที่เป็นแรงผลักระหว่างไฟฟ้าสถิตที่เกิดหมู่ไอออนลบของ BNS และ PC นั้นเอง (Peng *et al.*, 2005) มีการใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโกปีและดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี ในการศึกษาการดูดซับกรดอะซิติกบนพื้นผิวของแคลเซียมซัลเฟตที่อุณหภูมิห้อง โดยการดูดซับนี้เป็นการดูดซับทางเคมี (Vellmer *et al.*, 2006) โดยได้มีรายงานมาก่อนหน้านี้ว่าการดูดซับทางเคมีบนพื้นผิวของแคลเซียมซัลเฟตเป็นผลจากความหนาแน่นประจุและการจับคู่ของโครงสร้างระหว่าง active site ของตัวถูกดูดซับและ adsorption site ของตัวดูดซับ (Singh *et al.*, 2007)

จากข้อมูลส่วนประกอบทางเคมีของยิปซัมจากธรรมชาติ และยิปซัมจากการสังเคราะห์ที่พบว่ายิปซัมทั้งสองมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ซิลิกามีความสามารถในการดูดซับความชื้นและสารเคมีได้ดี เนื่องจากมีความเป็นรูพรุนสูง จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการดูดซับสีย้อมต่างๆ (Krysztalkiewicz *et al.*, 2003, Messina and Schulz, 2006, Cestari *et al.*, 2006) ใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนัก เช่น แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี และนิกเกิล (Wan Ngah and Hanafiah, 2008) จากงานวิจัยนี้จึงคาดว่าโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วสามารถดูดซับโลหะได้เช่นกัน

ดังนั้นการใช้โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วจึงเป็นหนึ่งตัวเลือกที่น่าสนใจที่นำมาศึกษาในการดูดซับโลหะ ได้แก่ ตะกั่วและโครเมียม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ตารางที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ – อุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิตและรุ่น	ประเทศ
1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorptionspectrophotometer)	Perkin Elmer รุ่น Analyst 100	United State
2. เครื่องอะตอมมิกอิมิซชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic emission spectrophotometer)	Perkin Elmer รุ่น Analyst 100	United State
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)	Mettler Toledo รุ่น AB204-s	Switzerland
4. ตู้อบความร้อน (Hot air oven)		
5. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)		

วิธีการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโพลีพลาสติกที่ใช้แล้ว
2. ศึกษาการละลายของธาตุบางชนิดใน โพลีพลาสติกที่ใช้แล้วในเงื่อนไขความเป็นกรดและด่าง
3. ศึกษาการดูดซับโลหะหนัก 2 ชนิด คือ ตะกั่ว และโครเมียม

1. วิธีการเตรียมสาร

1.1 เตรียมผงปูนปลาสเตอร์

นำแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่ใช้งานแล้วจาก บริษัทอิมพีเรียลฟู้ดเทอรัจ จำกัด จ. ลำปาง มาบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 ไมครอน แล้วอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

1.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M (pH=14)

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40.00 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน นำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.3 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1×10^{-1} M (pH=13)

ปีเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1×10^{-3} M มา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.14 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1×10^{-5} M (pH=5)

ปีเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1×10^{-4} M มา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.15 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1×10^{-6} M (pH=6)

ปีเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1×10^{-5} M มา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

1.16 เตรียมสารละลาย 1% กรดไนตริก

ปีเปตกรดไนตริกเข้มข้น 65% (ปริมาตร/ปริมาตร) มา 15.40 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำปราศจากไอออนอยู่เล็กน้อย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนให้ถึงขีดปริมาตร

1.17 เตรียมสารละลายโซเดียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งโซเดียมไนเตรด 0.3734 กรัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.18 เตรียมสารละลายโซเดียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายโซเดียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.19 เตรียมสารละลายโซเดียมมาตรฐาน ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายโซเดียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.20 เตรียมสารละลายโซเดียมมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายโซเดียมมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.21 เตรียมสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ซังแมกนีเซียมไนเตรต 1.0656 กรัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.22 เตรียมสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.23 เตรียมสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.24 เตรียมสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.25 เตรียมสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ซังอลูมิเนียมไนเตรต 1.4187 กรัม และ แลนทาเนียมไนเตรต 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.26 เตรียมสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.27 เตรียมสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.28 เตรียมสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายอลูมิเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.29 เตรียมสารละลายซิลิกอนมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายซิลิกอนมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.30 เตรียมสารละลายซิลิกอนมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายซิลิกอนมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.31 เตรียมสารละลายซิลิกอนมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายซิลิกอนมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.32 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1910 กรัม และแลนทาเนียมไนเตรด 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.33 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 พีพีเอ็ม แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.34 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4, และ 5.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.35 เตรียมสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายโพแทสเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.36 เตรียมสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งแคลเซียมคาร์บอเนต 0.2790 กรัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.37 เตรียมสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.38 เตรียมสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 5, 10, 15, 20 และ 25 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 2.5 5.0 7.5 10 และ 12.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.39 เตรียมสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแคลเซียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.40 เตรียมสารละลายไททาเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งไททาเนียมไดออกไซด์ 0.1685 กรัม และโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.41 เตรียมสารละลายไททาเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายไททาเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.42 เตรียมสารละลายไททาเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายไททาเนียมมาตรฐาน ความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.43 เตรียมสารละลายไททาเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายไททาเนียมมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.44 เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งแมงกานีสคลอไรด์ 0.3659 กรัม และแคลเซียมคลอไรด์ 0.1 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.45 เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.46 เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.47 เตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายแมงกานีสมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.48 เตรียมสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งเหล็ก(III) คลอไรด์ 0.2964 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.49 เตรียมสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม มา 5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.50 เตรียมสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 100 พีพีเอ็ม มา 1, 2, 3, 4, และ 5 มิลลิลิตรตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.51 เตรียมสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 พีพีเอ็ม

ปีเปตสารละลายเหล็กมาตรฐานความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม มา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.52 เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียมความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งโครเมียม(III)ไนเตรท มา 0.7695 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

1.53 เตรียมสารละลายมาตรฐานตะกั่วความเข้มข้น 1000 พีพีเอ็ม

ชั่งเลด(II)ไนเตรท มา 0.1598 กรัม ละลายใน 1% กรดไนตริก จากนั้นนำสารละลายเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วย 1% กรดไนตริก

2. ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

นำผงโพลีพลาสติกเทอร์โมพลาสติกวิเคราะห์สมบัติทางเคมีโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (differential scanning calorimetry, DSC) และเครื่องวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริก (thermal gravimetric analysis, TGA)

นำผงโพลีพลาสติกเทอร์โมพลาสติกวิเคราะห์สมบัติทางเคมีโดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป (scanning electron microscope, SEM) และเอ็นเอจิสเพอซิฟเอ็กซ์เรย์สเปกโทรสโกปี (EXD)

3. ศึกษาการละลายของธาตุบางชนิดในโพลีพลาสติกที่ใช้แล้วในเงื่อนไขความเป็นกรดและด่าง

นำสารละลายกรดและด่างที่แต่ละ pH ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีผงโพลีพลาสติก 10.00 กรัม จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง กรองสารแขวนลอยที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 แล้วนำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณแมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม ไททานเนียม แมงกานีส และเหล็ก ด้วยเทคนิค AAS และวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมกับโพแทสเซียม ด้วยเทคนิค AES

4. การทำกราฟมาตรฐานโดยวิธี Calibration Method

4.1 การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายโซเดียม โพแทสเซียม

นำสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.1, 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 พีพีเอ็ม ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาวัดค่าการคายแสงด้วยเครื่อง AES แล้วพล็อตกราฟระหว่างค่าการคายแสงกับความเข้มข้น ได้กราฟมาตรฐานของสารละลาย ทำการทดลองเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมมาตรฐานเป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 พีพีเอ็ม และ 2, 4, 6, 8, 10 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

4.2 การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายแมกนีเซียม อะลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม ไททานเนียม แมงกานีส เหล็ก

นำสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 พีพีเอ็ม ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS แล้วพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น จะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายแมกนีเซียม ทำการทดลองเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมมาตรฐานเป็น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 พีพีเอ็ม และ 2, 4, 6, 8, 10 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

4.3 การทำกราฟมาตรฐานของสารละลายโครเมียม ตะกั่ว

นำสารละลายมาตรฐานโครเมียมความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 พีพีเอ็ม ปริมาตร 50 มิลลิลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง AAS แล้วพล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับ

ความเข้มข้นจะได้กราฟมาตรฐานของสารละลายแมกนีเซียม ทำการทดลองเหมือนเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วมาตรฐานเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 พีพีเอ็ม

5. การดูดซับโลหะตะกั่ว และโครเมียมด้วยโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะโครเมียมและตะกั่ว ก่อนและหลังการดูดซับด้วยโพลีเมอร์ที่ใช้แล้วโดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ ได้แก่

5.1 การศึกษาตัวแปร pH

นำสารละลายโครเมียมความเข้มข้น 5 พีพีเอ็ม และสารละลายตะกั่ว 3 พีพีเอ็ม มาปรับพีเอชเป็น 2, 3, 4 และ 5 (pH 5 ใช้น้ำปราศจากไอออน) โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ชั่งโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว 1 กรัม ลงในสารละลายโลหะปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายโลหะแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ โดยความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับคือ C_i และ C_f ตามลำดับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับ} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

5.2 การศึกษาตัวแปร เวลาในการดูดซับ

ชั่งโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว 1 กรัม ลงในสารละลายโลหะปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มี pH ที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที กรองสารละลายโลหะแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

5.3 การศึกษาตัวแปร ปริมาณตัวดูดซับ

ชั่งโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 กรัม ลงในสารละลายโลหะปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มี pH ที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด กรองสารละลายโลหะแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ

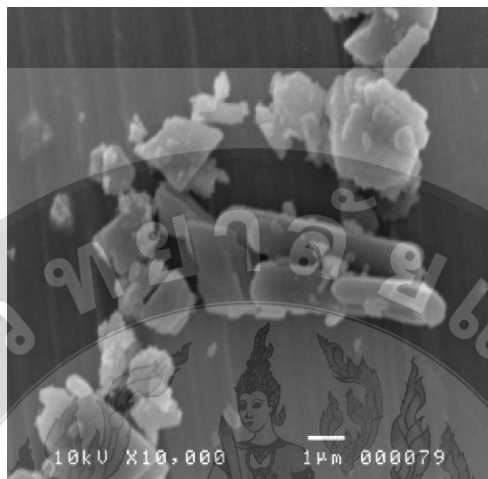
5.3 การศึกษาตัวแปร ความเข้มข้นของสารละลายโครเมียมและตะกั่ว

ชั่งโพลีเมอร์ที่ใช้แล้ว ที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด ลงในสารละลายโครเมียมความเข้มข้น 5, 10, 20, 30, 40 และ 50 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่มี pH ที่ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา ให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด กรองสารละลายโลหะแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS แล้วคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ ส่วนสารละลายตะกั่วใช้ที่ความเข้มข้น 3, 10, 20, 30, 40 และ 50 พีพีเอ็ม

ผลการวิจัย

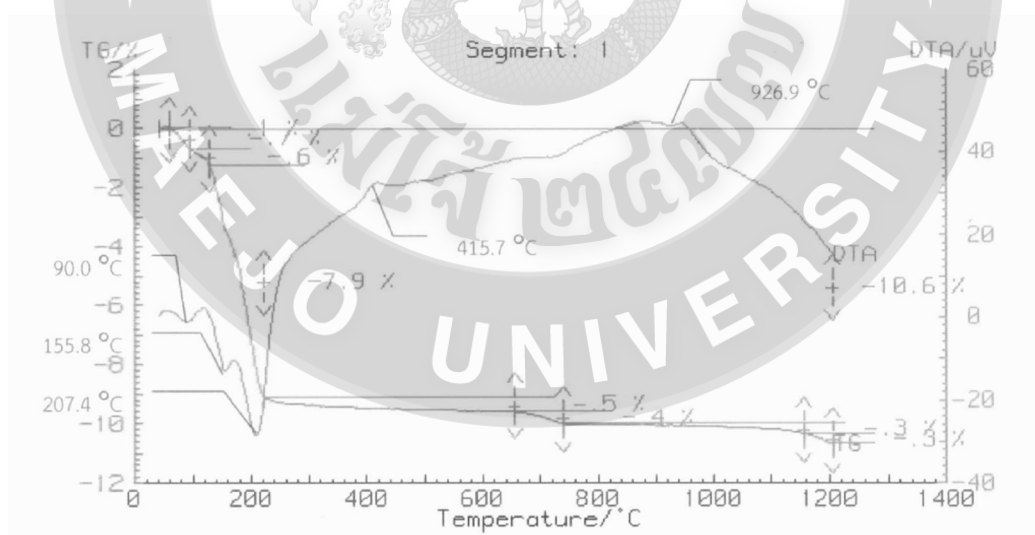
1. ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

1.1 ผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโมลด์พลาสติกด้วยเครื่อง SEM



รูปที่ 2 รูปร่างของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

1.2 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของโมลด์พลาสติกด้วยเครื่อง DTA/TG



รูปที่ 3 DTA/TG ของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

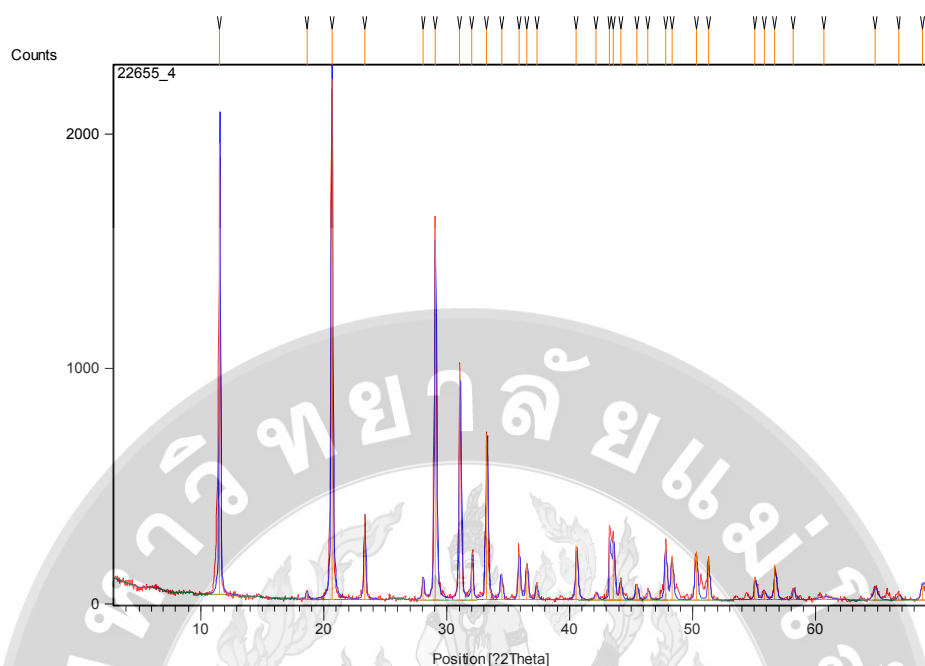
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์โหมดัลพลาสติกอร์ที่ใช้แล้วด้วยเครื่อง DTA

ชนิดของปฏิกิริยา	อุณหภูมิที่เกิดปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส)
ดูดความร้อน	90.0
	155.8
	207.4
	926.9
คายความร้อน	415.7

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์โหมดัลพลาสติกอร์ที่ใช้แล้วด้วยเครื่อง TG

ช่วงอุณหภูมิที่น้ำหนักสูญหาย (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักที่สูญหาย (ร้อยละ)
44.5 – 58.4	น้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.1
58.4 – 95.0	0.7
95.0 – 127.5	0.6
127.5 – 221.5	7.9
221.5 – 655.3	0.5
655.3 – 739.4	0.4
739.4 – 1,155.5	0.3
1,155.5 – 1,205.2	0.3
น้ำหนักสูญหายทั้งหมด	10.6

1.3 ผลวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของโมลด์พลาสติกด้วยเครื่อง XRD



รูปที่ 4 สเปกตรัม XRD ของโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

ตารางที่ 6 สภาวะของเครื่อง AAS ที่ใช้ในการทดลอง

Element	Wavelength (nm)	Slit (nm)	Energy (eV)	Oxidant	Fuel	Oxidant : Fuel
Na	589	0.7	71	Air	Acetylene	3 : 2
Mg	202.6	0.7	27	Air	Acetylene	3 : 2
Al	303.9	0.2	72	Nitrous oxide	Acetylene	2 : 4
Si	251.6	0.2	58	Nitrous oxide	Acetylene	2 : 4
K	766.5	0.7	78	Air	Acetylene	3 : 2
Ca	422.7	0.7	68	Air	Acetylene	3 : 2
Ti	364.3	0.2	66	Nitrous oxide	Acetylene	2 : 4
Mn	279.5	0.2	66	Air	Acetylene	3 : 2
Fe	248.3	0.2	59	Air	Acetylene	3 : 2

2. การละลายของธาตุบางชนิดในโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วในเงื่อนไขความเป็นกรดและด่าง

ตารางที่ 7 ปริมาณโลหะในโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วที่ละลายใน pH ต่างๆ

pH	ปริมาณโลหะ (กรัม/โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว 1000 กรัม)					
	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe
1	0	0.06	0.09	2.67	0.02	0.18
2	0	0.05	0	2.44	0.02	0.03
3	0	0.03	0	2.07	0.006	0.03
4	0	0.04	0	2.14	0.007	0.02
5	0	0.03	0	1.79	0.007	0.01
6	0	0	0	1.3	0.005	0.02
7	0	0	0	1.03	0.004	0
8	0	0	0	0.95	0.003	0
9	0	0	0	0.81	0.003	0
10	0	0	0	0.74	0.001	0
11	0	0	0	0.74	0.003	0
12	0	0	0	0.85	0.003	0
13	0	0	0	0.6	0.007	0
ตัวควบคุม	0	0	0	1.75	0.003	0

3. การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วด้วยโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว

การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วด้วยโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ

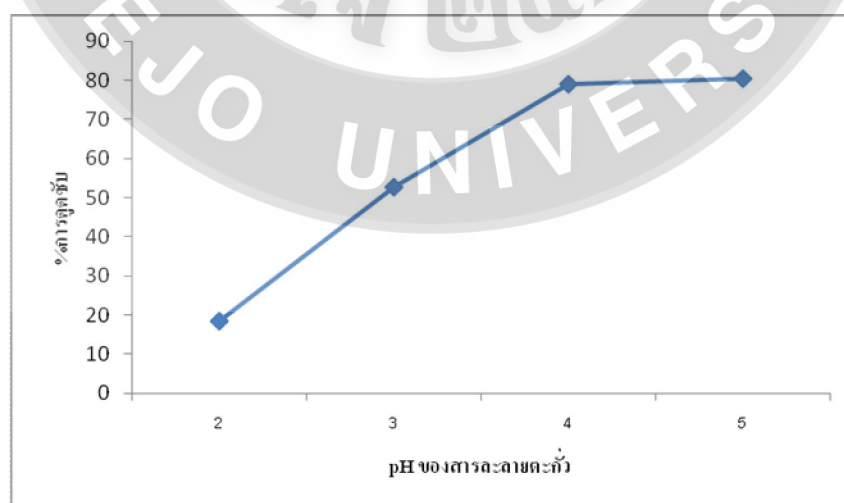
3.3.1 ผลการศึกษาตัวแปร pH

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่ pH ต่างๆ

pH	โครเมียม			ตะกั่ว		
	C_i	C_f	% การดูดซับ	C_i	C_f	% การดูดซับ
2	5.5	3.0	45.45	1.879	1.534	18.36
3	6.1	2.4	60.65	1.550	0.734	52.64
4	7.0	2.8	60.00	1.252	0.263	78.99
ตัวควบคุม	7.8	2.1	73.07	0.860	0.169	80.35



รูปที่ 5 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่ pH ต่างๆ

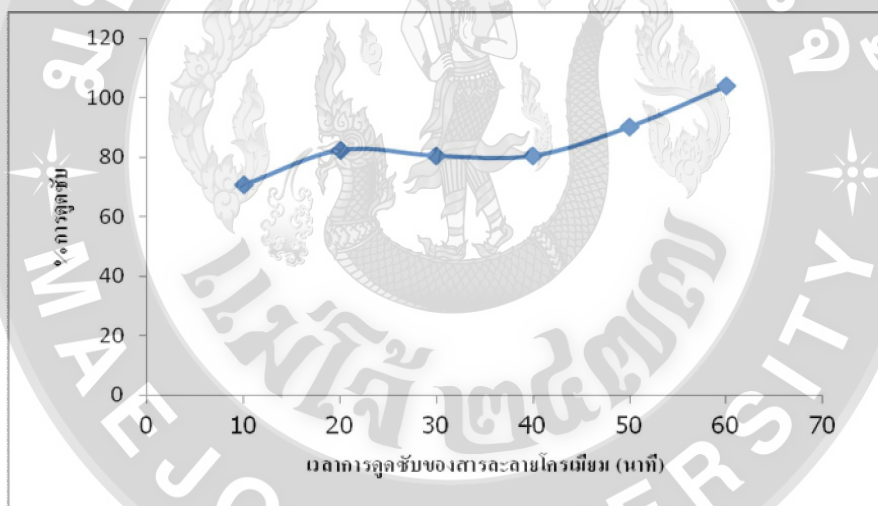


รูปที่ 6 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่ pH ต่างๆ

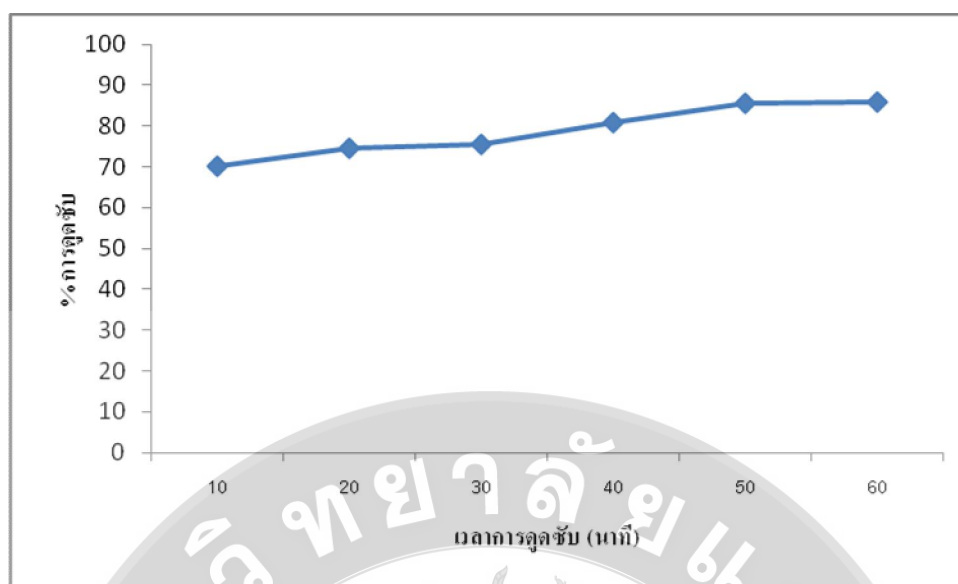
3.3.2 ผลการศึกษาตัวแปร เวลาที่ใช้ในการดูดซับ

ตารางที่ 9 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่เวลาต่างๆ

เวลาการดูดซับ (นาทีก)	โครเมียม			ตะกั่ว		
	C_i	C_f	% การดูดซับ	C_i	C_f	% การดูดซับ
10	5.1	1.5	70.58	1.694	0.507	70.07
20	5.1	0.9	82.35	1.903	0.482	74.67
30	5.1	1.0	80.39	1.908	0.466	75.58
40	5.1	1.0	80.39	1.701	0.325	80.89
50	5.1	0.5	90.19	1.572	0.227	85.56
60	5.1	-0.2	103.92	1.532	0.215	85.96



รูปที่ 7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะ โครเมียมที่เวลาต่างๆ

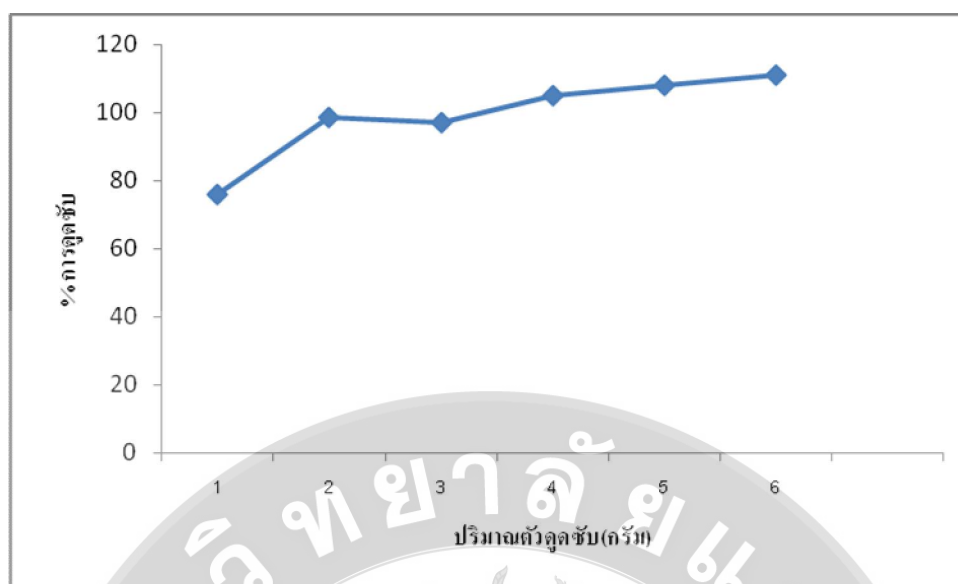


รูปที่ 8 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่เวลาต่างๆ

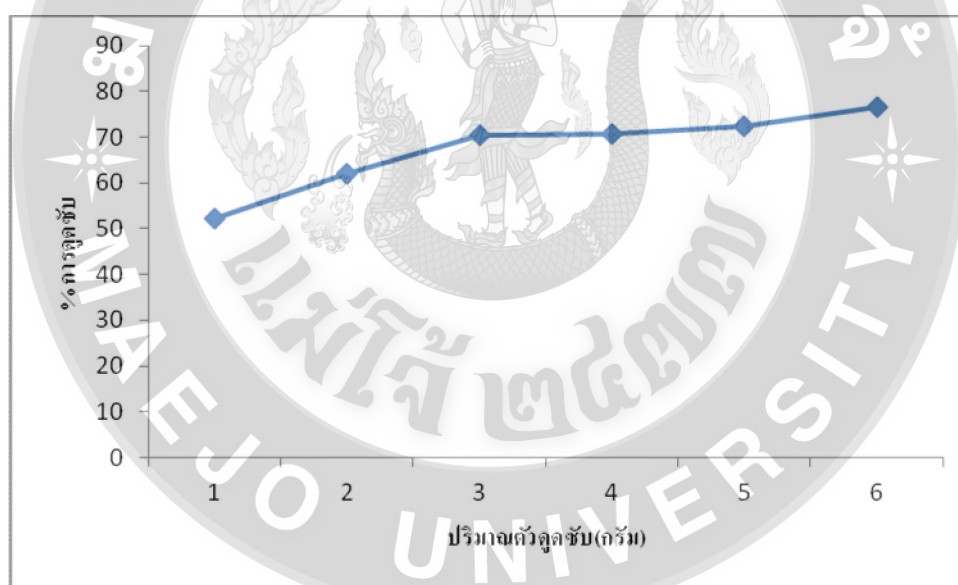
3.3.3 ผลการศึกษาตัวแปร ปริมาณที่ใช้ในการดูดซับ

ตารางที่ 10 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ

ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)	โครเมียม			ตะกั่ว		
	C_i	C_f	% การดูดซับ	C_i	C_f	% การดูดซับ
1	5.2	1.25	75.96	1.030	0.430	58.25
2	5.2	0.08	98.40	1.030	0.390	62.13
3	5.2	0.16	96.92	1.030	0.304	70.48
4	5.2	-0.25	104.80	1.030	0.302	70.68
5	5.2	-0.41	107.88	1.030	0.283	72.52
6	5.2	-0.58	111.15	1.030	0.241	76.60



รูปที่ 9 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ

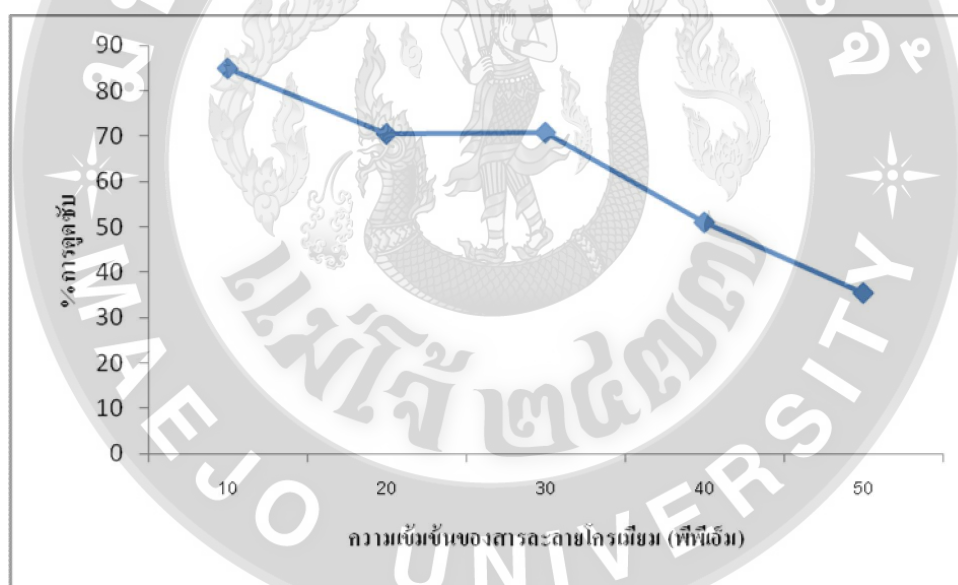


รูปที่ 10 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่ปริมาณตัวดูดซับต่างๆ

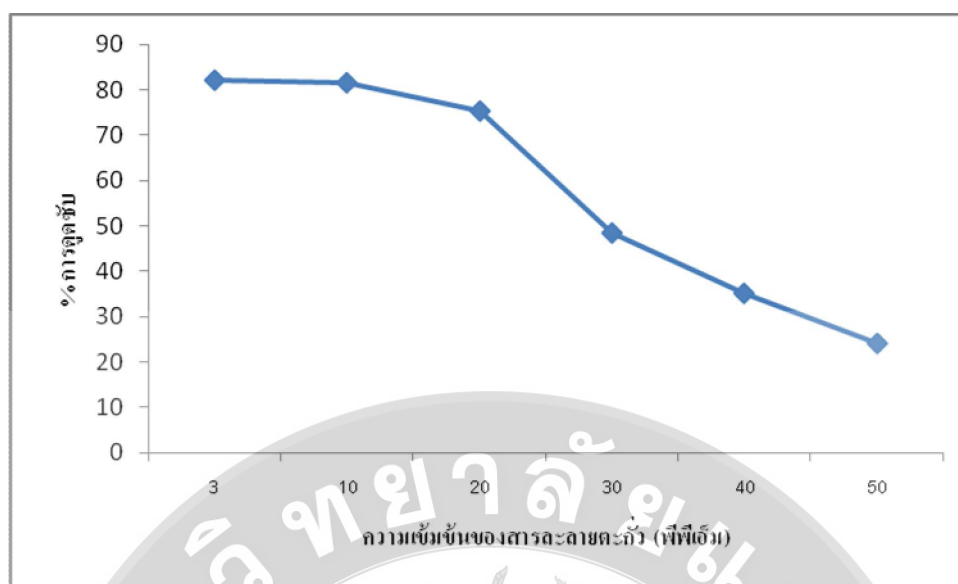
3.3.4 ผลการศึกษาตัวแปร ความเข้มข้นสารละลายโลหะที่ใช้ในการดูดซับ

ตารางที่ 11 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	โครเมียม			ตะกั่ว		
	C_i	C_f	% การดูดซับ	C_i	C_f	% การดูดซับ
3	-	-	-	0.028	0.005	82.14
10	12.0	1.8	85.00	0.054	0.010	81.48
20	19.7	5.8	70.55	0.097	0.024	75.25
30	32.4	9.5	70.68	0.102	0.053	48.40
40	40.8	20.0	50.98	0.151	0.098	35.10
50	49.4	31.9	35.42	0.170	0.129	24.12



รูปที่ 11 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะโครเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 12 เปอร์เซนต์การดูดซับโลหะตะกั่วที่ความเข้มข้นต่างๆ

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของโพลีเอสเตอร์ด้วยเครื่อง SEM รูปที่ 2 โพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้วมีลักษณะเป็นแผ่นที่เป็นทั้งอนุภาคเดี่ยวและซ้อนกันเป็นชั้น ไม่เกาะกลุ่มรวมตัวกัน เมื่อนำไปวิเคราะห์ชนิดของปฏิกิริยาและช่วงอุณหภูมิที่น้ำหนักสูญหายด้วยเครื่อง DTA และ TG ตามลำดับ รูปที่ 3 ที่อุณหภูมิ 90-221 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักที่สูญหายไปร้อยละ 8.5 ซึ่งสอดคล้องกับการดูดความร้อนในช่วงอุณหภูมินี้เช่นกัน เป็นเพราะโพลีเอสเตอร์มีการสูญเสียน้ำที่อยู่ในผลึก มีการดูดความร้อนอีกครั้งที่อุณหภูมิ 926 องศาเซลเซียส เนื่องจากการสูญเสียซัลเฟตในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีอยู่ในโพลีเอสเตอร์เพียงเล็กน้อย สืบเนื่องจากที่น้ำหนักที่หายไปเพียงร้อยละ 1 เท่านั้น ผลวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD รูปที่ 4 ให้ข้อมูลว่าโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้วยังคงเป็นแคลเซียมซัลเฟตที่ยังคงความเป็นผลึก

เมื่อนำโพลีเอสเตอร์ศึกษาการละลายของธาตุบางชนิดใน โพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้วในสารละลาย pH 1-13 ดังตารางที่ 7 ในสถานะ pH กรด โลหะที่มีการละลายออกมาคือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม แมงกานีสและเหล็ก โดยแคลเซียมละลายออกมากที่สุดที่ pH 1 ปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 2.67 กรัมต่อโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้ว 1000 กรัม ที่ pH ต่าง โลหะที่มีการละลายออกมาคือ แคลเซียมและแมงกานีส โดยแคลเซียมละลายออกมากที่สุดที่ pH 8 ปริมาณแคลเซียม 0.98 กรัมต่อโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้ว 1000 กรัม ที่ควบคุม (ไม่มีการปรับ pH) แคลเซียมมีการละลายออกมาเช่นกัน โดยปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 1.75 กรัมต่อโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้ว 1000 กรัม นั่นคือแคลเซียมมีการละลายออกมาทุกๆ pH ส่วนโซเดียมไม่ละลายออกมาทุก pH การที่แคลเซียมละลายออกมาทุก pH ตั้งแต่ 1-13 เพราะ โพลีเอสเตอร์มีปริมาณแคลเซียมเป็นจำนวนมากที่สุด 47 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณโซเดียมน้อยมากเพียง 0.6 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองที่วิเคราะห์โซเดียมด้วยเครื่อง AES อาจจะมีโซเดียมละลายออกมาในปริมาณที่น้อยมากจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้

จากนั้นนำโพลีเอสเตอร์ที่ใช้แล้วมาดูดซับโลหะ 2 ชนิดคือ โครเมียมและตะกั่ว แสดงในรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ พบว่าโพลีเอสเตอร์สามารถดูดซับโลหะทั้งสองชนิดได้ที่สถานะไม่มีการปรับ pH ด้วยกรดไฮโดรคลอริก ผลในตารางที่ 8 เพราะที่สถานะนี้ไม่มีโปรตอนที่จะแย่งกับโลหะโครเมียมและตะกั่วในการจับพื้นผิวของตัวดูดซับ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับมากที่สุด ในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการดูดซับที่สถานะต่างเพราะโลหะสามารถเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกไซด์และผลการดูดซับที่เกิดขึ้นในสถานะต่างอาจมีการตกตะกอนเป็นไฮดรอกไซด์ร่วมด้วย ทำให้ไม่เป็นการกำจัดโลหะโดยการดูดซับ จากนั้นทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมและตะกั่ว

ในตารางที่ 9 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากรูปที่ 7 และ 8 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับมีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลา จึงเลือกเวลาที่ทำให้เกิดการดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วที่มีประสิทธิภาพคือ 20 นาที ส่วนปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ดูดซับโครเมียมและตะกั่ว คือ 2 และ 3 กรัม ตามลำดับ ผลในตารางที่ 10 และรูปที่ 9 และ 10 พบว่าเมื่อปริมาณตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของสารละลายโลหะเท่าเดิม ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับใกล้เคียงกัน ตัวแปรสุดท้ายที่ทำการศึกษาคือความเข้มข้นของสารละลายโลหะ ดังผลในตารางที่ 11 และรูปที่ 11 และ 12 พบว่า ความเข้มข้นของโลหะโครเมียมและตะกั่วที่เหมาะสม คือ 10 พีพีเอ็ม ซึ่งเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้น แต่พื้นที่ผิวของตัวดูดซับเท่าเดิม ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลง

สรุปผลการวิจัย

โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วมีลักษณะเป็นอนุภาคเดี่ยวไม่เกาะกลุ่มรวมตัวกัน เมื่อให้ความร้อนแก่โมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว มีเพียงน้ำมีการสูญเสียไปและเป็นแคลเซียมซัลเฟตที่ยังคงความเป็นผลึก เมื่อศึกษาการละลายของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว พบว่าที่ pH กรด โลหะที่มีการละลายออกมาคือ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม แมงกานีสและเหล็ก ที่ pH ต่าง โลหะที่มีการละลายออกมาคือ แคลเซียมและแมงกานีส โมลด์พลาสติกสามารถดูดซับโลหะโครเมียมและตะกั่วได้ที่สภาวะไม่มีการปรับ pH ที่เวลา 20 นาที ปริมาณโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้ว 2 และ 3 กรัม สำหรับสารละลายโครเมียมและตะกั่วที่ความเข้มข้น 10 พีพีเอ็ม ผลการทดลองบ่งบอกเป็นนัยได้ว่าโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วสามารถใช้เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ในการกำจัดโลหะโครเมียมและตะกั่วได้ หากมีการนำโมลด์พลาสติกที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ควรตระหนักถึงการละลายของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสภาวะกรดและด่าง

เอกสารอ้างอิง

- กรรณก บุญเสริม. 2551. ผลของสารเติมแต่งอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของเอพจีดีอีปซัม. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี อดุทธากรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ไพจิตร อังศิริวัฒน์. 2537. รวมสูตรเคลือบเซรามิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส. พรินต์ติ้ง เฮาส์. 15-20 น.
- ลดดา พันธุ์สุขุมธนา. 2552. ปูนพลาสติกกับการนำกลับมาใช้. วารสารเซรามิกส์. พฤษภาคม-

สิงหาคม. 34 น.

- Carvalho, M.T.M., M.I.G. Leles and R.M.C. Tubino. 2008. TG and DSC studies on plaster residues as recycled material. **J. Therm. Anal. Calorim.** 91 (2): 621-625.
- Cestari, A. R., E.F.S. Vieira and E.S. Silva. 2006. Interactions of anionic dyes with silica-aminopropyl 1. A quantitative multivariate analysis of equilibrium adsorption and adsorption Gibbs free energies, **J. Colloid Interface Sci.** 297 (1): 22-30.
- Chindapasirt, P., K. Boonserm, T. Chairuangsi, W. Vichit-Vadakan, T. Eaimsin, T. Sato and K. Pimraksa. 2011. Plaster materials from waste calcium sulfate containing chemicals, organic fibers and inorganic additives. **Const. Build. Mater.** 25 (8): 3193-3203.
- Finot, E., E. Lensniewska, J. Goudonnet, J. Mutin, M. Domenech, and A.A. Kadi. 2001. Correlating surface forces with surface reactivity of gypsum crystals by atomic force microscopy. Comparison with rheological properties of plaster. **Solid State Ionics.** 141-14: 39-46.
- Graf, L.A. 2010. Isothermal dehydration of natural and synthetic gypsum and the effect of clinker. **Portland Cement Association.** 3-5.
- Krysztalkiewicz, A., S. Binkowski and I. Wysocka. 2003. Pigments on amorphous silica carriers, **Powder Technol.** 132 (2-3): 190-195.
- Lewry, A.J. and J. Williamson. 1994. The setting of gypsum plaster. **J. Mater. Sci.** 29: 5279-5284.
- Messina, P.V. and P.C. Schulz. 2006. Adsorption of reactive dyes on titania-silica mesoporous materials, **J. Colloid Interface Sci.** 299 (1): 305-320.
- Peng, J., J. Qu, J. Zhang, M. Chen and T. Wan. 2005. Absorption characteristics of water-reducing agents on gypsum surface and its effect on the rheology of gypsum plaster. **Cem. Concr. Res.** 35 (3): 527-531.
- Sax, N.I. and R.J. Lewis. 1990. **Hawley's Condensed Chemical Dictionary.** 11th edition. CBS publishers & distributors. India. 64-66.
- Singh, N.B. and B. Middendorf. 2007. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization, **Prog. Cryst. Growth Charact. Mater.** 53 (1): 57-77.
- Vellmer, C., B. Middendorf and N.B. Singh. 2006. Hydration of α -hemihydrate in the presence of carboxylic acids, **J. Therm. Anal. Calorim.** 86 (3): 721-726.

Wan Ngah, W.S. and M.A.K.M. Hanafiah. 2008. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review, **Bioresour. Technol.** 99 (10) 3935-3948.

การนำเสนอผลงานวิชาการ

การนำเสนอผลงานวิชาการในรูปแบบโปสเตอร์และ Proceeding

Kanidrawee Techauaey and Ratchadaporn Puntharod, Reusing plaster molds to adsorb chromium, 38th Congress on Science and Technology of Thailand 2008 at the Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand. 17-19 October, 2012.

การนำเสนอผลงานวิชาการในรูปแบบโปสเตอร์และ บทความ

Jarinya Choomphu and Ratchadaporn Puntharod, Effect of acid conditions on solubility of Ca Mg Mn and Fe in used plaster molds, Pure and Applied Chemistry International Conference 2013 at the Tide Resort, Chon Buri, Thailand. 23-25 January, 2013.

