

## การชะละลายโลหะสังกะสีจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม ด้วยวิธีโลหะวิทยาการละลาย

จิตติ คำสวัสดิ์<sup>1</sup> เสถียร นิลวัช<sup>2</sup> และ อภิชาติ โรจนโรวรรณ<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยชุดนี้ได้แสดงผลการศึกษาการชะละลายโลหะสังกะสี ออกจากวัสดุเหลือทิ้งในอุตสาหกรรม เรียกว่าจาโรไซต์ (Jarosite) ซึ่งจะเป็นแนวทางสู่การพัฒนากระบวนการคืนสภาพโลหะที่มีค่าออกจากวัสดุเหลือทิ้งใน อุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โดยจากผลการทดลองและการวิเคราะห์หาจาโรไซด์ด้วย XRD พบว่าตัวอย่างจาโรไซด์ ประกอบด้วย ยิบซัม (Gypsum) ซิลเวอร์ซัลไฟต์ (Silver sulfite) และอาเจนโตจาโรไซด์ ( $\text{AgFe}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ด้วย SEM/EDS และ LEP ยังแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างจาโรไซด์ ประกอบด้วยโลหะที่มี มูลค่าทางเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น อินเดียม (In) เงิน (Ag) ทองแดง (Cu) และ สังกะสี (Zn) โดยในการทดลองการชะ ละลายจาโรไซด์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) พบว่าสามารถชะละลายโลหะสังกะสีออกมาจากจาโรไซด์ได้ มากกว่าร้อยละ 80 เมื่อทำการเปรียบเทียบเทียบกับปริมาณโลหะสังกะสีเดิมที่มีอยู่ในจาโรไซด์

**คำสำคัญ:** วัสดุเหลือทิ้ง จาโรไซด์ การชะละลาย สังกะสี การรีไซเคิล

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

<sup>2</sup> วิศวกรรมนานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เลขที่ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: fengacrw@ku.ac.th รับเมื่อ 23 พฤษภาคม 2559 ตอบรับเมื่อ 17 สิงหาคม 2559

## Zinc Extraction from Industrial Waste by Acid Leaching Process

Jitti Kamsawat<sup>1</sup> Sathian Nilthawach<sup>2</sup> and Aphichart Rodchanarowan<sup>1\*</sup>

### Abstract

In this study, the leaching of zinc metal from industrial waste was investigated using acid leaching process. According to the XRD results, the chemical composition of industrial waste consisted of gypsum, silver sulfite and Ajento-jarosite ( $\text{AgFe}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ). Moreover the results from SEM/EDS and LEP also showed that there were many kinds of value metals in the Jarosite such as Indium, Copper, Silver and Zinc. Based upon the study, the leaching of Jarosite by sulfuric acid as leaching solution, Zinc from the Jarosite was able to be leached out more than 80% of overall Zinc metal in Jarosite.

**Keywords:** Waste, Jarosite, Leaching, Zinc, Recycle

---

<sup>1</sup> Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, 50 Ngamwongwan Rd., Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

<sup>2</sup> The Sirindhorn International Thai-German Graduate School of Engineering, King Mongkut University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat 1 Rd., Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800

\* Corresponding author, E-mail: fengacrw@ku.ac.th Received 23 May 2016, Accepted 17 August 2016

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าและการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้เกิดการใช้งานทรัพยากรพื้นฐานในการผลิต ยกตัวอย่างเช่น โลหะสังกะสี และ โลหะชนิดอื่นเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้การผลิตโลหะจึงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเพื่อสนองต่อความต้องการการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตโลหะโดยทั่วไปมักเกิดวัสดุเหลือทิ้งขึ้นทั้งระหว่างกระบวนการผลิตและ หลังจากกระบวนการผลิต ยกตัวอย่างเช่น สารละลายที่เกิดจากการชะละลายสินแร่ และกากที่เกิดจากการชะละลายเป็นต้น จากงานวิจัยของกลุ่มประเทศผู้ผลิตโลหะ เช่น จีน แคนาดา อินเดีย และ ออสเตรเลีย [1-5] พบว่า วัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตโลหะ อาทิ ตะกอนที่เกิดจากการชะละลาย มักมีโลหะมีค่าชนิดต่างๆหลงเหลืออยู่ [7] ยกตัวอย่างเช่น วัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิตโลหะสังกะสี มักมีโลหะมีค่าจำพวกเงิน ทองแดง ตะกั่ว อินเดียม และสังกะสีบางส่วนเจือปนอยู่ ซึ่งหากสามารถทำการคืนสภาพให้กับโลหะสังกะสีจากของเหลือเหล่านี้ได้ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุที่เหลือทิ้ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มปริมาณโลหะสังกะสีในกระบวนการผลิต และยังเป็นการลดปริมาณการนำเข้าโลหะสังกะสีได้อีกด้วย

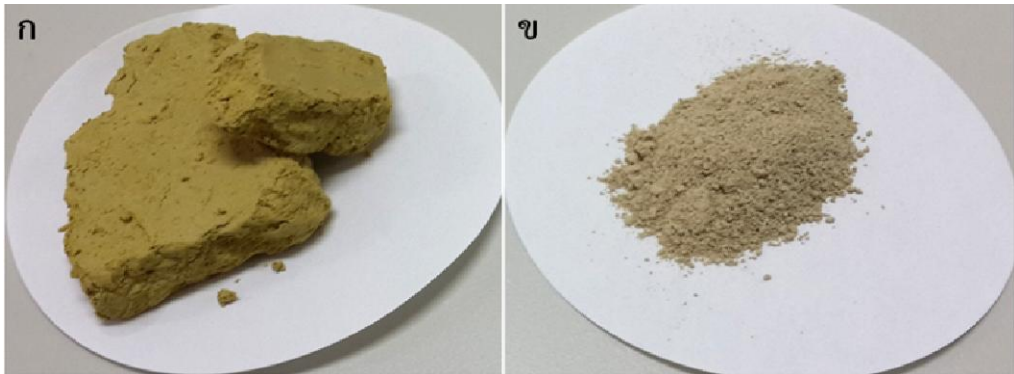
จากเหตุผลที่ได้กล่าวมาในข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นทำการศึกษาการชะละลายโลหะสังกะสีออกจากวัสดุเหลือทิ้งชนิด จาโรไซต์ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ จาโรไซต์ ที่ใช้เป็น

วัตถุดิบในการทดลองด้วยเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer; XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกราดวิเคราะห์และเครื่องวัดการกระจายพลังงาน (Scanning electron microscope/Energy dispersive spectroscopy; SEM/EDS) [2] และ เครื่องวัดปริมาณโลหะในสารละลาย (Liquid electrode plasma; LEP) หลังจากนั้นทำการชะละลาย จาโรไซต์ ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก [10] และทำการวิเคราะห์น้ำชะละลายด้วยเทคนิค LEP ส่วนกากที่เหลือจากการชะละลายได้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM โดยผลการทดลองสามารถอธิบายได้ถึงประสิทธิภาพของการชะละลาย จาโรไซต์ ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่แตกต่างกันคือ สัดส่วนระหว่างน้ำหนักของ จาโรไซต์ (กรัม) ต่อ ปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาที่ใช้ในการชะละลายที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นทำการชะละลาย จาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก [10] และทำการวิเคราะห์น้ำชะละลายด้วย LEP ส่วนกากที่เหลือจากการชะละลายได้ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วย SEM โดยผลการทดลองสามารถอธิบายได้ถึงประสิทธิภาพของการชะละลาย จาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่แตกต่างกันคือ สัดส่วนระหว่างน้ำหนักของ จาโรไซต์ (กรัม) ต่อ ปริมาณของสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) ค่าความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกและระยะเวลาที่ใช้ในการชะละลายที่แตกต่างกัน

**2. วิธีการทดลอง**

การชะละลายจาโรไซท์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก เริ่มจากการเตรียมจาโรไซท์ให้มีความพร้อมที่จะนำไปใช้ในการชะละลาย โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และร่อนด้วยตะแกรงเพื่อแยกเศษ

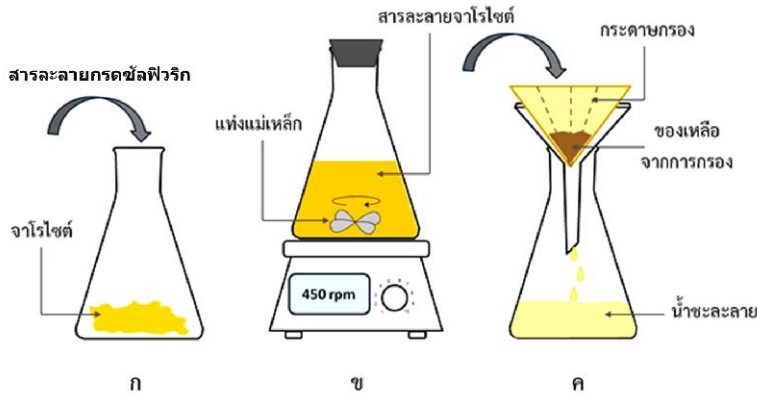
วัสดุบางชนิดออก จากนั้นทำการวิเคราะห์ จาโรไซท์ ที่แห้งแล้วด้วย XRD และ SEM/EDS เพื่อวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของจาโรไซท์ สำหรับจาโรไซท์ที่ผ่านการอบแล้วสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



**รูปที่ 1** (ก) จาโรไซท์ที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตสังกะสี (ข) จาโรไซท์ที่ผ่านการอบแห้งและร่อนด้วยตะแกรง

จาโรไซท์ที่แห้งแล้วได้ถูกนำมาทำการชะละลายภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่แตกต่างกัน 3 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการชะละลายจาโรไซท์ด้วยสัดส่วนของน้ำหนักจาโรไซท์ (กรัม) ต่อปริมาณ สารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) [8] เท่ากับ 1:10 1:30 และ 1:50 โดยความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการชะละลายมีค่าเท่ากับ 1 โมลต่อลิตร อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 450 รอบต่อนาที ชะละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนที่สอง คือการชะละลายจาโรไซท์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน [9] 4 ค่า ได้แก่ 0.1, 1, 3 และ 5 โมลต่อลิตร สัดส่วนระหว่างน้ำหนักของจาโรไซท์ (กรัม) ต่อปริมาณ

ของสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:10 ความเร็วรอบในการกวนเท่ากับ 450 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และส่วนสุดท้าย คือการชะละลายจาโรไซท์โดยใช้ระยะเวลาในการชะละลายที่แตกต่างกัน [6] ได้แก่ 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง สัดส่วนระหว่างน้ำหนักของจาโรไซท์ (กรัม) ต่อ ปริมาณของสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:10 ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 1 โมลต่อลิตร ความเร็วรอบในการกวนเท่ากับ 450 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสโดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



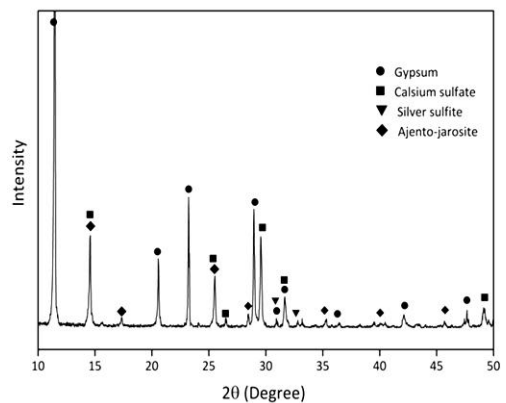
**รูปที่ 2** (ก) การผสมกรดซัลฟิวริกกับจาโรไซต์ในขวดรูปชมพู่ (ข) การกวนสารละลายจาโรไซต์ด้วยเครื่องกวนระบบแม่เหล็ก (ค) การกรองสารละลายจาโรไซต์ด้วยกระดาษกรอง

หลังจากการชะละลาย สารละลายจาโรไซต์ได้ถูกกรองแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของน้ำชะละลายซึ่งกลุ่มผู้วิจัยได้นำไปทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะด้วย LEP และส่วนของของแข็งที่เหลือจากการชะละลาย ซึ่งได้ถูกทำให้แห้งและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพด้วย SEM

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

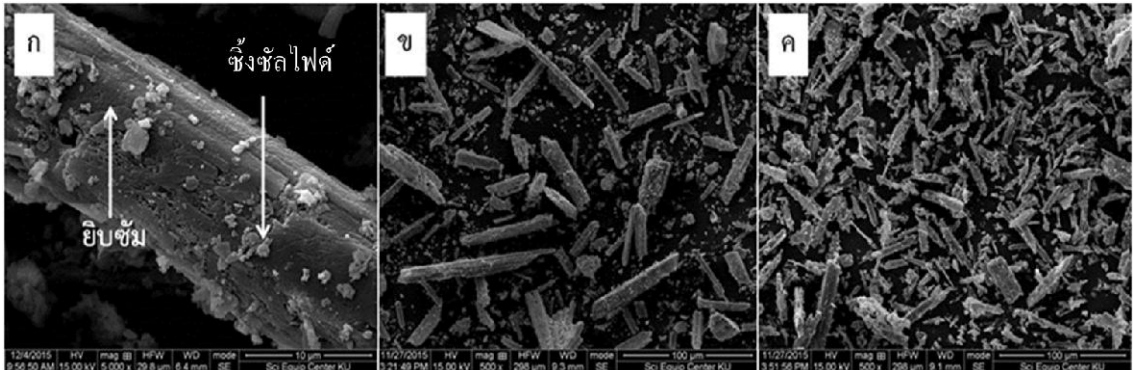
#### 3.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของ จาโรไซต์ ด้วย XRD, SEM/EDS และ LEP

ผลจากการวิเคราะห์ด้วย XRD สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง relative intensity และ 2θ ของ จาโรไซต์ โดยสามารถสังเกตได้ว่ามีพิกัดลักษณะเฉพาะที่ชัดเจนเกิดขึ้น 3 พิกัดได้แก่ พิกัดลักษณะเฉพาะของ ยิบซัม ( $2\theta = 11.63, 20.75, 19.11$ ) ซิลเวอร์ซัลไฟต์ ( $2\theta = 30.12, 31.84, 32.19$ ) และ อาเจนโตจาโรไซต์ ( $2\theta = 14.81, 28.49, 29.16, 35.54$ ) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทซัลเฟต



**รูปที่ 3** ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของรังสี (Intensity) กับ มุมวิเคราะห์ (2θ) ของจาโรไซต์ก่อนการชะละลาย

จากการวิเคราะห์ด้วย XRD สามารถบอกได้ว่าสารประกอบส่วนใหญ่ในจาโรไซต์คือยิบซัม และยังมีแนวโน้มพบธาตุโลหะอื่นอีก แต่เนื่องจากค่าความเข้มข้นของรังสี (Intensity) ของยิบซัม มีค่าสูงมากและส่งผลกระทบต่อพิกของธาตุโลหะอื่น กลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย SEM/EDS เพื่อระบุชนิดของโลหะและสารประกอบชนิดอื่น โดยผลจากการวิเคราะห์สามารถแสดงดังรูปที่ 4



**รูปที่ 4** (ก) SEM กำลังขยาย 5000X แสดงอนุภาคสังกะสีไฟต์บนผิวของยิบซั่ม (ข) SEM กำลังขยาย 500X แสดงลักษณะผลึกของยิบซั่มในจาโรไซต์ก่อนการชะละลาย (ค) SEM กำลังขยาย 500X แสดงลักษณะผลึกของยิบซั่มในจาโรไซต์หลังการชะละลายด้วยกรดซิตริกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4 (ก) พบว่าจาโรไซต์ประกอบไปด้วยธาตุโลหะชนิดอื่น อยู่ในรูปอนุภาคขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ตามแท่งยิบซั่ม เช่น อนุภาคของสังกะสีไฟต์ (ZnS) ซึ่งพบอยู่บนยิบซั่ม นอกจากนั้นการวิเคราะห์จาโรไซต์ก่อนและหลังการชะละลายยังพบว่า ขนาดโดยรวมของยิบซั่มและอนุภาคอื่นในจาโรไซต์มีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) และ (ค) จึงสามารถกล่าวได้ว่ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นในขณะที่ทำการชะละลาย ซึ่งการนำน้ำชะละลายไปทำการวิเคราะห์ด้วย LEP สามารถบอกได้ว่าการชะละลายจาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซิตริกสามารถชะละลายโลหะออกจากจาโรไซต์ได้จริง เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วย XRD ซึ่งสามารถระบุได้ว่า

ส่วนประกอบหลักของจาโรไซต์คือสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต (CaSO<sub>4</sub>) และ SEM/EDS ซึ่งสามารถระบุปริมาณของธาตุโลหะเช่น เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) อะลูมิเนียม (Al) และทองแดง (Cu) ยังไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือ ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์อย่างอื่นเพิ่มเติมได้แก่ การใช้เทคนิค LEP เพื่อทำการวิเคราะห์ โลหะชนิดอื่นที่อาจปะปนอยู่ในจาโรไซต์ โดยผลจากการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 จากตารางแสดงให้เห็นว่าจาโรไซต์ มีธาตุโลหะหลายชนิดเจือปนอยู่ ยกตัวอย่างเช่น Al, Fe, Cu, Zn, As และ Ag เป็นต้น

**ตารางที่ 1** ปริมาณธาตุต่างๆ (ร้อยละโดยน้ำหนัก; wt %) ที่พบในจาโรไซต์ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย XRD SEM/EDS และ LEP

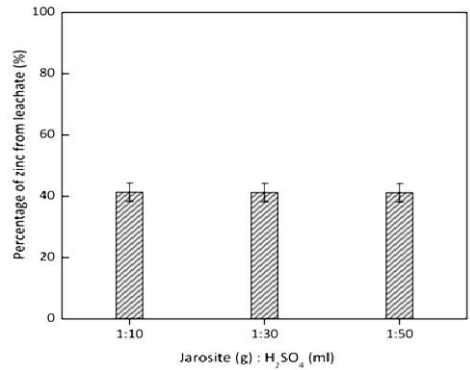
Element	Ca	S	Si	Fe	Zn	Al	Cu	Ag	In	etc.
wt%	36.3	36.3	11.4	9.1	2.5	1.7	0.7	0.07	0.06	1.87

สำหรับเทคนิค LEP ผู้วิจัยได้ทำการชะละลายจาโรไซต์ ด้วย สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสารละลายกรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ทำการชะละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยสัดส่วนของน้ำหนักจาโรไซต์ (กรัม) ต่อปริมาณสารละลายกรด (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:10 อัตราเร็วในการกวนเท่ากับ 450 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อละลายเอาโลหะส่วนใหญ่ที่มีอยู่ใน จาโรไซต์ ออกมาให้ได้มากที่สุด

**3.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะสังกะสีจากน้ำชะละลายด้วยเทคนิค LEP**

ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ต่างกันน้ำชะละลายที่ได้จากการชะละลายจาโรไซต์ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้ถูกนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค LEP เพื่อวัดปริมาณโลหะสังกะสีและโลหะอื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำชะละลาย โดยรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณโลหะสังกะสีในน้ำชะละลายเมื่อเทียบกับปริมาณโลหะสังกะสีในจาโรไซต์ โดยการทดลองนี้เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขของสัดส่วนของน้ำหนักจาโรไซต์ ต่อปริมาณของสารละลายกรดที่ใช้ในการชะละลาย ที่แตกต่างกันคือ 1 ต่อ 10, 1 ต่อ 30 และ 1 ต่อ 50 จากรูปที่ 5 พบว่า การชะละลาย จาโรไซต์ ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ด้วยสัดส่วนของน้ำหนักจาโรไซต์ (กรัม) ต่อปริมาณกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) ที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณของสังกะสีในน้ำชะละลายอย่างมีนัยสำคัญ ทำนองเดียวกับการศึกษาของ R. Jiuji และคณะ [8] ซึ่งเป็นการศึกษาการชะละลายวัสดุจอภาพ LCD (Liquid Crystal Display) ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก พบว่าปริมาณโลหะอินเดียม (In) และ

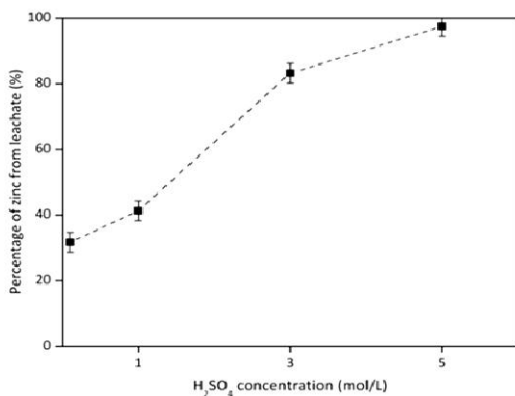
โลหะเหล็ก (Fe) ที่ละลายอยู่ในน้ำชะละลายมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อทำการชะละลายด้วยสัดส่วนของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่แตกต่างกัน



**รูปที่ 5** อิทธิพลเนื่องจากสัดส่วนน้ำหนักจาโรไซต์และปริมาณสารละลายกรด (Jarosite (g) : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ml)) ที่ใช้ในการชะละลาย ที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลาย (Percentage of zinc from leachate (%))

สำหรับการทดลองการชะละลายจาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ภายใต้เงื่อนไขของความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 1 โมลต่อลิตร ระยะเวลาในการชะละลาย 6 ชั่วโมง ความเร็วรอบในการกวน 450 รอบต่อนาที และอุณหภูมิขณะทำการชะละลาย 25 องศาเซลเซียส สามารถชะละลายโลหะสังกะสีออกมาได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 41 โดยสาเหตุที่โลหะสังกะสีถูกชะละลายออกมาได้เพียงร้อยละ 41 นั้นเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านความเข้มข้นของสารละลายกรดเป็นเหตุให้เกิดการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการชะละลาย

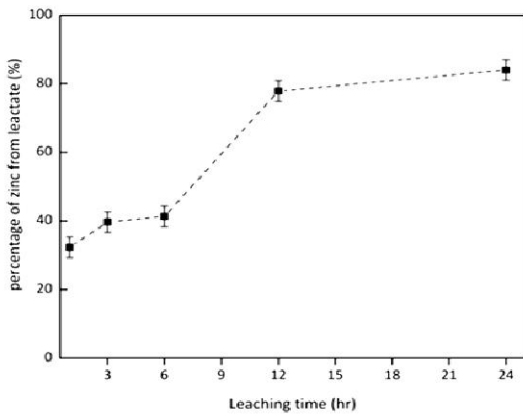
จากการทดลองข้างต้นนำไปสู่การทดลองในกรณีความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการชะละลายเพิ่มสูงขึ้นโดยผลการวิเคราะห์ด้วย LEP สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริกที่เพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับผลการศึกษาของ V. Sami และคณะ [9] โดยเมื่อทำการชะละลาย จาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 โมลต่อลิตร ด้วยสัดส่วนของน้ำหนัก จาโรไซต์ (กรัม) ต่อ ปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก (มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:10 ความเร็วรอบในการกวน 450 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าในน้ำชะละลายมีโลหะสังกะสีเจือปนอยู่เพียงร้อยละ 30 ของปริมาณโลหะสังกะสีในจาโรไซต์ แต่เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก ไปที่ 5 โมลต่อลิตร พบว่าในน้ำชะละลายมีโลหะสังกะสีเจือปนอยู่มากถึงร้อยละ 97 ของปริมาณสังกะสีใน จาโรไซต์ ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองเดียวกัน



**รูปที่ 6** อิทธิพลเนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentration (mol/L)) ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลาย (Percentage of zinc from leachate (%))

จากการทดลองการชะละลายจาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ค่าความเข้มข้นแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูง สามารถชะละลายสังกะสีออกจาก จาโรไซต์ ได้ดีกว่าการใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นต่ำ [9] แต่เนื่องจากการใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูงมักส่งผลกระทบต่อหลายอย่างเช่น เป็นการสิ้นเปลืองสารละลาย การกำจัดทิ้งเป็นไปได้ยาก และยังเป็นอันตรายต่อผู้ทำการทดลองด้วย ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัจจัยอื่นเพิ่มเติมเพื่อทดแทนการใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากสาเหตุที่ได้กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัจจัยทางด้านเวลาที่ใช้ในการชะละลาย ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีที่ละลายอยู่ในน้ำชะละลาย โดยผลการทดลองและการวิเคราะห์ด้วย LEP สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 ซึ่งเห็นได้ว่า เมื่อทำการชะละลายจาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 โมลต่อลิตร สัดส่วนของน้ำหนัก จาโรไซต์ (กรัม) ต่อปริมาณสารละลายกรดซัลฟิวริก(มิลลิลิตร) เท่ากับ 1:10 ความเร็วในการกวนเท่ากับ 450 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการกวนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการชะละลาย ที่แตกต่างกันได้แก่ 1, 3, 6, 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณสังกะสีในน้ำชะละลายมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาในการชะละลายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับการศึกษาของ L. Cunxiong และคณะ [6] โดยที่ปริมาณโลหะสังกะสีในน้ำชะละลายเพิ่มสูงขึ้น จากร้อยละ 32 เมื่อทำการชะละลายที่ 1 ชั่วโมง เป็นร้อยละ 85 เมื่อทำการชะละลายที่ 24 ชั่วโมง





**รูปที่ 7** อิทธิพลเนื่องจากระยะเวลาในการชะละลาย (Leaching time (hr)) ที่มีผลต่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลาย (Percentage of zinc from leachate (%))

**4. สรุปผล**

1. จากผลการวิเคราะห์ด้วย XDR และ SEM/EDS พบว่าของเสีย จาโรไซต์ ที่ใช้ในการทดลองนี้มียิบซัม (Gypsum) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีโลหะที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจชนิดอื่นปะปนอยู่เช่น เหล็ก สังกะสี ทองแดง เงิน และ อินเดียม เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่า โลหะและสารประกอบส่วนใหญ่ใน จาโรไซต์ เป็นสารประกอบประเภทซัลเฟต
2. การชะละลายจาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีค่าความเข้มข้นต่างกัน มีผลอย่างมากต่อความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำชะละลาย เช่นเดียวกับระยะเวลาในการชะละลายโดยจากผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้นพบว่า การชะละลายจาโรไซต์ด้วยสารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูงและระยะเวลาในการชะละลายที่เพิ่มมากขึ้น เป็นผลทำให้ค่าร้อยละของสังกะสีในน้ำชะละลายเพิ่มสูงขึ้นกว่าร้อยละ 90 ของปริมาณสังกะสีที่

พบในจาโรไซต์และนอกจากนี้ยังพบว่าเงื่อนไขของน้ำหนักจาโรไซต์ ที่ใช้ในการชะละลายต่อปริมาณของสารละลายกรดซัลฟิวริก ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณโลหะสังกะสีที่ชะละลายอยู่ในน้ำชะละลาย

**5. กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยชุดนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์ของ ศศ.ดร.อภิชาติ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิทยานิพนธ์และภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้ให้การเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

**6. เอกสารอ้างอิง**

- [1] A. Alfantazi and R. Moskalyk, “Processing of indium: a review”, *Minerals Engineering* 16, 2003, pp. 687-694.
- [2] A. Pappu, M. Saxena and S. Asolekar, “Jarosite characteristics and its utilization potentials”, *Science of Total Environment* 359, 2005, pp. 232-243.
- [3] C. Nigel, C. Cristiana and W. Timothy, “The mineralogy and mineral chemistry of indium in supplied deposits and implications for mineral processing”, *Hydrometallurgy* 108, 2011, pp. 226-228.
- [4] G. Bina, D. Akash and M. Poonma, “Liquid-liquid extraction and recovery of indium using Cyanex 923”, *Analytica Chimica Acta* 513, 2004, pp. 463-471.

- [5] J. Shaohua, Z. Yifei, Z. Yi, X. Peiyi and W. Yihui, "Clean hydrometallurgical route to recover zinc, silver, lead, copper, cadmium and iron from hazardous jarosite residues produced during zinc hydrometallurgy", *Journal of Hazardous Materials* 192, 2011, pp. 554-558.
- [6] L. Cunxiong, W. Chang, X. Hongsheng, D. Zhigan, L. Jiqiang, L. Xingbin and L. Minting, "Kinetics of indium dissolution from sphalerite concentrate in pressure acid leaching", *Hydrometallurgy* 105, 2010, pp. 172-175.
- [7] L. Min, "Alkaline of metal melting industry wastes and separation of zinc and lead in the leach solution", *Journal of Environmental Sciences* 12, 2000, pp. 452-457.
- [8] R. Jiuli, G. Yuwen and Q. Qi, "Recovery of indium from scrap TFT-LCDs by solvent Extraction", *Procedia Environmental Sciences* 16, 2012, pp. 545-551.
- [9] V. Sami, I. Don and P. Erkki, "Recovery of indium from indium tin oxide by solvent extraction", *Hydrometallurgy* 107, 2010, pp. 56-61.
- [10] Y. Jiaxu, R. Teodora and E. Christian, "Indium recovery from discarded LCD panel glass by solvent extraction", *Hydrometallurgy* 137, 2013, pp. 68-77.