

## การแยกแร่เหล็กออกจากเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาโดยใช้แม่เหล็กนีโอไดเมียม

## REMOVAL OF IRON IMPURITIES FROM FLY AND BOTTOM ASH BY NEODYMIUM MAGNET

นายกฤษณะ แปงหลวง<sup>1</sup> นายภูมินทร์ เพชรวงษ์<sup>1</sup> นางสาวฟองจันทร์ จิราสิต<sup>2</sup> นายวิริยะ ทองสุก<sup>1</sup>  
และนายสิริวัฒน์ ศิริลักษณ์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา  
128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Mr.Kritshna Pangluang<sup>1</sup>, Mr.Poomin Petwong<sup>1</sup> MissFongjan Jirasit<sup>2</sup> Mr.Viriyah Thongsook<sup>1</sup>  
and Mr.Siwarote Siriluck<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Mining Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna  
128 Huaykaew , Muang, Chiangmai, 50300, Thailand

<sup>2</sup> Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna  
128 Huaykaew , Muang, Chiangmai, 50300, Thailand

\*ผู้รับผิดชอบบทความ: siwarote@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 1236

### บทคัดย่อ

เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จากการวิเคราะห์โดย XRF พบว่า มี%Fe ประมาณ10% การแยกมลทินเหล็กออกโดยใช้แม่เหล็กถาวรชนิดนีโอไดเมียมในกระบวนการแบบเปียก พบว่าลดมลทินเหล็กในตัวอย่างเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาเหลือ 6.02% Fe ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 3573 เกาส์ และ 5.23% Fe ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 3705 เกาส์ ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์การเก็บกักเหล็กจากตัวอย่างพบว่า เก็บได้ 90% และ 79% ในตัวอย่างเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา ตามลำดับ

**คำสำคัญ** เถ้าถ่านหิน เถ้าลอย เถ้าก้นเตา แร่เหล็ก แม่เหล็ก

### Abstract

In this research, fly and bottom ash samples from Mae Moh power plant, Lampang, Thailand were reported by XRF. The %Fe element in samples was nearly 10%. The neodymium permanent magnet was used to remove iron impurities in wet process. The results showed reduction in fly and bottom ash to 6.02%Fe at magnetic flux density (B) = 3573 G and 5.23%Fe at B = 3705 G, respectively. The maximum %Fe recoveries were 90% and 79% in fly ash and bottom ash, respectively.

**Keywords:** Coal ash, Fly ash, Bottom ash, Ferrous, Magnet

### 1. บทนำและความเป็นมาของปัญหา

ส่วนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ของเถ้าลอยลิกไนต์จะถูกนำไปฝังกลบ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม [1] การฝังกลบเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายสูง [2]

อีกปัญหาคือ ปริมาณเหล็กในเถ้าลอยและเถ้าก้นเตามีสัดส่วนสูงขึ้นในแหล่งที่ขุดขึ้นมาใช้ในปัจจุบันซึ่งส่งผลให้ปูนซีเมนต์ที่นำไปเป็นส่วนผสมจะทำให้มีสีแดงของสนิมเหล็กเมื่อผ่านกระบวนการออกซิไดซ์จากธรรมชาติ

การกำจัดแร่เหล็กออกจากเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา เป็น การแก้ปัญหา เพราะจะทำให้ เถ้าลอยและเถ้าก้นเตามีความต้องการในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ต่อไป และคุณภาพของวัสดุผสมปูนซีเมนต์จะไม่มีสีแดงซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ในงาน อีกทั้งเมื่อปริมาณของมลทินเหล็กลดลงจะทำให้สัดส่วนของ ซิลิกา แคลเซียมออกไซด์ และอลูมินาเพิ่มขึ้นในตัวอย่างอีกด้วย [3]

กระบวนการแยกแร่ด้วยแม่เหล็กถาวรชนิดนีโอไดเมียมในขนาดห้องปฏิบัติการ จึงถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุง

คุณภาพของเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา เพื่อให้ได้เถ้าที่มีคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้ผสมทำอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้

## 2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

### 2.1 เหล็ก (Iron)

เหล็กมีความสำคัญมากในการใช้งานในปัจจุบันมากมาย แต่ทว่าการเกิดสนิมเหล็ก(เหล็กออกไซด์) สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติ เมื่อเหล็กรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศขึ้น คุณสมบัติของเหล็กที่พบคือ มันมีสมบัติดูดแม่เหล็กอีกด้วย [4]

### 2.2 แร่เหล็กแมกนีไทต์ (Magnetite)

รูปผลึกระบบไอโซเมทริกแบบออกตะฮีดรอนเหมือนสปิเนล ปกติเป็นเม็ดเกาะแน่นเนื้อละเอียดหรือหยาบสีดำแบบเหล็ก สีมงละเอียดสีดำ วาวแบบโลหะ เนื้อเปราะ ร่วน รอยแตกไม่เรียบ ความแข็ง 6 ถ.พ. 5.18 แม่เหล็กดูดติดดีมาก และตัวแร่เป็นแม่เหล็กด้วย มี Fe=72.4% และ O=27.6% อาจมีแมกนีเซียมและแมงกานีสปนเล็กน้อยมีสมบัติเป็นแม่เหล็ก สามารถทดสอบกับแม่เหล็กได้ทันที [4]

### 2.3 เถ้าลอยและเถ้าก้นเตา

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (Fly ash หรือ Pulverized fuel ash) เกิดจากการเผาถ่านเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเถ้าถ่านหินจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นตัวดักจับ (Electrostatic precipitator) โดยจะรวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อเก็บไว้ในไซโลต่อไป ในกรณีที่เถ้าถ่านหินหลอมเหลวและบางส่วนจับกัน เป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมาก และตกลงสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้าก้นเตาหรือเถ้าหนัก (Bottom ash) การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงงานไฟฟ้าพลังงาน ความร้อนที่แม่เกาะจังหวัดลำปางของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณ 20% [5]



รูปที่ 1 เถ้าลอย (Fly Ash)



รูปที่ 2 เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

### 2.4 คุณสมบัติของเถ้าถ่านหิน

ถ่านหินที่บดละเอียดผ่านการเผาไหม้จะสันดาปและหลอมละลายเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงเถ้าถ่านหินขนาดเล็กสามารถลอยตามอากาศร้อนไปได้ เถ้าถ่านหินขนาดเล็กจะผ่านการเผาไหม้ ที่สมบูรณ์กว่าจึงมีทรงกลมและผิวเรียบ เถ้าถ่านหินขนาดใหญ่จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูเล็กๆ ที่ผิว ความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินแม่เกาะอยู่ที่ 2.0-2.2

### 2.5 การวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X ray Fluorescence Spectroscopy)

เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการที่อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอม เปลี่ยนระดับชั้นที่มีพลังงานสูงไปยังชั้นที่มีพลังงานต่ำกว่า และคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะ (characteristic X ray) ของแต่ละธาตุ เมื่อได้รับพลังงานเข้าไป [6]

เนื่องจากการทดลองในงานนี้เป็นตัวอย่างของแข็ง และมีขนาดของวัสดุละเอียดเล็กกว่า 250 เมช การเตรียมตัวอย่าง จะทำการ นำแร่ที่ผ่านกระบวนการแยกแม่เหล็กแบบเปียกแล้วนั้นมาทำการอบให้แห้งด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งตัวอย่างด้วยวิธี Riffing sampling ประมาณ 10 กรัม แล้วนำมาบรรจุในภาชนะทรงกระบอกที่กั้นเป็นฟิล์มใสเฉพาะซึ่งบริเวณนี้จะเป็นที่ยิงรังสีเอกซ์ โดยพื้นที่ยิง กั้นบริเวณไม่มาก เมื่อบรรจุตัวอย่างลงไปแล้วจะทำการกดพื้นที่จากอีกด้านด้วยกระบอกอัดพื้นเรียบซึ่งจะทำให้ตัวอย่างแบนราบสมบูรณ์แบบ จากนั้นใช้เครื่อง XRF ที่ได้ทำเทียบมาตรฐานแล้วดำเนินการ ตรวจสอบ ปริมาณธาตุในตัวอย่าง

### 2.6 แม่เหล็กแรงสูงนีโอไดเมียม

แม่เหล็กนีโอไดเมียมรู้จักกันในชื่อ Rare earth magnet เกิดขึ้นจากธาตุนีโอไดเมียม (Neodymium) ซึ่งเป็นธาตุที่หายาก ธาตุนีโอไดเมียมพบได้ในสินแร่ ตรีตะกั่ว ฟอสเฟต ซึ่งสกัดออกมาแล้วปริมาณของธาตุนีโอไดเมียมได้ไม่มากนัก นีโอไดเมียมจึงจัดได้ว่าเป็นธาตุหายาก ด้านวิศวกรรม ธาตุนีโอไดเมียมถูกนำมาผลิตแม่เหล็กแรงสูงแบบถาวร [7]



รูปที่ 3 แม่เหล็กนีโอไดเมียม (Neodymium)

### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

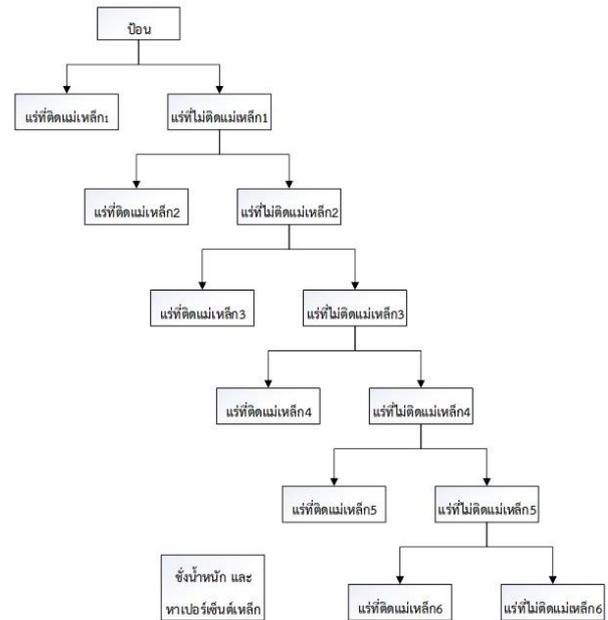
วิธีการแต่งถ้ำลอย และถ้ำกั้นเตา โดยใช้แม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม (Neodymium) ในขนาดห้องปฏิบัติการนี้ใช้ ถ้ำกั้นเตาและถ้ำลอย ใช้ช่วงขนาดคือ -250 Mesh +Pan[8] โดยใช้ค่าความเข้มข้นแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวร จำนวน 6 ค่า ในหน่วย เกาส์ (Gauss) คือ 654.35, 1108.08 1530.07, 2444.35, 3598.70 และ 3705.6 เกาส์

#### 3.1 ขั้นตอนการแต่งแร่เหล็กออกจากตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาทำการซีกตัวอย่างด้วย Riffle sampling technique [9] และนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของธาตุด้วย X-ray fluorescence (XRF) จากนั้นทำการ

เคลือบแม่เหล็กถาวรด้วยวัสดุพลาสติกประเภท Polyethylene ซึ่งความหนาของชั้นมากจะทำให้ตัวอย่างมีระยะห่าง (gap) มาก จากพื้นผิวของแม่เหล็ก จากนั้น ทำการวัดค่าความเข้มข้นแม่เหล็กแต่ละอัน ให้ได้ 6 ระดับความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก โดยค่าต่ำสุดถึงสูงสุดที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 654.35 - 3705.6 เกาส์

นำถ้ำลอยลิกไนต์ ประมาณ 250 กรัม มาผสมน้ำ ประมาณ 1 ลิตร จากนั้นใช้เครื่องกวน ให้เข้ากันระหว่างน้ำกับถ้ำลอยลิกไนต์ และนำแม่เหล็กที่มีค่าความเข้มข้นแม่เหล็กที่ต่ำที่สุดมาดูดเอาเหล็กออก จนกระทั่งเหล็กในตัวอย่างไม่ติดแม่เหล็ก จากนั้นจึงเปลี่ยนเอาแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นแม่เหล็กมากขึ้นมาดูดแม่เหล็กออก ทำซ้ำไปเรื่อยๆ 6 ระดับความเข้มข้น จนกระทั่งถ้ำลอยตัวอย่างถูกแม่เหล็กความเข้มข้นสูง ที่ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กที่ 3705.6 เกาส์ จน มลทินเหล็กไม่ติดแม่เหล็กจึงหยุดการทดลอง ซึ่งสามารถแสดงแผนผังการทดลองดังรูปที่ 4 จากนั้นทำความสะอาดภาชนะและเครื่องมือจากนั้นเปลี่ยนตัวอย่างถ้ำลอยเป็น ถ้ำกั้นเตาแล้วทำการทดลองในรูปแบบเดิมซ้ำ



รูปที่ 4 แผนผังแสดงการแยกแร่เหล็กออกจาก ตัวอย่าง ถ้ำลอย ด้วยแม่เหล็กถาวร

#### 3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ติดแม่เหล็กและตัวอย่างที่ไม่ติดแม่เหล็ก

นำแร่ส่วนที่ติดแม่เหล็ก และส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก ไปกรองโดยใช้ กระดาษกรองร่วมกับ เครื่องดูดสุญญากาศ แล้วนำไปอบภายในตู้อบแร่ที่ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำแร่แห้งแล้ว นำไปชั่งน้ำหนัก และทำการบันทึกผล นำตัวอย่างที่ไม่ติดแม่เหล็ก ส่งวิเคราะห์โดยเครื่อง XRF และวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์ แสดงในรูปที่ 6 และ 8



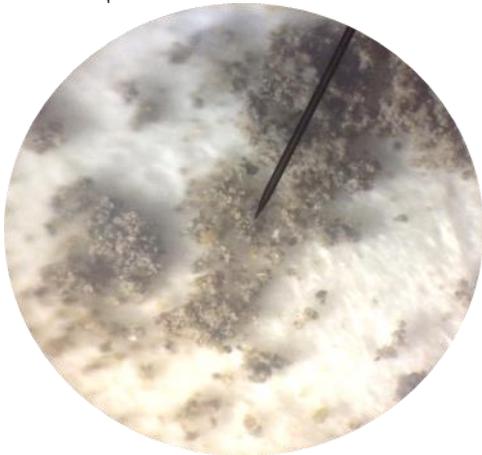
รูปที่ 5 ถ้ำลอยก่อนการทำการทดลอง ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100X



รูปที่ 6 เถ้าลอยหลังจากที่แยกได้หลังจากการใช้แม่เหล็กนีโอไดเมียมที่ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กที่ 3705.6 เกาส์ในการดูดที่กำลังขยาย 40X



รูปที่ 7 เถ้าก้นเตาก่อนการทำการทดลอง ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 100X



รูปที่ 8 เถ้าก้นเตา เปรียบเทียบก่อนการแยกและหลังจากที่แยกได้หลังจากการใช้แม่เหล็กนีโอไดเมียมที่ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กที่ 3705.6 เกาส์ในการดูดที่กำลังขยาย 40X

#### 4. ผลการวิจัยและอภิปราย

##### 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุของเถ้าลอย และเถ้าก้นเตาก่อนการแต่งแร่

ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง XRF ของตัวอย่างองค์ประกอบของเถ้าลอย และเถ้าก้นเตา ซึ่งจะใช้เพื่อเป็นแนบ่อนในการแต่งแร่ด้วยวิธีการแต่งด้วยแม่เหล็กถาวร ได้แสดงในตารางที่ 1 จากข้อมูลพบว่า เป็นเถ้าชนิดที่มี อลูมินา ซิลิกา ต่ำ แต่ แคลเซียมสูง และมีเหล็กในปริมาณใกล้เคียงกับ 10%

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ธาตุก่อนทำการทดลองของเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา

ธาตุ	Fly ash, %	Bottom ash, %
Ca	20.03	15.13
Fe	9.11	8.40
Si	5.28	5.61
Al	2.32	2.26

##### 4.2 การแยกเหล็กออกจาก เถ้าลอยและเถ้าก้นเตาในสนามแม่เหล็กที่มีขนาดแตกต่างกัน

การทดลองการแยกเหล็กในตัวอย่างเถ้าลอย ด้วยแม่เหล็กถาวรซึ่งใช้ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กที่ต่างกัน 6 ระดับ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

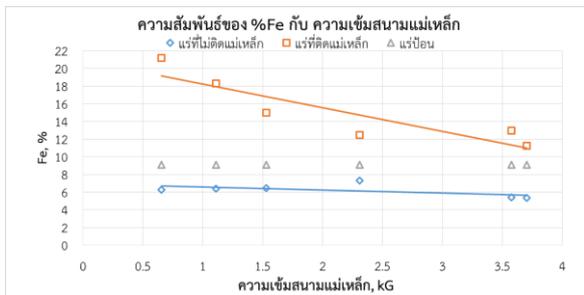
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe กับความเข้มข้นสนามแม่เหล็กในตัวอย่างเถ้าลอย ดังรูปที่ 9 พบว่า เมื่อใช้สนามแม่เหล็กขนาดมากขึ้นจะสามารถดูด ตัวอย่างที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบได้แม้จะมีเหล็กเป็นส่วนประกอบเพียง 11.219 %

ตัวอย่างของส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก%Fe น้อยที่สุด พบว่ามีผลได้จาก 9.11% เหลือเพียง 5.323%

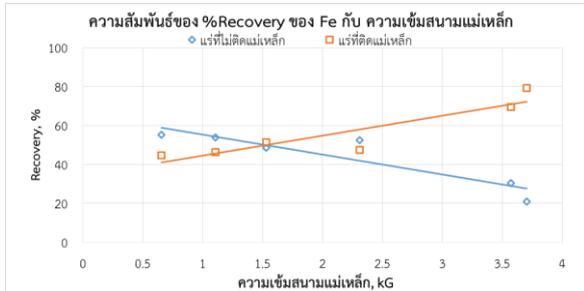
การเก็บกู้เหล็กออกจากตัวอย่างเถ้าลอยที่มากที่สุดพบว่า สามารถเก็บได้ถึง 79.150 % ดังรูปที่10 แต่จะทำให้ น้ำหนักของเถ้าลอย หรือส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กมีค่าน้อยลงด้วย จากตารางที่ 2 เถ้าลอยที่จะถูกนำไปใช้ใน กระบวนการผสมคอนกรีตจะได้เพียงเล็กน้อย ในส่วนนี้ต้องมีการศึกษาต่อไปถึง สัดส่วนของเหล็กที่ยอมรับได้ในคอนกรีต เพื่อที่จะให้ได้ น้ำหนักเถ้าลอยที่ใช้อย่างเหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ %Fe และ%การเก็บกู้เหล็ก ของตัวอย่างถ้ำลอย ในส่วนไม่ติดแม่เหล็ก และส่วนที่ติดแม่เหล็ก

แม่เหล็ก (G)	ไม่ติดแม่เหล็ก		ติดแม่เหล็ก	
	%Fe	%Recovery	%Fe	%Recovery
654.53	6.240	55.303	21.189	44.697
1108.08	6.370	53.768	18.264	46.232
1530.07	6.440	48.523	14.975	51.477
2308.05	7.330	52.606	12.488	47.394
3573.90	5.428	30.368	12.949	69.632
3705.60	5.323	20.850	11.219	79.150



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ %Fe กับ ความเข้มข้นแม่เหล็กของตัวอย่างของแร่ป้อนคือถ้ำลอยลิคไนต์



รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ %Recovery ของ Fe กับ ความเข้มข้นแม่เหล็กของตัวอย่างของแร่ป้อนคือถ้ำลอยลิคไนต์

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง %Fe กับความเข้มข้นแม่เหล็กในตัวอย่างถ้ำลอยลิคไนต์ ดังรูปที่ 11 พบว่า เมื่อใช้สนามแม่เหล็กขนาดมากขึ้นจะสามารถดูด ตัวอย่างที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบได้แม้จะมีเหล็กเป็นส่วนประกอบเพียง 8.711 %

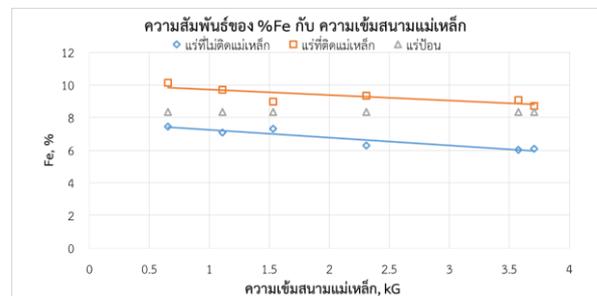
ตัวอย่างของส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก %Fe น้อยที่สุด พบว่ามีผลลดจาก 8.40% เหลือเพียง 6.02%

การเก็บกู้เหล็กออกจากตัวอย่างถ้ำลอยลิคไนต์มากที่สุดพบว่าจะสามารถเก็บได้ถึง 90.142 % ดังรูปที่ 12 แต่จะทำให้ น้ำหนักของถ้ำลอยลิคไนต์ หรือส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กมีค่าน้อยลงด้วย จากตารางที่ 3 ถ้ำลอยลิคไนต์ที่จะถูกนำไปใช้ใน กระบวนการผสมคอนกรีตจะได้

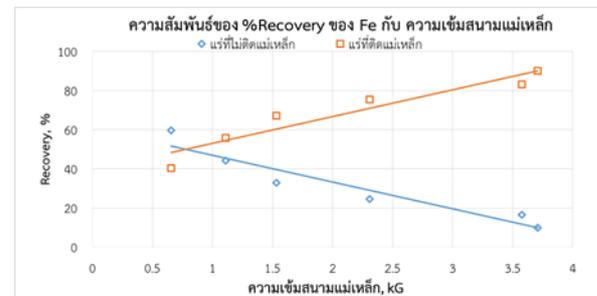
เพียงเล็กน้อย ในส่วนนี้ต้องมีการศึกษาต่อไปถึง สัดส่วนของเหล็กที่ยอมรับได้ในคอนกรีต เพื่อที่จะให้ได้น้ำหนักถ้ำลอยลิคไนต์ที่ใช้อย่างเหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ %Fe และ%การเก็บกู้เหล็ก ของตัวอย่างถ้ำลอยลิคไนต์ ในส่วนไม่ติดแม่เหล็ก และส่วนที่ติดแม่เหล็ก

แม่เหล็ก (G)	ไม่ติดแม่เหล็ก		ติดแม่เหล็ก	
	%Fe	%Recovery	%Fe	%Recovery
654.53	7.460	59.582	10.150	40.418
1108.08	7.090	44.093	9.723	55.907
1530.07	7.330	32.935	8.971	67.065
2308.05	6.290	24.573	9.356	75.427
3573.90	6.020	16.721	9.061	83.279
3705.60	6.080	9.858	8.711	90.142



รูปที่ 11 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ %Fe กับความเข้มข้นแม่เหล็กของแร่ป้อนคือถ้ำลอยลิคไนต์



รูปที่ 12 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ %Recovery ของ Fe กับ ความเข้มข้นแม่เหล็กของแร่ป้อนคือถ้ำลอยลิคไนต์

ผลการแต่งถ้ำลอยลิคไนต์และถ้ำลอยลิคไนต์ ดังแสดงตารางที่ 4 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ของ %น้ำหนักแร่ กับความเข้มข้นแม่เหล็ก ของถ้ำลอยลิคไนต์และถ้ำลอยลิคไนต์

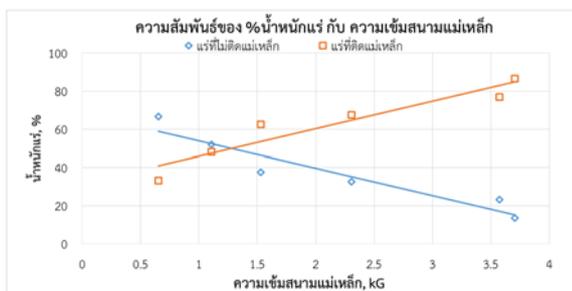
เมื่อใช้ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่มากขึ้นจะพบว่า น้ำหนักของถ้ำลอยลิคไนต์ และ น้ำหนักของถ้ำลอยลิคไนต์จะน้อยลงจนกระทั่งพบว่า ที่ความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก 3705.60 G จะเหลือ ผลิตภัณฑ์ ถ้ำลอยลิคไนต์และถ้ำลอยลิคไนต์เพียง 35.7 %Wt และ 13.55 %Wt ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14

ตารางที่ 4 ผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์น้ำหนัก(%Wt) จากการแต่งเถ้าก้นเตาและเถ้าลอยด้วยแม่เหล็กนีโอไดเมียม

ชนิดของเถ้า แม่เหล็ก	เถ้าลอย (%)		เถ้าก้นเตา (%)	
	ไม่ติดแม่เหล็ก	ติดแม่เหล็ก	ไม่ติดแม่เหล็ก	ติดแม่เหล็ก
654.35 (G)	80.78	19.22	66.73	33.27
1108.08 (G)	76.93	23.07	51.96	48.04
1530.07 (G)	68.67	31.33	37.54	62.46
2308.05 (G)	65.41	34.59	32.64	67.36
3573.90 (G)	50.99	49.01	23.21	76.79
3705.60 (G)	35.70	64.30	13.55	86.45



รูปที่ 13 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ %น้ำหนักแร่ กับ ความเข้มข้นแม่เหล็กของเถ้าลอย



รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของ %น้ำหนักแร่ กับ ความเข้มข้นแม่เหล็กของเถ้าก้นเตา

เรื่องของเศรษฐศาสตร์ ราคาของเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาเพื่อใช้ในงานผสมคอนกรีต ตลอดจนถึง มาตรฐานของคอนกรีตแต่ละชนิดที่ยินยอมให้ %Fe มีในส่วนผสม จะเป็นตัวบอกได้ว่า ควรจะใช้ปริมาณความเข้มข้นแม่เหล็กที่สัมพันธ์กับการได้มาของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม อีกข้อคือการนำส่วนที่แต่งแร่เหล็กออก ที่มีปริมาณ %Fe น้อยมาก อาจนำเป็นส่วนที่เก็บกักไว้เพื่อการผสม (Blending) กับเถ้าถ่านหินซึ่งมี %Feสูง เพื่อเป็นการควบคุมเกรดของผลิตภัณฑ์ก่อนส่งเข้ากระบวนการผสมคอนกรีต เพื่อประโยชน์ด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรแร่ และการควบคุมคุณภาพอีกด้วย

### 5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองการแยกเหล็กด้วยแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม จากตัวอย่างเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา ขนาดที่ -250 Mesh +Pan ที่ระดับความเข้มข้นแม่เหล็ก 6 ระดับ พบว่าความเข้มข้นแม่เหล็กที่มากขึ้น มีผลต่อการเพิ่มปริมาณหัวแร่เหล็กที่เก็บได้ และสามารถเก็บหัวแร่เหล็กที่ปริมาณของ %Fe น้อยลงในตัวอย่างได้ผล

การแยกเหล็กออกจากเถ้าลอยและเถ้าก้นเตา เป็นทางเลือกที่มีประโยชน์อย่างหนึ่งเพราะไม่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก หรือควรพิจารณาใช้เพื่อเป็นวิธีกำจัดเหล็กในเถ้าก่อนใช้แม่เหล็กไฟฟ้าแยก หรือใช้วิธีอื่นต่อไป

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อาจารย์ และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนด้านต่างๆในการดำเนินโครงการ และให้กำลังใจจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตามที่มุ่งหวังไว้

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2017). การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต. [online] Available at: [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/pol\\_suc\\_ash.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/pol_suc_ash.html) [Accessed 27 Jul. 2017].
- [2] Wang S, Wu H. Environmental-benign utilisation of fly ash as low-cost adsorbents. Journal of hazardous materials. 2006 Aug 25;136(3):482-501.
- [3] การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย. การนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้ประโยชน์. [Online]. Available from: <http://maemoh.egat.com/index.php/89-sarat/89-sarat1> [Accessed 27 July 2017].
- [4] Elementalmatterinfo. Elementalmatterinfo. [Online]. Available from: <http://www.elementalmatter.info/iron-properties.htm> [Accessed 27 July 2017]
- [5] บริษัท ทอรัส พอซโซลานซ์. เถ้าลอย / ผลิตภัณฑ์มวลผสม. [Online]. Available from: <http://www.tauruspozzolan.com/product-flyash.php> [Accessed 27 July 2017].



- [6] บทความสมคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. การวิเคราะห์ โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ [Online]. Available from: <http://www.nst.or.th/article/article494/article49418.htm> [Accessed 27 July 2017].
- [7] ศิวโรดม์ ศิริลักษณ์. แม่เหล็กนีโอไดเมียมกับวิศวกรรม การแต่งแร่. เชียงใหม่ : สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ; 2554.
- [8] R. Bhima Rao, P. Chattopadhyay and G.N. Banerjee. Removal of iron from fly ash for ceramic and refractory applications.: Council of Scientific and Industrial Research. Bhubaneswar:India; 1999.
- [9] นิคม โชติกานท์. แต่งแร่ MINERAL PROCESSING. เชียงใหม่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2540.