

การแต่งแร่เหล็กจากชั้น ศิลาแลง ของแหล่งแร่บอโกไซต์ บริเวณที่ราบสูงโบลาวน  
ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว



นาย กมสุรย์ สมประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BENEFICIATION OF IRON FROM LATERITIC LAYER IN BAUXITE DEPOSIT OF BOLAVEN PATEAU IN  
LAO PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC



Mr. Komsoon Somprasong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การแต่งแร่เหล็กจากชั้นศิลาแลงของแหล่งแร่บอโขไซต์  
บริเวณที่ราบสูงโบลาวน ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตย  
ประชาชนลาว

โดย

นาย คมสุรย์ สมประสงค์

สาขาวิชา

วิศวกรรมทรัพยากรธรณี


อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์.ดร.ภิญโญ มีชำนะ

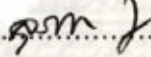
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ถ้ามี)


ผู้ช่วยศาสตราจารย์.สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย


คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้ฉันวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภูวิจิตร)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม (ถ้ามี)  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวิตย์ วิวรรณะเดช)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.เทียนไชย ตันไทย)

คสมสุรย์ สมประสงค์ : การแต่งแร่เหล็กจากชั้น คีลาแลง ของแหล่งแร่บอกไซต์ บริเวณที่ราบสูง โบลาเวน ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.(BENEFICIATION OF IRON FROM LATERITIC LAYER IN BAUXITE DEPOSIT OF BOLAVEN PATEAU IN LAO PEOPLE'S DEMOCRETIC REPUBLIC) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 97 หน้า

คีลาแลงที่พบในแหล่งแร่บอกไซต์ ในบริเวณที่ราบสูงโบลาเวนประกอบขึ้นจากแร่ต่างๆ อันได้แก่ เกอไทต์ (Goethite) ฮีมาไทต์ (Hematite) แมกนีไทต์ (Magnetite) กิบบไซต์(Gibbsite) เนโคริต(Necrite) และควอตซ์ (Quartz) โดยสามารถแยกแร่ที่มีเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบหลัก อันได้แก่ ฮีมาไทต์ แมกนีไทต์ และเกอไทต์ ออกจากแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กซึ่งได้แก่ เนโคริต กิบบไซต์ และ ควอตซ์ โดยอาศัยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก กระบวนการจะเริ่มต้นจากการบดแร่ที่มีคุณภาพเท่ากับ 25.71 % Fe ด้วยเครื่องบดลูกกลิ้งก่อน จากนั้นทำการล้างแร่ (Desliming) เพื่อลดมลทินจำพวกสารอินทรีย์ให้หลุดออก แล้วจึงบดแร่ซ้ำให้ได้ขนาดเท่ากับ 230 เมช ซึ่งเป็นขนาดที่แร่และมลทินต่างๆหลุดจากกันเป็นอิสระ จากนั้นนำแร่เข้าสู่กระบวนการขัดผิวแร่โดยใช้เครื่องขัดผิวแร่ (Scrubber) เพื่อขัดเอาเกอไทต์ที่เคลือบผิวแร่ที่หลุดเป็นอิสระแล้วออก โดยขั้นตอนการขัดผิวแร่สามารถเพิ่มคุณภาพเหล็กอยู่ในช่วง 35 – 38 % Fe ก่อนจะนำตัวอย่างเข้าสู่การแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator) โดยตั้งค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กให้มีค่าเท่ากับ 2 แอมแปร์ ซึ่งจะสามารถเพิ่มคุณภาพของหัวแร่เหล็กให้อยู่ในช่วง 55 – 58 % Fe ก่อนจะทำให้หัวแร่แห้งและเผาหัวแร่อีกครั้งที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพื่อทำลายสารอินทรีย์และลดปริมาณน้ำในโครงสร้างของเกอไทต์ให้กลายเป็นแร่แมกนีไทต์ ซึ่งจะทำให้หัวแร่เหล็กที่ได้มีคุณภาพเท่ากับ 62.53 % Fe และสามารถเก็บกลับคืนแร่ได้เท่ากับ 8.84 % Recovery ซึ่งเป็นคุณภาพที่โรงงานถลุงเหล็กยอมรับได้ในการนำไปถลุงเป็นแร่เหล็กวัตถุดิบต่อไป

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา.....ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อ.....ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4970242021 :MAJOR GEO-RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: BENEFICIATION/ IRON/ BAUXITE/ LAO PEOPLE'S DEMOCRETIC REPUBLIC.

KOMSOON SOMPRASONG: BENEFICIATION OF IRON FROM LATERITIC LAYER IN BAUXITE DEPOSIT OF BOLAVEN PATEAU IN LAO PEOPLE'S DEMOCRETIC REPUBLIC.THESIS ADVISOR: Assoc.Prof. PINYO MEECHAMNA, Ph.D., THESIS CO – ADVISOR: Assst.Prof. SOMSAK SAISINCHAI, 97 pp.

The Laterite from Bolaven Plateau of Lao PDR is composed of Goethite, Hematite, Magnetite, Gibbsite, Nacrite and Quartz. It has been found that we can use Wet High Intensity Magnetic Separator (WHIMS) to separate magnetic minerals which are Goethite Hematite and Magnetite out of Nacrite Gibbsite and Quartz which are non-magnetic minerals. The process begins with crushing the ore by roll crusher and then washed to deslime and remove organics matters out. The washed ore will be grinded again to be less than 230 mesh which is defined as the liberation-size of the ore. Followed by scrubbing process, goethite that covers on the surface of the gangue will be removed to make quartz and other gangue cleaner. At this stage the quality of iron in the sample will be raised from 25.71% Fe in the feed to be 35-38 % Fe. The magnetic field generator of the wet high intensity magnetic separator is then set at 2 ampere to separate magnetic minerals from non-magnetic ones and improve the iron content in the sample to be 55-58 % Fe. The magnetic fractions then roasted at 800 °C to obtain the final product with the grade of 62.53 % Fe and 8.84 % Recovery which is the quality that can be accepted by the smelting manufacturer.

Department Mining & Petroleum Engineering Student's signature K. Somprasong  
Field of study Georesources Engineering Principal Advisor's S. S. S.  
Academic year 2008 Co-advisor's signature S. S. S.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์จากองค์กรและบุคคลหลายฝ่าย ได้แก่ ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ในการให้คำปรึกษา และแนะนำเกี่ยวกับเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังเป็นผู้ช่วยจัดหาทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยใน ตลอดมา ผศ.สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ในความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลและคำปรึกษาการออกแบบกระบวนการแต่งแร่

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ ทุกท่าน ผศ.ดร.สุรพล ภูวิจิตร , ดร.เทียนไชย ต้นไทย , รศ. ดร.ดาวลย์ วิวรรณนะเดช สำหรับข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์

ในส่วนของการทดลอง รวมถึงการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดี จากเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ในการช่วยเหลือและให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ทาง สเปกโตรมิเตอร์ ได้แก่ เครื่อง XRD และเครื่อง ICP-OES ขอขอบคุณ นายระวิน อยู่ใจ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการโรงประลองแร่ สำหรับความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ

ขอขอบพระคุณ นายช่าง บัญชา วงศ์แก้วโพธิ์ทอง เจ้าหน้าที่จาก บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นต์ สำหรับคำ ปรึกษา และคำแนะนำการใช้เครื่องมือและขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นและได้ร่วมทำการทดลองในช่วงต้นของการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอระลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา อาจารย์ ที่ได้ส่งเสริม สนับสนุน ทางด้านการศึกษาตลอดมา รวมทั้งมิตรสหาย ทุกคนสำหรับกำลังใจที่ดีที่มีมาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	7
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย .....	7
1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	10
2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	10
2.1.1 การแต่งแร่ด้วยคุณสมบัติแม่เหล็ก.....	10
2.1.1.1 แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง.....	10
2.1.1.2 แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน.....	11
2.1.1.3 แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก.....	11
2.1.2 ทฤษฎีและกลไกในการแต่งแร่ด้วยเครื่องแต่งแร่แม่เหล็ก.....	11
2.1.2.1 แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดบนเม็ดแร่.....	12
2.1.2.2 แรงต่อต้านที่เกิดบนเม็ดแร่.....	12
2.1.2.3 แรงที่เกิดระหว่างเม็ดแร่ด้วยกันเอง.....	13

2.1.3	แว้วททยาของแ้วประกอบในตัวย่างศึลาแลง.....	14
2.1.3.1	ศึลาแลง.....	19
2.1.3.2	แ้วฮึมาทไต้.....	23
2.1.3.3	แ้วแมกนึทไต้.....	24
2.1.3.4	แ้วเกอทไต้.....	25
2.1.3.5	แ้วกึบบึไซต้.....	26
2.1.3.6	แ้วเนไครต้.....	27
2.1.4	เอกสารและงานวึจึยทึเก็ยวข้องกึบการศึษาวึจึย.....	28
2.1.4.1	การศึษาของ ณรงคไกรวฒนพงศึ บัญชา วงศึแก้วโพธิ์ทอง และคณะ.....	28
2.1.4.2	การศึษาของเอกภพ ศึรึเรอองฤทธิ อดึสัย ธรรมานนทึ และคณะ.....	29
2.2	เครอื่งมึอและอุปรกรณทึใชใ้ในการศึษาวึจึย.....	31
2.2.1	เครอื่งแตงแ้วโดยอาศัยคุณสมบตีแม่เหล็ก.....	31
2.2.1.1	เครอื่งแยกแ้วแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเป็ยก.....	32
2.2.2	เครอื่งขั้ตผิวแ้ว.....	34
บทที่ 3	การศึษาขั้นตึนของการศึษาวึจึยการแตงแ้วเหล็กจากศึลาแลง.....	37
3.1	การทอลองเพอื่ศึษากระบวนการของ บมจ . อึดาเล็ยนทึยดีเวลลึอปเมนทึ.....	37
3.1.1	แนวคึดและขั้นตึนในการศึษาวึจึย.....	37
3.1.2	ผลการทอลองการศึษากระบวนการ แตงแ้วของ บมจ .อึดาเล็ยนทึยดีเวลลึอปเมนทึ.....	39
3.1.3	วึจึรณัผลการศึษาวึจึย.....	40
3.2	การทอลองเบอื่งตึนเพอื่กาหนดสภาวะของการแตงแ้ว ดัวยเครอื่งแยกแ้วแม่เหล็กแบบเป็ยก.....	42
3.2.1	การทอลองการล้าแ้วเบอื่งตึน.....	42
3.2.1.1	แนวคึดและขั้นตึนในการศึษาวึจึย.....	42
3.2.1.2	ผลการศึษาวึจึยการทอลองการล้าแ้ว เบอื่งตึน.....	43



3.2.1.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัยการทดลอง	
การล้างแร่เบื้องต้น.....	44
3.2.2 การทดลองการขัดผิวแร่.....	46
3.2.2.1 แนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาวิจัย.....	46
3.2.2.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองการขัดผิวแร่.....	49
3.2.2.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย.....	52
3.2.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการแต่งแร่ตัวอย่างด้วย	
เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	54
3.2.3.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของ	
ขนาดแร่ป้อนที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่	
ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง	
แบบเปียก.....	55
3.2.3.1.1 แนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาวิจัย.....	55
3.2.3.1.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองเบื้องต้น	
เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดแร่ป้อน	
ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยก	
แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	56
3.2.3.1.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย.....	57
3.2.3.2 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของค่า	
สนามแม่เหล็กในรูปของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อกระบวนการ	
การแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูง	
แบบเปียก.....	59
3.2.3.2.1 แนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาวิจัย.....	59
3.2.3.2.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองเบื้องต้น	
เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดแร่ป้อน	
ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแม่	
เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	59
3.2.3.2.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย.....	60

3.2.3.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	61
3.2.3.3.1 แนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาวิจัย.....	61
3.2.3.3.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	62
3.2.3.2.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย.....	62
3.2.4 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเผาแร่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหัวแร่.....	63
3.2.4.1 แนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาวิจัย.....	63
3.2.4.2 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเผาแร่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหัวแร่.....	64
3.2.4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย.....	65
บทที่ 4 การศึกษาขั้นต้นของการศึกษาวิจัยการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแดง.....	68
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	68
4.2 สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	68
4.3 วัสดุดิบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	69
4.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	69
4.5 การทดลองการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	71
4.5.1 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง.....	72
4.5.1.1 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาดเล็กกว่า 200 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	72

4.5.1.2 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก.....	74
4.5.1.3 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาดเล็กกว่า 325 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก.....	75
4.5.1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาด ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	78
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	78
5.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยขั้นต่อไป.....	82
รายการอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1-1 ผลวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่อง XRF.....	3
1-2 แผนผังแสดงแผนงานดำเนินการวิจัย.....	9
3-1 สมดุลมวลของการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการแต่งแร่ของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์.....	39
3-2 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการล้างแร่.....	44
3-3 ผลการทดลองการขัดผิวแร่ที่ขนาดต่างๆ.....	50
3-4 ผลกระทบของช่วงขนาดต่อกระบวนการแยกแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	57
3-5 ผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็ก (ในรูปของกระแสไฟฟ้า) ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ที่ผ่านการบดจนมีขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	59
3-6 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการ การแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	62
3-7 ผลการทดลองเผาแร่.....	63
3-8 ผลของการเผาแร่ตัวอย่าง.....	66
4-1 ตัวแปรสภาวะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก ความเข้มสูง.....	72
4-2 แสดงสมดุลมวลที่ได้จากการแต่งแร่ที่ขนาดเล็กกว่า 200 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง.....	73
4-3 แสดงสมดุลมวลที่ได้จากการแต่งแร่ที่ขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง.....	75
4-4 แสดงสมดุลมวลที่ได้จากการแต่งแร่ที่ขนาดเล็กกว่า 325 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง.....	76

## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งของที่ราบสูงโบลาเวน เทียบกับประเทศไทย.....	2
รูปที่ 1.2 (ก) แผนผังแสดงการทดลองเบื้องต้นที่จะใช้ ในการศึกษาวิจัย.....	4
รูปที่ 1.2 (ข) กระบวนการเบื้องต้นของการศึกษาวิจัย.....	4
รูปที่ 1.3 แผนผังแสดงการทดลองในการศึกษาวิจัย กระบวนการแต่งแร่เหล็ก.....	6
รูปที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่เหล็กเพื่อหา องค์ประกอบทางแร่วิทยา.....	14
รูปที่ 2.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงตำแหน่งของแร่ ประกอบต่างๆที่พบในแร่ศิลาแลงตัวอย่าง.....	16
รูปที่ 2.3 ศิลาแลงที่ผ่านการล้างแร่แล้ว.....	18
รูปที่ 2.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงพื้นผิวของศิลาแลง ตัวอย่างที่ทำการล้างแล้วแสดงให้เห็นการเรียงตัว ของอนุภาคแร่ประกอบ.....	18
รูปที่ 2.5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นผิวเรียบของแร่ ที่แสดงให้เห็นกลุ่มอนุภาคต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่าง ศิลาแลงอันได้แก่กลุ่มแร่ควอตซ์(สีขาวใส) และแร่ฮีมาไทต์(สีน้ำตาลเข้ม).....	19
รูปที่ 2.6 แร่ดิบหรือศิลาแลงแบบสะสมตะกอนที่ใช้ในการ ศึกษาวิจัย.....	21
รูปที่ 2.7 พื้นที่กำเนิดของศิลาแลงแบบสะสมตะกอน.....	21
รูปที่ 2.8 ชั้นศิลาแลงที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระดับของน้ำบาดาล ซึ่งชะล้างสารแขวนลอยเหล็กออกไซด์ ทั้งจากดินพื้นผิว และจากตะกอนกรวดด้านล่าง.....	22
รูปที่ 2.9 แร่ฮีมาไทต์ที่เกิดร่วมกับควอตซ์.....	24

รูปที่ 2.10 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็น แมงनीไทต์ในตัวอย่างศิลาแลงที่นำมาทดลอง.....	25
รูปที่ 2.11 ผลึกแร่เกอไทต์.....	26
รูปที่ 2.12 แกร์บิปีไซต์.....	27
รูปที่ 2.13 ผลึกแร่เนโครท์.....	27
รูปที่ 2.14 กระบวนการแต่งแร่เบื้องต้นของ บมจ.อิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเม้นท์.....	29
รูปที่ 2.15 แผนผังสรุปผลการแต่งแร่ของการศึกษาของเอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์และคณะ.....	30
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้น.....	32
รูปที่ 2.17 การจัดเรียงสลับแนวของแผ่นกรองภายในเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก.....	33
รูปที่ 2.18 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียกที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้.....	34
รูปที่ 2.19 ภาพตัดภายในของเครื่องขัดผิว.....	35
รูปที่ 2.20 ภาพ Diagram ของเครื่องขัดผิวแร่.....	36
รูปที่ 2.21 เครื่อง Attrition mill ที่ใช้ทดแทนเครื่องขัดผิวแร่ (Scrubber) ที่ใช้ใน การทดลอง.....	36
รูปที่ 3.1 กระบวนการแต่งแร่ที่ใช้ในการทดลองซ้ำ ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับการทดลอง ของบมจ. อิตาเลียนไทยดีเวล็อปเม้นท์.....	38
รูปที่ 3.2 ผลการแต่งแร่ที่ได้จากการทดลองซ้ำกระบวนการแต่งแร่เหล็ก ของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวล็อปเม้นท์.....	40
รูปที่ 3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นหัวแร่ที่ได้จากการทดลองเพื่อศึกษา กระบวนการทดลอง ของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวล็อปเม้นท์.....	42
รูปที่ 3.4 แผนผังการทดลองการล้างแร่เบื้องต้นแบ่งตามช่วงขนาดต่างๆ.....	43
รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลการทดลองการล้างแร่ที่ขนาดต่างๆ.....	44
รูปที่ 3.6 แร่ตัวอย่างก่อนทำการล้าง.....	45
รูปที่ 3.7 ตะกอนดินที่ลอยขึ้นมาระหว่างการล้าง.....	45
รูปที่ 3.8 แร่ที่ผ่านการล้างแล้ว.....	46
รูปที่ 3.9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงอนุภาคหลัง นำแร่ออกจากเครื่องบดบอลมิลล์.....	47

รูปที่ 3.10 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงอนุภาคแร่ ที่ถูกเคลือบด้วยผงละเอียดของเหล็กออกไซด์.....	49
รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงกระบวนการทดลองการขัดผิวแร่ที่ ช่วงขนาดต่างๆ.....	49
รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผ่านตะแกรง กับกระบวนการขัดผิวแร่.....	50
รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายแสดงอนุภาคแร่ขนาด เล็กกว่า 30 เมช ที่ผ่านการขัดผิวแล้ว.....	51
รูปที่ 3.14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย5เท่า) แสดง ตัวอย่างแร่ขนาดต่างๆที่ผ่านการขัดผิวแร่แล้ว.....	52
รูปที่ 3.15 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 5เท่า) แสดง ให้เห็นผลการขัดผิวกับตัวอย่างที่คละขนาดกัน.....	53
รูปที่ 3.16 แร่ควอตซ์ขนาด -100 เมช (กำลังขยาย10 เท่า) ที่ผ่านการขัดแล้วมีลักษณะใสชัดเจน .....	53
รูปที่ 3.17 แผนผังแสดงกระบวนการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษา ผลกระทบของขนาดที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่อง แยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	56
รูปที่ 3.18 กราฟผลการทดลองผลกระทบของขนาดต่อกระบวนการ การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	57
รูปที่ 3.19 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพและปริมาณ ของหัวแร่เหล็กเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส ไฟฟ้าของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	61
รูปที่ 3.20 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและร้อยละของการ เก็บกลับคืนได้ของแร่เหล็กเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็ว ของการป้อนแร่ของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	63
รูปที่ 3.21 ผลการทดลองการเผาตัวอย่างเพื่อเพิ่มคุณภาพของหัวแร่.....	65
รูปที่ 3.22 หัวแร่ที่ผ่านการแยกแร่ก่อนทำการเผา (กำลังขยาย 20เท่า).....	66
รูปที่ 3.23 หัวแร่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา หนึ่งชั่วโมง(กำลังขยาย 20 เท่า).....	67

รูปที่ 3.24 แสดงแร่ที่ผ่านการเผาแล้ว.....	67
รูปที่ 4.1 แร่ตัวอย่างจากชั้นศิลาแลงที่ได้รับจาก บมจ.อิตาเลียนไทย ดีเวล็อปเมนต์จำกัด.....	69
รูปที่ 4.2 กระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง แบบเปียก.....	70
รูปที่ 4.3 แผนผังการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 200 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	74
รูปที่ 4.4 แผนผังการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	75
รูปที่ 4.5 แผนผังการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 325 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก.....	76
รูปที่ 5.1 แผนผังสรุปกระบวนการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลง.....	80



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา (1, 2, 3)

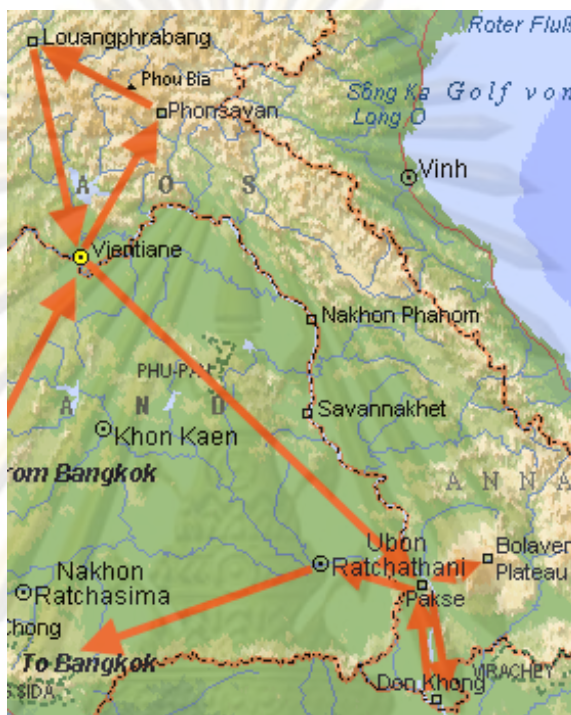
แร่เหล็กเป็นแร่เศรษฐกิจ ที่มีความสำคัญมากที่สุดชนิดหนึ่ง แร่ชนิดนี้มีบทบาทอย่างมากต่ออุตสาหกรรมทุกๆประเภท ไม่ว่าจะเป็น การใช้เหล็กใน งานก่อสร้าง อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ การผลิตเหล็กรูปพรรณชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงการผลิตเหล็กดิบเพื่อส่งออก ไปยังต่างประเทศ หากมองอัตรา การบริโภค เหล็กของประเทศไทย ในช่วง สามปีนับตั้งแต่ปี 2549 เป็นต้นมา จะพบว่าปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการขยายตัวในธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณการใช้และนำเข้าแร่เหล็กที่สูงขึ้น

ในภาวะปกติแล้ว ตลาดโลหะเหล็กของไทย จะมีปริมาณความต้องการใช้ประมาณปีละ 12 ล้านเมตริกตัน ซึ่งมีขนาดที่เล็กมาก คิดเป็นเพียงร้อยละ 1 ของตลาดโลกที่มีปริมาณความต้องการและการผลิตอยู่ที่ประมาณ 1,200-1,300 ล้านเมตริกตันต่อปี โดย 1 ใน 3 ของจำนวนนี้หรือประมาณ 420-470 ล้านเมตริกตัน เป็นการบริโภคและการผลิตของประเทศจีน ทั้งนี้เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจที่เป็นไปอย่างรวดเร็วของจีน จากสภาวะดังกล่าว ส่งผลให้ราคาเหล็กของโลกเพิ่มสูงขึ้น

ถึงแม้ว่าผู้ผลิตรายใหญ่ หลายประเทศของโลก จะพยายามควบคุมปริมาณการผลิตและส่งออก แต่ทว่าความต้องการในการบริโภคแร่ เหล็ก ในตลาดโลกยังคงเพิ่มสูงขึ้น ตามสภาวะเศรษฐกิจโลกที่ขยายตัว รวมไปถึงต้นทุนการผลิตที่ยังคงเพิ่มสูงขึ้น ในการผลิตเหล็กรูปพรรณต่างๆ ด้วยภาวะดังกล่าว จึงมีผู้ประกอบการจำนวนมากได้เริ่มทำการแสวงหาแหล่งแร่ใหม่ๆ ทั้งในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ ก็เป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิตที่มีการออกสำรวจแหล่งแร่ศักยภาพสูง เพื่อป้อนสู่ระบบอุตสาหกรรมอื่นๆ และแหล่งแร่แห่งหนึ่งที่มีศักยภาพสูงได้แก่ บริเวณที่ราบสูง โบลาเวน เมืองปากซ่อง แขวงนครจำปาศักดิ์ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ที่ราบสูงโบลาเวน ( Bolaven Plateau ) หรือที่ราบสูง “ปละเวน” ในภาษาลาว เป็นภูมิประเทศที่สำคัญแห่งหนึ่งในเขตลาวใต้ ของประเทศลาว ซึ่งกินอาณาบริเวณใน เขตจังหวัด สาละวัน (Salavan), อัดป้อ (Attapeau) และสีของ (Sekong) มีระดับความสูงจากน้ำทะเลโดยเฉลี่ย

1,200 เมตร ที่ราบสูงแห่งนี้เป็นที่ที่มีฝนตกชุกตลอดทั้งปี ส่งผลให้บริเวณแห่งนี้กลายเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่สำคัญ ของประเทศลาวโดยมีการปลูกพืชสวนและพืชไร่มากมาย อาทิ กาแฟ พายางพารา และ กล้วยพืชต่าง ๆ (1) โดยมีที่ตั้งของพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่แสดงตำแหน่งของที่ราบสูงโบลาวนเทียบกับประเทศไทย (3)

บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวล็อปเม้นท์ (3) ได้ทำการสำรวจพบว่าพื้นที่บางส่วนของที่ราบสูงโบลาวน มีการสะสมตัวของแร่บอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งเป็นแร่ต้นกำเนิด อะลูมินาประเภทหนึ่ง จากการประมาณการ พบว่าพื้นที่ศักยภาพแวกิน อาณาบริเวณ 727 ตารางกิโลเมตร และมีปริมาณสะสมของแร่อยู่ที่ 2-2.5 ล้านล้านตัน ซึ่งหากนำมาผลิตเป็นสินแร่ อะลูมินา จะสามารถผลิตได้ในอัตราสูงถึง 5-7 ล้านตันต่อปี โดยมีลักษณะเบื้องต้นของแหล่ง คือ

1. ชั้นผิวดิน มีช่วงความลึกที่ระดับ 0 - 0.5 เมตร
2. ชั้น A เป็นชั้นของ Laterite มีช่วงความลึกอยู่ที่ระดับ 0.5 – 5.2 เมตร
3. ชั้น B เป็นชั้นของ Lateritic Bauxite มีช่วงความลึกอยู่ที่ระดับ 2.0 - 5.0 เมตร
4. ชั้น C เป็นชั้นของ Massive Bauxite มีช่วงความลึกอยู่ที่ระดับ 4.0 – 9.0 เมตร
5. ชั้นของ Base Rock ซึ่งเป็นชั้น หินทราย

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบจากชั้นศิลาแลงดังกล่าว ของ ผนังก่ออิฐฉาบปูน และคณะ (3) โดยอาศัยเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางรังสี และคุณสมบัติการติดแม่เหล็ก พบว่าตัวอย่างแร่ ประกอบจากแหล่งดังกล่าวมีองค์ประกอบทางแร่ วิทยาได้แก่ แร่เหล็ก แมกนีไทต์ (Magnetite), แร่เหล็กฮีมาไทต์ (Hematite), แร่เหล็กเกอไทต์ (Goethite), แร่กลุ่มอะลูมินาชนิดกิบบ์ไซต์ (Gibbsite), แร่อะลูมิโนซิลิเกต ชนิด เนโคริต (Nacrite) และ แร่ซิลิกาชนิดควอตซ์ (Quartz)

ในการศึกษาเบื้องต้น ของบมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ พบว่า แร่ชั้น A เป็นชั้นที่มีแร่ เกอไทต์ (FeO(OH)) เป็นองค์ประกอบหลัก และมีองค์ประกอบอื่นคือ อะลูมินา ซิลิกา และ สารอินทรีย์ใน แร่ เป็นองค์ประกอบย่อย เมื่อสุ่มตัวอย่างหลุมเจาะมา วิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD (X – Ray Diffraction Spectrometer ) ร่วมกับเครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence Spectrometer) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข และ ค ตามลำดับ )พบว่ามีคุณภาพ ของแร่เหล็ก ในรูปของเหล็ก ออกไซด์ (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) อยู่ 36.19 % หรือคิดเป็นคุณภาพของเหล็ก 25.71 % Fe (ดูตารางที่ 1-1)

ตารางที่ 1-1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแร่ตัวอย่างด้วยเครื่อง XRF (3)

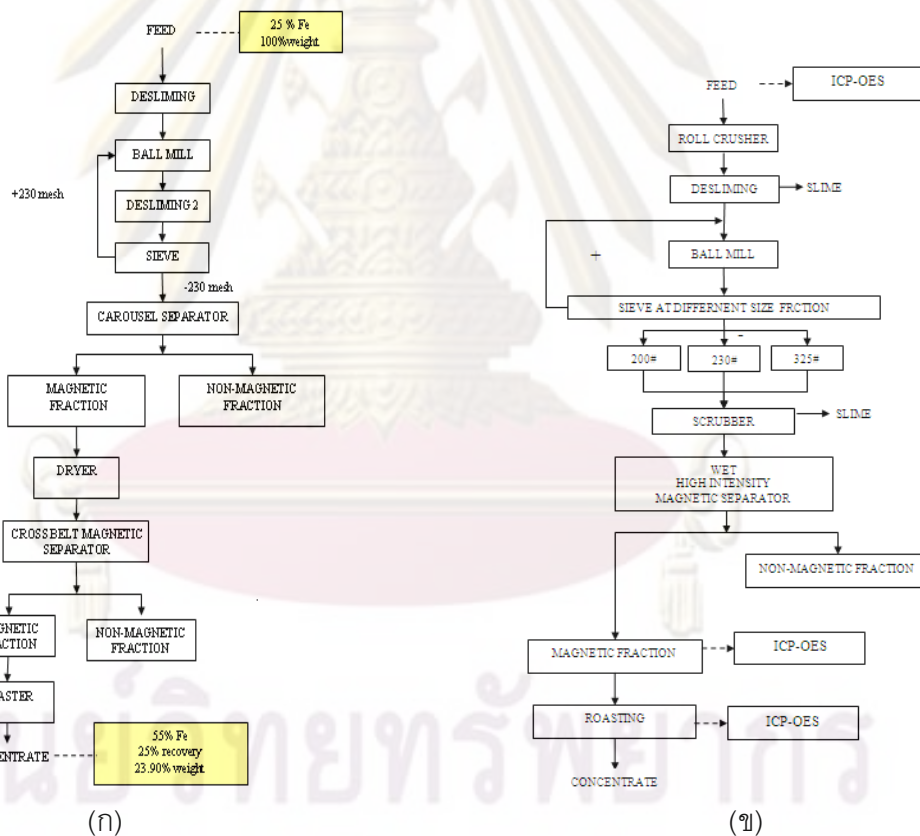
Sample No.	CaO (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	MgO (%)	LOI (%)	SUM (%)
แร่ป้อนรวม	0.06	3.10	2.96	0.01	36.19	13.81	26.82	0.07	0.15	0.09	16.70	100.0

บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอป เม้นท์ ได้เล็งเห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถเพิ่มคุณภาพ ของแร่เหล็กดังกล่าว แทนที่จะทิ้งไปกับหน้าดิน จึงได้ทำการทดลองศึกษาเพื่อหากระบวนการแต่ง แร่ที่เหมาะสม และสามารถเพิ่มคุณภาพของเหล็กให้อยู่ในระดับ มากกว่า 60 % Fe ซึ่งเป็น คุณภาพที่สามารถส่งขายให้อุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าได้

บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ ได้ทำการทดลองเบื้องต้น (ดูรูปกระบวนการทดลองการ แต่งแร่เบื้องต้นตามรูปที่ 1.2 ก ) โดยนำ ศิลาแลงจากชั้น A มาล้างเอาตะกอนของสารอินทรีย์ ดินเหนียว (Clay) และสารแขวนลอยอื่น ๆ ออก จากนั้นทำการบดด้วยเครื่องบด บอลมิลล์ (Ball Mill) เพื่อลดขนาดอนุภาคของแร่ แล้วนำแร่ตัวอย่างมา ล้างอีกครั้ง แร่ที่ผ่านการการ บดและ ล้างแล้ว ถูกนำมาผ่านเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกชนิดถังคารูเซล (Carousel Separator) ส่วนที่ติดแม่เหล็กจากการคัดแยกจะถูกนำไปอบแห้งแล้วผ่านเครื่องแยกแม่เหล็ก ความเข้มสูงแบบแห้งชนิดสายพาน ขวาง แล้วนำส่วน ที่ติดแม่เหล็กมาเผาที่อุณหภูมิ สูงกว่า 550 องศาเซลเซียส การทดลองดังกล่าวจะให้คุณภาพของเหล็กภายหลังการแต่งแร่ที่ 55 % Fe

และมีร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ (% Recovery) เท่ากับ 25 % ซึ่งคุณภาพของแร่ที่ได้ นั้นยังไม่อยู่ในระดับที่อุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้ายอมรับได้

เนื่องจากการทดลอง ดังกล่าว (3) เป็นการทดลองเบื้องต้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงเกิดแนวคิดที่จะจัดทำระบบการทดลองที่มีการอ้างอิงจากทฤษฎีและกระบวนการที่เหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อที่จะเพิ่มคุณภาพและปริมาณการเก็บกลับคืนแร่เหล็กให้อยู่ในช่วงที่อุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้าสามารถยอมรับได้ รวมทั้งยังสามารถเปรียบเทียบผลของ ตัวแปร ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การแต่งแร่ได้อีกด้วย โดยสามารถเขียนเป็นแผนผังสรุปกระบวนการทดลองเบื้องต้นดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 ข



รูปที่ 1-2 (ก) กระบวนการแต่งแร่เบื้องต้นของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์

(ข) กระบวนการทดลองที่ได้ออกแบบเพื่อการศึกษาวิจัยนี้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติพื้นฐานทางแร่วิทยาของแร่เหล็กจากแหล่งแร่ บริเวณที่ราบสูงโบลาว
2. เพื่อหากระบวนการทางการแต่งแร่ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมในการแยกแร่เหล็กจากแหล่งออกจากมลทินอื่น ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพของเหล็ก จากแหล่งแร่ให้มีคุณภาพถึงระดับที่สามารถส่งขายเพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการถลุงเหล็กได้

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นถึงการศึกษ สมบัติของแร่เหล็กในแหล่งแร่บอไซต์ บริเวณที่ราบสูงโบลาว สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการศึกษาค้นหากระบวนการที่เหมาะสมของการแต่งแร่เหล็ก โดยเปรียบเทียบจากค่าการเก็บกลับคืนและคุณภาพของแร่ที่ได้จากแต่ละอุปกรณ์ อันได้แก่ เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งชนิดลูกกลิ้งเหนียวนำเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก โดยจะทำการศึกษาถึงตัวแปรต่างๆของอุปกรณ์ที่ส่งผลต่อการเก็บกลับคืนแร่เหล็กจากแหล่งดังกล่าว เพื่อจะสามารถนำเอาวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาปรับปรุงเพื่อให้มีคุณภาพเหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมถลุงเหล็กต่อไป

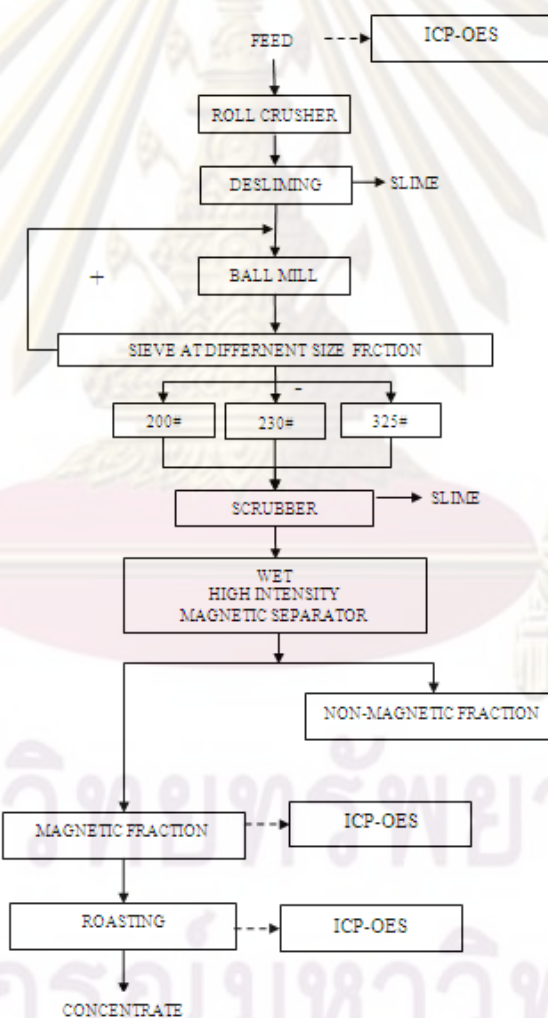
การศึกษาวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษา สมบัติด้านแร่วิทยาของแร่จากแหล่งแร่ ที่จำเป็นต่อการออกแบบกระบวนการ อาทิ ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นเกี่ยวกับธรณีวิทยาของแหล่งแร่ ชนิดของแร่ที่เกิดขึ้นร่วมกันภายในแหล่งแร่ สมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของแร่ที่เกิดขึ้นในแหล่ง ควบคู่กันไปกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง อันได้แก่ ขนาดที่หลุดเป็นอิสระ (Liberation Size) ผลกระทบของแร่มลทิน รวมทั้งผลกระทบตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการแต่งแร่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการแต่งแร่ จากนั้นดำเนินการทดลองโดยอาศัยกระบวนการแยกแร่ที่ออกแบบขึ้นโดยอ้างอิงจากคุณสมบัติของแร่เหล็กจากแหล่งแร่ดังกล่าว ซึ่งแสดงตามรูปที่ 1.2

แผนผังกระบวนการแต่งแร่อ้างอิง (รูปที่ 1.3) เริ่มจากการนำตัวอย่างมาล้างเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ และมลทินอื่นที่สามารถหลุดออกได้ก่อน จากนั้นทำการบดด้วยเครื่อง บดลูกกลิ้ง (Roll Crusher) เพื่อลดขนาดของแร่ในขั้นต้น แล้วทำการล้างแร่อีกครั้งเพื่อลดปริมาณมลทินที่เจือปนในแร่ จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่อง บอลมิลล์ (Ball Mill) อีกครั้งเพื่อลดขนาด แล้วทำการคัดขนาดแร่แบ่งออกเป็นขนาดต่าง ๆ กันเพื่อนำไปทดลองแยกตามแต่ละขนาดในภายหลัง ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการขัดผิวแร่ด้วยเครื่อง ขัดผิวแร่ (Scrubber) เพื่อขัดเอามลทินอันได้แก่ ควอตซ์ อะลูมินา และออกไซด์ของเหล็ก ที่ติดอยู่ก่อนจะนำไปทดลองแยกแร่ด้วยเครื่อง แยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก โดยใช้ตัวอย่างต่าง ๆ ที่ทำการคัดขนาดไว้

จากนั้นแร่ที่มีศักยภาพพอที่จะเพิ่มคุณภาพได้ จะถูกนำมาทดลองเผาเพื่อเปลี่ยนองค์ประกอบทางโครงสร้างของแร่เกอไทต์ ให้อยู่ในรูปโครงสร้างของ แร่แมกนีไทต์ เพื่อเพิ่มคุณภาพเหล็กที่เก็บได้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต่อไป

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบข้อมูลทางแร่วิทยาของแร่ที่นำมาทดลอง ซึ่งทำให้ทราบคุณสมบัติของแร่เหล่านั้นเพื่อนำมาใช้ในการทดลองการแต่งแร่
2. สามารถออกแบบแผนผังของกระบวนการแต่งแร่เหล็กที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้หัวแร่เหล็กมีคุณภาพอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้สำหรับถลุงเพื่อผลิตเหล็กกล้าได้



รูปที่ 1-3 แผนผังแสดงการทดลองในการศึกษาวิจัยกระบวนการแต่งแร่เหล็กที่กำหนดใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ (ขยายจากรูปที่ 1.2 ข เพื่อแสดงรายละเอียดของแผนผัง)

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสมบัติทางแร่วิทยาและออกแบบกระบวนการแต่งแร่ที่เหมาะสม กับสมบัติของแร่ จากแหล่งแร่ดังกล่าว
3. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์สเปกโตรมิเตอร์ ประเภทต่างๆ อาทิ ICP-OES (Induced Couple Plasma Optical Emission Spectrometer), XRD และ XRF เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะ (Performance) ของการแต่งแร่พร้อมทั้งหาแนวทางที่ให้ประสิทธิภาพการแต่งแร่ที่เหมาะสม (ดูรายละเอียดของเครื่อง ICP-OES และการเตรียมตัวอย่าง เพื่อตรวจวิเคราะห์ได้ในภาคผนวก ง)
4. นำกระบวนการแต่งแร่ ที่ได้จากการออกแบบ ไปแก้ไขให้เพื่อ นำมาปรับ ปรุง ให้กระบวนการสามารถเก็บหัวแร่ที่มีคุณภาพเหมาะสมกับอุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้า
5. สรุปผลและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

## 1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยตามแผนการศึกษาวิจัยที่ได้ ระบุไว้ในตารางที่ 1-2 โดยในช่วงต้น ของการศึกษาวิจัย ตั้งแต่ เดือนกันยายน พ .ศ.2550 เป็นการศึกษาวิจัยร่วมกับ บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวล็อปเมนต์ ก่อนจะเริ่มทำการศึกษาวิจัยเชิงปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการของ ภาควิชาเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งแต่เดือน ธันวาคม 2550 และแล้วเสร็จในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2551

## 1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

ในการเสนอผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้เขียนได้ทำการแบ่งการนำเสนอออกเป็น 5 บทดังนี้คือ

- บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง เนื้อหาเบื้องต้น อาทิ ความเป็นมาและจุดประสงค์ของ โครงการ ทั้งนี้จะครอบคลุมถึงการทดลองเบื้องต้นที่ได้มีผู้ทำการทดลองมาก่อนแล้วด้วย
- บทที่ 2 ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ซึ่งเป็นเอกสารทางวิชาการ และ งานวิจัย ที่มีความเกี่ยวข้องและถูกนำมาใช้อ้างอิงในรายงานการวิจัยฉบับนี้

บทที่ 3 การศึกษาขั้นตอนของการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลง ซึ่งกล่าวถึงรายละเอียดของการวิจัยขั้นต้น อาทิ รายละเอียดของการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง รวมไปถึงขั้นตอนในการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการ และ ตัวแปรที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อนำมากำหนดสภาวะใช้งานจริงในการศึกษากระบวนการแต่งแร่เหล็ก

บทที่ 4 การศึกษากระบวนการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลง กล่าวถึงการทดลองที่ได้นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย ผลการศึกษาวิจัย รวมทั้งการวิเคราะห์ ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดผลเช่นนั้น

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ นำเสนอบทสรุปของกระบวนการที่เหมาะสมในการ แยกแร่เหล็กจากศิลาแลง รวมทั้ง เสนอแนะ ให้การศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการแยกแร่ที่เหมาะสมที่สุดต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ 1-2 แผนผังแสดงระยะเวลาในการดำเนินการศึกษาวิจัย

เดือน	2550									2551						2552		
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย																		
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	←	←															
2.ทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดสภาวะของการแต่งแร่				←	←	←	←	←	←									
3.ออกแบบกระบวนการแต่งแร่สำหรับใช้งานจริง						←	←	←	←	←	←	←						
4.ทำการทดลองศึกษากระบวนการแต่งแร่หลักจากคิลานลง									←	←	←	←	←	←				
5.สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงาน													←	←	←	←	←	←

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

### 2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

#### 2.1.1 การแยกแร่ด้วยคุณสมบัติแม่เหล็ก (4)

การแยกแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็ก เป็นการใช้ประโยชน์จากความแตกต่างของคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแร่แต่ละชนิดเพื่อนำมาคัดแยกแร่และมลทินออกจากกัน โดยปกติ นั้นแร่ทุกชนิดที่อยู่ในธรรมชาติจะต้องแสดงพฤติกรรมอย่างใดอย่างหนึ่งเมื่อได้รับผลกระทบจากแรงแม่เหล็กภายในสนามแม่เหล็ก แต่ในบางครั้งพฤติกรรมดังกล่าว อาจเบาบางมากจนกระทั่งไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งลักษณะพฤติกรรมของแร่ในสนามแม่เหล็กนี้เอง ทำให้สามารถจำแนกแร่ออกเป็นสามประเภทตามคุณสมบัติทางแม่เหล็กได้ดังนี้

1. แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral)
2. แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral)
3. แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก (Diamagnetic Mineral)

##### 2.1.1.1 แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic Mineral)

แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนั้น อาจเรียกได้ว่าเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนชนิดพิเศษเพราะสามารถติดแม่เหล็กได้แรงกว่า อันเป็นผลมาจากการมีความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) สูงกว่า แร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงจะคงความเป็นแม่เหล็ก หลังจากที่เอาสนามแม่เหล็กออกไปแล้ว ดังนั้นจึงสามารถแยกมันออกมาได้ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มต่ำ (Low Intensity Magnetic Separator) ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) ซึ่งเป็นแร่ประกอบที่สำคัญตัวหนึ่งในศิลาแลงตัวอย่างก็จัดอยู่ในกลุ่มแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงนี้ด้วย อนึ่งแร่บางชนิดหากผ่านการย่างเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติแม่เหล็กมาแล้ว (Magnetic Roasting) จะส่งผลให้มันกลายเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรงได้ สำหรับโลหะเหล็กเองก็จัดว่าเป็นอยู่ในกลุ่มแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงเช่นเดียวกัน แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้คือ แร่แมกนีไทต์

### 2.1.1.2 แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral)

แร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็กนั้นจะถูกดึงดูดเข้าสู่สนามแม่เหล็กไปตามเส้นแรงแม่เหล็ก เข้าสู่บริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงกว่าด้วยแรงอย่างอ่อน ดังนั้นจึงสามารถแยกแร่เหล่านี้ออกมาได้ด้วย เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูง (High Intensity Magnetic Separator) โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ใช้ตัวอย่างศิลาแลง โดยมีแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน ได้แก่ แร่ฮีมาไทต์ และแร่เกอไทต์

### 2.1.1.3 แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก (Diamagnetic Mineral)

แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กนั้น หากนำมาวางไว้ในสนามแม่เหล็ก จะถูกผลักออกไปจากสนามแม่เหล็ก แต่แรงผลัสดังกล่าวนั้นอ่อนมากจนไม่สามารถสังเกตได้ แร่จะถูกผลักออกไปจากบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กต่ำกว่า แต่เนื่องจากแรงที่เกิดขึ้นนั้นน้อยมากจนไม่อาจใช้คุณสมบัติในการผลักของแร่ชนิดนี้มาใช้ในการแยกแร่ได้ แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ควอตซ์ เนโคริต และ กิปซีไซต์

คุณสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ นั้นอาจเปลี่ยนแปลงได้หากแร่ดังกล่าวมีมลทินอื่นที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่แตกต่างเกิดขึ้นร่วมในแร่ นั้น ๆ มลทินส่วนใหญ่ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติแม่เหล็กของแร่ ได้แก่ เหล็ก (Fe) และไนโอเบียม (Nb) สำหรับศิลาแลงที่เป็นแร่ตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ มีแร่ มลทินสำคัญคือ แร่ควอตซ์ ซึ่งเดิมจัดอยู่ในกลุ่มแร่จำพวกแร่ไม่ติดแม่เหล็ก ทว่าแร่ควอตซ์ดังกล่าวถูกเคลือบด้วยออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งส่งผลให้แร่ ควอตซ์ที่เป็นแร่มลทินมีผลเปลี่ยนเป็นแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนและรบกวนกระบวนการแต่งแร่ด้วยคุณสมบัติทางแม่เหล็กซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

## 2.1.2 ทฤษฎีและกลไกในการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก (4)

การแยกแร่ติดแม่เหล็กเป็นกระบวนการแยกแร่ทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นบนเม็ดแร่อิสระ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงต่างๆ ที่กระทำต่อเม็ดแร่อิสระนั้น 3 ประเภทได้แก่

1. แรงดึงดูดแม่เหล็ก (Attractive Magnetic Force)
2. แรงต่อต้าน (Competing Force) ซึ่งได้แก่ แรงโน้มถ่วงโลก (Gravity Force) แรงเหวี่ยง (Centrifugal Force) แรงเสียดทาน (Frictional Force) แรงอุทกจลน์ (Hydrodynamic Force) แรงเฉื่อย (Inertial Force) เป็นต้น

3. แรงระหว่างเม็ดแร่ด้วยกันเอง (Interparticle Force) ซึ่งจะเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลักระหว่างเม็ดแร่ก็ได้

### 2.1.2.1 แรงดึงดูดแม่เหล็กที่เกิดบนเม็ด แร่ (Attractive Magnetic Force on Particle of Mineral)

แรงดึงดูดแม่เหล็กบนอนุภาคหนึ่ง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก ความเข้มสนามแม่เหล็กและความชัน (Gradient) ของสนามแม่เหล็ก เครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ซึ่งใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อนนั้น รู้จักกันดีในนามเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแรงสูง (High Intensity Magnetic Separator) หรือเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความชันสนามแม่เหล็กสูง (High Gradient Magnetic Separator) เครื่องแยกแร่ชนิดนี้将有ความเข้มของสนามแม่เหล็กผันแปรได้ แต่ความเข้มสนามแม่เหล็กสูงแต่เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอ จะต้องมีความชันของสนามแม่เหล็ก (Field Gradient) สูงด้วย

ในการทำให้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กมีความชันของสนามแม่เหล็กสูงนั้น จะต้องมีการทำให้สนามแม่เหล็กมีลักษณะลู่เข้าหากัน (Converging Field) และการที่จะเพิ่มความชันในลักษณะนี้นั้น จะใช้คุณสมบัติของโลหะเหล็กซึ่งสามารถติดแม่เหล็กได้อย่างแรงเข้ามาช่วย ดังนั้นเมื่อโลหะเหล็กถูกนำไปวางไว้ในสนามแม่เหล็ก จะสามารถสร้างความเข้มสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นไปจนถึง 20,000 เกาส์ ซึ่งจะเกี่ยวพันกับการเป็นแม่เหล็กอิ่มตัว (Saturation Magnetisation) ของเหล็กอ่อน (Soft Iron) และความชันของสนามแม่เหล็กจะสูงขึ้นโดยการออกแบบให้เหล็กอ่อนดังกล่าว มีลักษณะเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งมีรูปร่างที่เหมาะสม ซึ่งเหล็กควรจะมีคุณสมบัติความอ่อนทางแม่เหล็ก (Magnetic Softness) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ กล่าวคือ แร่ต้องจะรักษาการเป็นแม่เหล็ก (Magnetisation) ให้เหลือน้อยที่สุดเมื่อสนามแม่เหล็กถูกนำออกไปแล้ว ถ้าหากเมทริกซ์ ยังคงรักษาการเป็นแม่เหล็กอยู่ค่อนข้างมากแล้ว (หลังจากเอาสนามแม่เหล็กออกไป) จะทำให้แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรงติดค้างอยู่บน เมทริกซ์ ซึ่งอาจก่อความยุ่งยากในการนำเอาเม็ดแร่ที่ติดอยู่ ออก หรือส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการแต่งแร่ลดลงได้

### 2.1.2.2 แรงต่อต้านที่เกิดบนเม็ดแร่ (Competing Force on Particle of Material)

แรงต่อต้านที่เกิดในเม็ดแร่ อันได้แก่ แรงโน้มถ่วง แรงด่วงอุทกจลน์ (Drag Force) แรงเสียดทาน และแรงเฉื่อย เป็นแรง สำคัญในกระบวนการแยกแร่ด้วยแม่เหล็ก โดยแรงดังกล่าวจะต้านทานต่อแรงดึงดูดแม่เหล็กซึ่งเกิดขึ้นบนอนุภาค เช่น ถ้าหากการแยกแร่เกิดขึ้นบริเวณผิวกระบอกกลมหมุนแล้ว แรงหนีศูนย์กลางซึ่งเป็นต่อต้านที่เกิดในการเคลื่อนที่ก็จะ

เข้ามา มีบทบาทด้วย ความสำคัญของแรงแต่ละชนิดจะผันแปรไปตามวิธีการออกแบบเครื่องแยกแรมแม่เหล็ก แต่โดยปกติแล้วแรงโน้มถ่วงและแรงถ่วงอุทกจลน์จะมีความสำคัญมาก

แรงโน้มถ่วงโลก และแรงเสียดทานนั้น มักจะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค โดยหากอนุภาคมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก แรงโน้มถ่วงและแรงเสียดทานจะมีค่ามาก เพราะฉะนั้นในการแยกแรมแม่เหล็กแบบแห้งที่ทำการแยกแรมขนาดเม็ดใหญ่ แรงดึงดูดแม่เหล็กจะต้องมีขนาดพอที่จะยึดแรมที่ติดแม่เหล็กจนสามารถชนะแรงดังกล่าวที่เกิดขึ้นในเม็ดแรมนั้นได้นั่นเอง

### 2.1.2.3 แรงระหว่างเม็ดแรมด้วยตัวเอง (Interparticle Force on Particle of Material)

แรงระหว่างเม็ดแรม มักเป็นแรงระหว่างเม็ดแรมที่ติดแม่เหล็กกับเม็ดแรมที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่าแรมที่แยกออกมาจะมีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด ถ้าหากว่าแรงระหว่างเม็ดแรมมีขนาดมากกว่าแรงดึงดูดแม่เหล็กรวมกับแรงต่อต้านแล้ว ก็จะทำให้แรมที่ไม่ติดแม่เหล็กหลงเข้าไปอยู่ในส่วนของแรมที่ติดแม่เหล็ก หรือในทำนองเดียวกันแรมที่ติดแม่เหล็กก็หลงเข้าไปอยู่ในส่วนของแรมที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของการแยกแรมไม่ดี

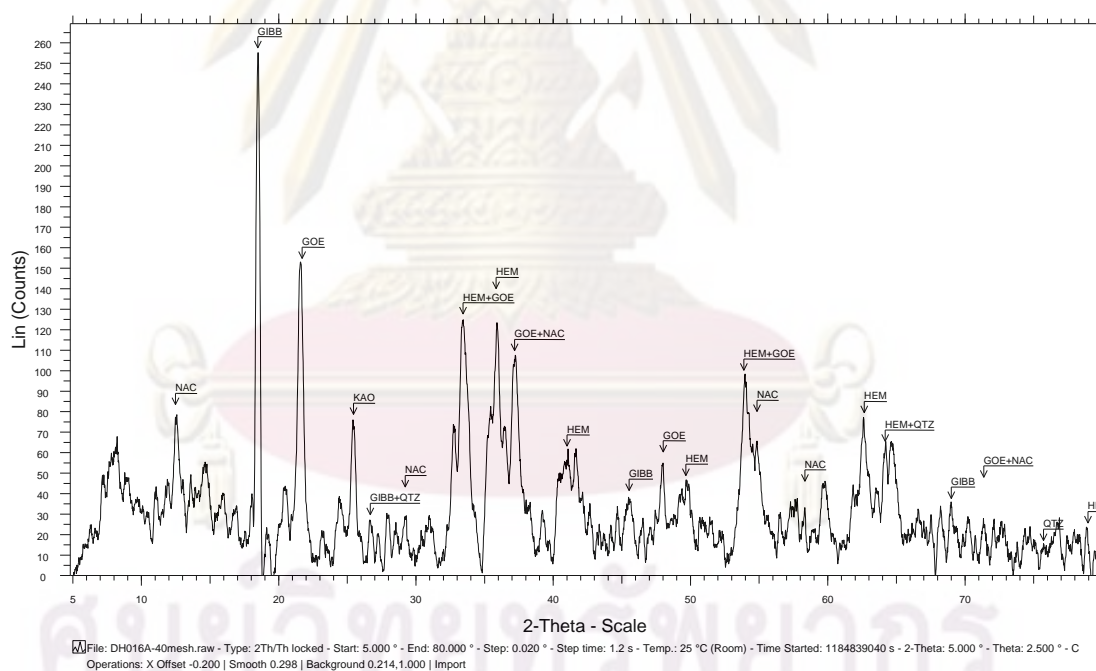
แรงระหว่างเม็ดแรมได้แก่ แรงเสียดทานระหว่างเม็ดแรม แรงดึงดูดแม่เหล็กระหว่างเม็ดแรมด้วยตัวเอง แรงไฟฟ้าสถิตระหว่างเม็ดแรม ซึ่งรวมไปถึงแรงคูลอมบ์ (Coulomb Force) แรงวานเดอร์วาล (Van der Waals Force) แรงชั้นคู่ (Double Layer Force) สำหรับการแยกแรมด้วยวิธีแบบแห้งนั้น หากเม็ดแรมมีขนาดโต แรงเสียดทานระหว่างเม็ดแรมและแรงเกาะกันของเม็ดแรมเนื่องจากความชื้นจะมีความสำคัญต่อกระบวนการ ในขณะที่แรมแห้งเม็ดเล็กจะมีแรงเนื่องจากไฟฟ้าสถิต ส่วนการแยกแรมแบบเปียกทำการแยกแรมเม็ดเล็กๆ แรงที่เกิดขึ้นจะมีแรงเคมีของผิวแรมแบบชั้นคู่ (Surface Chemical Double Layer Force) เป็นแรงระหว่างเม็ดแรมที่สำคัญ

แรงดึงดูดแม่เหล็กและแรงต่อต้านของอนุภาคแรม มีแนวโน้มที่จะช่วยให้อุณหภูมิเกิดการแยกแรมระหว่างแรมได้ดีขึ้น ในขณะที่แรงระหว่างเม็ดแรมมีแนวโน้มที่จะลดประสิทธิภาพของการคัดแยก ดังนั้นแรงทั้ง 3 ดังกล่าวข้างต้นจะเป็นตัวตัดสินว่าการแยกแรมที่เกิดขึ้นนั้นดีหรือไม่ แรงที่เกิดขึ้นเหล่านี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแรมบ่อนและลักษณะของเครื่องแยกแรมแม่เหล็ก ธรรมชาติของแรมบ่อน อาทิ การกระจายของขนาดแรม (Size Distribution) ความไวต่ออำนาจแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) หรือคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของแรมซึ่งอาจจะมีผลต่อแรงต่าง ๆ ลักษณะของเครื่องแยกแรมแม่เหล็กจะรวมไปถึงการออกแบบและตัวแปรอื่น ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กและอัตราการบ่อนแรมที่จะส่งผลอย่างเด่นชัดต่อปริมาณการเก็บกลับคืนของแรม ซึ่งจะแสดงไว้ในส่วนของผลการแสดงผลการทดลองต่อไป

### 2.1.3 แร่วิทยาของแร่ประกอบในตัวอย่างศิลาแลง (5,6,7)

จากการศึกษาเบื้องต้น ในการแต่งแร่เหล็กจากชั้น A ของแหล่งแร่บอกไซต์ ที่ราบสูงโบลเวน เมืองปากซ่อง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ของ องค์กร ไกรวัฒน์พวงค์ และคณะ (3) ประกอบกับข้อมูลทางธรณีวิทยา ที่ได้รับจาก บมจ. อิตาเลียนไทย ทำให้ทราบองค์ประกอบคร่าว ๆ ของแร่ในชั้นแร่ A โดยชั้นดินดังกล่าวมีลักษณะเป็นศิลาแลงผุที่มีการสะสมตัวของแร่เหล็กอยู่ภายใน การศึกษาแร่วิทยาของชั้นแร่ A จึงเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยให้สามารถออกแบบกระบวนการแต่งแร่ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพได้

แร่ศิลาแลงตัวอย่าง จากชั้นแร่ A เมื่อทำการวิเคราะห์องค์ ประกอบทาง แร่วิทยาด้วยเครื่อง XRD ดังแสดงตามรูปที่ 2.1 และเมื่อนำตัวอย่างดังกล่าวไปส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ตามรูปที่ 2.2 ประกอบด้วยแร่ 6 ชนิดได้แก่

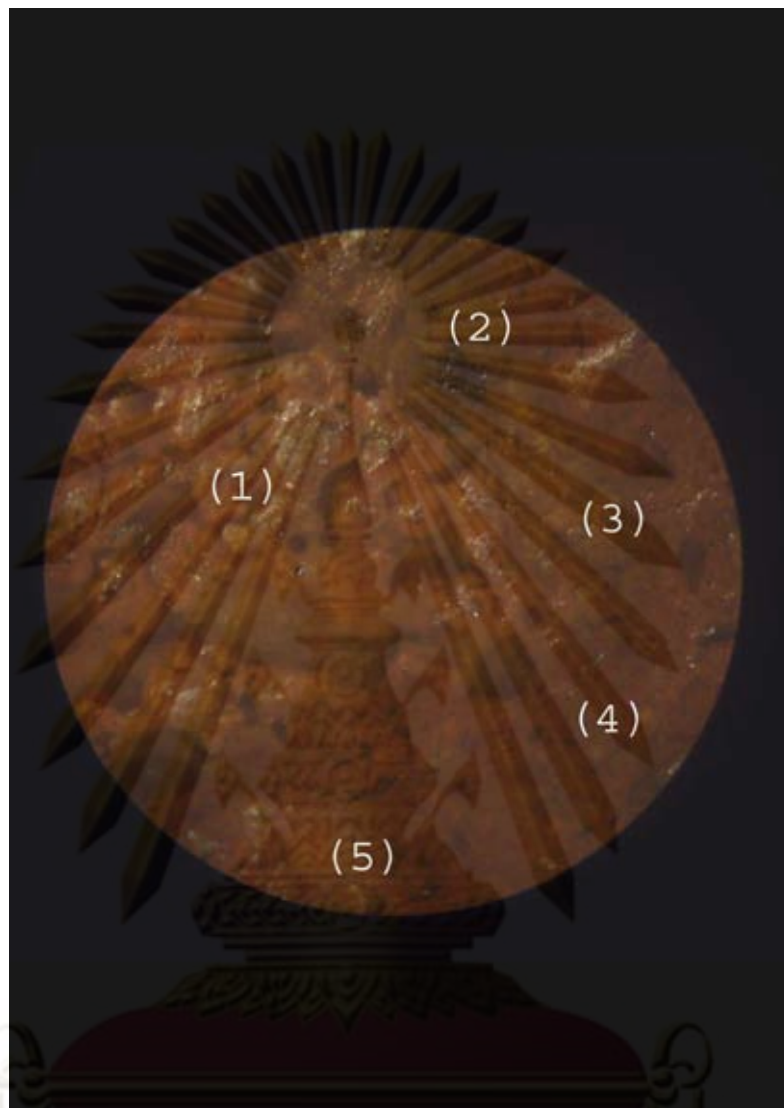


รูปที่ 2.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างแร่เหล็กเพื่อหาองค์ประกอบทางแร่วิทยา (3)

1. แร่เหล็กชนิดแมกนีไทต์ (Magnetite:  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )
2. แร่เหล็กชนิดฮีมาไทต์ (Hematite:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
3. แร่เหล็กชนิดเกอไทต์ (Goethite:  $\text{FeO}(\text{OH})$ )
4. แร่อะลูมินาชนิดกิบบ์ไซต์ (Gibbsite:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ )
5. แร่อะลูมิโนซิลิเกตชนิดเนโคริต (Nacrite :  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ )
6. แร่ซิลิกาชนิดควอตซ์ (Quartz:  $\text{SiO}_2$ )

เมื่อวิเคราะห์แร่ประกอบดังกล่าวในเชิงปริมาณแล้วจะพบว่าแร่ที่มีปริมาณสูงสุดในสารประกอบได้แก่ แร่อะลูมินาชนิด กิบบ์ไซต์ และแร่เหล็กจำพวกเกอไทต์ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลธรณีวิทยาในพื้นที่ของแหล่งแร่ ทั้งนี้เนื่องจากชั้นเปลือกดินที่เป็นที่อยู่ของศิลาแลงผุที่นำมาทำการแต่งแร่ในขั้นตอนนี้จะปกคลุมอยู่บนแร่บอกไซต์ซึ่งมีส่วนประกอบของอลูมินาอยู่ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ตามรูปที่ 2.1 ยังสอดคล้องกับ ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF โดยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของ ตัวอย่างศิลาแลง มีปริมาณ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  เท่ากับ 36.19 % หรือคิดเป็น 25.71 % Fe โดยประมาณ และจากข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำตัวอย่างศิลาแลงมาทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ จะพบว่ามีลักษณะเป็นดัง รูปที่ 2.2 ซึ่งจะสามารถระบุประเภทของแร่ประกอบต่างๆที่อยู่ในตัวอย่างศิลาแลงได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย10เท่า) แสดงตำแหน่งของแร่ประกอบต่างๆ ที่พบในตัวอย่าง ศิลาแลง โดย

- หมายเลข 1 แสดงให้เห็นอนุภาคของแร่ควอตซ์
- หมายเลข 2 แสดงให้เห็นอนุภาคของแร่แมกนีไทต์
- หมายเลข 3 แสดงให้เห็นอนุภาคของแร่กิปไซต์
- หมายเลข 4 แสดงให้เห็นอนุภาคของแร่เกอไทต์
- หมายเลข 5 แสดงให้เห็นอนุภาคของแร่ฮีมาไทต์



การกำเนิดของแร่เหล็กภายในศิลาแลงตัวอย่างที่นำมาศึกษาเป็นการกำเนิดแบบทุติยภูมิ (Secondary Weathering) ซึ่งเกิดจากการผุสลายของหิน ที่มีต้นกำเนิดเดิม เป็นพวก Silicate Rock เช่น บะซอลต์ (Basalt), แกรนิต (Granite), ดินเหนียว (Clay) และดินดาน (Shale) ซึ่งประกอบขึ้นจาก ซิลิกา เหล็ก และอลูมิเนียมออกไซด์ เมื่อหินเหล่านี้เกิดการผุพังซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนของน้ำฝนและสภาพอากาศ ทำให้เกิดการชะละลาย (Leaching) เอาแร่กลุ่มซิลิกาออกไป คงเหลือ แต่แร่เหล็กและ ควอตซ์ บางส่วนที่ไม่ผุสลายอยู่ในโครงสร้างเดิม สำหรับแร่ บอกไซต์ (Bauxite) จะสามารถละลายได้ดีกว่า จึงซึมลงไปสะสมตัวใน ชั้นล่าง แผลงแร่ที่มีกำเนิดลักษณะนี้ ได้มีการทำเหมืองแร่บอกไซต์ ขนาดใหญ่ เช่น ในประเทศ ออสเตรเลีย บราซิล กานา ชูรินัม และ เวเนซุเอล่า เป็นต้น

การกำเนิดของแร่เหล็กชนิดนี้ แตกต่างจากการกำเนิดแร่เหล็ก ชนิดที่เกิดจากลาวา (Lava) ที่แทรกตัวมาตามรอยแตกของเปลือกโลก แล้วเย็นตัวตกผลึกเป็นแร่ ตามความเข้มข้นของโลหะเช่น เหล็ก ในเนื้อลาวา แล้วแยกตัวออกจากส่วนอื่น ๆ ตามอุณหภูมิซึ่งพอเหมาะกับความเข้มข้น ๆ แร่ที่เกิดจาก ลาวาจะทำการแต่งแร่ได้ง่าย เนื่องจากสามารถปลดปล่อยแร่หลุดออกจากกันได้ง่าย (Liberation) และมี ผลการรบกวนของสาร เชื่อมประสานอนุภาคแร่ที่จะรบกวน กระบวนการแต่งแร่ด้วยคุณสมบัติ แม่เหล็กน้อยกว่า

การทำให้แร่แยกตัวออกจากแร่ประกอบที่ไม่ต้องการนั้น ขึ้นอยู่กับอัตราการชะละลายของ ซิลิกา ที่เกิดขึ้นว่าสมบูรณ์มากหรือไม่ ในกรณีที่เกิดการ ชะละลายเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ เช่น ที่ พบ บริเวณเมือง Pibara และ Mid West Australia พบว่าแร่ซิลิกา และแร่ประกอบ ถูก ชะละลายไป มาก ทำให้เหลือแร่เหล็ก ที่ 60 % Fe สามารถทำเหมืองโดยการตักแร่ขึ้นรถบรรทุกเพื่อส่งไปขาย ให้กับโรงถลุงเหล็กกล้าได้โดยตรง แร่เหล็กที่นำมาศึกษาวิจัยในครั้งนี้อยู่ในรูปของแร่ ประกอบในแร่ ที่เรียกว่า ศิลาแลง หรือ Laterite แร่ตัวอย่าง ที่ผ่านการล้างผิวแร่แล้วจะมีลักษณะผิวแร่ขรุขระ มีรูพรุน และมีสีแดงอมส้ม ดังแสดงในรูปที่ 2.3

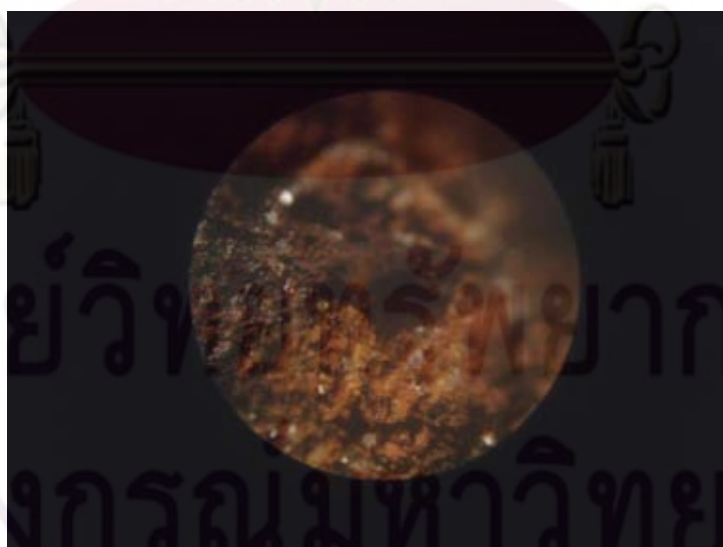
หากนำแร่ตัวอย่างมาบดให้ขนาดเล็กลง แล้วทำการล้างเพื่อเอาสารอินทรีย์ออกให้สะอาด เมื่อนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าเนื้อแร่เหล็กและ ควอตซ์ จะเชื่อมติดกันเป็นศิลาแลงด้วย เนื้อแร่สีส้มแดง รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นพื้นผิวของแร่ ผ่านกล้องจุลทรรศน์ โดยจะ เห็นว่าอนุภาคแร่สีดำ คือแร่เหล็ก ฮีมาไทต์ ในขณะที่อนุภาคสีขาว และขาวขุ่นนั้น คือแร่ควอตซ์ ซึ่งจะพบว่าถูกเชื่อม และเคลือบอยู่ด้วยของแข็งสีส้มแดง

รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นภาพตัด ของตัวอย่าง ศิลาแลง ที่ผ่านการตัดผิวเรียบด้วยวิธี Polish Section ผ่านกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งพบว่าเนื้อแร่ภายในของแร่ตัวอย่างจะมีลักษณะเป็นเนื้อ

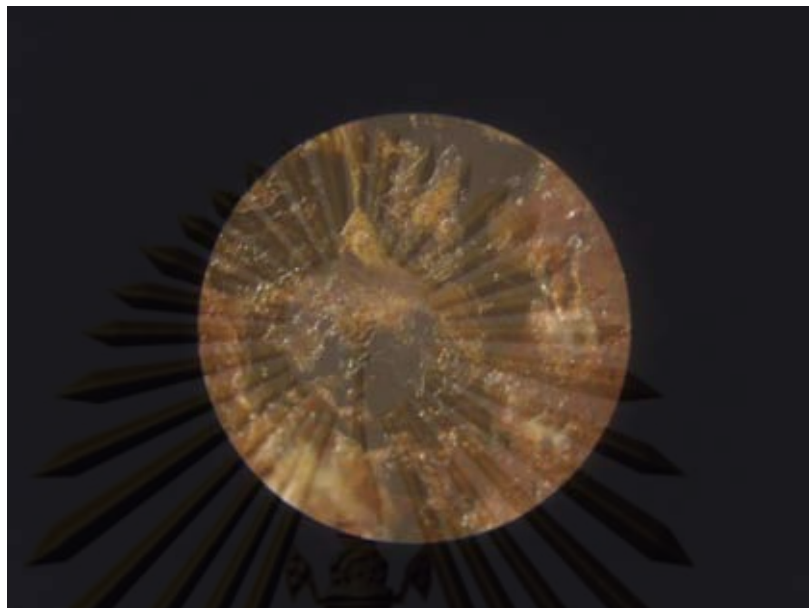
เดียวกัน และมีกลุ่มของแร่ประกอบชนิดเดียวกันจับกลุ่มกันอยู่อย่างเห็นได้ชัด โดยกลุ่มอนุภาคสีขาวใสคือกลุ่มอนุภาคของแร่ควอตซ์ ในขณะที่กลุ่มอนุภาคสีน้ำตาลเข้มคืออนุภาคของแร่เหล็กฮีมาไทต์ที่จับตัวกันอยู่ในแร่ตัวอย่าง และกลุ่มของแร่ทั้งสองชนิดจะถูกเชื่อมติดเข้าด้วยกันด้วยอนุภาคเนื้อแน่นสีแดงส้ม ซึ่งแสดงการกำเนิดของตัวอย่างศิลาแลงที่เกิดจากการเชื่อมประสานของเนื้อแร่ต่างๆเข้าด้วยกัน



รูปที่ 2.3 ศิลาแลงที่ผ่านการล้างแร่แล้ว



รูปที่ 2.4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 10 เท่า) แสดงพื้นผิวของศิลาแลงตัวอย่างที่ทำการล้างแล้วแสดงให้เห็นการเกาะกันของอนุภาคแร่ประกอบ



รูปที่ 2.5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 10 เท่า) แสดงให้เห็นผิวเรียบของแร่ ที่แสดงให้เห็นกลุ่มอนุภาคแร่ต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างศิลาแลง อันได้แก่ กลุ่มแร่ควอตซ์ (สีขาวใส) และแร่ฮีมาไทต์ (สีน้ำตาลเข้ม)

### 2.1.3.1 ศิลาแลง (Laterite) (5,6,7)

ศิลาแลงหรือแม่รังเป็นวัสดุในธรรมชาติอย่างหนึ่ง มีลักษณะคล้ายกับหินสีแดง ส้ม หรือน้ำตาลเข้มและมีรูพรุนทั่วไป นับเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการก่อสร้างในอดีต เนื่องจากมีความอ่อนนุ่มและมีความแข็งพอสมควรศิลาแลงเป็นวัสดุที่ผ่านกระบวนการผุพังมาเป็นระยะเวลายาวนาน จึงมีลักษณะเป็นรูพรุนทั่วไป ส่วนประกอบสำคัญทางเคมีของศิลาแลง คือ ออกไซด์ ของเหล็ก หรืออะลูมิเนียม โดยอาจมีแร่ควอตซ์ และเคโอลิไนต์ (Kaolinite) ปนอยู่ด้วย ส่วนธาตุที่เป็นต่างและ ซิลิเกตนั้นมียุ่่น้อยมาก หากมีสารประกอบเหล็กอยู่มากพอ ก็อาจนำไปใช้เป็นวัสดุดิบ ในการถลุงเอาแร่เหล็กได้ หรือหากมีสารประกอบอะลูมิเนียมมากพอก็อาจนำไปถลุงเอาโลหะอะลูมิเนียมได้เช่นกัน

ศิลาแลงเกิดขึ้นได้ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ฝนตกมาก แต่มีฤดูแล้งที่กินเวลานาน ในฤดูฝนน้ำใต้ดินมีระดับสูง ทำให้เอ่อท่วมตอนบนของชั้นดิน (ซึ่งต่อไปกลายเป็นศิลาแลง) ระหว่างนั้นน้ำฝนจะละลายเอาสารประกอบ อะลูมิเนียมออกไซด์ ( $Al_2O_3$ ) ปนลงไป เมื่อถึงหน้าแล้งน้ำใต้ดินลดระดับต่ำลงก็พาเอาสารประกอบอะลูมิเนียมลงไปสู่ที่ต่ำ เมื่อเวลาผ่านไป วัสดุบริเวณด้านบนจึงมีสารประกอบเหล็กออกไซด์มากขึ้น และมักรวมกันเป็นกลุ่มจึงเกิดเป็นโพรง

ว่าง เป็นทางให้น้ำใต้ดินซึมขึ้นลงได้ง่ายขึ้น พร้อมกับชะสารประกอบอะลูมิเนียมออกไซด์ออกไปได้รวดเร็วด้วย ทำให้ศิลาแลงมีลักษณะเด่นคือมีรูพรุนทั่วไปและเนื้อเป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์มากกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์

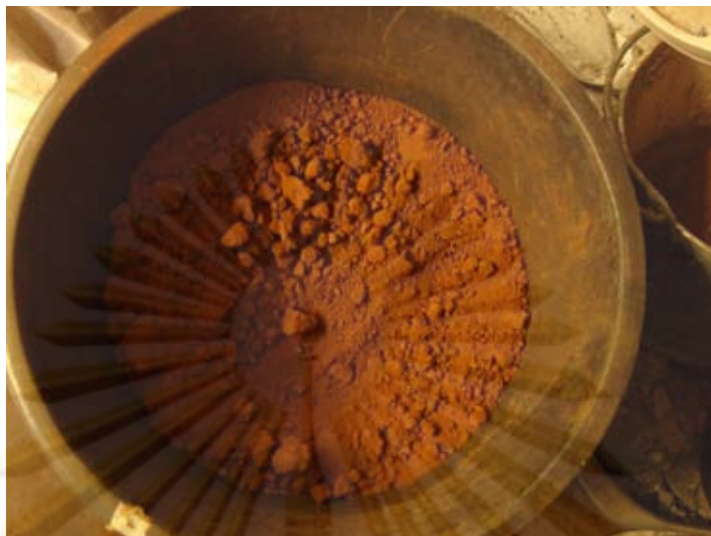
พื้นที่ที่เหมาะสมในการเกิดศิลาแลง ส่วนมากเป็นพื้นที่ซึ่งมีระดับความสูงไม่มาก มีความลาดชันน้อย ถ้าพื้นที่ที่มีความลาดชันมากจะทำให้น้ำไหลผ่านลงไปอย่างรวดเร็ว รวมทั้งตะกอนก็จะถูกชะละลายออกไปอย่างรวดเร็วด้วย ส่วนพื้นที่ซึ่งค่อนข้างราบจะกักเก็บตะกอนและน้ำไว้ได้ดีกว่าและระดับน้ำบาดาลสามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกด้วยความลาดเอียงของพื้นที่ที่เหมาะสมประมาณ 10 – 15 องศา พื้นที่ซึ่งเหมาะสมในการเกิดศิลาแลงจึงควรเป็นที่ราบ เช่น ที่ราบสูง (Plateau) ภูเขาขดราบ (Mesa) ที่ราบเชิงเขา ตะพักลำน้ำ (Terrace) และที่ราบชายฝั่งทะเล พื้นที่เหล่านี้จะรับแสงแดดได้เต็มที่ และน้ำซึมลงข้างล่างได้สะดวก

ในประเทศไทยและประเทศข้างเคียงพบศิลาแลง 2 ประเภท คือ

1. แบบที่เชื่อมยึดตัวแน่น เป็นแผ่นต่อเนื่องเป็นพื้นที่กว้าง เรียกว่า "ศิลาแลง" หรือ "แม่รัง" มักพบเป็นแผ่นชั้นขนาดใหญ่อยู่ใต้หน้าดินธรรมชาติ มีลักษณะที่สำคัญคือ เมื่อเปิดหน้าดินลงไปถึงเนื้อศิลาแลงนั้นจะพบว่าไม่แข็งนัก สามารถใช้เหล็กสกัดหรือใช้ชะแลงงัดออกมาเป็นแท่งรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ ๆ ได้ ศิลาแลงนิยมนำมาตัดเป็นแท่งคล้ายอิฐ นำไปสร้างสิ่งก่อสร้างกำแพง ปูทางเดิน

2. แบบที่เกาะตัวกันหลวม ๆ ลักษณะร่วน เรียกว่า "ลูกรัง" นิยมใช้อัดพื้นถนน เพราะเมื่อมีการบดอัดและได้รับความชื้นจากน้ำแล้วจะจับตัวแน่นดีกว่าดินหรือทรายธรรมชาติ

ศิลาแลงที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้แก่ศิลาแลงที่เกิดจากการสะสมตะกอนตะกอนในนี้หมายถึง เศษหิน กรวด ทราย และดินเหนียว หรืออาจเป็นศิลาแลงที่เกิดขึ้นมาก่อนแล้วแตกหักผุพัง ตะกอนเหล่านี้เมื่อผุพัง หรือถูกกัดเซาะหลุดออกจากพื้นที่เดิม ก็จะถูกพัดพาไปสะสมตัว ณ ที่ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่า ดังรูปที่ 2-6 ต่อจากนั้นกระบวนการเกิดศิลาแลงจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศและระดับน้ำบาดาล ได้เปลี่ยนแปลงสภาพตะกอนที่ทับถมกันอยู่นั้นให้เป็นศิลาแลงดังรูปที่ 2-7



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างศิลาแลงแบบสะสมตะกอนที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 2.7 พื้นที่กำเนิดของศิลาแลงแบบสะสมตะกอน (5)

ตะกอนที่ผุพังส่วนมากจะถูกเปลี่ยนแปลงสภาพด้วยสารละลายของแร่เหล็ก แต่บางครั้ง แร่ควอตซ์และหินที่มีความต้านทานอาจจะเหลืออยู่เป็นก้อนกรวดขนาดต่าง ๆ ห่อมล้อมหรือเชื่อมประสานเป็นชั้นแข็งด้วยสารละลายเหล็กและแมงกานีส จึงอาจเรียกชื่อตามลักษณะรูปแบบนี้ว่า ศิลาแลงกรวด (Gravelly Laterite)

กระบวนการที่สำคัญในเกิดศิลาแลงประเภทดังกล่าว เป็นผลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลตามฤดูกาล ในฤดูฝนระดับน้ำที่มีสารละลายของแร่เหล็กจะขึ้นสูงและตกตะกอนอยู่ในระดับบน ฤดูร้อนระดับน้ำบาดาลลด สารละลายของแร่เหล็กที่มีอยู่ในน้ำก็ค่อย ๆ ลดระดับลงมาด้วย และตกตะกอนอยู่เป็นแนวชั้นล่าง ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงเช่นนี้ เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ ก็จะเป็นชั้นแข็งของศิลาแลงอยู่ ณ บริเวณนั้น (ดูรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 ชั้นศิลาแลงที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนระดับของน้ำบาดาลซึ่งชะละลายสารแขวนลอยเหล็กออกไซด์ ทั้งจากดินพื้นผิว และจากตะกอนกรวดด้านล่าง (5)

หากพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของศิลาแลงแล้ว อาจสามารถจำแนกคุณสมบัติต่างๆที่สำคัญได้ดังนี้คือ

- **ความแข็ง (Hardness)** ศิลาแลงธรรมชาติเมื่ออยู่ใต้ผิวดินจะมีความแข็งน้อย สามารถตัดให้เป็นก้อน เป็นบล็อกได้ โดยใช้เครื่องมือที่ทำด้วยเหล็ก แต่เมื่อสัมผัสกับอากาศจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความชื้นในดินเหนียวที่เป็นส่วนประกอบของศิลาแลง นอกจากนั้นการสัมผัสกับอากาศและการเปลี่ยนแปลงของอากาศระหว่างฝนตกกับแดดออกทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ส่วนมากเป็นการออกซิไดส์ (Oxidized) มีการเพิ่มปริมาณของเหล็กออกไซด์แทรกซึมเข้าไปตามช่องว่างของตะกอน ดังนั้นศิลาแลงจึงเป็นวัสดุที่สามารถแข็งตัวในระดับพื้นที่ต่างกัน และมีศักยภาพที่จะเป็นของแข็ง

- **สี (Color)** ศิลาแลงจะมีโทนสีแดง แดงปนเหลือง แดงอมส้ม น้ำตาลแดง และสีอิฐ เป็นต้น สีของศิลาแลงส่วนมาก จะขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กและแมงกานีสตามระยะเวลาที่เกิดการผุพังทางเคมี รวมทั้งปริมาณของธาตุอื่นที่ประกอบอยู่ในศิลาแลง เช่น อะลูมิเนียม ปกติจะมีสีขาวแต่จะเปลี่ยนเป็นสีแดงคล้ำเมื่อผสมกับเหล็ก ซิลิกาจะมีสีแดงแบบสนิมเหล็กเมื่อผสมกับไฮดรอกไซด์ของเหล็ก ดินคาโอลินเมื่อถูกเคลือบด้วยเหล็กก็จะมีสีแดง วัสดุหลายชนิดเหล่านี้เมื่อรวมกันเป็นศิลาแลง จึงทำให้ศิลาแลงมีสีแดงหลากหลาย และสีของศิลาแลงอาจเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่เกิดขึ้นด้วย

- **โครงสร้าง (Structure)** ของศิลาแลง หมายถึง รูปแบบหรือรูปร่างของ ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จับตัวกันเป็นศิลาแลง ซึ่งจะบ่งบอกถึงกระบวนการกำเนิดของศิลาแลง ณ บริเวณนั้น ด้วยโครงสร้างที่เป็นเนื้อเดียวกันจับตัวกันแน่นเป็นแผ่นแข็ง เป็นลักษณะของศิลาแลงที่เนื้อหินเดิมถูกแทนที่ด้วยออกไซด์ของเหล็ก อะลูมิเนียม และแมงกานีสที่เกิดจากการผุพัง จึง เรียกว่า ออกไซด์ทุติยภูมิ หรือมีกำเนิดเป็นโครงสร้างที่ไม่ต่อเนื่องกัน มีเศษหินหรือกรวดปะปนอยู่ในชั้นศิลาแลง อาจจับตัวกันแน่นเป็นแผ่น หรือจับตัวกันหลวม ๆ มีลักษณะร่วนซุย

- **ความหนาแน่น (Density)** ความหนาแน่นของศิลาแลงขึ้นกับส่วนประกอบทางเคมี กล่าวคือ ถ้ามีองค์ประกอบของเหล็กมากก็จะมีควมหนาแน่นมาก และจะมีความหนาแน่นน้อยเมื่อมีองค์ประกอบของอะลูมิเนียมมากขึ้นตามลำดับ

### 2.1.3.2 แร่ฮีมาไทต์ (Hematite) (6,8)

แร่ฮีมาไทต์เป็นหนึ่งในแร่เหล็ก ที่มีองค์ประกอบจากเหล็กออกไซด์ ( $Fe_2O_3$ ) มีรูปผลึกแบบ รอมโบฮีดรอล (Rhombohedral) และมีโครงสร้างทางผลึกเดียวกันกับแร่อิลมีไนต์ (Ilmenite) แร่ฮีมาไทต์เป็นแร่ที่มีสีตั้งแต่ดำไปจนถึงน้ำตาลแดง ในบางครั้งแร่ฮีมาไทต์ อาจมีสีแดงส้มได้ดังเช่นในตัวอย่างของแร่ที่ทำการศึกษาวิจัย แร่ฮีมาไทต์จะมีเนื้อแร่สมานแน่น (Massive) มีความวาวคล้ายดิน มีค่าความแข็ง 5.5 – 6.5 โมห์สเกล มีความถ่วงจำเพาะ 5.3 (6)

รูปร่างของแร่ฮีมาไทต์มี หลายรูปแบบ อาทิ รูปร่างแบบพูไต (Kidney Ore) ดังรูปที่ 2.9 เป็นต้น ทั้งนี้ไม่ว่ารูปร่างของแร่ฮีมาไทต์จะมีลักษณะเช่นใด แร่ฮีมาไทต์ก็จะมีสีผงคล้ำแดงเป็นสีแดงสนิม (Rust-Red) แร่ฮีมาไทต์มีความแข็งมากกว่าเหล็กบริสุทธิ์แต่จะมีความเปราะมากกว่า

แหล่งแร่เหล็กขนาดใหญ่มักพบในรูปของ สายแร่เหล็กที่กินพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง แร่ฮีมาไทต์ที่มีสีฐานสีเทาจะพบได้ทั่วไปในแหล่งเก็บกักน้ำตามธรรมชาติ หรือแหล่งน้ำพุร้อน ทั้งนี้แร่เหล็ก อาจจะเกิดจากการตกผลึกจากน้ำ และสะสมตัวเป็นชั้นตะกอนเหล็กที่ได้ก็มาจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติต่างๆ ในอีกด้านหนึ่งแร่ฮีมาไทต์สามารถกำเนิดขึ้นได้โดยไม่ต้องอาศัยการกระทำของน้ำ เช่น กรณีของสายแร่เหล็กที่เกิดจากการตกผลึกของลาวาภูเขาไฟ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 แร่ฮีมาไทต์ที่เกิดร่วมกับควอตซ์ (9)

แร่ฮีมาไทต์ที่มีขนาดผลึกใกล้เคียงกับดินเหนียว อาจจะมีกำเนิดจากการผุกร่อนของดินหรือหินได้พร้อม ๆ กับแร่ชนิดอื่นที่เป็นออกไซด์หรือออกซีไฮดรอกไซด์ของเหล็ก ซึ่งจะส่งผลให้แร่ในแหล่งมีสีแดง เช่นกรณีของแร่เหล็กในศิลาแลง เป็นต้น อนึ่งที่มาของชื่อแร่ฮีมาไทต์มาจากภาษากรีก มีความหมายว่า เลือด ทั้งนี้เนื่องจากแร่ชนิดนี้ที่พบโดยส่วนใหญ่จะให้สีแดงนั่นเอง

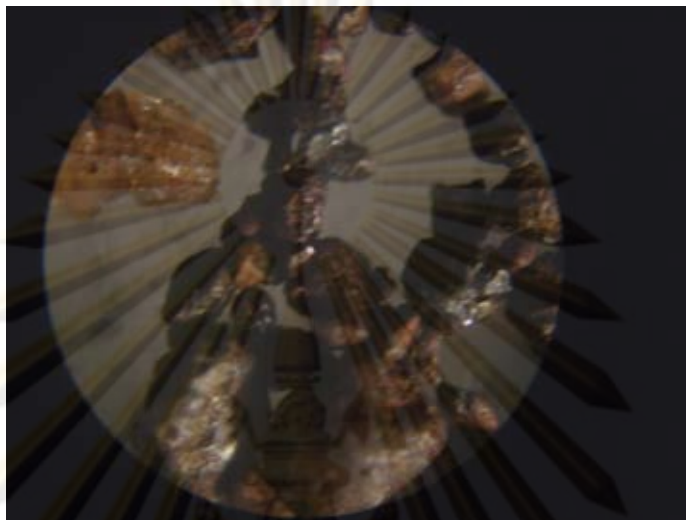
### 2.1.3.3 แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) (7,8)

แร่แมกนีไทต์เป็นแร่ที่พบอยู่ทั่วไปบนโลก โดยมากมักเกิดในบริเวณใกล้เคียงกับหินอัคนี มีสูตรเคมีคือ ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) เป็นหนึ่งในแร่กลุ่มออกไซด์ของเหล็ก แร่แมกนีไทต์สามารถเขียนสูตรเคมีเป็น  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  ซึ่งอาจจะมองได้ว่าแร่แมกนีไทต์เป็นแร่ที่ประกอบจากแร่สองชนิดได้แก่ วูสไทต์ (Wustite:  $\text{FeO}$ ) และ ฮีมาไทต์ (Hematite:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแร่แมกนีไทต์เป็นแร่ที่มีโครงสร้างหลายประเภทประกอบกันอยู่ภายใน

แร่แมกนีไทต์มีลักษณะเป็นสารแม่เหล็กโดยกำเนิดดังนั้นจึงเป็นแร่ชนิดแรก ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในการประดิษฐ์เข็มทิศ และอุปกรณ์ที่อาศัยคุณสมบัติแม่เหล็กอื่น ๆ คุณสมบัติทางกายภาพที่เด่นชัดของแร่แมกนีไทต์มีมากมาย ทางด้านสีแร่ชนิดดังกล่าว จะมีดำจนถึงเทาดำ มีรูปผลึกแบบ ออกตะฮีดรอล (Octahedral) มีเนื้อแร่แน่น มีโครงสร้างผลึกแบบ Isometric มีความ



แข็ง 5.5 - 6.5 โมห์สเกล และมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 5.17 รูปที่ 2.10 แสดงภาพผ่านกล้องจุลทรรศน์ แสดงให้เห็นแร่แมกนีไทต์ในตัวอย่างศิลาแลงที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 2.10 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 20 เท่า) แสดงให้เห็นแมกนีไทต์ในตัวอย่างศิลาแลงที่นำมาทดลอง

#### 2.1.3.4 แร่เกอไทต์ (Goethite) (5,7)

แร่เกอไทต์ ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ) เป็นแร่ที่ถูกตั้งชื่อตามผู้ค้นพบคือ Johann Wolfgang Von Goethe ชาวเยอรมัน เป็นแร่ในกลุ่มเหล็กออกไซด์ที่พบในที่ที่มีสภาวะแวดล้อมอุดมหมุดำ แร่ชนิดนี้ถูกใช้เป็นเม็ดสี (Pigment) ในการวาดภาพที่ฝาผนังถ้ำมาตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์แร่เกอไทต์ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกในปีคริสต์ศักราช 1806 ในเขตรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา

แร่เกอไทต์เป็นเหล็กออกไซด์ที่มีความแข็ง 5.0 - 5.5 โมห์สเกลโดยประมาณ และมีความถ่วงจำเพาะ 3.3 - 4.3 มีลักษณะรูปผลึกคล้ายแท่งเข็มแต่จะมีความหนาแน่นมากกว่า แร่เกอไทต์มักมีกำเนิดจากการ ผุกร่อนของแร่เหล็กชนิดอื่นๆ และกลายมาเป็นองค์ประกอบทั่วไปของดิน ในบางกรณีแร่เกอไทต์จะเกิดจากการตกผลึกของแร่เหล็กในน้ำบาดาลหรือปะปนอยู่ในรูปของหินตะกอนอื่น ๆ ภายใน

แร่เกอไทต์สามารถพบได้ทั่วไป โดยปกติมักพบในบริเวณที่เป็นพื้นที่น้ำขัง หรือปลักน้ำขังใกล้กับแหล่งต้นน้ำ ในบางกรณีอาจสามารถพบแร่ชนิดนี้ในพื้นที่น้ำขังและบ่อน้ำขนาดเล็ก ๆ

แร่เกอไทต์ในบางครั้งอาจเกิดร่วมกับแร่เหล็กออกไซด์ประเภทอื่น อาทิ แมกนีไทต์ ฮีมาไทต์หรือควอตซ์ได้เช่นกัน

แร่ชนิดนี้ในธรรมชาติจะมีสีเหลือง น้ำตาล หรือเป็นสีดำเนื้อแร่มีความวาวคล้ายดิน มีลักษณะที่บดแสงหรือโปร่งแสงขึ้นอยู่กับสภาวะของการกำเนิด รูปผลึกของโครงสร้างจัดอยู่ในระบบออร์โธโรมบิก (Orthorhombic) มีสีผงละเอียดเป็นโทนสีเหลืองอมน้ำตาล



รูปที่ 2.11 ผลึกแร่เกอไทต์ (10)

#### 2.1.3.5 แร่กิบบ์ไซต์ (Gibbsite) (7, 8, 11)

แร่กิบบ์ไซต์หรือ Gibbsite ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) เป็นรูปแบบหนึ่งของแร่ที่เกิดจากสารประกอบอะลูมิเนียม ไฮดรอกไซด์ ในบางกรณีอาจมีชื่อเรียกว่า ไฮดรากิลไลต์ (Hydrargillite) แร่ชนิดนี้เป็นแร่สำคัญตัวหนึ่ง ที่เป็นต้นกำเนิดของอะลูมิเนียม โดยเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสามตัวที่ประกอบกันเป็นแร่ (หรือหิน) ที่เรียกว่า บอกไซต์ (Bauxite) ร่วมกับแร่อีกสองชนิดได้แก่ เบอห์ไมต์ (Boehmite) และไดอะสปอร์ (Diaspore) นอกจากนี้ยังอาจอยู่ร่วมกับดินเหนียวและทรายแป้ง แร่เหล็กกลุ่มออกไซด์และแร่ไฮดรอกไซด์อื่นๆ

แร่กิบบ์ไซต์ มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ชัดเจน โดยจะมีตั้งแต่ขาวใสหรือ อบางครั้งอาจจะมีโทนสีเทาหรือน้ำเงินเขียวขึ้นอยู่กับกำเนิดของแหล่งแร่ แร่ชนิดนี้ในธรรมชาติจะไม่มีควา วาวแต่ตามรอยแตกของเนื้อแร่อาจให้ลักษณะความวาวแบบมุก แร่อาจมีลักษณะที่บดแสงไปจนถึงโปร่งใส แร่กิบบ์ไซต์มีเนื้อแร่ลักษณะแน่น มีรูปผลึกแบบโมโนคลีนิก (Monoclinic) แร่ชนิดนี้

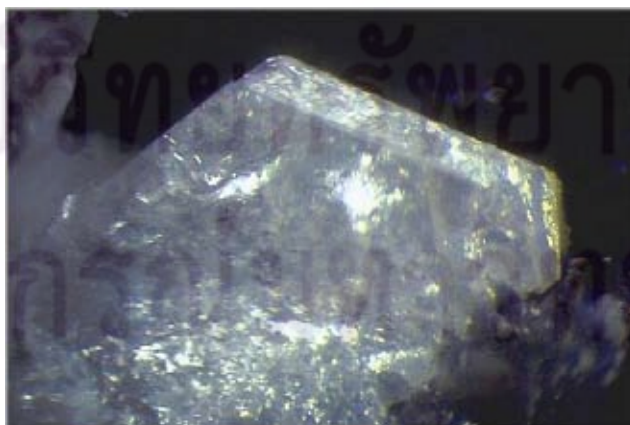
ในแร่บอไซต์จะอยู่ในลักษณะเม็ดแร่ขนาดเล็กคล้ายเม็ดถั่ว มีค่าความแข็ง 2.5-3.5 โมห์สเกล มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.4 และมีลักษณะเด่นคือมีกลิ่นคล้ายดินโคลนภายในแร่



รูปที่ 2.12 แร่บอไซต์ (11)

#### 2.1.3.6 แร่เนโครต์ (7, 8)

เนโครต์ ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) เป็นแร่กลุ่มอะลูมิเนียมซิลิเกตที่เป็นแร่ประกอบจำพวกดินเหนียว ที่รวมตัวกันในสินแร่เคโอลินไนต์ (Kaolinite) มีรูปผลึกแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) ที่มีรอยแตกเป็นเส้นตรงมีสี่ตั้งแต่ขวาไปจนถึงน้ำตาลมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.6 คุณสมบัติทางแสงของแร่ดังกล่าวจะโปร่งใส มีความวาวแบบมุก และมีผงละเอียดเป็นสีขาว



รูปที่ 2.13 ผลึกแร่เนโครต์ (11)

## 2.1.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

### 2.1.4.1 การศึกษาของณรงค์ ไกรวัฒนพงศ์, บัญชา วงศ์แก้วโพธิ์ทอง และคณะ (3)

ณรงค์ ไกรวัฒนพงศ์และคณะ ได้ทำการทดลองแต่งแร่เบื้องต้นในคัดแยกแร่เหล็ก จากชั้น A ของแหล่งแร่ บอกลาไซต์ ที่ราบสูงโบลานเวน เมืองปากช่อง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว การทดลองดังกล่าว อาศัยเครื่องแยกแร่ที่ใช้คุณสมบัติทางแม่เหล็กเป็นหลัก โดยสามารถปรับปรุงให้แร่มีคุณภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 50 – 55 % Fe และสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้ร้อยละ 25 และสามารถสรุปรายละเอียดสำคัญได้เป็นข้อๆดังนี้คือ

1. คุณภาพเหล็กเฉลี่ยจากการสุ่มตัวอย่างจากหลุมเจาะ มีค่าประมาณ 26 % Fe
2. ลักษณะของแร่เหล็กที่พบในตัวอย่างที่นำมาทดลองพบว่าแร่เหล็กประเภท เกอไทต์ (Goethite) หรือ (FeO(OH)) ที่มีอยู่ทั่วไปในแหล่งเป็นแร่เหล็กที่มีองค์ประกอบอะลูมินา - ซิลิกาและสารอินทรีย์ (Organic Matter) สูงจำเป็นต้องทำการล้างแร่ (Desliming) เพื่อปรับปรุงคุณภาพโดยการลดอะลูมินา - ซิลิกา และสารอินทรีย์ (Organic Matter) ในตัวอย่างศิลาแลง การล้างแร่ จะทำปริมาณตัวอย่างศิลาแลง ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการทดลองลดลงประมาณ 50% โดยน้ำหนัก และคุณภาพแร่เหล็กสูงขึ้นโดยอยู่ในช่วงระหว่าง 35 – 45 % Fe

3. ลักษณะ ของศิลาแลงตัวอย่าง โดยทั่วไปนั้นพบว่า มีขนาดที่แตกต่างกันมาก และมีลักษณะเป็นแร่คาบ (Locked Particle) โดยมีแร่ควอตซ์และอะลูมินายึดเกาะอยู่ จำเป็นต้องบดให้แร่แยกอิสระออกจากแร่มลทินดังกล่าว โดยจากการทดลองพบว่าขนาดที่ทำแร่มลทินแยกออกจากแร่เหล็กได้มากที่สุดคือ ขนาดที่เล็กกว่า 230 เมช (65 ไมครอน)

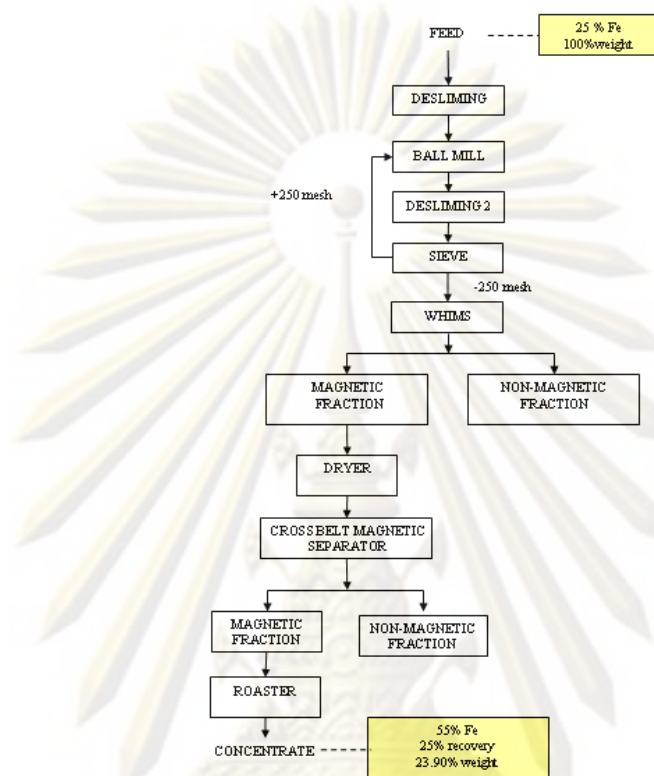
4. จากการทดลองแต่งแร่เหล็กด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก (Magnetic Separator) พบว่าจะสามารถปรับปรุงคุณภาพแร่เหล็กสูงขึ้นจาก 26 % Fe เป็น 50 – 55% Fe โดยใช้เครื่องแยกแม่เหล็กชนิดเปียกชนิดคาร์บูเชลและทำความสะอาดหัวแร่ (Cleaning) ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กชนิดสายพานขวาง โดยจะสามารถผลิตหัวแร่เหล็กออกมาได้ 63 % Recovery (คำนวณโดยใช้วิธีสมมูลมวล)

5. คุณภาพแร่เหล็กสูงสุดที่สามารถแต่งได้คือ 55% Fe ซึ่งจากการทดลองพบว่าหากต้องการปรับปรุงคุณภาพหัวแร่เพิ่มขึ้นอีกจำเป็นต้องใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 550 - 750 องศาเซลเซียส เพื่อไล่สารอินทรีย์ให้ออกไปจากเนื้อแร่ (Loss on Ignition: LOI) ซึ่งจะทำให้แร่เหล็กมีคุณภาพที่สูงขึ้นจาก 55 % Fe เป็น 60 % Fe โดยมีกระบวนการดังนี้

- 5.1 กำจัดสารอินทรีย์ หรือ LOI และเพิ่มเปอร์เซ็นต์เหล็ก

- 5.2 ทำให้ เกอไทต์ (Goethite) เปลี่ยนเป็นฮีมาไทต์ (Hematite)

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปผลการทดลองในรูปแบบของแผนผังได้ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กระบวนการแต่งแร่เบื้องต้นของ บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวล็อปเมนท์ (3)

2.1.4.2 การศึกษาของเอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์ อติศัย ธรรมานนท์และคณะ (13)

เอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์และคณะ จากกรมทรัพยากร การฟื้นฟูฐานและการเหมืองแร่ ได้ทำการทดลองกระบวนการแต่งแร่เหล็ก จากแหล่งแร่ภู่อ่าง บ้านหนองฮี ต.นาดินดำ จังหวัดเลย ลักษณะของแร่จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.5 -1.0 เซนติเมตร การทดลองแต่งแร่จะอาศัยสมบัติด้านความถ่วงจำเพาะของแร่ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้คือ

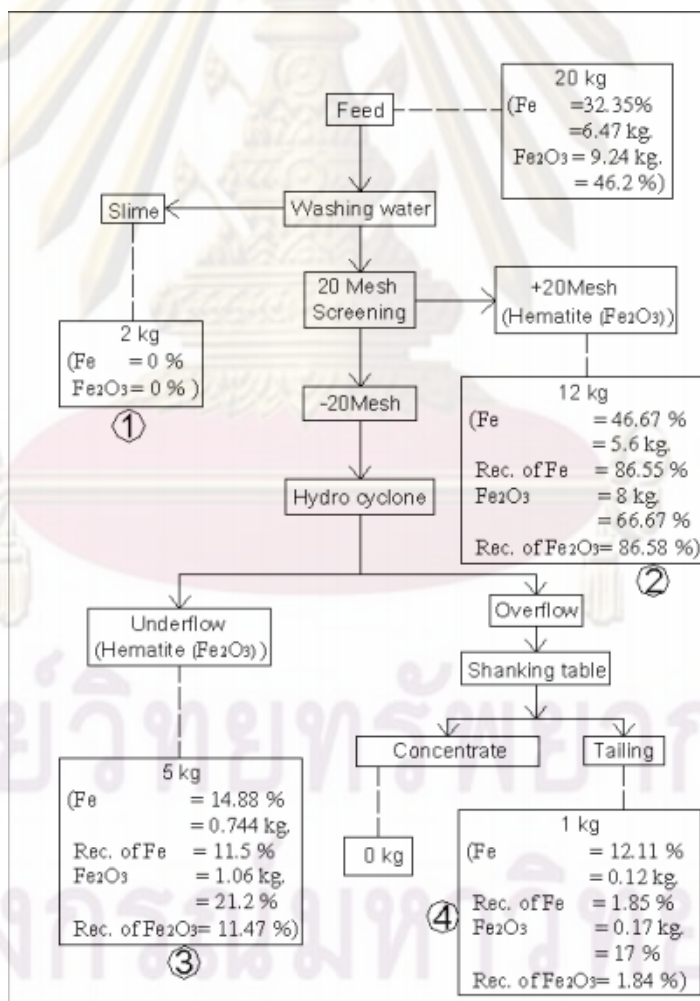
กระบวนการแยกแร่ในการศึกษาดังกล่าว เริ่มจากการนำแร่ ตัวอย่างมาล้างทำความสะอาด เพื่อเอาฝุ่นผงและ มลทินจำพวกอะลูมินาออกจากตัวอย่างแร่เหล็กดังกล่าว โดยจะนำมาแช่น้ำและกวนล้างก่อนจะทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

แร่ที่ทำกรล้างแล้วจะถูกนำมาคัดขนาดแบบเปียกให้อยู่ในช่วง +20 เมช ก่อนจะแบ่งตัวอย่างแร่ออกเป็นสองส่วนได้แก่

- ส่วนที่จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบแร่
- ส่วนที่จะนำไปทดลองในการแต่งแร่

แร่ส่วนละเอียด (Overflow) ที่ผ่านตะแกรง จะถูกนำมาคัดขนาดด้วยเครื่องไฮโดรไซโคลน เพื่อเก็บแร่ที่มีขนาดละเอียดอีกครั้งโดยมีการกำหนดให้ความเข้มข้นของของแข็งในของผสมขณะเข้าไฮโดรไซโคลน ให้ความเข้มข้นเท่ากับ 25 % Solid และมีความดันในการป้อนเข้าเท่ากับ 10 psi โดยใช้เครื่องไฮโดรไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 75 มิลลิเมตร

แร่ที่ผ่านไฮโดรไซโคลน จะถูกนำมาผ่านโต๊ะสั่นโดยจะถูกกำหนดให้แร่ที่เข้า สู่โต๊ะสั่น มีความเข้มข้นของของแข็งในของผสมเท่ากับ 20 % solid



รูปที่ 2.15 แผนผังแสดงผลการแต่งแร่ของการศึกษาของเอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์และคณะ (ฝ่าย สนเทศและวิเทศสัมพันธ์กองเศรษฐกิจและเผยแพร่กรมทรัพยากรธรณี)

จากรูปที่ 2.15 ซึ่งแสดง แผนผังสรุปผลการแต่งแร่ดังกล่าวสามา รดสรุปได้ว่ามีการคัด ขนาดแร่เหล็ก d ที่มีคุณภาพของแร่เหล็กเท่ากับ 32.35 % Fe ออกเป็น 2 ช่วงขนาด (Size Fraction) คือ +20 เมช และ -20 เมช เมื่อนำหัวแร่มาวิเคราะห์ ก็พบว่าแร่เหล็กส่วนใหญ่จะ ตกค้างอยู่ที่ช่วง ขนาดโตกว่า 20 เมช ซึ่งสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กในขั้นตอนนี้ได้ถึง 86.58 % Recovery สำหรับ ช่วงขนาดเล็กกว่า 20 เมช นั้นจะมีปริมาณแร่เหล็กน้อยสามารถทิ้งส่วนดังกล่าวได้จะเสียแร่เหล็กเพียง ร้อยละ 13.42 แต่ในการทดลองของเอกภพ ศรีเรืองฤทธิ์ ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยใช้เครื่องไฮโดร ไซโคลนเพื่อทดสอบแยกแร่เหล็กคุณภาพต่ำออกมาอีกทางหนึ่ง

จากการศึกษากระบวนการดังกล่าวพบว่า แร่เหล็กส่วนใหญ่จะ ถูกเก็บไปในกระบวนการ คัดขนาด ซึ่งแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 เมชจะถูกคัดขนาดออกมา ส่งผลให้เกิดการสูญเสียเนื้อแร่ เหล็กเป็นปริมาณมาก ในขณะที่ส่วนที่ผ่านตะแกรงและนำไปผ่าน เครื่องไฮโดรไซโคลน (Hydrocyclone ) นั้นมีคุณภาพแร่เหล็กที่ค่อนข้างต่ำส่งผลให้คุณภาพแร่เหล็กที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของแร่เหล็กที่นำไปทำการแต่งแร่ด้วยไฮโดรไซโคลน กับ คุณภาพของ แร่เหล็กในตัวอย่างซิลาลงที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ซึ่งจัดว่าเป็นเหล็กคุณภาพต่ำเหมือนกัน ทำ ให้สามารถประเมินได้ว่าการนำไฮโดรไซโคลนมาใช้ในกระบวนการ น่าจะไม่ส่งผลให้คุณภาพของ แร่เหล็กที่ได้เพิ่มขึ้นเท่าใดนัก

## 2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

### 2.2.1 เครื่องมือแยกแร่โดยอาศัยคุณสมบัติแม่เหล็ก (4)

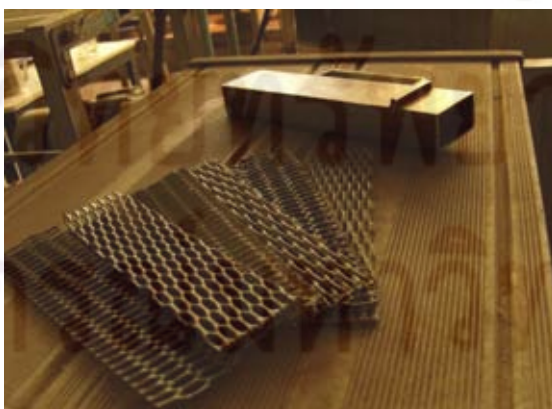
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เครื่องมือในการแต่งแร่ที่เข้ามามีบทบาทอย่างมาก ได้แก่ เครื่องตัดแยกแร่ที่อาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยเครื่องมือประเภทดังกล่าวจะอาศัยความ แตกต่างระหว่างคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ประกอบในตัวอย่างซิลาลง มาคัดแยกเอาแร่ส่วนที่ ติดแม่เหล็ก อันได้แก่ แร่แมกนีไทต์ แร่ฮีมาไทต์ และแร่เกอไทต์ ซึ่งมีธาตุเหล็ก (Fe) ประกอบอยู่ ออกจากมลทินอื่น ๆ ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งได้แก่ ควอตซ์ กิบบไซต์ และเนโครต์ เครื่องมือแยกแร่โดย อาศัยคุณสมบัติแม่เหล็กที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แก่ เครื่องแยกแร่แม่ ความเข้มสูงเหล็ก แบบเปียก (High Intensity Magnetic Separator หรือ WHIMS)

### 2.2.1.1 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก (Wet High Intensity Magnetic Separator หรือ WHIMS)

การแยกแร่ติดแม่เหล็กซึ่งมีขนาดเล็กแล้วนิยมใช้วิธีคัดแยกแบบเปียก ในแง่ของเศรษฐศาสตร์แล้ว การแยกแร่แบบเปียกจะดีกว่าในแง่ที่ว่าแร่ต่างๆ ที่เกิดตามธรรมชาติหรือแร่ที่ผ่านขบวนการแยกแร่ด้วยวิธีอื่นมาก่อนแล้วมักจะเปียก ดังนั้นสามารถแยกแร่ในสภาพเปียกได้ก็จะเป็นการประหยัด เพราะไม่ต้องทำการย่างแร่ให้แห้งก่อนการแยกแร่ในกระบวนการ

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ส่วนใหญ่ใช้ในการแยกแร่ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน (Paramagnetic Mineral) ออกจากแร่ไม่ติดแม่เหล็กในสภาพของเหลวหรือสารแขวนลอย เครื่องแยกนี้ในแบบแรกที่มีการพัฒนานั้นมีรูปร่างคล้ายเครื่องแยกแม่เหล็กแบบแห้งความเข้มสนามแม่เหล็กสูง ชนิด ลูกกลิ้งเหนี่ยวนำ (Induced Roll Magnetic Separator) โดยทำการดัดแปลงให้สามารถรับแร่ป้อนในสภาพเปียกได้ ส่วนเครื่องแยกในรุ่นหลัง ๆ นี้ได้พัฒนาให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำสูงถึง 20,000 เกาส์ ซึ่งเป็นค่าความเป็นแม่เหล็กอิ่มตัวของเหล็กอ่อนที่ใช้ทำเป็นเมทริกซ์ (Matrix) ในเครื่องแยก โดยใช้เมทริกซ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ กัน ได้แก่ ชนิดเป็นลูกกลม มีแท่งแผ่นที่เป็นร่อง (Grooved Plate) และแผ่นเหล็กรูปตาราง (Expanded Steel) และเป็นฝอย (Fiber)

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกชนิดความเข้มสูงที่ใช้ในกระบวนการแต่งแร่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เครื่องแยกแร่ชนิดที่เรียกว่า Hi-Intensity Wet Magnetic Filter Separator ในการคัดแยกแร่เหล็กออกจากมลทินอื่น ๆ ลักษณะเด่นของอุปกรณ์ดังกล่าวคือแผ่นกรองที่ทำจากโลหะที่มีความนำแม่เหล็กที่ถูกนำมาวางสลับกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยกแร่แม่เหล็กดังรูปที่ 2.16 และ 2.17



รูปที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง





รูปที่ 2.17 แสดงการจัดเรียงสลับแนวของแผ่นกรองภายในเครื่องแยกแแม่เหล็ก

แร่ที่ผ่านเข้าสู่เมทริกซ์ของเครื่องแยกแแม่เหล็กชนิดนี้ จะถูกแรงแม่เหล็กที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่อยู่ภายนอก กระทำต่ออนุภาคเม็ดแร่ โดยการเหนี่ยวนำให้เกิดทิศทางของสนามแม่เหล็กในทิศตรงข้ามกัน ในแต่ละแผ่นกรองที่ทำหน้าที่เหมือนตาข่ายในการดักจับหัวแร่

เครื่องแยกแแม่เหล็กแบบเปียกชนิดนี้ จะให้ผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการแยกแแม่เพียงสองอย่าง ได้แก่ หัวแร่และหางแร่โดยส่วนที่ผ่านออกจากเครื่องแยกแแม่ในขั้นต้นจะเป็นหางแร่ที่มีลักษณะไม่ติดแม่เหล็ก ในส่วนของหัวแร่นั้นต้องทำการล้างเอาหัวแร่ออกมาภายหลังดัง

รูปที่ 2.18 สำหรับเครื่องมือดังกล่าวหากต้องการให้หัวแร่มีคุณภาพสูงขึ้นอีก อาจทำการคัดแยกซ้ำอีกครั้งโดยการนำหัวแร่ที่ได้ป้อนกลับเข้าสู่เครื่อง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้ในครั้งที่สองนี้ จะมีคุณภาพของหัวแร่สูงขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.18 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

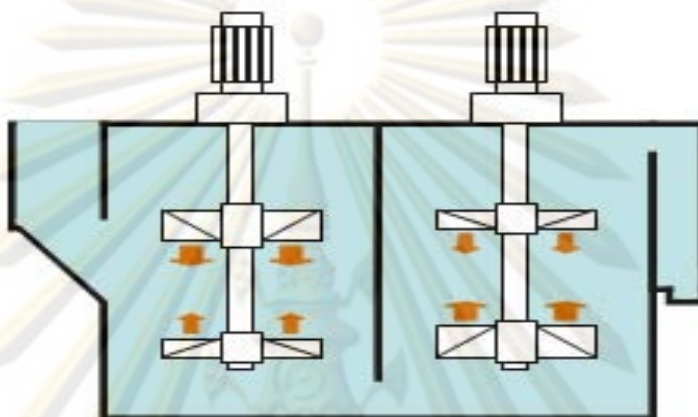
### 2.2.2 เครื่องขัดผิวแร่ (Mineral Scrubber)

เครื่องขัดผิวแร่ (Scrubber) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในวงอุตสาหกรรม แร่ชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมที่ต้องการความสะอาดของวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการแยกตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมแก้ว มีการประยุกต์ใช้เครื่องขัดผิวเพื่อดึงเอามลพิษต่าง ๆ ที่เจือปนอยู่ออกจากทรายแก้ว ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มความใสในผลิตภัณฑ์แก้ว วัสดุที่ขัดผิวแร่จะอาศัยแรงเสียดทานเกิดขึ้นระหว่างอนุภาคผิวแร่ด้วยกันหรือที่เรียกว่าแรงเฉือน (Shear Force) เป็นตัวการสำคัญในการทำความสะอาดผิวแร่

กระบวนการทำการขัดผิวแร่ของเครื่องขัดผิวนั้นจะมีแนวคิดพื้นฐานอยู่ที่การก่อให้เกิดการชนกันด้วยความเร็วสูงของ แร่ หรืออนุภาคของแร่ที่ต้องการทำการขัด การชนในลักษณะนี้เองจะก่อให้เกิดแรงเฉือนหรือแรงขัดสี ซึ่งสามารถขัดเอาสิ่งเจือปนออกจากผิวแร่ได้ แต่ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตจริงนั้นกระบวนการขัดอาจถูกจัดให้ซับซ้อนขึ้นหรือเกิดขึ้นต่อเนื่องซ้ำ ๆ กัน เพื่อเพิ่มความสะอาดของผิวแร่ที่ขัดได้

ในกระบวนการต่อเนื่องดังกล่าว แร่ที่ต้องการขัดและสิ่งเจือปนจะถูกผสมรวมกันอยู่ในรูปของผสมที่จะถูกขัดสีอย่างละเอียดขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเข้าสู่วงจรที่อยู่ในระบบ อุปกรณ์

ที่สำคัญมากต่อกระบวนการได้แก่ใบพัดคู่ที่มีลักษณะใบพัดกลับด้านกันดังในรูปที่ 2-23 โดยใบพัดดังกล่าวจะติดตั้งอยู่บริเวณแกนหมุนของเครื่องขัดผิวแร่ เมื่อใบพัดหมุนจะส่งผลให้สารผสมเกิดการเคลื่อนที่ในทิศทางแนวแกนที่ตรงข้ามกัน ซึ่งการเคลื่อนที่ในลักษณะดังกล่าวเป็นตัวแปรหลักที่ทำให้เกิดการชนกันของอนุภาควัตถุที่ต้องการขัดผิว

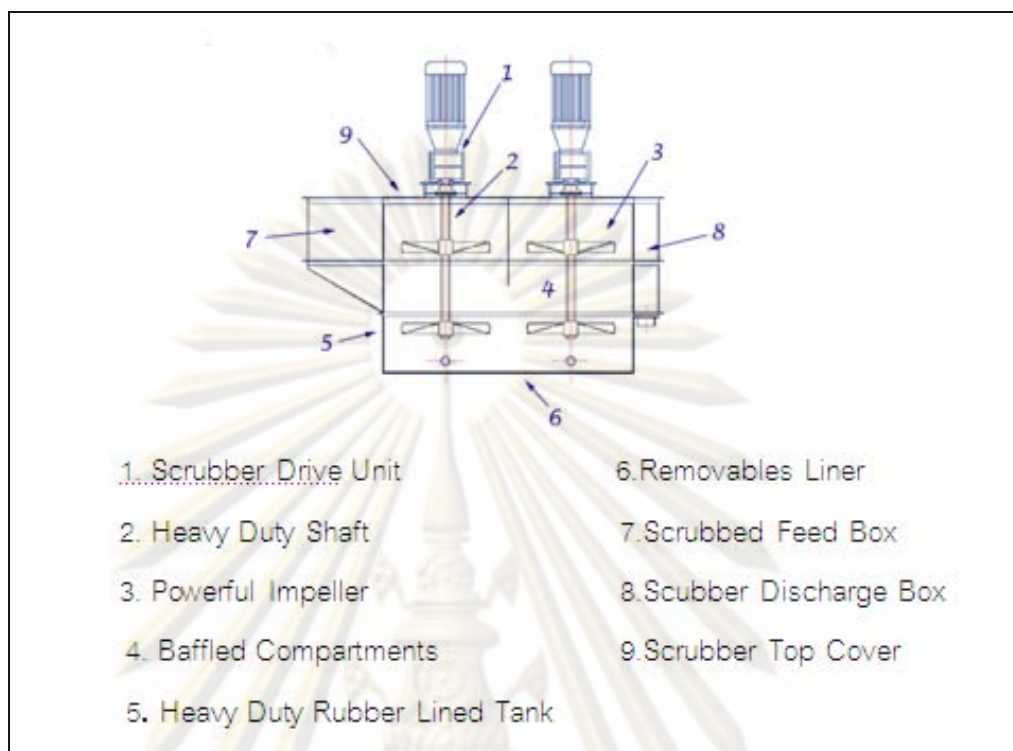


รูปที่ 2.19 แสดงภาพตัดภายในของเครื่องขัดผิว (12)

โดยปกติแล้วเมื่อความเข้มข้นของของแข็งในสารที่ต้องการขัดผิวเพิ่มขึ้น จะทำให้จำนวนครั้งของการชนระหว่างอนุภาคเพิ่มตามไปด้วย ยังผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องขัดผิวดีขึ้นทั้งนี้ความเข้มข้นของของแข็งที่จะให้ภาวะที่ดีที่สุดที่จะทำการขัดผิวนั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 70-80 % ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามแต่ละแร่

เครื่องขัดผิวแร่ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆได้อีกมากมายเช่น

- ใช้ขัดสิ่งเจือปนจำพวกดินเหนียวออกจากทรายในอุตสาหกรรมแก้ว
- ขัดผิวอนุภาคทราย
- ใช้ปรับผิวหน้าของแร่ต่าง ๆ ก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการลอยแร่
- ใช้ล้างแผ่นพลาสติกก่อนนำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล
- ขัดล้างมลทินที่ไม่ต้องการออกจากเม็ดแร่
- เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรมทางด้านเคมี



รูปที่ 2.20 ภาพ Diagram ของเครื่องขัดผิวแร่ (12)



รูปที่ 2.21 เครื่อง Attrition mill ที่ใช้ทดแทนเครื่องขัดผิวแร่ (Scrubber) ที่ใช้ในการทดลอง

## บทที่ 3

### การศึกษาขั้นต้นของการศึกษาวิจัยการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแดง

จากการศึกษาเชิงทฤษฎี และเอกสารทางวิชาการในบทที่ 2 ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพ และข้อมูลเบื้องต้นของ ศิลาแดงตัวอย่าง อาทิ แร่มลทิน องค์ประกอบทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีเป็นต้น ในขั้นตอนต่อมาของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่การทำการทดลองเบื้องต้น เพื่อจัดบันทึกข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบกระบวนการแต่งแร่ที่สมบูรณ์ต่อไป การศึกษาวิจัยในขั้นต้นนี้จะประกอบด้วย การทดลองสองขั้นตอนได้แก่

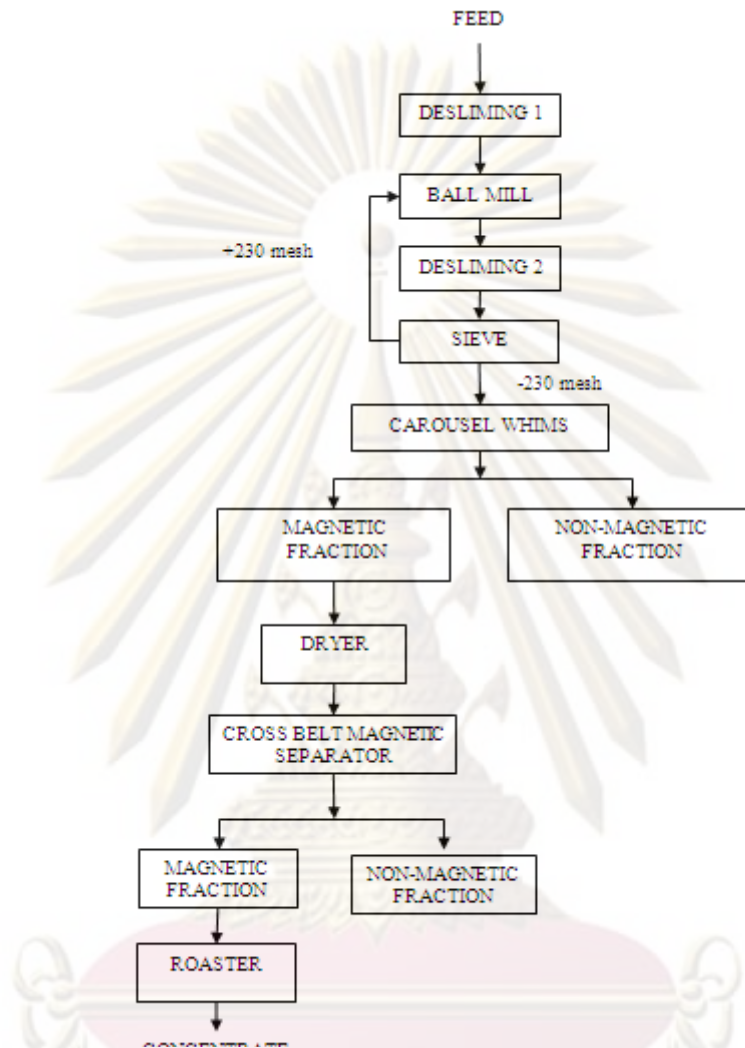
1. การทดลองเพื่อศึกษารายละเอียดกระบวนการของ บมจ. ิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์
2. การทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดสภาวะที่ดีที่สุดในการศึกษาวิจัย

#### 3.1 การทดลองเพื่อศึกษากระบวนการของ บมจ. ิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์

##### 3.1.1 แนวคิดและขั้นตอนการศึกษาวิจัย

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการเดิมที่โรงคักร่วมผงค์ และคณะ จาก บมจ. ิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ (3) ได้ทำการทดลองมาก่อน ทั้งนี้เพื่อรวบรวมข้อมูลที่อาจจะ เป็นประโยชน์ในแต่ละส่วนของกระบวนการดังกล่าว เพื่อนำมาปรับปรุงใช้ในกระบวนการ ที่จะการ ออกแบบขึ้นใหม่ การทดลองในขั้นตอนนี้มีแผนผังแสดงรายละเอียดการทดลองดังรูปที่ 3.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 กระบวนการแต่งแร่ที่ใช้ในการทดลองซ้ำ ซึ่งมีขั้นตอนเหมือนกับการทดลองของ บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ (3)

การทดลองซ้ำกระบวนการของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ มีขั้นตอนในการทดลองดังนี้คือ

1. นำแร่ตัวอย่างปริมาณ 2 กิโลกรัม ไปล้างในกระบะที่จัดเตรียมไว้
2. เทตะกอนของน้ำล้างที่ได้ทิ้ง จากนั้นนำแร่ส่วนที่เหลือไปอบแห้งที่อุณหภูมิ

130 องศาเซลเซียส

3. นำแร่ที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาทำการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์ ให้มีขนาดเล็กกว่า 230 เมช หากแร่ที่ได้ยังมีขนาดใหญ่กว่าให้ทำการบดซ้ำไปเรื่อยๆ
4. นำแร่ที่ผ่านการบด มาทำการล้างเพื่อเอาตะกอนและสิ่งสกปรกที่ไม่ต้องการออกจากรุ่นนำไปอบแห้งอีกครั้ง
5. นำแร่ที่ผ่านการอบแห้งแล้ว มาป้อนเข้าเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งชนิดสายพานขวาง เพื่อคัดแยกส่วนที่ติดแม่เหล็กไว้
6. นำส่วนที่ติดแม่เหล็กที่คัดแยกไว้มาเข้าเครื่องแยแร่แม่เหล็กแบบเปียก ชนิด คาร์บูเซล แล้วนำส่วนที่ติดแม่เหล็กไปเผาก่อนจะนำไปวิเคราะห์ด้วย เครื่อง ICP-OES เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของหัวแร่ต่อไป

### 3.1.2 ผลการทดลองการศึกษากระบวนการแต่งแร่ของ บมจ.อิตาเลียนไทย ดีเวลลอปเม้นท์

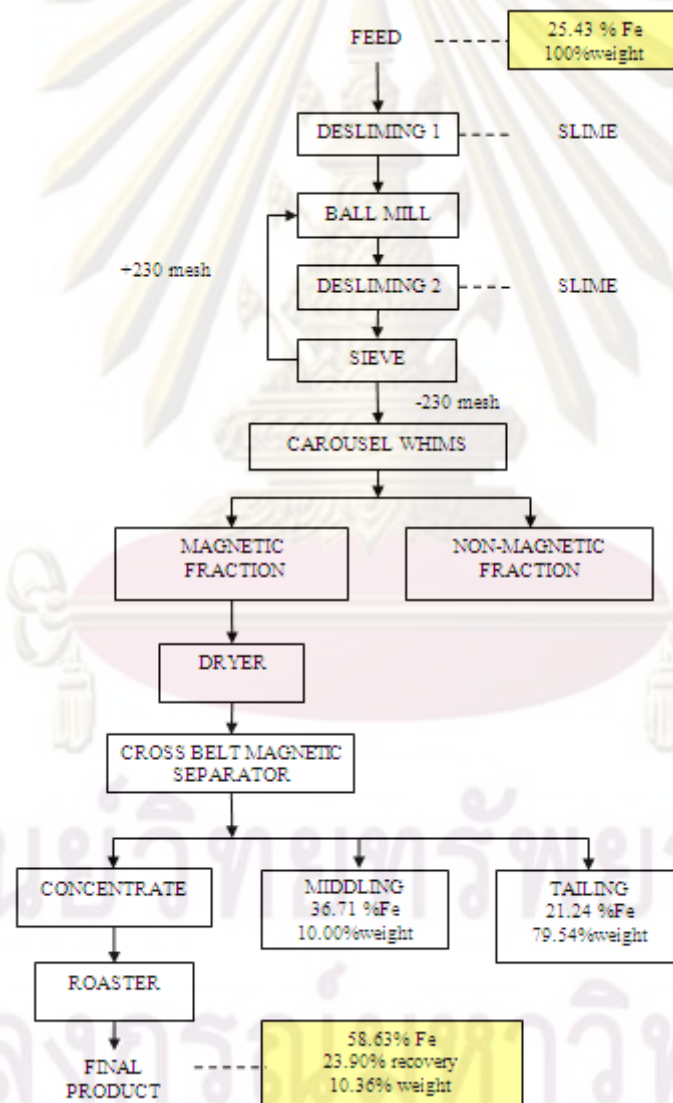
จากผลการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพของแร่เหล็กที่อยู่ในศิลาแลงตัวอย่างได้ โดยเพิ่มจาก 25.43 % Fe ในแร่ป้อน เป็น 58.31 % Fe และสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้ 23.90 % ผลการทดลองการแต่งแร่เพื่อศึกษากระบวนการของบมจ .อิตาเลียนไทย จะแสดงในรูปของสมดุลมวล (Mass Balance) ของการแต่งแร่อิงตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 สมดุลมวลของการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการแต่งแร่ของ บมจ . อิตาเลียนไทย ดีเวลลอปเม้นท์

ประเภท	น้ำหนัก		ผลวิเคราะห์แร่เหล็ก (% Fe)	ร้อยละของการกระจายตัว (%Distribution)
	กรัม(g)	เปอร์เซ็นต์(%)		
หัวแร่	207.2	10.36	58.63	23.90
แร่คละ	200.0	gv10.00	36.71	14.44
หางแร่	1592.8	79.64	21.24	61.66
แร่ป้อน	2000.00	100	25.43	100

### 3.1.3 วิจัยผลการศึกษาวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยจะพบว่า การทดลองซ้ำดังกล่าว สามารถเก็บกลับคืนแร่ได้ 23.90 % และมีคุณภาพของหัวแร่ที่เก็บได้ 58.63 % Fe จากแร่ตั้งต้นซึ่งมีคุณภาพของเหล็กเท่ากับ 25.43 % Fe ในหัวแร่ ให้ผลใกล้เคียงกับกระบวนการของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ที่สามารถเพิ่มคุณภาพของหัวแร่เป็น 55 % Fe จากแร่ป้อนที่มีคุณภาพของเหล็กเท่ากับ 25 % Fe (ดูรูปที่ 2.14 บทที่ 2 ประกอบ) แผนผังแสดงขั้นตอนและผลการทดลองการทดลองเพื่อศึกษากระบวนการของ บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.2

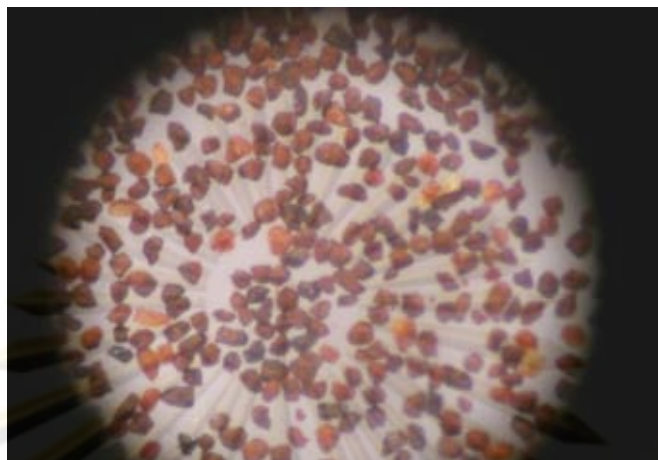


รูปที่ 3.2 ผลการแต่งแร่ที่ได้จากการทดลองซ้ำกระบวนการแต่งแร่เหล็กของ บมจ. อิตาเลียนไทย ดีเวลลอปเม้นท์



จากการศึกษากระบวนการดังกล่าวพบว่าหัวแร่ที่ได้มีคุณภาพที่ไม่สูงพอที่จะนำไปถลุง ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้า ได้ และเมื่อนำหัวแร่ที่ได้มาส่ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ก็พบว่า มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงให้เห็นอนุภาคของแร่ควอตซ์ซึ่งเป็นมลทินในตัวอย่าง ศิลาแลงจำนวนหนึ่งปะปนอยู่ในหัวแร่ โดยอนุภาคของแร่ควอตซ์ที่พบดังกล่าวมีลักษณะเป็นผลึก โปร่งแสงสีส้มแดง ซึ่งลักษณะดังกล่าวเกิดจากแร่ควอตซ์ที่ถูกเคลือบด้วยออกไซด์ของเหล็ก อันเป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของการกำเนิดของศิลาแลง ซึ่งจะถูกดูดซับขึ้นมาในกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก มลทินชนิดนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้คุณภาพของหัวแร่ที่ได้อลดลง และมีคุณภาพไม่สูงถึงระดับที่อุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้ายอมรับได้

ในกระบวนการการแต่งแร่เบื้องต้นของ บมจ .อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์นั้นมีการใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบแห้งชนิดสายพานขวาง ซึ่งไม่เหมาะกับการการปรับใช้งานในอุตสาหกรรมจริง รวมทั้งขนาดที่หลุดจากกันเป็นอิสระของเม็ดแร่ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 230 เมช นั้นเป็นช่วงขนาดที่ เล็กเกินไปสำหรับ การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบแห้ง (โดยปกติแล้วขนาดแร่ป้อนที่เหมาะสมกับเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกนั้นควรมีขนาดเล็กกว่า 200 เมช) นอกจากนี้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกชนิดถังคาจูเซลที่ใช้งานในห้องปฏิบัติการนั้นพบว่ามีความบกพร่อง ในส่วนของเมทริกซ์ภายในเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ซึ่งเกิดจากการที่มีอนุภาคแร่จากการทดลองเก่าตกค้างอยู่ภายในเมทริกซ์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องแยกแร่ลดลง ทำให้การคัดแยกแร่เหล็กและมลทินออกจากกันไม่ได้ดี เมื่อนำหัวแร่ที่ได้มาส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์ จึงพบควอตซ์ที่ถูกเคลือบด้วยออกไซด์ของเหล็กปะปนมากับหัวแร่ในปริมาณมาก ดังนั้นหากสามารถหา เครื่องมือแยกแร่ที่อาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็กชนิดอื่น ในห้องปฏิบัติการ ที่สามารถปรับใช้ในอุตสาหกรรมจริงรวมทั้งมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกชนิดถังคาจูเซลได้ ก็น่าจะส่งผลให้กระบวนการที่จะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยมีความเหมาะสมกับการปรับใช้งานในอุตสาหกรรมจริงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 5 เท่า) แสดงให้เห็นหัวแร่ที่ได้จากกระบวนการการ  
ทดลองเพื่อศึกษากระบวนการทดลอง ของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์(3)

### 3.2 การทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดสถานะของกระบวนการแต่งแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่ แม่เหล็กแบบเปียก

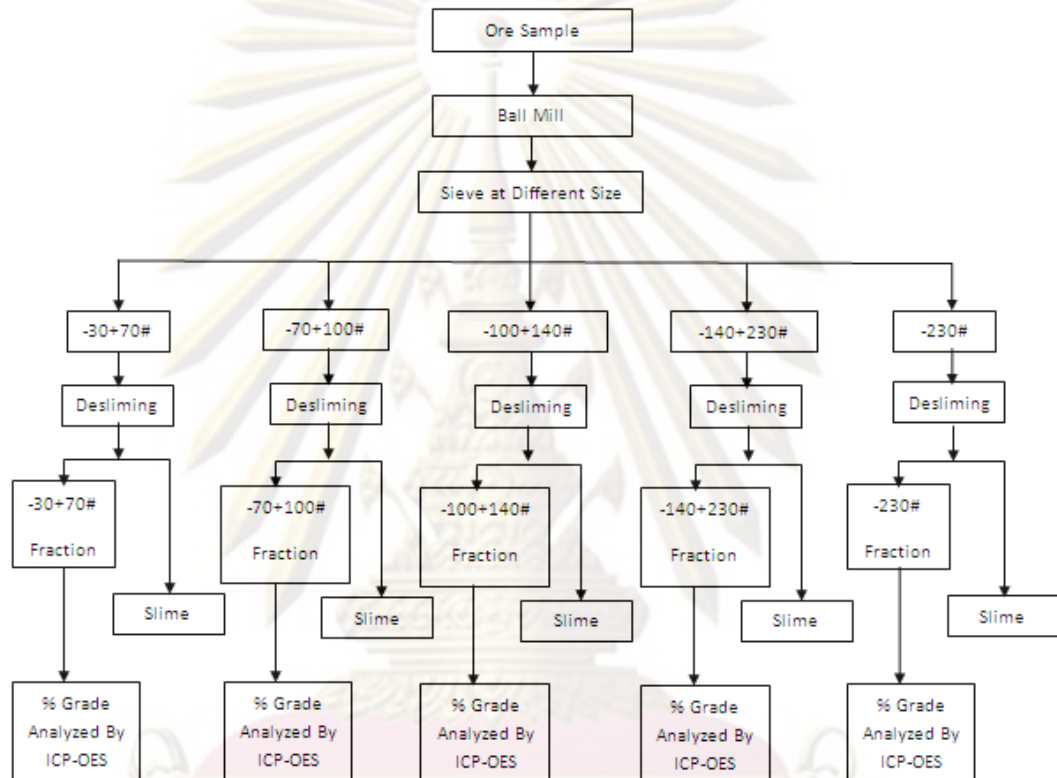
การศึกษาวิจัยในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาวิจัยรายละเอียดของกระบวนการต่าง ๆ โดยจะศึกษา  
ถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่จำเป็น ในการกำหนด ค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ที่ใช้ใน  
กระบวนการเพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยจะทำการศึกษา  
แบ่งเป็นขั้นตอนตามอุปกรณ์แต่ละชนิดดังนี้

#### 3.2.1 การทดลองการล้างแร่เบื้องต้น

##### 3.2.1.1 แนวคิดและขั้นตอนในการศึกษาวิจัย

จากที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในบทที่ 1 ว่าตัวอย่างศิลาแลงที่นำมาใช้ในการ  
ทดลองนั้น สะสมตัวอย่างในชั้นถัดจากชั้นผิวดิน ส่งผลให้ตัวอย่างมีการปะปนของสารอินทรีย์และ  
มลทินต่าง ๆ อาทิ อะลูมินา ซิลิกา การทดลองการล้างแร่เบื้องต้น (Desliming) เป็นกระบวนการ  
ขั้นต้นในการลดปริมาณของมลทินดังกล่าว ในตัวอย่างแร่ให้เหลืออยู่น้อยที่สุด โดยการนำตัวอย่าง  
แร่ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดบอลมิลล์และคัดขนาดด้วยตะแกรงคัดขนาดแล้ว มาล้างในกระบอก  
ด้วยน้ำสะอาด จากนั้นทำการกววนแร่ ด้วยมือ จนเกิดตะกอนสีแดง จากนั้นเทตะกอนจากการล้าง  
ทิ้ง แล้วทำการกววนล้างซ้ำจนกว่าน้ำล้างจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง จากนั้นจะนำแร่ตัวอย่างไปอบ  
ให้แห้งเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพของเหล็กในแร่ที่เก็บได้ต่อไป การทดลองการล้างแร่จะทำการ

ทดลองที่ขนาดแร่ต่าง ๆ กัน ได้แก่ ขนาด -30+70 เมช -70 +100 เมช -100+140 เมช -140+230 เมช และขนาดเล็กกว่า 230 เมช โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาขนาดที่เกิดการสูญเสีย แร่ มากที่สุด รวมทั้งศึกษาปริมาณแร่ที่สูญเสียไปในการล้างของแร่แต่ละขนาด โดยมีขั้นตอนโดยสรุป ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังการทดลองการล้างตัวอย่างแร่เบื้องต้นแบ่งตามช่วงขนาดต่างๆ

### 3.2.1.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองการล้างแร่เบื้องต้น

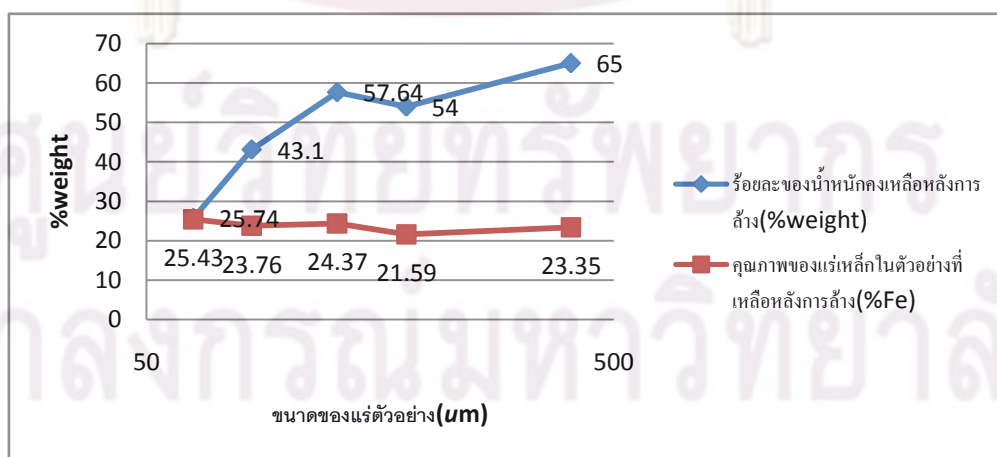
ผลการทดลองของการล้างแร่เป็นตัวแทนของขนาดที่เหมาะสมในการ นำ ตัวอย่างแร่มาล้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสีย แร่มากเกินไปในการล้างแร่ โดยพบว่า ช่วงขนาด -30+50 เมช จะมีน้ำหนักคงเหลือภายหลังการ ล้างมากที่สุด คิดเป็น 65.00 % และที่ ขนาดเล็กกว่า 230 เมช โดยพบว่ามีน้ำหนักรักษาเหลือภายหลังการ ล้างเพียง 55.74 % ผลการ ทดลองการล้างแร่ที่ช่วงขนาดต่าง ๆ เป็นดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงก่อนและหลังการล้างแร่

ช่วงขนาดของแร่ ตัวอย่าง (เมช)	ขนาดเฉลี่ย ของตัวอย่าง แร่(ไมครอน)	น้ำหนัก ก่อนล้าง (กรัม)	น้ำหนักหลังล้าง (กรัม)	ร้อยละของ น้ำหนักคงเหลือ หลังการล้าง (%weight)	คุณภาพของแร่ เหล็กในตัวอย่างที่ เหลือหลังการล้าง (%Fe)
-30+70	405	150	97.5	65	23.35
-70+100	180	150	81	54	21.59
-100+140	128	150	86.46	57.64	24.37
-140+230	84	150	64.51	43.1	23.76
-230	63	150	25.74	25.74	25.43
แร่ป้อน	-	2000	1105	55.25	24.43

### 3.2.1.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัยการทดลองล้างแร่เบื้องต้น

จากผลการทดลอง พบว่า การล้างแร่ที่ช่วงขนาดต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน โดยช่วงขนาดที่มีการสูญเสียของ แร่น้อยที่สุดคือช่วงขนาด -30+70 เมช ซึ่งช่วงขนาดดังกล่าวจะมีการสูญเสียแร่ 35 % ในขณะที่ขนาดที่เล็กกว่า 230 เมช จะสูญเสียแร่ถึง 75 % จากการทดลอง พบว่า การสูญเสีย แร่เหล็กนั้นเกิดจากการชะล้างออกไปพร้อมกับน้ำล้างแร่ จากผลการวิเคราะห์ ตะกอนที่เหลืออยู่ในแต่ละช่วงขนาดด้วยเครื่อง ICP-OES แสดงให้เห็นว่าคุณภาพของแร่เหล็กใน ตะกอนนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับคุณภาพของ ตัวอย่างศิลาแลงที่นำมาศึกษาวิจัยที่มี คุณภาพของเหล็กเท่ากับ 25.43 % Fe แนวโน้มของน้ำหนักคงเหลือภายหลังจากการล้างแร่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลการทดลองการล้างแร่ที่ขนาดต่างๆ

จากกราฟในรูปที่ 3.5 จะเห็นว่า เส้นกราฟของน้ำหนักคงเหลือภายหลังการล้างแร่และคุณภาพของเหล็กที่อยู่ใน ตะกอนที่เหลืออยู่หลังการล้างแร่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การล้างแร่ที่ขนาดเล็กมาก ๆ กว่าจะทำให้เกิดการสูญเสียแร่มากกว่าการล้างแร่ในขนาดใหญ่กว่า รวมทั้งการล้างแร่ที่มีขนาดแร่เล็กกว่า 230 เมช จะมีการสูญเสียแร่ในปริมาณ เกือบ 75% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากการะบวนการล้างไม่สามารถควบคุมให้แร่ตัวอย่างขนาดเล็กมาก ๆ ไม่หลุดไปกับน้ำล้างในรูปสารแขวนลอยได้ ดังนั้นจึงไม่ควรทำการบดละเอียดก่อนทำการล้างแร่ นอกจากนี้คุณภาพในตะกอนที่เหลืออยู่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามการล้างแร่ที่ช่วงขนาดต่างๆพบว่าคุณภาพของแร่เหล็ก(% Fe)หลังการล้างไม่ได้เพิ่มขึ้นเลยและยังคงมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนล้าง ( ดูตารางที่ 3-2 ประกอบ ) ลักษณะของแร่ขณะที่อยู่ในกระบวนการล้างจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.6 3.7 และ 3.8



รูปที่ 3. 6 แร่ตัวอย่างก่อนทำการล้าง



รูปที่ 3.7 ตะกอนแร่ที่ลอยขึ้นมาระหว่างการล้าง

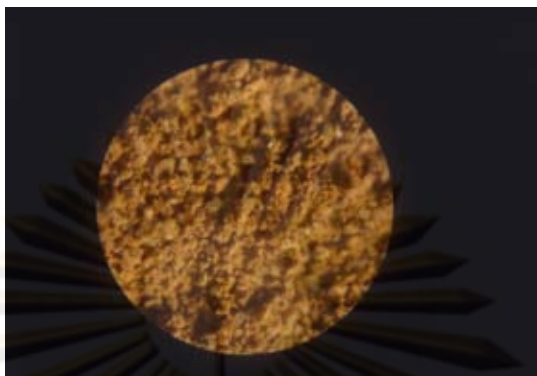


รูปที่ 3.8 แร่ที่ผ่านการล้างแล้ว

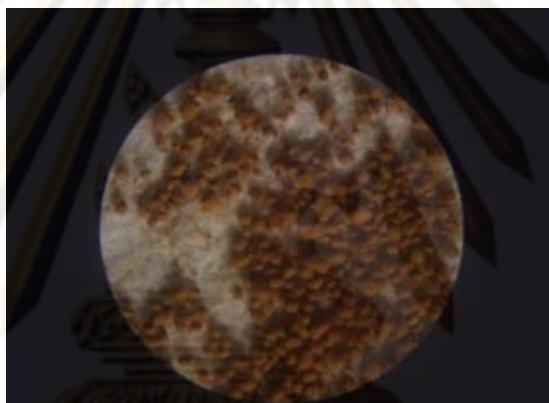
### 3.2.2 การทดลองการขัดผิวแร่

#### 3.2.2.1 แนวคิดและขั้นตอนในการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองของ บมจ .อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ ในขั้นตอนของการบดแร่พบว่าเมื่อทำการบดแร่ด้วยเครื่องบดบด อลมิลล์หลังจากการล้างแร่แล้ว ตัวอย่างจะกลับมามีลักษณะเป็นอนุภาคสีส้มแดง คล้ายกับผงของแร่ศิลาแลงตัวอย่างก่อนทำการล้าง โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะดังกล่าวคือสารเคลือบ ประสานในกระบวนการกำเนิด ศิลาแลง ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเหล็กออกไซด์ โดยเมื่อผ่านกระบวนการลดขนาด แร่แล้วก็จะกลายเป็นอนุภาคขนาดเล็กกลับมาเคลือบแร่ตัวอย่างและมลทินอื่นๆ อนุภาคของเหล็กออกไซด์เหล่านี้ เมื่อพิจารณาจากกระบวนการเกิดของตัวอย่างศิลาแลง ร่วมกับผลวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES และ XRD ก็พบว่า แท้จริงแล้วอนุภาคสีส้มแดงของเหล็กออกไซด์ดังกล่าว คือ อนุภาคของแร่เกอไทต์ ที่เกิดจากการละลายของแร่เหล็ก ในกระบวนการการกัดกร่อนโดยน้ำในธรรมชาติ และเกิดแข็งตัวเชื่อมกันเป็นเนื้อศิลาแลงนั่นเอง ตัวอย่างของศิลาแลงที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดอลมิลล์จะมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 10 เท่า) แสดงอนุภาคแร่หลังนำออกจากเครื่องบดบอลมิลล์



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 10 เท่า) แสดงอนุภาคแร่ที่ถูกเคลือบด้วยผนังละเอียดของแร่เกอไทต์

ลักษณะดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการคัดแยก แร่ด้วยคุณสมบัติแม่เหล็ก โดยแร่ควอตซ์และมลทินต่างๆที่ถูกเคลือบด้วย เกอไทต์ จะถูกดูดติด แม่เหล็ก ขึ้นมาในหัวแร่ ส่งผลให้คุณภาพของแร่เหล็กที่เก็บได้และประสิทธิภาพของการคัดแยกแร่ลดลง และจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองซ้ำเพื่อศึกษากระบวนการของ บมจ .อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ ที่พบว่าควอตซ์ที่เก็บได้ มีลักษณะเป็นสีส้มแดงปะปนอยู่ จึงมีความเป็นไปได้ว่า หากสามารถลดปริมาณมลทินดังกล่าวได้ ก็มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้คุณภาพของหัวแร่ที่ได้จากการกระบวนการแต่งแร่ของบมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ดีขึ้น

ในการทดลองการขัดผิวแร่จะศึกษาความแตกต่างของขนาดที่เข้าสู่กระบวนการขัดผิวแร่ โดยกำหนดระยะเวลาและรอบการหมุนของใบพัดให้คงที่ ทั้งนี้ เนื่องจากหากสามารถทำให้แร่ควอตซ์ ที่เป็นมลทินมีความสะอาดได้ก็จะสามารถสังเกต ขนาดที่แร่หลุดออกเป็นอิสระจากกันมากที่สุด (Liberation Size) ได้อีกทางหนึ่ง ขั้นตอนของการทดลองการขัดผิวแร่ดังต่อไปนี้

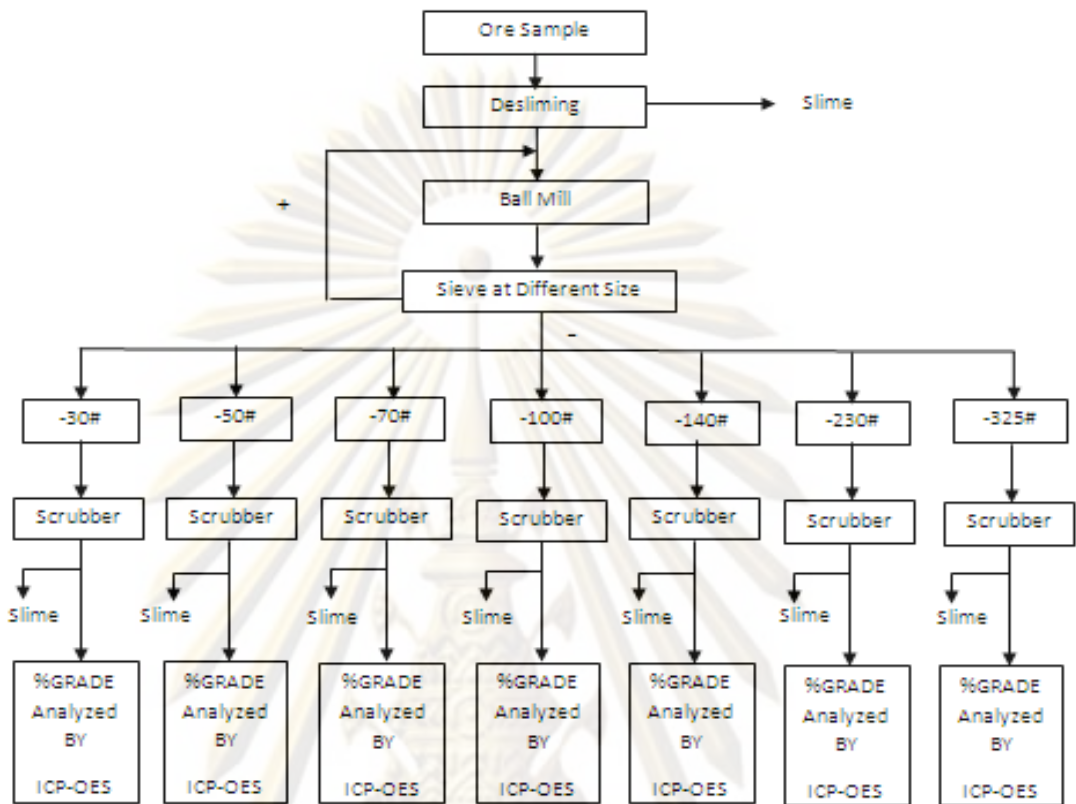
1. นำแร่ตัวอย่างขนาด 70 เมช แบ่งเป็น ออกเป็น 4 กอง กองละ 400 กรัมด้วยวิธี Cone and Quartering
2. นำแร่ตัวอย่างมาใส่ในห้องขัดผิวแร่ เติมน้ำจนสารละลายมีความเข้มข้นของของแข็ง เท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์
3. เติมน้ำจนละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2.5 กรัมต่อลิตร ลงไปในของผสม 100 มิลลิลิตร
4. ปรับจำนวนรอบของการขัดให้อยู่ที่ 600 รอบต่อนาที ขัดทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. นำตัวอย่างออกจากห้องขัด นำมาล้างสารแขวนลอยจนแร่ตัวอย่างมีความสะอาด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการแยกแร่ต่อไป
6. ทำซ้ำกับตัวอย่างที่ขนาดอื่นๆจนครบ

แผนผังแสดงขั้นตอนของกระบวนการขัดผิวแร่ จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.11 แผนผังแสดงกระบวนการทดลองการขัดผิวแร่ที่ช่วงขนาดต่างๆ

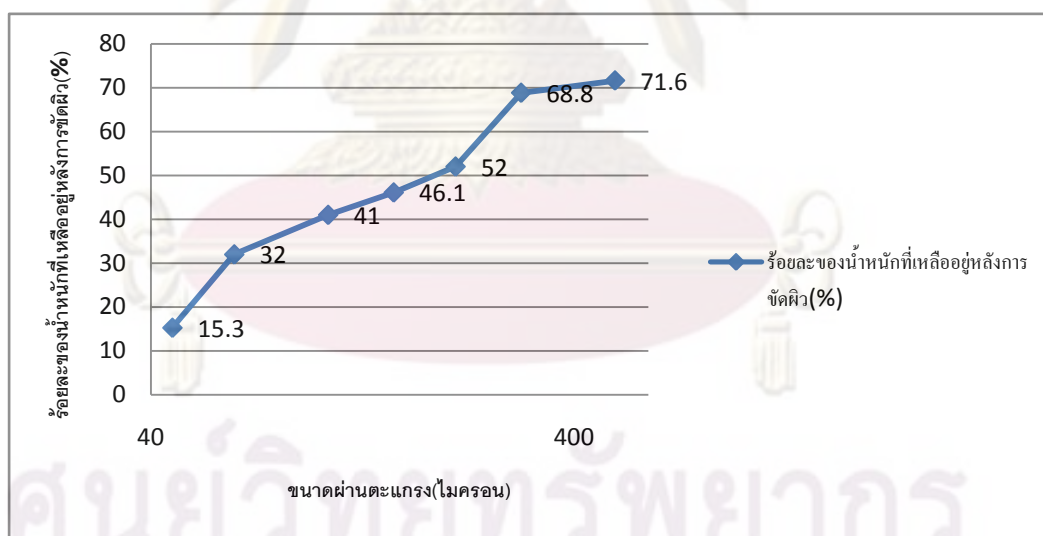
### 3.2.2.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองการขัดผิวแร่

การทดลองการขัดผิวแร่ นอกจากผลในส่วนของน้ำหนักที่คงเหลืออยู่ ภายหลังจากทดลองแล้ว ยังต้องอาศัยผลจากภาพที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ของแร่ที่ขนาดต่าง ๆ มาร่วมด้วยโดยในส่วนของน้ำหนักคงเหลือภายหลังจาก ขัดผิวนั้นพบว่า ที่แร่ขนาดเล็กกว่า 30 เมช ภายหลังจากขัดพบว่ามี น้ำหนักคงเหลือสูงถึง 71.6 % และพบว่ามี การสูญเสีย น้ำหนักแร่ สูงสุดที่ที่ขนาดเล็กกว่า 325 เมช ซึ่งเหลือ น้ำหนักคงเหลือเพียง 15.3 % โดยผลการทดลองการขัดผิวแร่ที่ขนาดต่าง ๆ จะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3-2 และแนวโน้มของปริมาณของ แร่ที่คงเหลือ ภายหลังจากขัด จะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 3.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-3 ผลการทดลองการขัดผิวแร่ที่ขนาดต่างๆ

ช่วงขนาดที่ทำการ ขัด(เมช)	ช่วงขนาดที่ทำการ ขัด(ไมครอน)	น้ำหนักก่อนทำการ ขัดผิว (กรัม)	น้ำหนักหลังทำการ ขัดผิว(กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักที่ เหลืออยู่หลังการ ขัดผิว (%)
30	500	500	358.00	71.60
50	300	500	344.00	68.80
70	210	500	260.00	52.00
100	150	500	230.61	46.10
140	105	500	205.20	41.00
230	63	500	160.13	32.00
325	45	500	76.54	15.30



รูปที่ 3.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผ่านตะแกรงกับร้อยละของน้ำหนักที่เหลืออยู่หลังการขัดผิวแร่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 3-3) จะพบว่าเมื่อแร่มีขนาดใหญ่ การขัดผิวแร่จะทำให้มีการสูญเสียแร่เล็กน้อย แต่จะไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพของการขัดแร่ สังเกตได้จากแร่ที่ผ่านการขัดผิวแล้วที่ขนาดเล็กกว่า 30 เมช ดังรูปที่ 3.13 จะยังคงมีคราบของเหล็กออกไซด์สีแดงเกาะอยู่บนอนุภาคแร่

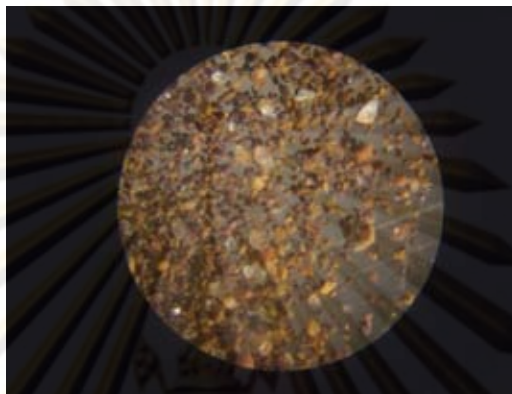


รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายแสดงอนุภาคแร่ขนาด เล็กกว่า 30 เมช ที่ผ่านการขัดผิวแล้ว

รูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นผลการทดลองการขัดผิวแร่ที่ขนาดต่าง ๆ ที่ผ่านการล้างเอาตะกอนที่ได้จากการขัด ออก (ส่งผลให้แร่ที่ถ่ายได้มีกลุ่มขนาดเท่าๆกัน ) ซึ่งแสดงให้เห็นอนุภาคควอตซ์ที่ผ่านการขัด และล้าง ที่มีลักษณะใส และโปร่งแสงอนุภาคดังกล่าวนี้จะพบในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อแร่มีขนาดเล็กลง ดังแสดงให้เห็นในรูปของแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 230 เมช และ 325 เมช ที่ผ่านการขัดผิว จะพบว่ามีแร่ควอตซ์ที่ผ่านการขัดจนสะอาดในปริมาณมาก

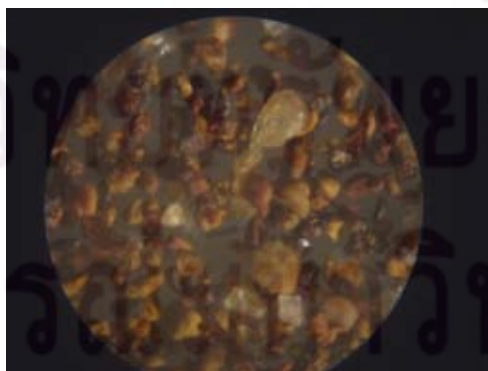


บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ นั้นเอง การที่มีอนุภาคในล ักษณะนี้ปรากฏขึ้นภายหลังการขัดผิว นั้น เป็นเครื่องยืนยัน ได้เป็นอย่างดีว่า เมื่อผ่านกระบวนการขัดผิวแล้ว แร่ตัวอย่างจะมีความสะอาดเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.15 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 5 เท่า) แสดงให้เห็นผลการขัดผิวกับตัวอย่างที่  
คละขนาดกัน

ในส่วนของ การทดลอง พบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคแร่ลดลง ประสิทธิภาพในการการขัดผิว แร่จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคแร่ขนาดเล็กนี้ จะมีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยกว่าแร่ขนาดใหญ่ รวมทั้งมีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างอนุภาคแร่มากกว่า ส่งผลให้ แร่มีโอกาสที่จะปะทะและขัดสีกัน ได้มากกว่า ส่งผลให้แร่ที่ผ่านการขัดผิวที่ขนาดเล็กมีความสะอาดมากกว่า ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะสามารถสังเกตได้ชัดเจนเมื่อทำการทดลอง โดยคละขนาดที่ทำการขัดผิว ซึ่งจะพบว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีปริมาณแร่ควอตซ์ที่สะอาดอยู่มากกว่า ดังแสดง ในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แร่ควอตซ์ขนาด -100 เมช (กำลังขยาย 10 เท่า) ที่ผ่านการขัดแล้วมีลักษณะใสชัดเจน

จากผลการทดลองพบว่าที่เมื่อขนาดตัว อย่างที่ทำการขัดเล็กลง อนุภาค แร่ควอตซ์ที่มีลักษณะขาวใสจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และเริ่มพบในปริมาณที่หนาแน่นขึ้นในแร่ขนาด เล็กกว่า 230 เมช ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่ขนาดดังกล่าว แร่เริ่มเกิดการการหลุดจากกันเป็นอิสระ (Liberation) ถึงแม้ว่าในแร่ขนาดเล็กกว่า 325 เมช จะพบแร่ควอตซ์ที่ผ่านการขัดจนสะอาดใน ปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ที่ขนาดเล็กกว่า 325 เมช มีการ สูญเสียแร่จากกระบวนการล้างตะกอนการขัด ผิวออกสูงถึง 84.7% ดังนั้นในกระบวนการแต่งแร่ที่ จะนำไปใช้จริงจึง เลือมาใช้แร่ที่ขนาด 230 เมช เพื่อลดการสูญเสียของแร่ และเมื่อนำแร่ขนาดเล็ก กว่า 230 เมช ไปวิเคราะห์คุณภาพของแร่เหล็กด้วยเครื่อง ICP-OES ก็พบว่าคุณภาพของแร่เหล็ก เพิ่มขึ้นจาก 22.59 % Fe เป็น 35% Fe ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าการขัดผิวแร่ นอกจากสามารถทำ ความสะอาดมลทินในแร่ตัวอย่างได้แล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของแร่เหล็กในตัวอย่างศึลา แล่งได้อีกด้วย

### 3.2.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการแต่งแร่ ตัวอย่าง ด้วยเครื่องแยกแร่ แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

การทดลองคัดแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก ความเข้มสูง แบบเปียกชนิดนี้ มี สมมติฐานจากหลักการของเครื่องแยกแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับการลดเพิ่ม ความเข้มข อง สนามแม่เหล็ก โดยมีสมมติฐานว่า สนามแม่เหล็ก ที่ลดลงจะสามารถลดปริมาณของมลทินที่เป็น ควอตซ์เคลือบด้วยแร่ เกอไทต์ลงได้และจะทำให้คุณภาพของหัวแร่ดีขึ้น

การทดลองการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก ความเข้มสูง แบบเปียกนี้ จะทำ การทดลองเพื่อทดสอบผลกระทบของตัวแปรควบคุมที่มีต่อกระบวนการแยกแร่อันได้แก่

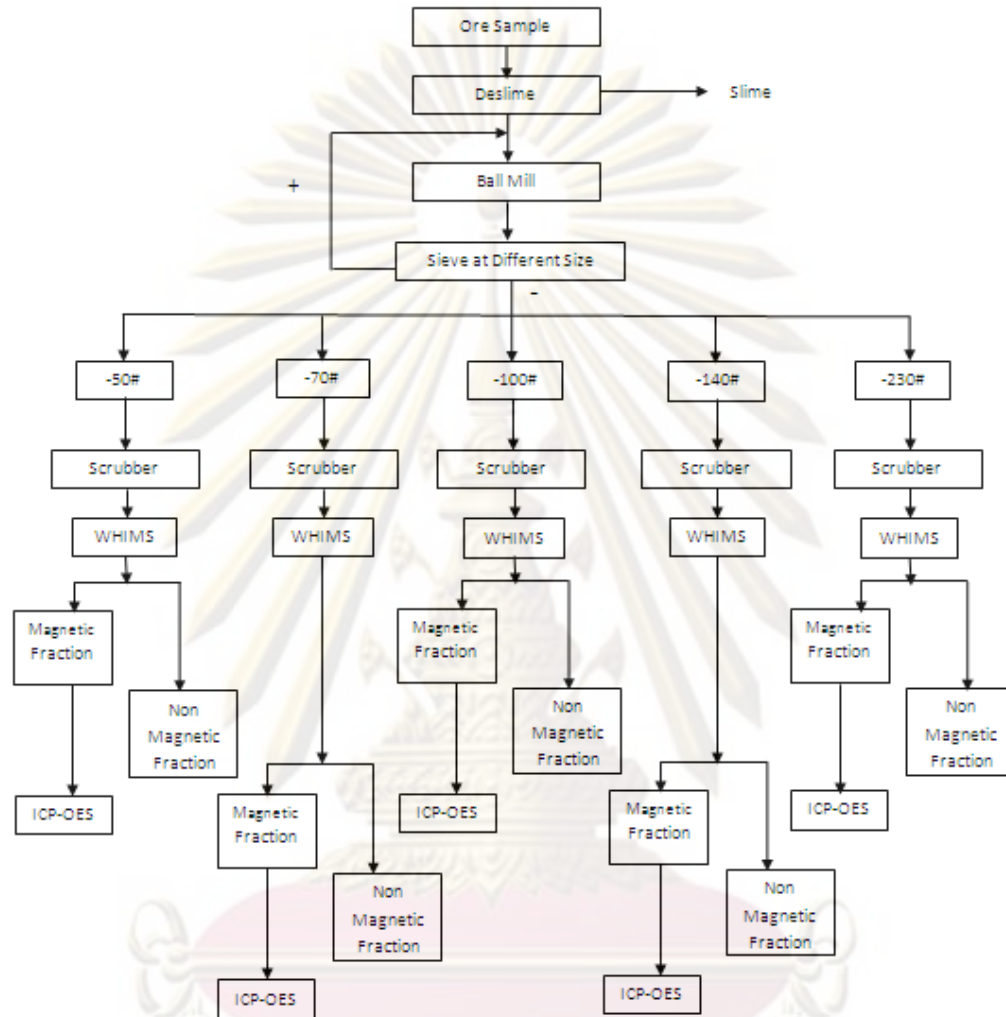
- การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของช่วงขนาดที่มีต่อกระบวนการแต่ง แร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียก
- ค่ากระแสไฟฟ้า (ขนาดของสนามแม่เหล็ก) ที่ใช้คัดแยกแร่

### 3.2.3.1 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดที่มีต่อ กระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

#### 3.2.3.1.1 แนวคิดและขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ ด้วยวิธีนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ในส่วนของคุณภาพและค่าการเก็บกลับคืนได้ของแร่เหล็กเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของขนาดของตัวอย่างศิลาแลงที่ป้อนเข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก โดย การทดลองจะเริ่มจากการนำเอาตัวอย่างศิลาแลงมาทำการล้างแร่ ก่อนจะทำการบดและคัดขนาดให้ได้ตามต้องการ โดยในการทดลองนี้จะทำเปลี่ยนขนาดของตัวอย่างศิลาแลงที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกตามขนาดต่างๆดังนี้คือ -50 เมช -70 เมช -100 เมช -140 เมช และ -230 เมช เพื่อเปรียบเทียบหาขนาดที่ทำให้ได้คุณภาพของแร่เหล็ก ภายหลังกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มสูงแบบเปียกสูงที่สุด

การทดลองนี้จะอ้างอิงปริมาณกระแสไฟฟ้า ที่ใช้ในการปรับตั้งค่าสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก จากการศึกษาของ บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ (3) ซึ่งได้ทำการทดสอบแล้วพบว่ากำลังไฟฟ้าขนาดต่ำสามารถลดปริมาณการรบกวนของควอตซ์ ที่ถูกเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ได้ส่วนหนึ่ง ทำให้คุณภาพของหัวแร่ที่ได้มีค่าสูงขึ้น โดยค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าจะกำหนดไว้ที่ขนาดกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2 แอมแปร์ โดยมีขั้นตอนในกระบวนการทดลองเป็นดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผนผังแสดงกระบวนการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

### 3.2.3.1.2 ผลการศึกษาวิจัย การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

ผลการศึกษาผลกระทบของช่วงขนาดที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มสูง แบบเปียกนั้นให้ผลดังนี้คือ เมื่อทำการทดลองแต่งแร่ที่ขนาดเล็กลง จะให้คุณภาพและค่าการเก็บกลับคืนที่ดีกว่า โดย ตัวอย่างศิลาแลงที่มีขนาดเล็กกว่า 230



เมช จะให้ค่าร้อยละการเก็บกัก ลับคืนสูงถึง 25.85 % Recovery และมีคุณภาพของหัวแร่เท่ากับ 52.83 % Fe ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดที่ได้ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3- 4

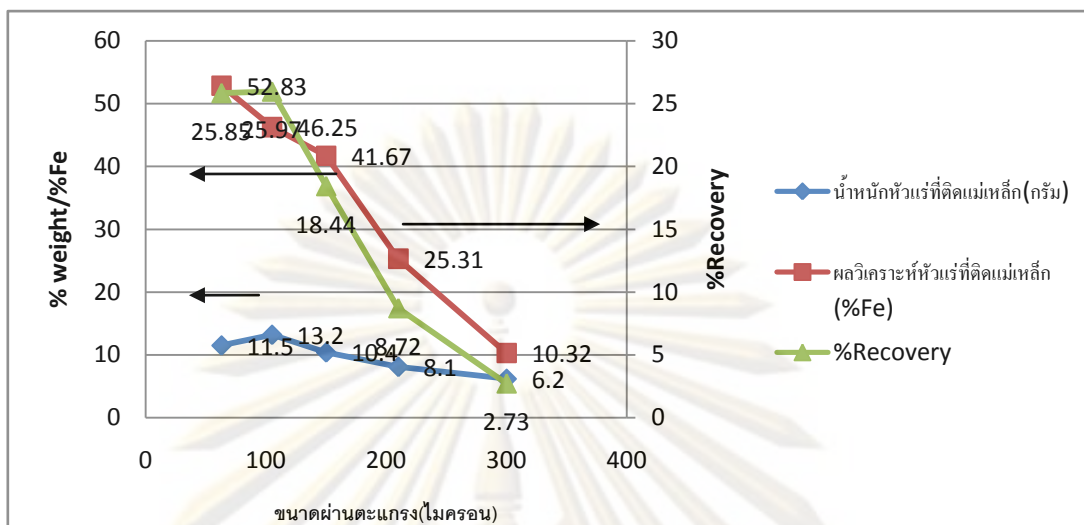
ตารางที่ 3-4 ผลกระทบของช่วงขนาดต่อกระบวนการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียก

ขนาดผ่านตะแกรง (เมช)	ขนาดผ่านตะแกรง (ไมครอน)	น้ำหนักแร่ป้อน (กรัม)	น้ำหนักหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก (กรัม)	ผลวิเคราะห์หัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก (%Fe)	ผลวิเคราะห์แร่ป้อน (%Fe)	ร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ (% Recovery)
50	300	100	6.2	10.32	23.5	2.73
70	210	100	8.1	25.31	23.5	8.72
100	150	100	10.4	41.67	23.5	18.44
140	105	100	13.2	46.25	23.5	25.97
230	63	100	11.5	52.83	23.5	25.85

### 3.2.3.1.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย

จากการทดลองมาแสดงให้เห็นว่า การเก็บกลับคืนเชิงน้ำหนักของการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียก ความเข้มข้นสูงชนิดนี้ จะให้ผลของน้ำหนักที่เก็บกลับคืนได้ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน แต่หากพิจารณาจากตารางสมมูลมวล จะสามารถสร้าง กราฟเปรียบเทียบได้ดังแสดงในรูปที่ 3.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.18 กราฟผลการทดลองผลกระทบของขนาดต่อกระบวนการแยกแ่ด้วยเครื่องแยกแ่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

จากผลการทดลองและเส้นกราฟ ในรูปที่ 3.15 พบว่าเมื่อขนาดของแร่เหล็กที่ ป้อนเข้าสู่เครื่องแยกแ่แม่เหล็ก แบบเปียกความเข้มสูงลดลง จะส่งผลให้สามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยเมื่อเปรียบเทียบกันจะพบว่าปริมาณหัวแร่ที่ได้จากการแต่งแร่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาคุณภาพของแร่เหล็กที่ได้ในแต่ละช่วงขนาด จะพบว่าเมื่อขนาดของเม็ดแร่ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการการแต่งแร่มีขนาดเล็กลง คุณภาพของแร่เหล็กที่เก็บกลับคืนได้จะมีค่ามากขึ้น โดยเมื่อนำหัวแร่ ที่ได้จากแต่ละขนาด มาวิเคราะห์ หาคุณภาพของแร่เหล็กที่เก็บได้ (% Fe ) ด้วยเครื่อง ICP-OES ก็พบว่าที่ขนาด 230 เมช ซึ่งเป็นขนาดที่อนุภาคของและมลทินต่างๆหลุดเป็นอิสระจากกัน จะให้คุณภาพของแร่เหล็กสูงที่สุด โดยจะให้คุณภาพของแร่เหล็กอยู่ที่ระดับ 52.83 % Fe และสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้เท่ากับ 25.85 % Recovery

สาเหตุที่ทำให้คุณภาพของหัวแร่และประสิทธิภาพของการคัดแยกแ่เพิ่มขึ้นนั้น เกิดจากการที่แร่ขนาดเล็ก สามารถตอบสนองได้ดีกว่าภายในสนามแม่เหล็กที่เป็นบริเวณที่เกิดการคัดแยกแ่ โดยแรงแม่เหล็กที่กระทำต่อเม็ดแร่ขนาด เล็กนั้นจะสามารถเอาชนะแรงต้านอันเกิดจากแรงโน้มถ่วงของเม็ดแร่ได้ นอกจากนี้การที่เม็ดแร่มีขนาดเล็กลง ก็จะเป็นการเพิ่มโอกาสให้แร่ที่มีความเป็นแม่เหล็กสูงพอ ก็จะสามารถได้รับแรงแม่เหล็กอย่างทั่วถึง และถูกดูดติดขึ้นมาได้เพิ่มมากขึ้น นั่นเอง

### 3.2.3.2 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของ สนามแม่เหล็ก ต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

#### 3.2.3.2.1 แนวคิดและขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้ม ของสนามแม่เหล็กที่มีต่อกระบวนการคัดแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก เป็นการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อคุณภาพของ เหล็ก และค่าการเก็บกลับคืน เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้ในการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก โดยค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก จะแสดงในรูปของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับสภาวะของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ใช้ได้โดยตรง

การทดลองนี้กำหนดให้ขนาดที่ป้อนเข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูงมีค่าเท่ากับ 230 เมช ซึ่งเป็นขนาดที่แร่หลุดออกเป็นอิสระจากกัน และให้คุณภาพของการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกดีที่สุดที่สุดทั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กในสภาวะที่ใกล้เคียงกับการนำไปใช้งานจริง

#### 3.2.3.2.2 ผลการศึกษาวิจัย การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่

ผลการทดลอง เบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดกระแสไฟฟ้าต่อกระบวนการแยกแร่ ให้ผลการทดลองดีที่สุดเมื่อ ๑ทำการคัดแยกแร่ที่ขนาดกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ โดยให้ค่าร้อยละของการเก็บกลับคืนเท่ากับ 23.20% และให้คุณภาพของหัวแร่เท่ากับ 54.58 % Fe ผลการทดลองที่ขนาดกระแสไฟฟ้าค่าอื่น ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 3-5

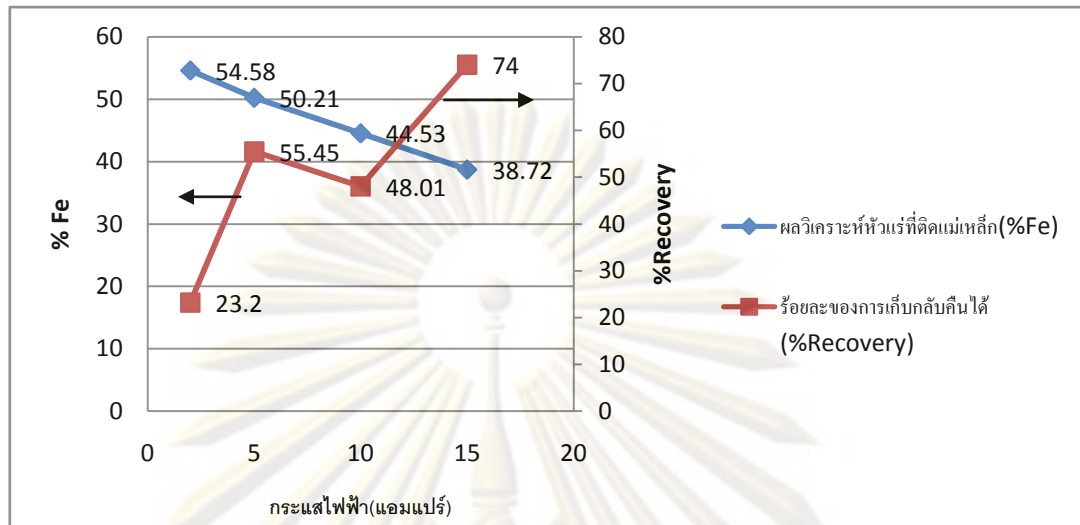
ตารางที่ 3-5 ผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็ก (ในรูปของกระแสไฟฟ้า) ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ที่ผ่านการบดจนมีขนาดเล็กกว่า 230 เมชด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียก

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	น้ำหนักแร่ป้อน (กรัม)	น้ำหนักหัวแร่ที่ติด แม่เหล็ก (กรัม)	ผลวิเคราะห์ แร่ป้อน(% Fe)	ผลวิเคราะห์หัวแร่ ที่ติดแม่เหล็ก (% Fe)	ร้อยละของการ เก็บกลับคืนได้ (% Recovery)
2	100	12.80	30.24	54.58	23.20
5	100	33.40	30.24	50.21	55.45
10	100	32.60	30.24	44.53	48.01
15	100	57.80	30.24	38.72	74.00

### 3.2.3.2.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย

หากพิจารณาผลการทดลองดังกล่าว พบว่า ร้อยละของปริมาณการเก็บกลับคืนได้ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าสนามแม่เหล็ก (ขนาดของกระแสไฟฟ้า) เพิ่มขึ้นในทางกลับกันคุณภาพของหัวแร่ก็จะลดลงตามลำดับ โดยสามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 3.19 สาเหตุที่ทำให้ผลการทดลองมีลักษณะดังกล่าว เกิดจากเมื่อปรับขนาดกระแสไฟฟ้าให้มีค่าน้อยๆ จะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก มีค่าน้อยลง ส่งผลให้แรงดึงดูดในสนามแม่เหล็กมีค่าน้อยลงตามไปด้วย ด้วยแรงแม่เหล็กที่มีค่าน้อยนี้เอง ส่งผลให้เม็ดแร่ที่มีค่าความเป็นแม่เหล็กสูงเท่านั้นจึงจะสามารถดูดติดขึ้นมากับ ส่วนที่เป็นหัวแร่ได้ โดยเมื่อกำหนดให้ค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 2 แอมแปร์ จะพบว่า สามารถเก็บกลับคืนแม่เหล็กได้ 23.20 % Recovery และมีคุณภาพของแร่เหล็กสูงถึง 54.58 % Fe คุณภาพของแร่เหล็กที่ได้นี้หากนำไปใช้งานร่วมกับกระบวนการขัดผิวแร่และการเผาแร่เพื่อเพิ่มคุณภาพ ก็น่าจะส่งผลให้คุณภาพของหัวแร่เพิ่มขึ้นถึงระดับที่ต้องการ หรือมีค่ามากกว่า 60% Fe ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.19 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพและปริมาณของหัวแร่เหล็กที่ได้เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสไฟฟ้าของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

3.2.3.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

#### 3.2.3.3.1 แนวคิดและขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนในรูปแบบของอัตราการไหลของผสม การทดลองจะกำหนดขนาดของแร่ที่ใช้ทำการป้อนให้มีค่าเท่ากับ 230 เมช ซึ่งเป็นขนาดที่แร่หลุดจากกันเป็นอิสระ และปรับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ให้กำเนิดสนามแม่เหล็กให้มีค่าเท่ากับ 2 แอมแปร์ ซึ่งเป็นขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ให้คุณภาพของหัวแร่สูงที่สุดดังที่ได้กล่าวมาแล้วในการทดลองที่ 3.2.3.1 และ 3.2.3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2.3.3.2 ผลการศึกษาวิจัยการทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราการไหลของแร่ป้อนที่มีค่าสูง จะให้ผลการเก็บกลับคืนแร่ที่มีค่าสูงตามไปด้วย โดยเมื่อ อัตราการไหลของแร่ป้อนมีค่าเท่ากับ  $20 \times 10^{-5}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะสามารถเก็บกลับคืนแร่ได้สูงถึง 62.53 % Recovery และมีคุณภาพของแร่เหล็กอยู่ที่ 31.43% Fe ในขณะที่อัตราการไหลของแร่ป้อนที่มีค่าน้อยจะให้ร้อยละของการเก็บกลับคืนแร่น้อยตามไปด้วย โดยเมื่ออัตรา การไหลของแร่ป้อนมีค่าเท่ากับ  $1.54 \times 10^{-5}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะสามารถเก็บกลับคืนแร่ได้ 22.64 % Recovery แต่จะให้คุณภาพของหัวแร่ที่เพิ่มขึ้นโดยมีคุณภาพของหัวแร่เหล็กเท่ากับ 53.96 % Fe ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่อัตราต่างๆจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3- 6

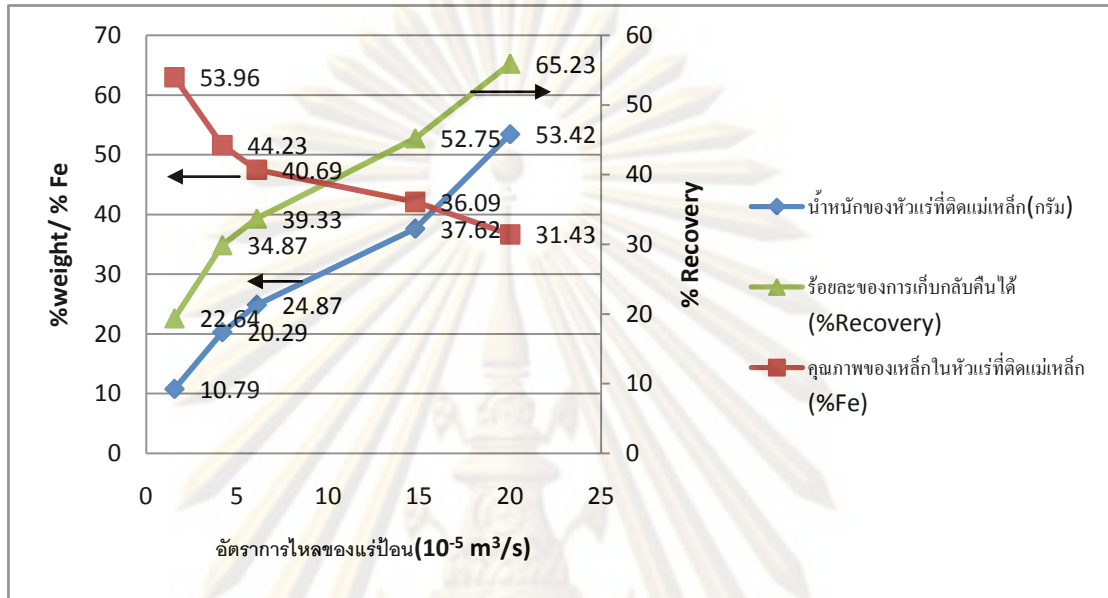
ตารางที่ 3-6 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่ที่มีต่อกระบวนการแต่งแร่ ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

อัตราการไหลของแร่ป้อน ( $10^{-5}$ ลบ.ม.ต่อวินาที)	น้ำหนักของแร่ป้อน(กรัม)	คุณภาพของเหล็กในแร่ป้อน (%Fe)	น้ำหนักของหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก (กรัม)	คุณภาพของเหล็กในหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก (%Fe)	ร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ (%Recovery)
1.54	100	25.74	10.79	53.96	22.64
4.17	100	25.74	20.29	44.23	34.87
6.07	100	25.74	24.87	40.69	39.33
14.78	100	25.74	37.62	36.09	52.75
20	100	25.74	53.42	31.43	65.23

### 3.2.3.3.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย

จากผลการทดลองสามารถแสดงด้วยกราฟได้ดังรูปที่ 3.20 โดยจะสังเกตเห็นแนวโน้มที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนแร่เข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียกจะมีลักษณะดังนี้คือ เมื่อเกิดการเพิ่มอัตราการป้อนแร่จะส่งผลให้สามารถเก็บกลับคืนส่วนที่เป็นหัวแร่ได้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่เดียวกันคุณภาพของหัวแร่ก็จะลดลง

โดยอัตราการป้อนแร่ที่ให้คุณภาพของเหล็กที่ได้จากการแต่งแร่ที่ดีที่สุดคือ ที่อัตราการไหลของแร่ป้อนเท่ากับ  $1.54 \times 10^{-5}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีซึ่งให้คุณภาพของแร่เหล็กสูงถึง 53.96 % Fe



รูปที่ 3.20 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ของแร่เหล็กเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของการป้อนแร่ผ่านเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

สาเหตุที่ทำให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าวเกิดจากระยะเวลาที่เม็ดแร่อยู่ในสนามแม่เหล็ก โดยอัตราการป้อนที่ต่ำจะส่งผลให้เม็ดแร่มีระยะเวลาที่จะอยู่ในสนามแม่เหล็กได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้คุณภาพของแร่เหล็กที่เก็บได้ มีค่าสูง ในขณะที่ที่อัตราการไหลสูงๆ นั้นเม็ดแร่จะได้รับผลกระทบจากแรงพัดพาของน้ำอย่างมาก ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้แร่ไม่สามารถตอบสนองต่อ การติดแม่เหล็กภายในสนามแม่เหล็กได้อย่างทั่วถึงแล้ว หัวแร่บางส่วนที่ติดอยู่กับเมทริกซ์ก็จะถูกน้ำพัดพาไปมาในส่วนที่เป็นหางแร่อีกครั้งส่งผลให้ คุณภาพของแร่ได้ลดลง

### 3.2.4 การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเผาแร่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหัวแร่

#### 3.2.4.1 แนวคิดและขั้นตอนของการศึกษาวิจัย

จากข้อมูลเชิงแร่วิทยา จะพบว่าตัวอย่าง แร่มีสารอินทรีย์ผสมอยู่ในปริมาณค่อนข้างสูงรวมทั้งมีองค์ประกอบส่วนหนึ่งเป็นแร่เกอไทต์ (Goethite) การเผาแร่จะทำให้คุณภาพแร่เพิ่มขึ้นได้สองทางด้วยการลดปริมาณสารอินทรีย์และน้ำในโครงสร้างของแร่

การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเผาแร่เพื่อปรับปรุงคุณภาพของหัวแร่  
นี้ จะทำการชักตัวอย่างแร่มาจำนวนหนึ่งจากหัวแร่ แร่ดิบ และแร่ที่ทำการขัดผิวแล้ว ทั้งนี้เพื่อทำ  
การเปรียบเทียบผลของการทดลองในแง่ของปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมดไปเป็นหลัก โดยกำหนด  
ช่วงเวลาการเผาเท่ากันที่ 1 ชั่วโมง และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 550 ถึง 950 องศาเซลเซียส  
ตามลำดับ

### 3.2.4.2 ผลการศึกษาวิจัย การทดลองเบื้องต้นเพื่อศึกษาการเผาแร่เพื่อ ปรับปรุงคุณภาพของหัวแร่

การทดลองการเผาแร่จะแบ่งการทดลองออกเป็นสาม ครั้งตามประเภท  
ของตัวอย่าง โดยผลการทดลองถูกแสดงในรูปของปริมาณของร้อยละของน้ำหนักที่หายไปหลังการ  
เผาเทียบกับน้ำหนักตั้งต้นโดยผลการทดลองการเผาแร่ดิบที่ผ่านการบดย่อยซึ่งให้ร้อยละของ  
น้ำหนักที่หายไปโดยเฉลี่ยเท่ากับ 17.80 % ผลการทดลองการเผาแร่ตัวอย่างที่ผ่านการขัดผิวแล้ว  
จะมีร้อยละของน้ำหนักที่หายไปภายหลังการเผาแล้วโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 14.79 % และการเผาหัวแร่ที่  
ขนาดเล็กกว่า 230 เมช จะให้ผลของร้อยละของน้ำหนักที่หายไปภายหลังการเผาโดยเฉลี่ยเท่ากับ  
11.96 % ดังแสดงให้เห็นตารางที่ 3-7

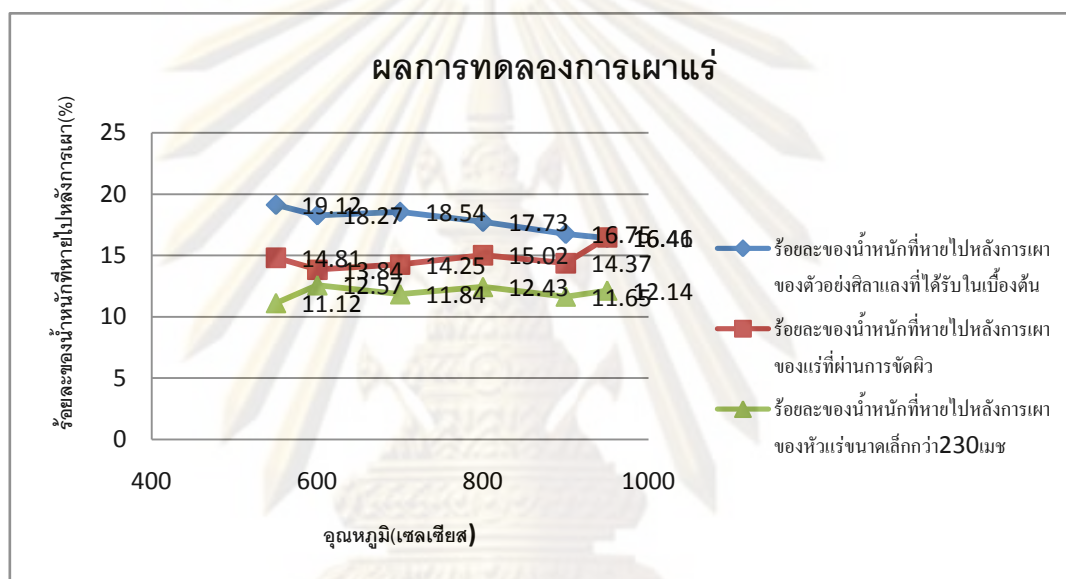
ตารางที่ 3-7 ผลการทดลองเผาแร่

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (เซลเซียส)	ร้อยละของน้ำหนัก ที่หายไปหลังการ เผาศิลาแลง ตัวอย่างที่ได้รับใน เบื้องต้น	ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป หลังการเผาของแร่ที่ผ่านการ ขัดผิว	ร้อยละของน้ำหนักที่ หายไปหลังการเผาของ หัวแร่นขนาดเล็กกว่า 230 เมช
1	550	19.12	14.81	11.12
2	600	18.27	13.84	12.57
3	700	18.54	14.25	11.84
4	800	17.73	15.02	12.43
5	900	16.75	14.37	11.65
6	950	16.41	16.46	12.14



### 3.2.4.3 วิเคราะห์ผลการศึกษาวิจัย

จากผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่า การเผาแร่ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ นั้น สำหรับตัวอย่างประเภทเดียวกันจะมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกเผาไปคิดเป็นร้อยละเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.21 โดยเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของสารอินทรีย์ที่ลดลงหลังจากการเผาจะเป็นการยืนยันสมมติฐานของการทดลองที่ตั้งไว้ว่าการล้างแร่และการขัดผิวแร่จะช่วยลดปริมาณมลทินจำพวกสารอินทรีย์ในตัวอย่งแร่ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3.21 ผลการทดลองการเผาตัวอย่างแร่เพื่อเพิ่มคุณภาพของหัวแร่

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแร่ดิบที่ผ่านการบดมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูง สลายไปหลังการเผามากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแร่ตัวอย่างมีปริมาณสารอินทรีย์สูง สารอินทรีย์ดังกล่าวนี้เองที่ทำให้คุณภาพของหัวแร่ลดลง ในทางกลับกันแร่ที่ผ่านการขัดผิวจะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูญเสียหลังการเผาผลลงซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าการขัดผิวสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์และมลทินที่มีผลต่อคุณภาพแร่ได้จริง

ในส่วนของงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพแร่การเผาหัวแร่ที่อุณหภูมิ 600-1000 องศาเซลเซียส จะสามารถเพิ่มคุณภาพแร่ได้ประมาณร้อยละ 6.5 ถึง 7 ดังแสดงในตารางที่ 3-8

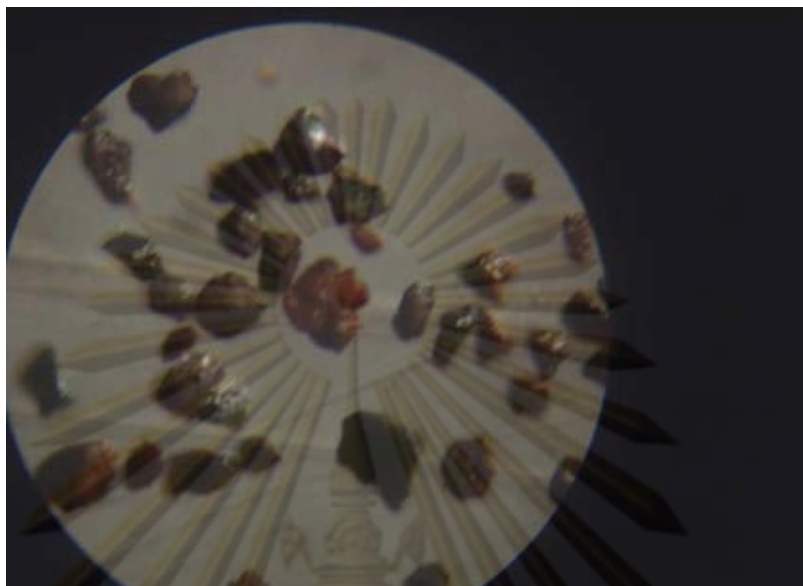
ตารางที่ 3-8 ผลของการเผาแร่ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	%Fe	%Fe	%Si
	ก่อนเผา	หลังเผา	
หัวแร่ติดแม่เหล็กที่กระไฟฟ้า 2 แอมแปร์	54.58	61.08	2.40
หัวแร่ติดแม่เหล็กที่กระไฟฟ้า 5 แอมแปร์	50.21	56.93	1.81
หัวแร่ติดแม่เหล็กที่กระไฟฟ้า 10 แอมแปร์	44.53	51.23	1.55
หัวแร่ติดแม่เหล็กที่กระไฟฟ้า 15 แอมแปร์	38.72	44.52	1.25

ทั้งนี้หากทำการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแร่ที่เปลี่ยนไปแล้วจะเห็นได้ว่าหัวแร่ที่ผ่านการเผา มีสีน้ำตาลเลือดหมูค่อนข้างดำซึ่งแตกต่างไปจากหัวแร่ที่ผ่านเฉพาะเครื่องแยกแม่เหล็กอย่างเดียวดังแสดงในรูปที่ 3.22 3.23 และ 3.24 ซึ่งเป็นรูปของหัวแร่ก่อนและหลังทำการเผาตามลำดับ



รูปที่ 3.22 หัวแร่ที่ผ่านการแยกแร่ก่อนทำการเผา (กำลังขยาย 20เท่า)



รูปที่ 3.23 หัวแร่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง  
(กำลังขยาย 20 เท่า)



รูปที่ 3.24 แสดงแร่ที่ผ่านการเผาแล้ว

## บทที่ 4

### การศึกษาวิจัยการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลง

การศึกษานี้เป็นการศึกษา เิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาและ พัฒนาระบวนการแต่งแร่เหล็กจากชั้นศิลาแลง โดยการศึกษานี้จะ อาศัยการแต่งแร่ ด้วย คุณสมบัติแม่เหล็ก โดยใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียก โดยพิจารณาใช้ค่าตัวแปร ต่างๆที่ให้สภาวะที่ดีที่สุด ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องแยกแม่เหล็กเปียกความเข้มข้นมาใช้ เพื่อพัฒนาให้กระบวนการแต่งแร่สามารถเพิ่มคุณภาพของของแร่เหล็ก ที่อยู่ใน ตัวอย่างศิลาแลง ให้ถึงระดับที่อุตสาหกรรม มลสูงเหล็กยอมรับได้ และเป็นแนวทางสำหรับ กระบวนการแต่งแร่ในแหล่งแร่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันต่อไป การทดลองในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เน้น ดำเนินการภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรม ศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1. เครื่องย่อยแร่แบบลูกกลิ้ง (Roll Crusher)
2. เครื่องบดแบบลูกบอล (Ball Mill)
3. ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve)
4. กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope)
5. เครื่องขัดผิวแร่ (Scrubber)
6. เครื่องแยกแม่เหล็กแบบเหนี่ยวนำ (Induced Roll - Magnetic Separator)
7. เครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นชนิดแผ่นกรอง (High Intensity Wet Magnetic Filter Separator)

#### 4.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Na(OH))

### 4.3 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

แร่ตัวอย่างจากชั้นศิลาแลงของ บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ โดยทำการเก็บตัวอย่างจากแหล่งแร่บ่อไก่ ไชต์ บริเวณที่ราบสูง โบลาเวน เมืองปากช่อง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวดังแสดงในรูปที่ 4.1



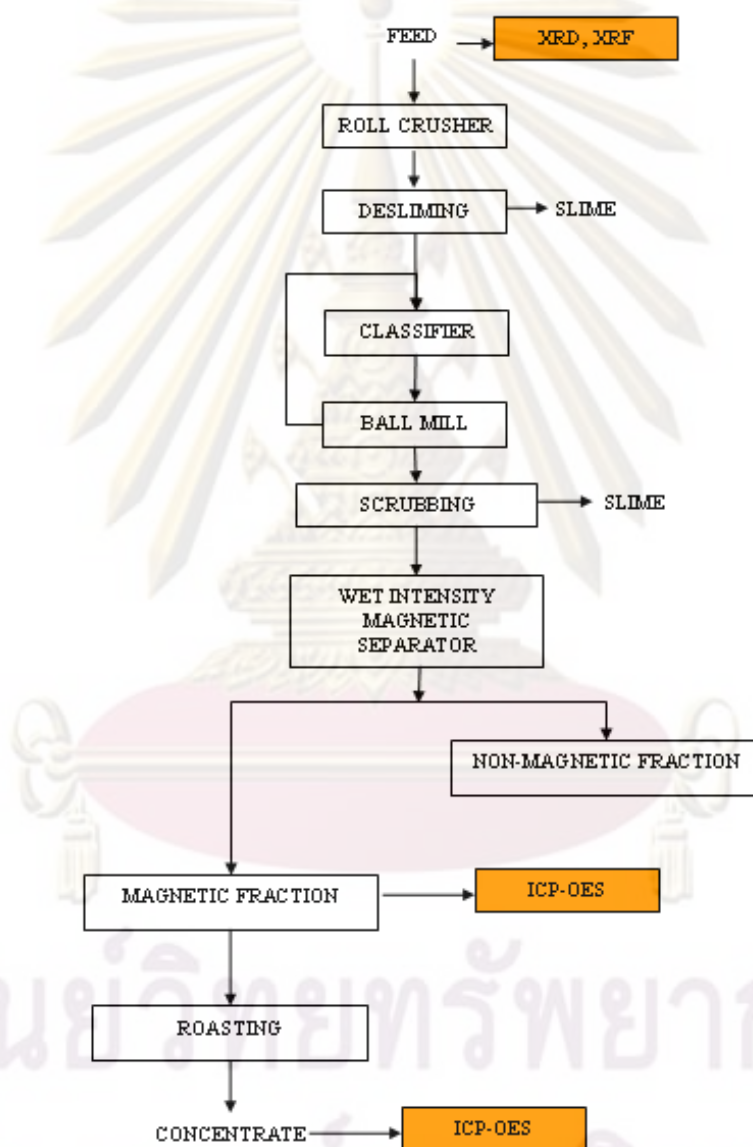
รูปที่ 4.1 แร่ตัวอย่างจากชั้นศิลาแลงที่ได้รับจาก บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์จำกัด

### 4.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนการทดลองในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบไปด้วย การศึกษารวบรวมข้อมูลองค์ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับแหล่งแร่ดังกล่าว จากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างจากศูนย์เครื่องมือของบมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ แล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมี และองค์ประกอบทางกายภาพของแร่ โดยศึกษาปริมาณของแร่หลักและแร่อื่น ๆ ที่มีอยู่ในแร่ตัวอย่าง โดยอาศัยเครื่อง XRD และ XRF

แร่ตัวอย่างจะถูกย่อยชิ้นต้นด้วยเครื่องบดลูกกลิ้ง (Roll Crusher) เพื่อลดขนาดของตัวอย่าง แร่ จากนั้นจะนำแร่มาทำการล้าง (Desliming or Ore Washing) ก่อนจะนำเข้าสู่เครื่องบดบอลล์มิลล์ เพื่อทำการลดขนาดอีกครั้ง จากนั้นทำการคัดขนาดเป็นช่วงต่าง ๆ เพื่อนำแร่ที่ผ่านการ

คัดขนาดเป็นช่วงเพื่อนำแร่ที่ผ่านการคัดขนาดแล้วไปทำการขัดผิวและทดลองด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูงในสภาวะที่ให้ผลการแต่งแร่ตรงตามจุดประสงค์ที่สุดที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นในบทที่ 3 จากนั้นจะทำการคัดเลือกตัวอย่างที่มีคุณภาพจากของแร่ที่ได้สูงกว่า 55 % Fe ขึ้นไปมาทำการทดลองเผาเพื่อหาอุณหภูมิและช่วงเวลาที่สามารรถ เพิ่มคุณภาพของแร่ได้ดีที่สุดต่อไปกระบวนการทดลองทั้งหมดสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กระบวนการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

#### 4.5 การทดลองแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

การทดลองแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูงเป็นการทดลองที่อาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็ก อันเป็นคุณสมบัติเด่นของแร่ที่ต้องการทำการคัดแยกเข้ามาใช้ เพื่อทำการคัดแยกแร่เหล็กออกจากแร่ศิลาแลง โดยตัวอย่างที่จะนำเข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูงนี้ได้แก่ ตัวอย่างแร่ขนาด -200 เมช-230 เมช และ-325 เมช ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองขั้นต้นนั้น พบว่าที่ขนาดทั้งสามที่นำมาทดลองสามารถให้คุณภาพของแร่เหล็กที่เก็บกลับคืนได้นั้นใกล้เคียงกันคืออยู่ที่ระดับสูงกว่า 55 % Fe ทั้งสามขนาด สำหรับสภาวะที่ดีที่สุดที่ใช้ในการคัดแยกแร่ที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นจะแสดงไว้ในตารางที่ 4-1

เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

ขั้นตอนในการทดลอง

1. ปรับสภาวะของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กชนิดลูกกลิ้งเหนียวนำให้อยู่ในสภาวะพร้อมใช้งานตามสภาวะที่ดีที่สุดดังตารางที่ 4 - 8
2. นำตัวอย่างแร่ศิลาแลงขนาดต่างๆที่เตรียมไว้ มาผ่านเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก เก็บส่วนที่เป็น หิวแร่ แร่คละและหางแร่ใส่ภาชนะที่เตรียมไว้
3. นำหิวแร่, หางแร่ และ แร่คละมาอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้งจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกข้อมูล
4. นำเอาส่วนติดแม่เหล็กที่ได้ไป ชำเตาเผาแร่ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มคุณภาพของหิวแร่
5. นำเอาหิวแร่ที่ได้ ไปวิเคราะห์คุณภาพเหล็กในหิวแร่ ด้วยเครื่อง ICP-OES เพื่อหาคุณภาพของเหล็ก (%Fe) ในหิวแร่

ตารางที่ 4-1 ตัวแปรสภาวะการทำงานของเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง

ตัวแปรสภาวะการทำงาน	สภาวะที่ใช้
อัตราการป้อนน้ำและของผสมเข้าสู่เครื่อง	$1.54 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s}$
ความเข้มข้นแม่เหล็ก (แสดงในรูปกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็ก)	2 A

#### 4.5.1 ผลการทดลองการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นสูงแบบเปียก

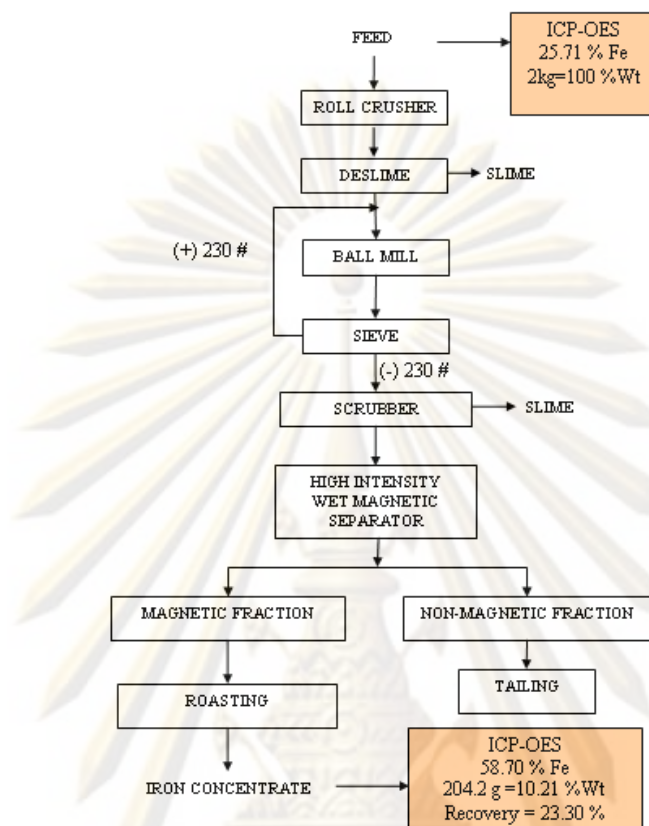
จากผลการทดลองเบื้องต้น รวมทั้งผลการทดลองการแต่งแร่โดยนำ ตัวอย่างศิลาแลง มาผ่านเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง จะให้คุณภาพของแร่เหล็กในหัวแร่ ที่ติดแม่เหล็กอยู่ในช่วง 55 - 58 % Fe ซึ่งเมื่อนำมาเผาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของหัวแร่แล้ว จะส่งผลให้คุณภาพของหัวแร่ใกล้เคียงกับระดับ 60 % Fe โดยมีรายละเอียดของการทดลองแต่ละช่วงขนาด ดังนี้

##### 4.5.1.1 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 200 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง

จากผลการทดลองพบว่าแร่เหล็กที่อยู่ในศิลาแลง เมื่อผ่านเครื่องเพิ่มคุณภาพแล้ว คุณภาพของหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก และค่าการเก็บกลับคืนได้ของหัวแร่ โดยเพิ่มจาก 25.71 % ในแร่ป้อน เป็น 58.70 % Fe ในหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก และสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้ เท่ากับ 23.30 %

ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาดเล็กกว่า 200 เมช โดยทำการผ่าน ตัวอย่างแร่เข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูงที่ทำการตั้งค่า ไว้แล้วจะแสดงไว้ใน ตารางที่ 4-2 และแผนผังแสดงขั้นตอนการแต่งแร่ขนาดเล็กกว่า 200 เมช จะแสดงให้เห็นใน รูปที่ 4.3





รูปที่ 4.3 แผนผังการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 200 เมช ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มสูงแบบเปียก

ตารางที่ 4-2 แสดงสมมูลมวลที่ได้จากการแต่งแร่ที่ขนาดเล็กลงกว่า 200 เมช ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียกความเข้มสูง

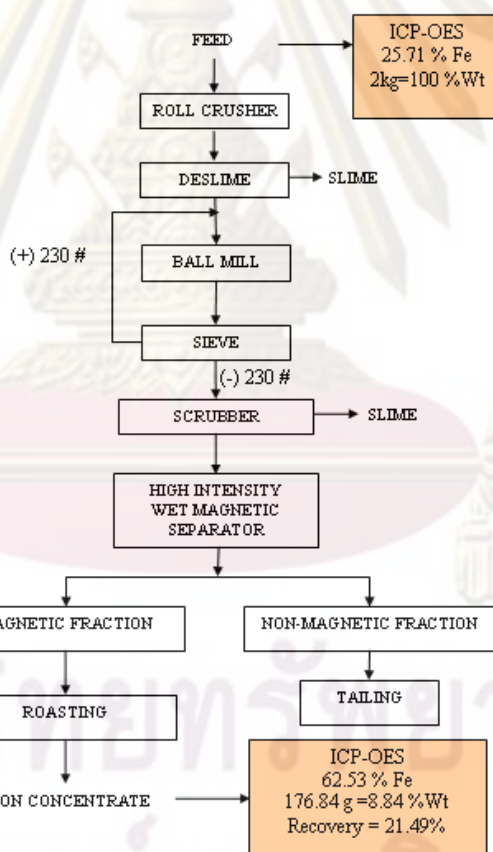
ขนาด	น้ำหนัก		ผลวิเคราะห์แร่เหล็ก (% Fe)	ร้อยละของการกระจายตัว (%Distribution)
	กรัม	เปอร์เซ็นต์(%)		
หัวแร่	204.2	10.21	58.70**	23.30
หางแร่	1795.8	89.79*	21.96	76.69
แร่บ่อน	2000.00	100	25.71	100

\* คำนวณโดยวิธีสมมูลมวล, \*\* คุณภาพของหัวแร่หลังผ่านการเผา

#### 4.5.1.2 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง

จากผลการทดลองพบว่าแร่เหล็กที่อยู่ในศิลาแลง เมื่อผ่านเครื่องเพิ่มคุณภาพแล้ว คุณภาพ ของหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก และค่าการเก็บกลับคืนได้ของหัวแร่ โดยเพิ่มจาก 25.71 % ในแร่ป้อน เป็น 62.53 % Fe ในหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก และสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้เท่ากับ 21.49 %

ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาดเล็กกว่า 230 เมช โดยทำการผ่านตัวอย่างแร่เข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง จะแสดงในตารางที่ 4-3 และแผนผังแสดงขั้นตอนการแต่งแร่ขนาดเล็กกว่า 230 เมช จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4 .4 แผนผังการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียก

ตารางที่ 4-3 แสดงสมมูลมวลที่ได้จากการแต่งแร่ที่ขนาดเล็กกว่า 230 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง

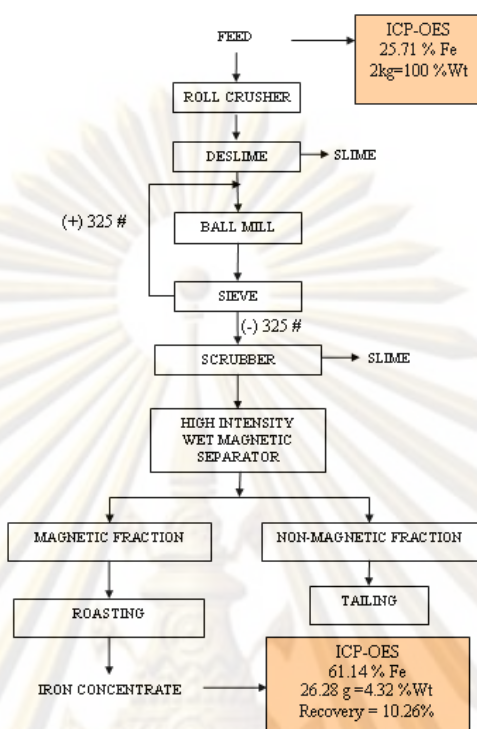
ขนาด	น้ำหนัก		ผลวิเคราะห์แร่เหล็ก (% Fe)	ร้อยละของการกระจายตัว (%Distribution)
	กรัม	เปอร์เซ็นต์(%)		
หัวแร่	176.84	8.84	62.53**	21.49
หางแร่	1823.16	91.16*	22.28	77.34
แร่ป้อน	2000.00	100	25.71	100

\* คำนวณโดยวิธีสมมูลมวล, \*\* คุณภาพของหัวแร่หลังผ่านการเผา

#### 4.5.1.3 ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 325 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง

จากผลการทดลองพบว่าแร่เหล็กที่อยู่ในศิลาแลงเมื่อผ่านเครื่องเพิ่มคุณภาพแล้วคุณภาพของหัวแร่ที่ติดแม่เหล็ก และค่าการเก็บกลับคืนได้ของหัวแร่ โดยเพิ่มจาก 25.71 % ในแร่ป้อน เป็น 61.14 % Fe ในหัวแร่ที่ติดแม่เหล็กและสามารถเก็บกลับคืนแร่เหล็กได้เท่ากับ 10.26 %

ผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กขนาดเล็กกว่า 325 เมช โดยทำการผ่านตัวอย่างแร่เข้าสู่เครื่องแยกแม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง จะแสดงในตารางที่ 4-11 และแผนผังแสดงขั้นตอนการแต่งแร่ขนาดเล็กกว่า 325 เมช จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4-13



รูปที่ 4.5 แผนผังการทดลองการแต่งแร่เหล็ก ขนาดเล็กกว่า 325 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก แบบเปียกความเข้มข้นสูง

ตารางที่ 4-4 แสดงสมมูลมวลที่ได้จากการแต่งแร่ที่ขนาดเล็กลงกว่า 325 เมช ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเปียกความเข้มข้นสูง

ขนาด	น้ำหนัก		ผลวิเคราะห์แร่เหล็ก (% Fe)	ร้อยละของการกระจายตัว (%Distribution)
	กรัม	เปอร์เซ็นต์(%)		
หัวแร่	86.28	4.32	61.14**	10.26
หางแร่	1913.72	95.68*	24.12	89.73
แร่ป้อน	2000.00	100	25.71	100

\* คำนวณโดยวิธีสมมูลมวล, \*\* คุณภาพของหัวแร่หลังผ่านการเผา

#### 4.5.1.4 วิจัยรณัผลการทดลองการแต่งแร่เหล็กจากแร่ศิลาแลงด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเป็ยก

จากผลการทดลองของการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเป็ยกความเข้มสูงของแร่ตัวอย่างทั้งสามขนาด พบว่าคุณภาพของแร่เหล็กเพิ่มขึ้นถึงระดับเฉลี่ย 60 % ซึ่งอยู่ในระดับที่อุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้ายอมรับได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ขนาดเล็กกว่า 230 และ 325 เมช ซึ่งให้คุณภาพของแร่เหล็กสูงถึง 62.53 % และ 61.14 % ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลการทดลองเบื้องต้นประกอบกับค่าการเก็บกลับคืนได้ของแร่เหล็กแล้วพบว่าแร่เหล็กที่ขนาดเล็กกว่า 230 เมช จะให้ค่าการเก็บกลับคืนที่สูงกว่าที่ 21.49 % ในขณะที่หัวแร่ขนาดเล็กกว่า 325 เมช จะให้ค่าการเก็บกลับคืนเพียง 10.26 % ซึ่งเป็นผลมาจากการสูญเสียเนื้อแร่ในขั้นตอนการล้างและขัดผิวแร่นั่นเอง

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลงด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบเป็ยกความเข้มสูง เป็นวิธีที่สามารถเพิ่มคุณ ภาพของหัวแร่ให้อยู่ในระดับที่อุตสาหกรรมถลุงเหล็กยอมรับได้ โดยทำการแยกแร่ผ่านกระบวนการแยกแร่โดยอาศัยคุณสมบัติแม่เหล็กโดยทำการบดให้มีขนาดเล็กกว่า 230 เมช และผ่านการขัดผิวเพื่อทำความสะอาดก่อนจะเข้าสู่เครื่องแยกแร่แม่เหล็กความเข้มสูงแบบเป็ยกและนำส่วนที่ติดแม่เหล็กมาทำการเผา แต่อย่างไรก็ดีสำหรับกระบวนการดังกล่าว ยังคงมีปัญหในส่วนตัว่าง ๆ ของการเก็บกลับคืนที่ยังคงมีค่าน้อยอยู่ เนื่องมาจากการที่ไม่สามารถควบคุมการสูญเสียเนื้อแร่ในการล้างแร่ขนาดเล็กให้มีปริมาณลดลงได้นั่นเอง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

แร่เหล็กนั้น จัดเป็นแร่อุตสาหกรรมที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ด้วยปริมาณความต้องการเหล็กในปัจจุบัน ส่งผลให้เกิดการแสวงหาแหล่งแร่ใหม่ๆ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต แหล่งแร่แห่งหนึ่งที่มีความน่าสนใจได้แก่ บริเวณ ที่ราบสูงโบลาวน เมืองปากช่อง แขวงนครจำปาศักดิ์ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว บมจ . อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ ผู้เป็นเจ้าของสิทธิ์ในการทำการสำรวจพื้นที่ ได้ทำการสำรวจพบว่าพื้นที่บางส่วนของที่ราบสูงโบลาวน มีการสะสมตัวของแร่บอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งเป็นแร่ต้นกำเนิดอะลูมินาประเภทหนึ่ง จากการประมาณการพบว่าพื้นที่ศักยภาพแร่กินอาณาบริเวณ 727 ตารางกิโลเมตร ชั้นแร่ดังกล่าวถูกปกคลุมด้วยชั้นของศิลาแลง (Laterite) ที่มีความหนาเฉลี่ย 4 เมตร ในชั้นของศิลาแลงดังกล่าวนี้เอง เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางรังสี ก็พบว่าปริมาณของธาตุเหล็ก (Fe) สะสมตัวอยู่ในรูปแร่ประกอบคิดเป็นร้อยละ 26 โดยเฉลี่ย ซึ่งเมื่อประกอบกับพื้นที่ ที่กินอาณาบริเวณกว้าง ส่งผลให้มีปริมาณเหล็กสะสมตัวอยู่ในเป็นปริมาณมาก บมจ . อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์จึงได้นำตัวอย่างจากชั้นดินดังกล่าวมาทำการศึกษาเพื่อทดลองคัดแยกแร่เหล็กออกจากศิลาแลง แต่ผลที่ได้ยังไม่สามารถส่งไปทำการถลุงในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กกล้าได้ ทำให้จำเป็นต้องหากระบวนการที่ให้ประสิทธิภาพและคุณภาพของหัวแร่สูงกว่ามาทดแทน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อ ออกแบบกระบวนการ ที่สะดวกและเหมาะสมในการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลง ได้โดยอาศัยความแตกต่างทางด้านคุณสมบัติแม่เหล็กของแร่และมลทินที่เกิดร่วมกันเป็นสำคัญ โดยแร่ที่เป็นมลทินสำคัญสำหรับการแต่งแร่เหล็ก ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ อลูมินา และแร่ควอตซ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ ควอตซ์ ที่ถูกเคลือบด้วยเหล็กออกไซด์ จะเป็นตัวการสำคัญที่ ส่งผลต่อ กระบวนการแต่งแร่ และ ด้วยลักษณะของแร่ที่มี อลูมินา และซิลิกาในปริมาณสูงนี้เอง ทำให้กระบวนการล้างแร่ (Desliming) ถูกนำเข้ามาใช้ เพื่อลดปริมาณแรมลทินเหล่านี้ลง จากการล้างแร่พบว่าสามารถเพิ่มคุณภาพของโลหะเหล็กในแร่ขึ้นจาก 25.71 % Fe ในแร่ป้อนเป็น 28 - 30 % Fe ในแร่ที่ผ่านการล้างแร่แล้ว

ถึงแม้ว่าการล้างแร่จะสามารถลดปริมาณมลทิน ในแร่ลงได้ก็ตาม แต่ก็ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อแร่กว่า 50% โดยน้ำหนัก รวมถึงไม่สามารถที่กำจัดมลทินสำคัญออกได้ ทั้งหมด ซึ่งสังเกตเห็นได้โดยการส่องกล้องจุลทรรศน์ ที่ยังคงพบเม็ดแร่ควอตซ์ ที่มีสีส้มแดงปะปน อยู่ การขัดผิวแร่

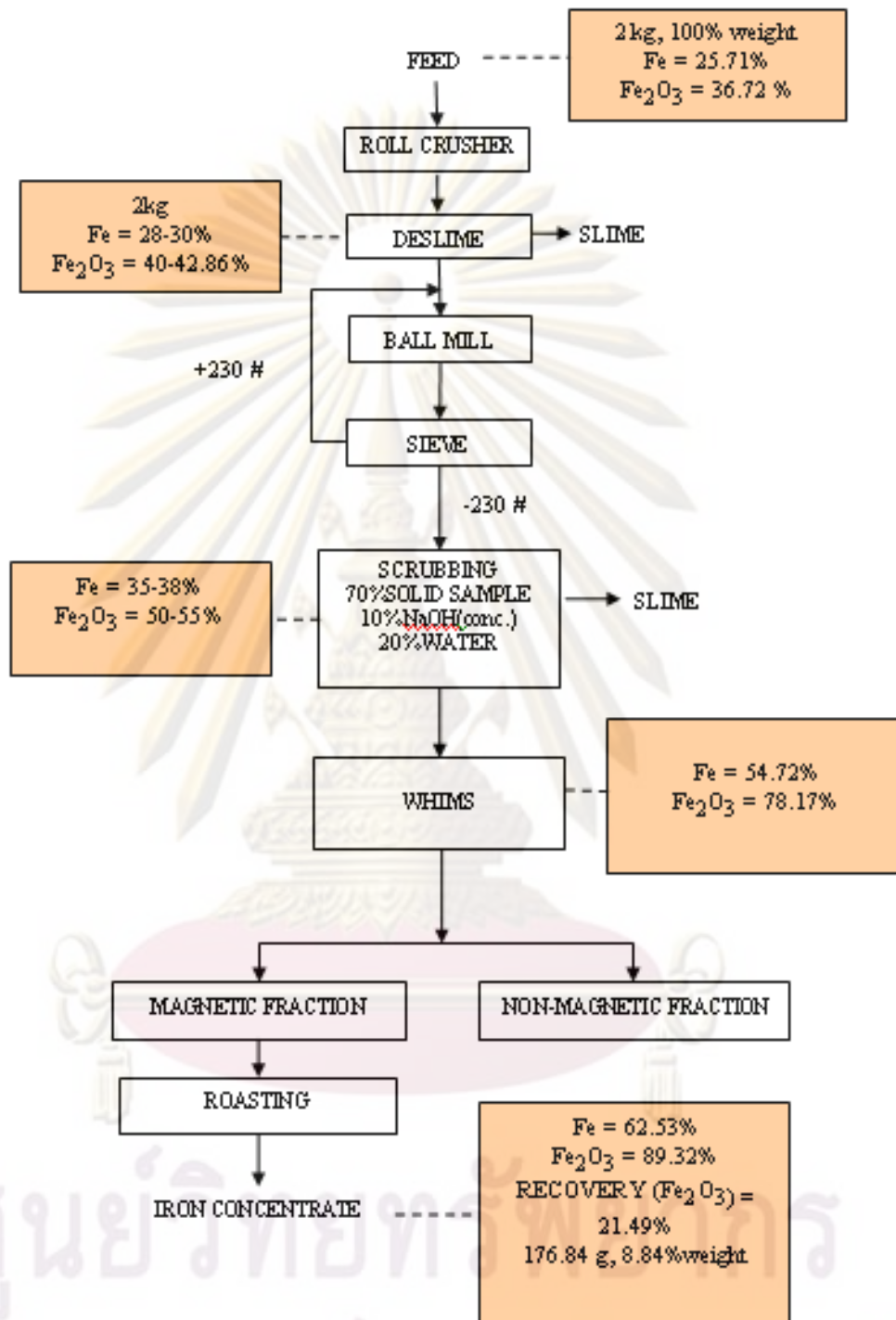
(Scrubbing) เป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำให้แร่ ควอตซ์ และมลทินอื่นๆสะอาดขึ้น โดยการขัดแร่เกอไทต์ ที่เคลือบเกาะอยู่บริเวณผิวของแร่ และมลทินได้ด้วยการขัดสีของอนุภาคแร่ นอกจากนี้การขัดผิวแร่ ยังสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของโลหะเหล็กในแร่จากเดิมที่มีค่าเท่ากับ 25.71 % Fe ให้เป็น 35 - 38 % Fe

จากการนำแร่ที่ผ่านการ ขัดผิวมาส่งกล้องจุลทรรศน์ทำให้ทราบ ว่าที่ขนาด เล็ก กว่า 230 เมช เมื่อส่งกล้องจุลทรรศน์ จะพบแร่ควอตซ์อิสระจำนวนมากและเมื่อนำมาทำการทดลองการแต่งแร่ โดยอาศัยคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียกจะให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด แสดงให้เห็นว่าที่ขนาดดังกล่าวแร่เหล็ก และมลทินในศิลาแลงตัวอย่าง จะมีความเป็นอิสระต่อกัน

กระบวนการแยกแร่ที่นำมาใช้เป็นกระบวนการหลักในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะอาศัยคุณสมบัติ ความแตกต่างทางด้านแม่เหล็ก ของแร่และมลทินอื่นๆที่ปะปนอยู่ในศิลาแลงเป็นสำคัญ โดยการแยกแร่จะนำเอาเครื่องมือแยกแร่ที่อาศัยคุณสมบัติแม่เหล็ก อันได้แก่ เครื่องแยกแม่เหล็ก ความเข้มข้นแบบเปียก เข้ามาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการแยกแร่เหล็กชนิดต่างๆออกจากตัวอย่างศิลาแลง

หากพิจารณาขนาดแร่ที่เหมาะสมกับการแยกแร่แล้วพบว่า ช่วงขนาดที่เหมาะสมในการคัดแยกแร่ของทั้งสองกระบวนการมีความแตกต่างกัน โดยการคัดแยก แร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก แบบเปียก ความเข้มข้น จะมีประสิทธิภาพในการคัดแยกสูงสุดที่ ขนาดของเม็ดแร่ที่บ่อน เล็กกว่า 230 เมช โดยทำการบ่อนแร่ด้วยอัตรา  $1.54 \times 10^{-5}$  ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยจะสามารถให้คุณภาพเฉลี่ยของหัวแร่เหล็ก ภายหลังการเผาเพิ่มคุณภาพ อยู่ที่ 62.53 % Fe และมีค่าการเก็บกลับคืนได้เท่ากับ 21.49 % Recovery

ถึงแม้ว่าการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียก จะให้ค่าร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ของแร่เหล็กในปริมาณที่ลดลงและน้อยกว่ากระบวนการค้ำเบื้องต้นของ บมจ.อิตาเลียนไทยดีเวลลอปเม้นท์ แต่ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาวิจัยมุ่งเน้นไปที่คุณภาพของหัวแร่ ให้มีคุณภาพสูงถึงระดับที่อุตสาหกรรมถลุงเหล็กยอมรับได้ (โดยค่าคุณภาพของเหล็กอยู่ที่ 60 % Fe หรือคิดเป็น 85.71 %  $Fe_2O_3$  โดยประมาณ) กระบวนการแต่งแร่ ที่เหมาะสม จึงพิจารณา ให้ใช้เครื่องแยกแม่เหล็กความเข้มข้นแบบเปียกที่ให้ค่าคุณภาพของหัวแร่อยู่ในระดับที่ อุตสาหกรรมถลุงเหล็กกล้ายอมรับได้ เป็นเครื่องมือคัดแยก แร่หลักของกระบวนการ โดยมีแผนผังสรุปกระบวนการแต่งแร่เหล็กในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังสรุปกระบวนการแต่งแร่เหล็กจากสินแร่ที่ได้จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้



ผลการวิจัยสามารถนำมาใช้ออกแบบกระบวนการแต่งแร่เหล็กจากศิลาแลง หากพิจารณาถึงค่า % Recovery เมื่อเทียบกับแร่ดิบแล้วจะสามารถพิจารณาได้คือ 22.66% โดยมีน้ำหนักหัวแร่เท่ากับ 176.84 กรัม โดยมีการป้อนแร่เข้าสู่กระบวนการทั้งหมด สองกิโลกรัม ดังนั้นจะคิดเป็นร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ของการแต่งแร่ตลอดทั้งกระบวนการเป็นดังนี้

$$\text{ร้อยละของการเก็บกลับคืนได้ของหัวแร่สุดท้ายของการแต่งแร่รวม} = \frac{(176.84 \times 100)}{(2000)} = 8.84 \%$$

นั่นคือ หากทำการป้อนแร่ปริมาณหนึ่งล้านตันเข้าสู่กระบวนการแยกแร่จะสามารถเก็บหัวแร่ที่มีคุณภาพสูงในระดับที่อุตสาหกรรมเหล็กกล้ายอมรับได้เท่ากับ 0.88 ตัน

สาเหตุที่ทำให้ปริมาณหัวแร่ที่เก็บได้มีค่าน้อยทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลายประการดังนี้

### 1. ปัจจัยจากธรรมชาติของตัวแร่

จากการทดลองจะพบว่าแร่ตัวอย่าง มีลักษณะเป็นหัวแร่คุณภาพต่ำ รวมทั้งมีมลทินที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็ก และขนาด ใกล้เคียงกับหัวแร่ ส่งผลให้การแยกแร่ไม่ได้ผลเท่าที่ควร

### 2. ปัจจัยที่เกิดจากกระบวนการ

เนื่องจากกระบวนการแยกแร่ที่ได้ออกแบบมานั้น มีการล้างแร่หลายขั้นตอน เพื่อทำความสะอาดแร่ให้สามารถเข้าสู่กระบวนการแยกแร่ด้วยแม่เหล็กได้โดยไม่รบกวนระบบมากนัก ส่งผลให้แร่ส่วนหนึ่งสูญเสียไปในกระบวนการขัดผิวและล้างแร่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแร่ที่ขนาดเล็กกว่า 200 เมช ส่งผลให้ค่าการเก็บกลับคืนได้ลดลง

### 3. ปัจจัยจากข้อจำกัดของเครื่องมือและอุปกรณ์

จากการทดลองที่ผ่านมา ทำให้เห็นว่าถึงแม้กระบวนการแต่งแร่เหล็กดังกล่าว จะไม่ซับซ้อนแต่มีขั้นตอนและอุปกรณ์ที่หลากหลาย ข้อจำกัดของอุปกรณ์ต่างๆ อาทิ ช่วงความเข้มข้นแม่เหล็ก หรือ ช่วงตะแกรงคัดขนาด ที่ไม่สามารถหาช่วงขนาดที่ละเอียดมากพอมาทำการทดลอง จึงอาจส่งผลให้เมื่อทดลองรวมกันทั้งกระบวนการอาจเกิดการสูญเสียของเนื้อแร่มากกว่าที่ควรได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยขั้นต่อไป

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการแต่งแร่เหล็กจากคิลาแลง (Laterite) นั้น สามารถกระทำได้จริงโดยอาศัยกระบวนการคัดแยกแร่ที่ใช้คุณสมบัติแม่เหล็ก แต่เพื่อให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการแต่งแร่เหล็กจากแหล่งแร่ที่มีคุณภาพต่ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจึงควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของกรดซัลฟิวริก โดยมีการศึกษาตัวแปรต่างๆอย่างละเอียด ทั้งนี้จากการทดลองจะพบว่าขั้นตอนการซัลฟิวเรชั่นเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของกระบวนการ โดยหากซัลฟิวเรชั่นได้อย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยเพิ่มคุณภาพของหัวแร่ได้อย่างมาก

ในส่วนของการศึกษาขั้นต่อไปนั้น นอกจากการศึกษาในส่วนของกระบวนการซัลฟิวเรชั่นนั้น อีกกระบวนการหนึ่งซึ่งควรทำการศึกษาเพิ่มเติมคือ การศึกษาเพื่อหาวิธีเก็บกลับคืนเนื้อแร่ที่สูญเสียไปจากการล้างทั้งในกระบวนการของการล้างแร่และการล้างเอามลทินออกภายหลังจากการซัลฟิวเรชั่น ซึ่งทั้งสองส่วนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่าการเก็บกลับคืนได้ของกระบวนการลดลงซึ่ง หากหาวิธีแก้ไขได้จะสามารถเพิ่มความเป็นไปได้ในการนำกระบวนการมาใช้งานจริงในอีกทางหนึ่ง

สำหรับการใช้งานจริงของกระบวนการแต่งแร่ที่ได้ทำการออกแบบนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษา ถึงความเป็นไปได้ และ ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ของกระบวนการ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานมากในหลายขั้นตอน อาทิ การบดแร่ และการเผาแร่เพื่อปรับปรุงคุณภาพหัวแร่ การใช้งานดังกล่าวจะนำมาซึ่งต้นทุนในส่วนของเชื้อเพลิง ดังนั้นการศึกษาค่าความเป็นไปได้ของกระบวนการ จึงควรทำโดยอาศัยข้อมูลของราคาเหล็กและคุณภาพของเหล็กที่ตลาดต้องการเป็นสำคัญ

นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ลอยแร่ กับแร่ตัวอย่างจากแหล่ง เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้คุณสมบัติแม่เหล็กมาคัดแยกแร่ได้ในอนาคต

## รายการอ้างอิง

- (1) บุญช่วย ศรีสวัสดิ์. ราชอาณาจักรลาว.พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศรีสยาม 2547
- (2) Photo Galleries. Laos 2005-06 Travelogue  
Available at URL: <http://www.molon.de/travelogues/Laos/2005/part2.html>  
Access date: 14 July 2007
- (3)ณรงค์ ไกรวัฒน์พงศ์, บัญชา วงศ์แก้วโพธิ์ทอง และคณะ. การทดลองเบื้องต้นในการแต่งแร่เหล็กจากชั้น A ของแหล่งแร่บอกไซต์ ที่ราบสูงโบลาเวน เมืองปากช่อง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว. กรุงเทพมหานคร : บมจ. อิตาเลียนไทยดีเวล็อบเมนท์, 2550.
- (4) ภิญญ มีขำนะ. หัวหน้าภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม. เอกสารคำสอนรายวิชา Mineral Processing. ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม : ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- (5) B.A.WILLS. Mineral Processing Technology. 4<sup>th</sup> Edition. Materials Science and Technology. Headington Hill Hall,Oxford OX3 0BW : Pergamon Press, 1988.
- (6) กรมส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับศิลาแลง  
Available at URL: [www.ipst.ac.th/science/know\\_07.shtm](http://www.ipst.ac.th/science/know_07.shtm)  
Access date: 10 February 2008
- (7) สง่า ตั้งชวาล. ธรณีวิศวกรรมขั้นพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 4. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- (8) Cornelis Klein,Conelis s.Hurlbut,Jr. Mannual Of Mineralogy(After James D.Dana). 19<sup>th</sup> Edition. New York: JOHN WILEY &SON INC, 1976.
- (9) Minerals, rocks & gemstones. Hematite  
Available at URL:<http://gwydir.demon.co.uk/jo/minerals/hematite.html>  
Access date: 12 December 2007
- (10) The mineralogy of Nova Scotia.Dunbrack Mine  
Available at URL: [nsminerals.atSPACE.com/Dunbrack.html](http://nsminerals.atSPACE.com/Dunbrack.html)  
Access date: 12 December 2007

(11) Wikipedia. Gibbsite – Wikipedia.

Available at URL: <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Gibbsite>

Access date: 12 December 2007

(12) Westpromachinery Inc. Attrition Scrubber

Available at URL: <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Gibbsite>

Access date: 12 December 2007

(13) เอกภาพ ศรีเรืองฤทธิ์และคณะ, รายงานการแต่งแร่ฮีมาไทต์ ของแหล่งแร่ภูอ่าง บ้านหนองฮี ตำบลนาดินดำ จังหวัดเลย, กรุงเทพฯ: กลุ่มอุตสาหกรรมพื้นฐาน 2 สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม เมษายน 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

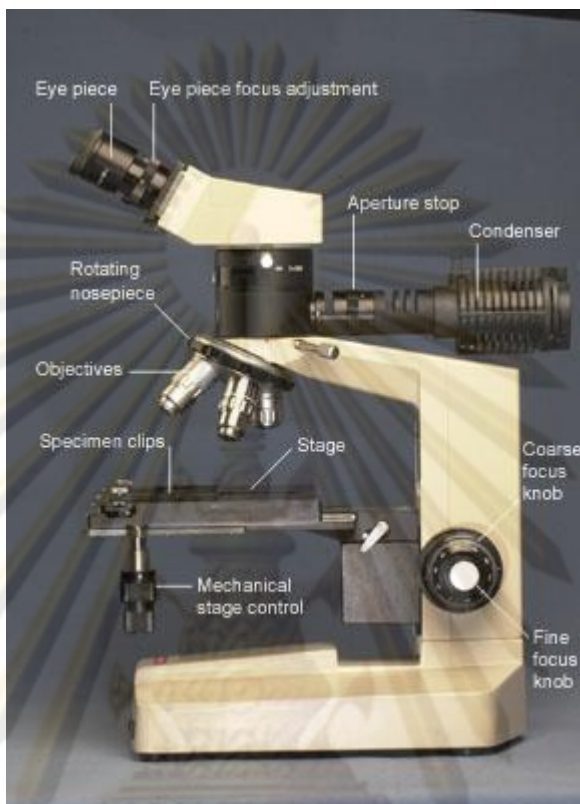


ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ก. เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### กล้องจุลทรรศน์ (Reflected Optical Microscope)



ที่มา [www.doitpoms.ac.uk/tlplib/optical-microscopy/](http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/optical-microscopy/)

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ขยายให้เป็นภาพขนาดใหญ่และมองเห็นรายละเอียดมากขึ้น ปกติตาคนเราจะมีความสามารถในการจำแนกรายละเอียด (Resolving Power) เพียง 0.25 มม. ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยจะสามารถแยกแยะรายละเอียดได้ถึง 0.25  $\mu\text{m}$  โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงกล้องจุลทรรศน์จะหมายถึงกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical or Light Microscope) ซึ่งสามารถขยายภาพสูงสุดไม่เกิน 2,000 เท่า ใช้ประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้างานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้หลายสาขาวิชา

กล้องจุลทรรศน์สำหรับงานโลหะวิทยา จะแตกต่างจาก กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในงานชีววิทยา เนื่องจากโลหะเป็นวัตถุทึบแสง จึงต้องอาศัยหลักการตกกระทบและสะท้อนแสงของผิวหน้าที่เรียบของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดแสงสำหรับกล้องจุลทรรศน์มี 2 แบบคือ แสงธรรมดา และลำแสงอิเล็กตรอน

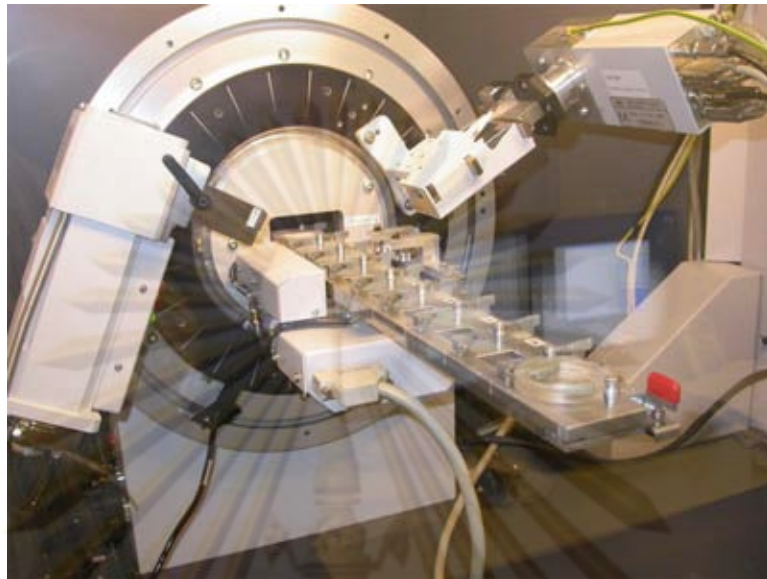
กล้องจุลทรรศน์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง ส่องลำแสงผ่านเลนส์ไปตกกระทบบนแผ่นแก้วสะท้อนแสง ทำให้แสงสะท้อนตกลงบนผิวตัวอย่างในลักษณะตั้งฉาก ผิวที่ขัดเรียบของ

ตัวอย่างจะสะท้อนแสงกลับขึ้นไปผ่านเลนส์วัตถุ แล้วไปผ่านเลนส์ตา ก่อนจะผ่านเข้าตาผู้ดูทำให้เห็นภาพขยายของโครงสร้าง กล้องจุลทรรศน์ธรรมดามีกำลังขยายตั้งแต่ 50 เท่า จนถึง 1,000 เท่า เลนส์วัตถุที่ใช้มี 2 แบบ คือ แบบเปียกกับแบบแห้ง แบบแห้งให้กำลังขยายต่ำ แบบเปียกให้กำลังขยายสูง คำว่าเปียกหรือแห้งหมายถึง สื่อ (Media) ระหว่างเลนส์กับวัตถุตัวอย่าง แบบแห้งสื่อคือ อากาศ แบบเปียกสื่อคือ น้ำมัน ซึ่งมีดัชนีหักเหสูงโดยใช้น้ำมัน เพื่อเพิ่มความคมชัดในการขยายภาพ แต่ควรต้องระวังเรื่องการทำความสะอาดเลนส์ด้วย



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ข. เครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ X-Ray Diffractometer (XRD)



ที่มา (<http://www.dartmouth.edu/~earthsci>)

เอกซเรย์ ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffraction) เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุในรูปของสารประกอบซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย เครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (XRD) ถูกนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในการค้นคว้าวิจัยสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นฐานรวมทั้งในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ โดยทั่วไปสามารถประยุกต์ใช้ในด้านของธรณีวิทยา ในด้านของเคมีเกี่ยวกับอนินทรีย์สาร ในด้านของฟิสิกส์ ในด้านการค้นคว้าวิจัยอุปกรณ์เครื่องมือและในด้านของอุตสาหกรรมแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น หลักการการทำงานในด้านของธรณีวิทยา ในด้านของเคมีเกี่ยวกับอนินทรีย์สาร ในด้านของฟิสิกส์ ในด้านการค้นคว้าวิจัยอุปกรณ์เครื่องมือและในด้านของอุตสาหกรรมแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น หลักการการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (XRD) สามารถอธิบายได้ คือ ในอะตอมหนึ่งของธาตุใดๆ จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ นิวเคลียสและอิเล็กตรอน เมื่อลำอิเล็กตรอนซึ่งเป็น Primary Electron ถูกยิงเข้าสู่ผิววัตถุก็จะเคลื่อนที่ไปชนอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบนิวเคลียสของอนุภาคแล้วสะท้อนกลับออกมา อิเล็กตรอนที่สะท้อนกลับออกมานี้ เรียกว่า Backscatter Electron ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกชนได้รับการถ่ายเทพลังงาน Backscatter Electron ทำให้มีพลังงานสูงกว่าแรงดึงดูดจากนิวเคลียส จึงเคลื่อนที่หลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนตัวนี้เรียกว่า Secondary Electron หาก Secondary Electron เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดจากวงโคจรชั้นในแล้ว อิเล็กตรอนจากวงโคจรชั้นนอกที่มีพลังงานจลน์สูงกว่า ก็จะกระโดดเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการคายพลังงานออกมา



ซึ่งจะถูกตรวจจับโดยเครื่องตรวจจับสัญญาณและเนื่องจากว่าค่าพลังงานในแต่ละชั้น วงโคจรของ  
ในแต่ละธาตุ จะมีค่าเฉพาะตัว ขึ้นอยู่กับขนาดและรัศมี ของวงโคจรจึงสามารถทราบได้ว่าเป็นธาตุ  
ใด ในขณะที่เดียวกันก็มี Primary Electron บางส่วน ที่ไม่ชน แนวการเคลื่อนที่ให้อิเล็กตรอนกลับ  
ขึ้นมา อิเล็กตรอนส่วนนี้เรียกว่า Auger Electron

จากสูตร  $n = 2d \sin \theta$  ( คือมุมที่กวาดตอนทำ XRD)

ค่าที่สนใจคือค่า  $d$  ซึ่งคือ ระยะระหว่างอะตอมในผลึก อันเกิดจากการเชื่อมพันธะ ค่า  $d$   
เป็นค่าเฉพาะในแต่ละธาตุ หากทราบค่านี้ก็จะทราบโครงสร้างของธาตุ ทำให้ทราบว่าธาตุที่  
วิเคราะห์เป็นธาตุใด และ

จาก  $d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$  ก็จะสามารถบอกชนิดโครงสร้างของสารประกอบได้ ในการทำ XRD ดังนั้น เมื่อรังสี  
กระทบตัวอย่าง รังสีจะเกิดการกระจาย จึงต้องใช้ Collimator และ Crystal มาจับให้รวมกัน เครื่อง  
ตรวจจับจึงสามารถตรวจจับและแปลข้อมูลออกเป็นกราฟได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ค.เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)



(ที่มา <http://www.geos.ed.ac.uk/facilities/X-rayFluorescence>)

เมื่อปี ค.ศ. 1895 W.C. Rontgen ได้ค้นพบรังสีเอกซ์ (X-Ray) ซึ่งเป็นสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่ง มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.1-100 อังสตรอม ( $\text{\AA}$ ) หรือ 0.1-10 nm แต่ที่ใช้ในทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ในช่วง 0.07-0.2 nm รังสีเอกซ์จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หลายๆอย่าง ซึ่งการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องเอกซ์ เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีเป็นแบบไม่ต้องทำลาย ตัวอย่าง (Non-destructive analysis) สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ธาตุเดี่ยวๆทีละธาตุ (Sequential) หรือวิเคราะห์หลายธาตุพร้อมกัน (Simultaneous) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ทันสมัย มีความสามารถสูง ได้นำมาใช้ในระบบข้อมูลด้วย ช่วยให้เทคนิคนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นทั้งในด้านอุตสาหกรรมและการวิจัย เพราะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ทางเคมีได้แทบทุกชนิดของสารตัวอย่างในระดับความเข้มข้นสูงไปจนถึงความเข้มข้นต่ำ บางครั้งสามารถวิเคราะห์ได้ถึงระดับ Trace Analysis (ppm) ซึ่งวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็ว

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง XRF มีอยู่ 2 ระบบ คือระบบที่วัดความยาวคลื่น (Wavelength Dispersion System) และระบบที่วัดเป็นพลังงาน (Kev) (Energy Dispersion System)

โดยในการวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคทาง XRF นั้นมีหลักการและขั้นตอนต่างๆของกระบวนการดังนี้ คือ ลำรังสีเอกซ์ที่ได้จากเครื่อง X-Ray generator (ซึ่งมีหลอดรังสีเอกซ์อยู่) จะถูก

ส่งไปยังสารตัวอย่างเพื่อให้เกิดอันตรกิริยา กับธาตุต่างๆในสารตัวอย่าง แล้วเกิดเอกซ์ เรย์ ฟลูออเรสเซนซ์เป็นลำขนานและไปในทิศทางที่ต้องการ คือ ไปกระทบกับ Analysis Crystal ซึ่งอยู่ในสเปกโทรมิเตอร์ที่ทำให้เป็นสุญญากาศหรือความกดดันต่ำมากๆ Analysis Crystal นี้จะทำหน้าที่กระจายหรือแยกรังสีเอกซ์ออกไปให้มีความยาวคลื่นต่างๆกัน คล้ายกับเกรตติงทำหน้าที่แยกแสงในเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโกปี รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆกันจะถูกวัดความเข้มหรือกำลัง (Power) ด้วยการสแกน (Scan) ของดีเทคเตอร์ สัญญาณที่วัดได้จะถูกส่งไปยังเครื่องเก็บข้อมูล แล้วถ่ายทอดออกมาเป็นสเปกตรัม ด้วยเครื่อง Printer หรือ Recorder จากข้อมูลที่ได้เก็บได้ทั้งหมดของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สามารถนำไปใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ง. Inductive Couple Plasma (ICP) or Radio-Frequency Plasma



เป็นเทคนิคที่ใช้ผลิตพลาสมาโดยไม่ต้องมีขั้วไฟฟ้าให้ Ar ไหลผ่านท่อหรือคอป (torch) ซึ่งทำด้วย quartz ซ้อนกัน 3 ชั้น ที่ปลายด้านบนพันด้วยขดลวดตัวนำทำด้วยโลหะทองแดง (Cu load coil) ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องส่งความถี่วิทยุ (RF Generator) เมื่อปล่อย RF Power (นิยมใช้ 700-1500 วัตต์) เข้าไปใน load coil จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เคลื่อนที่ไปมาใน load coil จะทำให้เกิดคลื่นวิทยุ (ใน ICP นิยมใช้ 27 หรือ 40 MHz) ส่งผลให้เกิดสนามแม่เหล็กที่บริเวณปลายคอปแล้วทำให้เกิดการชักนำให้มีกระแสไฟฟ้า (Eddy Current) ไหลผ่านตัวนำ ทำให้ตัวนำมีความร้อนเกิดขึ้น

ก๊าซ Ar จะถูกทำให้เป็นตัวนำ (แตกตัวเป็นไอออน) โดยทำให้เกิดสปาร์ค หรือ ปล่อยประจุไฟฟ้าจาก Tesla Discharge ให้ผ่านก๊าซ Ar เมื่อทำให้ Ar แตกตัว ได้อิเลคตรอนเกิดขึ้น ประกอบกับถูกเร่งด้วยสนามแม่เหล็ก ทำให้  $e^-$  มีพลังงานเพิ่มขึ้น เกิด Inductive Coupling

โดย  $e^-$  ที่มีพลังงานสูงนี้จะชนกับ Ar ทำให้เกิด  $Ar^+$  และ  $e^-$  มากขึ้นเป็นปฏิกิริยา ถูกใช้กลายเป็นพลาสมา

เมื่อสารตัวอย่าง (ที่ถูกทำให้เป็นฝอย) ได้รับความร้อนจะระเหยเป็นไอ อยู่ในสภาพอะตอมอิสระที่สภาวะกระตุ้น ซึ่งในที่สุดจะคายพลังงานเพื่อกลับสู่ระดับพลังงานที่ต่ำลง ความเข้มของคลื่นแสงที่คายออกมาจะแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่าง

### การเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในแร่ตัวอย่างด้วย เครื่อง Induce Coupled Plasma Spectrometer (ICP)

เนื่องจากกระบวนการแต่งแร่ที่ได้ออกแบบไว้ ให้นำหนักของการเก็บกลับคืนได้ในบางตัวอย่างคิดเป็นปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณแร่ป้อน จึงต้องอาศัยเครื่องมือวิเคราะห์ที่สามารถตรวจวัดตัวอย่างที่มีปริมาณน้อยได้ จึงได้นำการวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่อง ICP-OES ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของหัวแร่ต่างๆ แต่เนื่องจากตัวอย่างที่จะนำเข้าไปวิเคราะห์ผล ต้องอยู่ในรูปของสารละลาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่าง โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เป็นตัวทำละลายแร่ตัวอย่างด้วยความร้อน แล้วเตรียมเป็นสารละลายเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กต่อไป

#### - เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

- บีกเกอร์
- ขวดตวงขนาด 250 มิลลิลิตร
- นาฬิกาจับเวลา
- เตา Hot Plate
- น้ำกลั่น
- โซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์
- ตาชั่งละเอียด
- กรดไฮโดรคลอริก
- เตาเผา

ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่าง จะเริ่มจากการนำเอาโซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์ 0.25 กรัมมาเผาพร้อมกับแร่ 0.25 กรัม ที่ 800°C เพื่อให้แร่หลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำของผสมที่ได้มาทำละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกบน Hot Plate รอจนกว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง สารละลายที่ได้จะถูกเทลงในกระบอกตวงก่อนจะปรับปริมาตรให้ได้เท่ากับ 250 มิลลิลิตรเพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การชั่งน้ำหนักตัวอย่างแร่



ตัวอย่างแร่ที่ผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์บริสุทธิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



การทำละลายของผสมบน Hot Plate



สารละลายที่ทำการปรับปริมาตรเป็น 250 ml

ศูนย์วิจัยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารละลายที่เตรียมไว้สำหรับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย คมสุรย์ สมประสงค์ เกิดเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2527 เป็นบุตรคนโตจากพี่น้อง 2 คน ของนาย สำเร็จ สมประสงค์ และ นางคมคาย สมประสงค์

นายคมสุรย์ สมประสงค์ จบการศึกษาระดับ ชั้นที่ และ 2 ที่โรงเรียนอนุบาลขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ระดับมัธยมศึกษาช่วงชั้นที่ 3 ที่โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์) ระดับช่วงชั้นที่ 4 ที่โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พญาไท กรุงเทพมหานครและจบการศึกษาระดับปริญญา บัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจุบัน นาย คมสุรย์ สมประสงค์ กำลังศึกษาในระดับปริญญาโทบัณฑิตในสาขา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี ที่ ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย