



การศึกษาวิธีการเก็บแร่สังกะสีคืนจากหางแร่ของโรงแต่งแร่บริษัทผาแดง
อินดัสทรีจำกัด (มหาชน)

**A Study on a Process to Recover Zinc Minerals from Processing Plant Tailings of
Padaeng Industry Public Company Limited**

พงศ์ศิริ จุลพงศ์
Pongsiri Julapong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Mining Engineering
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การศึกษาวิธีการเก็บแร่สังกะสีคั้นจากหางแร่ของ โรงแต่งแร่บริษัทผาแดง
 อินทร์จำกัด (มหาชน)
ผู้เขียน นายพงศ์ศิริ จุลพงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.มนูญ มาศนิยม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ์ บุญนวล)

.....
(รองศาสตราจารย์กัลยาณี คุปตานนท์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์กัลยาณี คุปตานนท์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ รัตนกวิน)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การศึกษาวิธีการเก็บแร่สังกะสีคั้นจากหางแร่ของ โรงแต่งแร่บริษัทผาแดง อินดัสทรีจำกัด (มหาชน)
ผู้เขียน	นายพงศศิริ จุลพงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเหมืองแร่
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การศึกษาวิธีการเก็บแร่สังกะสีคั้นจากหางแร่ที่ได้จากกระบวนการแต่งแร่ในส่วนไหลล้นของไฮโดรไซโคลนตัวที่ 1 จากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) โดยต้องการเพิ่มปริมาณสังกะสีให้สูงขึ้นถึงประมาณ 15% Zn จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ชนิดของแร่สังกะสีที่พบในหางแร่มี 2 ชนิดคือสมิทซอไนต์และเฮมิมอร์ไฟต์ ซึ่งในหางแร่นี้ยังคงมีปริมาณสังกะสีอยู่ประมาณ 5-7% Zn แต่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมาก โดยมีผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ d_{25} , d_{50} และ d_{75} เป็น 3, 7 และ 13 ไมครอนตามลำดับ กระบวนการแต่งแร่ที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นกระบวนการที่อาศัยความแตกต่างของแรงโน้มถ่วงของโลก โดยแร่สังกะสีสมิทซอไนต์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 4.3-4.45 และมีรูปร่างกลมกับแร่สังกะสีเฮมิมอร์ไฟต์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 3.4-3.5 รูปร่างเป็นแผ่นแบนแต่หนา จะจมตัวในของไหลได้เร็วกว่าดินเหนียวที่มีรูปร่างเป็นแผ่นแบนบางและความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า เนื่องจากแรงต้านในการจมตัวต่ออนุภาคดินเหนียวสูงกว่าอนุภาคที่มีรูปร่างกลม

เครื่องแต่งแร่ตามวิธีของอิลูตริเอชันถูกออกแบบและสร้าง แล้วนำมาใช้แต่งแร่พบว่าสามารถแต่งหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) จากเกรด 5-7% Zn จนได้หัวแร่เกรด 17.4% Zn ที่อัตราการเก็บแร่ได้ 17% เมื่อปรับความเร็วไหลขึ้นของกระแสน้ำที่ 0.069 เซนติเมตรต่อวินาที

Thesis Title	A Study on a Process to Recover Zinc Minerals from Processing Plant Tailings of Padaeng Industry Public Company Limited
Author	Mr. Pongsiri Julapong
Major Program	Mining Engineering
Academic	Year 2011

Abstract

The objective of this research is to study a process for the recovery of zinc minerals from tailings of Padaeng processing plant. Expected final grade was 15% Zn. From preliminary study, zinc tailings contain two types of zinc minerals, smithsonite and hemimorphite. Zinc content in this zinc tailings was around 5-7% Zn. Zinc particles were very fine with the size distribution at d_{25} , d_{50} and d_{75} at 3, 7 and 13 microns respectively. Mineral processing process being considered was gravity concentration. Sphere-like smithsonite with 4.3-4.45 specific gravity and thick plate-shaped hemimorphite with 3.4-3.5 specific gravity would have greater settling velocity than flat and thin plate-shaped clay minerals with lower specific gravity due to higher drag force against clay particles.

An elutriator was designed and constructed and used to treat this Padaeng processing plant tailings. It was found that the plant tailings with 5-7% Zn could be upgraded to 17.4% Zn with 17% recovery at the control up-flow velocity of 0.069 centimeters per second.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมีได้ออกนาม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในทุกด้านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พิษณุ บุญนวล ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์กัลยาณี คุปตานนท์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำดูแลตลอดช่วงการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณ ดร. มนูญ มาศนิยม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยโรจน์ รัตนกวิน ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ กรรมการสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ ที่คอยให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาเกี่ยวกับการทำปฏิบัติการและงานด้านเอกสารต่างๆ

ขอขอบพระคุณ บุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเคมี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อและสนับสนุนเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สำหรับทุนอุดหนุน การวิจัย สถานีวิจัยวิศวกรรมวัสดุและภาควิชาเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับการอนุเคราะห์สถานที่ในการปฏิบัติการทดลอง

ขอขอบคุณบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) สำหรับการอนุเคราะห์ตัวอย่าง หางแร่สังกะสี ตลอดจนพนักงานที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ บิดา มารดา น้องสาว ที่อยู่เบื้องหลังคอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พงศ์ศิริ จุลพงศ์

สารบัญ

	หน้า
บดคัดย่อ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการรูป	(9)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย	1
1.2 ทฤษฎีและหลักการ	3
1.2.1 ชนิดของแร่สังกะสีและมลทินกลุ่มเคลย์	3
1.2.2 พฤติกรรมการตกตัวของอนุภาคขนาดละเอียด	5
1.3 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	10
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
1.7 สถานที่ทำการวิจัย	11
2. วิธีดำเนินการวิจัย	12
2.1 อุปกรณ์การวิจัย	12
2.2 วัสดุและสารเคมี	13
2.3 การออกแบบการศึกษาและวิธีการศึกษา	14
2.3.1 ศึกษาคุณลักษณะและองค์ประกอบของหางแร่สังกะสี	14
2.3.2 การศึกษาการแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย (Simple Elutriator)	17
2.3.3 การออกแบบสร้างอิลูทริเอเตอร์ขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ	19
2.3.4 การแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ	21
2.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป	22
3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะเบื้องต้น	25
3.1.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดอนุภาคทางแร่สังกะสี	25
3.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย XRD สำหรับอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธี Beaker decantation	26
3.1.3 ผลการศึกษาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับทางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker decantation	29
3.1.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับทางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker decantation	31
3.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่าย	33
3.2.1 ผลการศึกษาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่าย	33
3.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่าย	36
3.2.3 ผลการศึกษาเบื้องต้นด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่าย	39
3.3 ผลการออกแบบและสร้างอิเล็คโตรโอดีขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ	40
3.4 ผลการศึกษากการแต่งแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ด้วยอิเล็คโตรโอดีที่สร้างขึ้น	42
3.4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านการแต่งแร่	42
3.4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีของทางแร่ที่ผ่านกระบวนการแต่งแร่	44
4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ	46
4.1 สรุปผล	46
4.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	49
ประวัติผู้เขียน	70

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)	1
1.2	การออกแบบตัวแปรในการทดลองของ Kapure และคณะ	9
2.1	เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิจัย	12
2.2	วัสดุและสารเคมี	13
3.1	การคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker decantation	27
3.2	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคหางแร่สังกะสีที่ผ่าน การคัดขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation โดยวิธี XRD	27
3.3	เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอชันอย่างง่ายที่ อัตราการไหลของน้ำ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	39
3.4	เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอชันอย่างง่ายที่ อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	40
3.5	ระดับขั้นการเปิดวาล์วกับอัตราการไหลของน้ำที่อิลูทริเอเตอร์	40
3.6	ระดับขั้นการเปิดวาล์วกับความเร็วของกระแสที่อิลูทริเอเตอร์	40
3.7	ความเร็วในการตกตัวของอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในหางแร่สังกะสี (ต้องการเก็บ อนุภาคที่โตกว่า 8 ไมครอนเป็นส่วนจม (Sink)) โดยคำนวณจากสมการของสโตคส์	41
3.8	ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ d_{50} เมื่อแต่งด้วย อิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ	42
3.9	เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ ที่อัตราการไหลของน้ำ 3.2 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	44
3.10	เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ ที่อัตราการไหลของน้ำ 14 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	44
3.11	เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ ที่อัตราการไหลของน้ำ 34.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	44
3.12	เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ ที่อัตราการไหลของน้ำ 56.8 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที	44

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ผังกระบวนการลอยแร่ของบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)	2
1.2	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะผลึกของแร่เฮมิมอร์ไฟต์	3
1.3	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะผลึกของแร่สมิทซอไนต์	4
1.4	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) แสดงรูปร่างของดินเคลย์ (Illite)	4
1.5	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) แสดงรูปร่างของดินเคลย์ (Montmorillonite)	5
1.6	ความสัมพันธ์ระหว่าง Reynold's Number กับ Coefficient of Resistance	6
1.7	เครื่องมือแต่งแร่ที่ใช้หลักการอิฐตรีเอชั่น	7
1.8	เครื่องแต่งแร่ Floatex Density Separator	8
1.9	อิทธิพลของ Teeter Water ที่กระทำต่ออนุภาค	9
2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติ (ก) AAS (ข) SEM with EDX (ค) LPSA (ง) XRD	13
2.2	โรงลอยแร่บริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ก) ไฮโดรไซโคลนชุดที่ 1 ข) ส่วนไหลล้นจากไฮโดรไซโคลนชุดที่ 1 ค) ภายในโรงแต่งแร่ ง) หางแร่ส่วนที่นำมาทำวิจัย	14
2.3	อุปกรณ์การคัดแยกอนุภาคด้วยวิธี Beaker Decantation ก1) เครื่องกวน ก2) ภาชนะ 2 ลิตร ข) การเทน้ำส่วนที่กำหนดเป็นระยะในการตกตัวออก	16
2.4	ชุดทดลองอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย ก) ภาชนะป้อนตัวอย่างขนาด 2 ลิตร และเครื่องกวน ข) ระบายวัดอัตราการไหล (Flow rate meter)	17
2.5	ชุดทดลองอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย ก) ขณะทำการศึกษา ข) ภาพร่างกระบอก อิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย ค) ภาพขยายส่วนป้อนน้ำเข้าอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย	18

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.6	อิลูทริเอเตอร์ (Elutriator) ก) ภาพร่างกระบอกอิลูทริเอเตอร์ ข) ภาพกระบอกอิลูทริเอเตอร์มุมมอง 3 มิติ ค) ภาพมุมมองด้านบน	19
2.7	ภาพขยายท่อปล่อยน้ำในกระบอกอิลูทริเอเตอร์	20
2.8	ถังควบคุมความดันสถิตและวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ก) ถังควบคุมความดันสถิต ข) วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ	20
2.9	ก) อิลูทริเอเตอร์ขณะทดลอง ข1) ถังควบคุมความดันสถิต ข2) ถังป้อน ข3) อิลูทริเตอร์	21
2.10	ผังการศึกษาขั้นที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะ	22
2.11	ผังการศึกษาขั้นที่ 2 ขั้นตอนแต่งหางแร่ด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย	22
2.12	ผังการศึกษาขั้นที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบสร้างอิลูทริเอเตอร์	23
2.13	ผังการศึกษาขั้นที่ 4 ขั้นตอนการแต่งหางแร่ด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ	24
3.1	การกระจายตัวของอนุภาคหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดง อินดัสทรีจำกัด (มหาชน) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง LPSA	26
3.2	XRD Spectrum สำหรับอนุภาคหางแร่สังกะสีที่ผ่านการ คัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker decantation	28
3.3	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับ หางแร่ที่ผ่านการคัดแยกขนาดละเอียดด้วยวิธี Beaker Decantation ที่ช่วงขนาดต่าง ๆ	29
3.4	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาด ด้วยวิธี Beaker decantation ที่ช่วงขนาด 7.78-15.6 ไมครอน	31
3.5	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาด ด้วยวิธี Beaker decantation ที่ช่วงขนาดโตกว่า 15.6 ไมครอน	32

รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการแต่งด้วยอิเล็คโตรีเอเตอร์อย่างง่ายด้วย อัตราการไหล 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ก) ตัวอย่างก่อนผ่านกระบวนการ ข) ส่วนจม ค) ส่วนไหลล้น	34
3.7	ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการแต่งด้วยอิเล็คโตรีเอเตอร์อย่างง่ายด้วย อัตราการไหล 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ก) ตัวอย่างก่อนผ่านกระบวนการ ข) ส่วนจม ค) ส่วนไหลล้น	35
3.8	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับหางแร่สังกะสีก่อนป้อนเข้าแต่งอิเล็คโตรีเอเตอร์อย่างง่าย	36
3.9	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วย อิเล็คโตรีเอเตอร์อย่างง่ายในส่วนจมที่อัตราการไหลของน้ำ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที	37
3.10	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX mapping) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วย อิเล็คโตรีเอเตอร์อย่างง่ายในส่วนจมที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที	38
3.11	อิเล็คโตรีเอเตอร์ที่ออกแบบและสร้างขณะทำการศึกษา	41
3.12	การกระจายตัวของหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรีเอเตอร์ ในส่วนจม	43
3.13	การกระจายตัวของหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรีเอเตอร์ ในส่วนไหลล้น	43
3.14	ปริมาณสังกะสีในหางแร่ ในส่วนจมที่ผ่านกระบวนการแต่ง ด้วยอิเล็คโตรีเอเตอร์กับเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่คืน	45

บทที่ 1

บทนำ

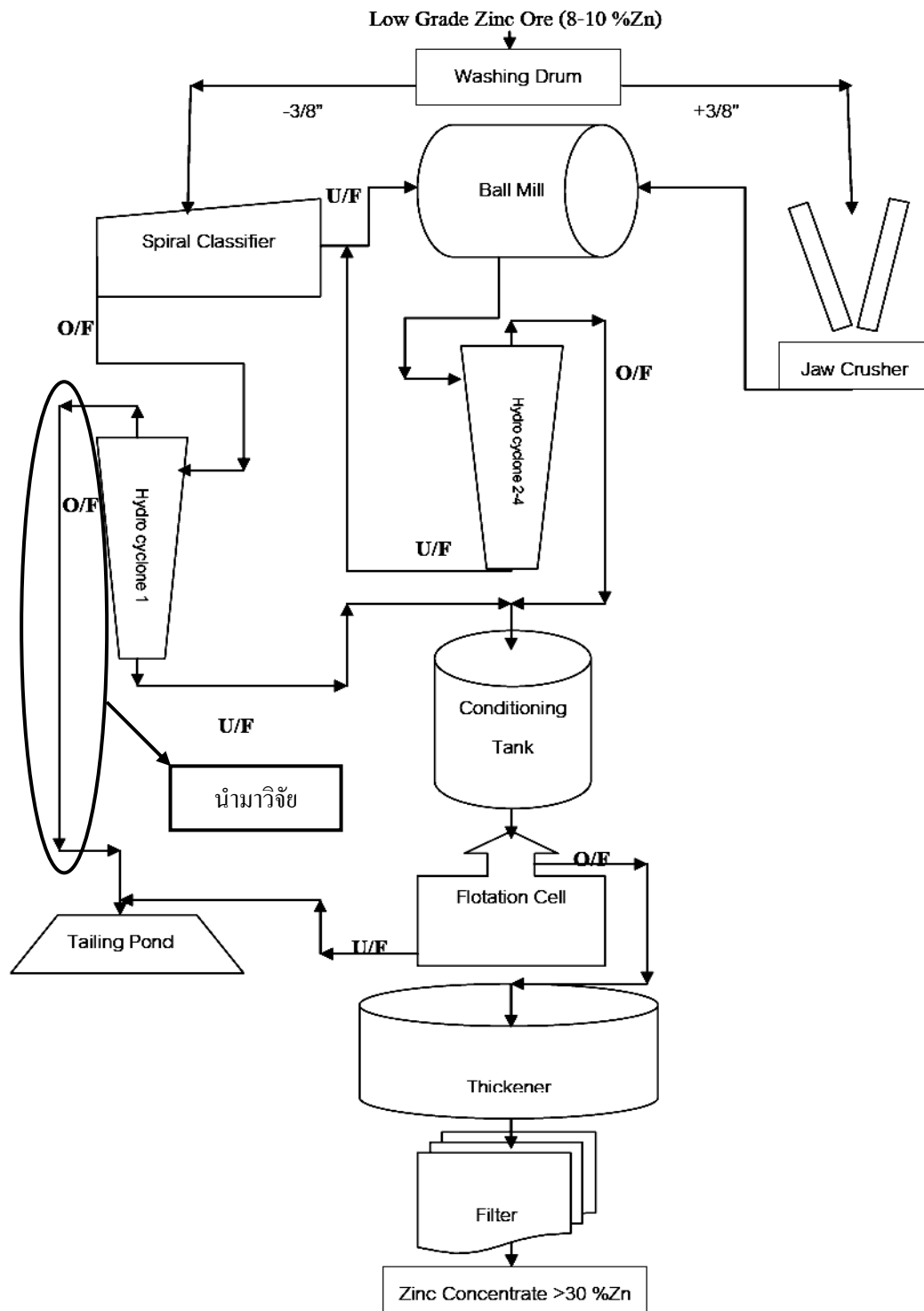
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย

กระบวนการแต่งแร่โดยทั่วไปจะได้แร่ออกมาสองส่วน ส่วนแรกคือหัวแร่ ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้ประกอบการเพื่อนำเข้าสู่อุตสาหกรรมแปรรูปอื่นๆ ต่อไป ส่วนที่สองคือหางแร่ ถือเป็นมลทินหรือเศษเหลือจากกระบวนการแต่งแร่ แต่อย่างไรก็ตามในกระบวนการแต่งแร่นั้น การที่จะได้มาซึ่งหัวแร่นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีและความสามารถของอุปกรณ์หรือเครื่องมือแต่งแร่แต่ละชนิด ซึ่งมีข้อจำกัดในตัวของมันเอง ดังนั้นแน่นอนว่าหางแร่ที่ได้จากกระบวนการแต่งแร่ยังคงมีแร่ส่วนที่ต้องการเหลือตกตะกอนอยู่กับมลทินบ้าง

หางแร่ที่ได้จากกระบวนการแต่งแร่ของบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) (ดูรูปที่ 1.1) ยังคงมีแร่สังกะสีปะปนอยู่ จากผลการวิเคราะห์ (ดูตารางที่ 1.1) พบว่าในส่วนไหลล้นของไฮโดรไซโคลนตัวที่ 1 (OFC-1) มีปริมาณสังกะสีอยู่ประมาณ 5-7% Zn ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกส่งไปเป็นหางแร่ แต่ส่วนที่นำกลับเข้ามาในกระบวนการลอยแร่คือส่วน (UFC-1) ซึ่งมีปริมาณแร่สังกะสีอยู่เพียง 2-3% Zn ดังนั้นหากเราสามารถนำหางแร่สังกะสีที่ได้จากส่วนไหลล้นของไฮโดรไซโคลนตัวที่ 1 (OFC-1) มาแยกมลทินกลุ่มเคลย์ออกไปได้ ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับหางแร่สังกะสีได้ แต่เนื่องจากหางแร่ที่ได้จากกระบวนการมีขนาดอนุภาคเล็กเกินไป ซึ่งไม่เหมาะกับกระบวนการลอยแร่ (Wills 1981) ของโรงลอยแร่บริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) จึงเป็นที่มาของการนำหางแร่สังกะสีมาศึกษาคุณสมบัติต่างๆ เพื่อเลือกวิธีการแต่งแร่ที่เหมาะสมต่อไป

ตารางที่ 1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)

ลำดับ	ตัวอย่าง	เกรดสังกะสี (%Zn)
1	OFC-1 (ส่วนไหลล้นจากไฮโดรไซโคลน 1.)	6.49
2	UFC-1 (ส่วนตกจมจากไฮโดรไซโคลน 1.)	2.21
3	Conc (หัวแร่จากโรงลอยแร่)	35.78



รูปที่ 1.1 ฟังก์ชันการลอยแร่ของบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)

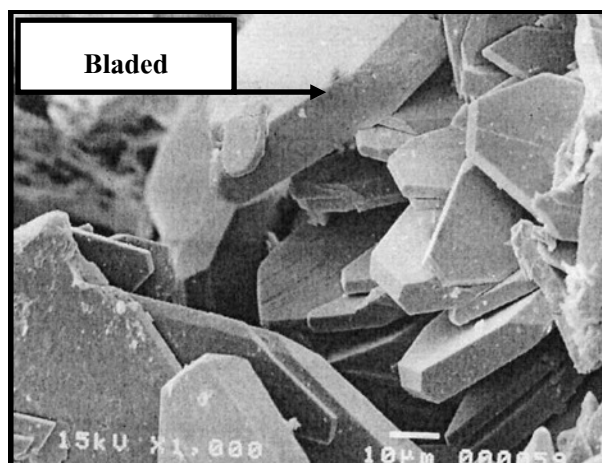
1.2 ทฤษฎีและหลักการ

1.2.1 ชนิดของแร่สังกะสีและมลทินกลุ่มเคลย์

1.2.1.1 แร่เฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ (รูปที่ 1.2)

สมบัติทางกายภาพ : ความถ่วงจำเพาะ 3.4-3.5 เป็นสังกะสีทุติยภูมิ มีสีขาว ขาวแกมฟ้าอ่อน ขาวแกมเขียวอ่อน สีเหลือง สีน้ำตาล มีสีผงเป็นสีขาว ความวาวแบบแก้ว โปร่งแสง ซึ่งพบมากที่สุดในแหล่งแร่ของบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)

ลักษณะผลึก : มีลักษณะคล้ายทรงกลมครึ่งซีกหรือคล้ายรูปหอนไก่หรือแบบ Bladed

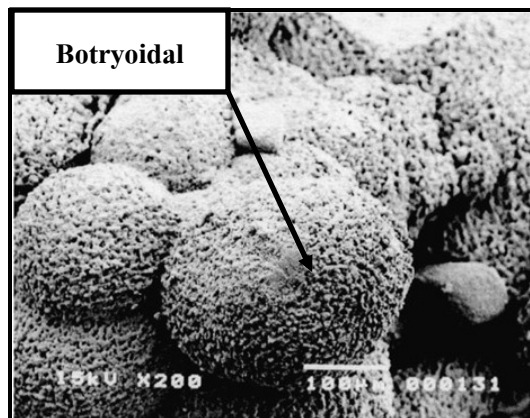


รูปที่ 1.2 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะผลึกของแร่เฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) (Balassone และคณะ 2006)

1.2.1.2 แร่สมิทซอไนต์ (Smithsonite) $ZnCO_3$ (รูปที่ 1.3)

สมบัติทางกายภาพ : ความถ่วงจำเพาะ 4.3-4.45 เป็นสังกะสีทุติยภูมิ มีสีน้ำตาล สีขาว สีเขียว สีชมพู มีสีผงเป็นสีขาว ความวาวแบบแก้ว โปร่งแสง หรืออาจทึบแสงในชนิดเนื้อละเอียด

ลักษณะผลึก : มักพบเป็นตะปุ่มตะป่ำคล้ายพวงองุ่น (Botryoidal)



รูปที่ 1.3 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงลักษณะผลึกของแร่สมิทซอไนต์ (Smithsonite) (Balassone และคณะ 2006)

1.2.1.3 แร่ซิงไคต์ (Zincite) ZnO

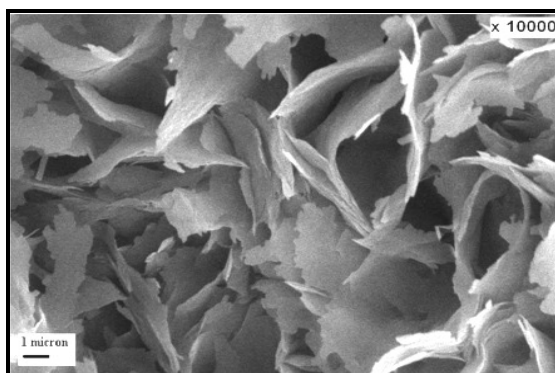
สมบัติทางกายภาพ : ความถ่วงจำเพาะ 5.68 เป็นสังกะสีทศตวรรษมีสีแดงเข้ม-เหลืองเข้ม มีสีผงเป็นสีเหลือง-ส้ม ความวาวแบบกึ่งเพชร โปร่งแสง

ลักษณะผลึก : ปลายด้านหนึ่งของผลึกมักเป็นรูปพีระมิดแหลม (Steep pyramid) อีกด้านหนึ่งเป็นรูป Pedian

1.2.1.4 เคลย์อิลไลต์ (Illite) $(K, H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$ (รูปที่ 1.4)

สมบัติทางกายภาพ : ความถ่วงจำเพาะ 2.6-2.9

ลักษณะผลึก : เป็นระบบโมโนคลินิก รูปร่างเป็นแผ่นแบนบาง

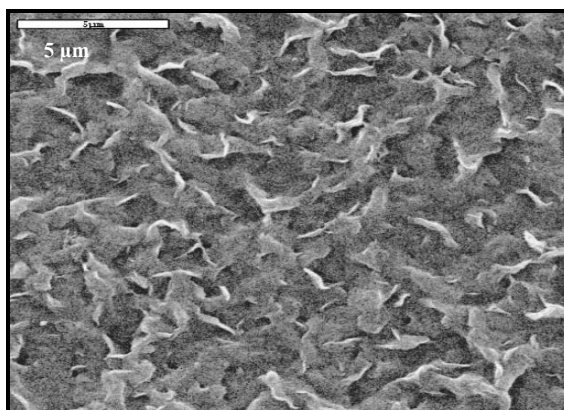


รูปที่ 1.4 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงรูปร่างของเคลย์อิลไลต์ (Illite) (Gualtieri และคณะ 2008)

1.2.1.5 เคลย์มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) $(\text{Na,Ca})_0,3(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n(\text{H}_2\text{O})$

สมบัติทางกายภาพ : ความถ่วงจำเพาะ 2 - 2.7

ลักษณะผลึก : ระบบออกตะฮีดรัล (Octahedral) รูปร่างเป็นแผ่นแบน (ดูรูปที่ 1.5)



รูปที่ 1.5 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงรูปร่างของเคลย์มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) (Ramos-Tejada และคณะ 2000)

1.2.2 พฤติกรรมการตกตัวของอนุภาคขนาดละเอียด

1.2.2.1 ความเร็วปลายของอนุภาคทรงกลมเมื่อตกตัวในของไหล (Terminal velocity)

การตกตัวของอนุภาคทรงกลมในของไหลที่มีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) จะเป็นไปตามสมการของสโตคส์ (Stokes's Equation) (Stokes 1901) ดังสมการที่ 1.1 ซึ่งใช้ได้เฉพาะอนุภาคขนาดละเอียดที่มีค่าเลขเรโนลด์ (Reynold's Number) น้อยกว่า 800 (รูปที่ 1.6) ทั้งนี้โดยประมาณแล้วขนาดอนุภาคที่สามารถใช้กฎของสโตคส์ได้นั้นคือขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า 50 ไมครอน (Wills 1981)

$$v = \frac{(\rho_s - \rho_l)gd^2}{18\eta} \quad (1.1)$$

เมื่อ	v = ความเร็วในการตกตัว (cm/s)	ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาค (g/cm^3)
	d = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (cm)	ρ_l = ความหนาแน่นของของไหล (g/cm^3)
	$g = 981$ (cm/s^2)	η = ความหนืดของของไหล (poise; g/cm.s)

1.2.2.2 ผลของรูปร่างอนุภาคต่อความเร็วในการตกตัว

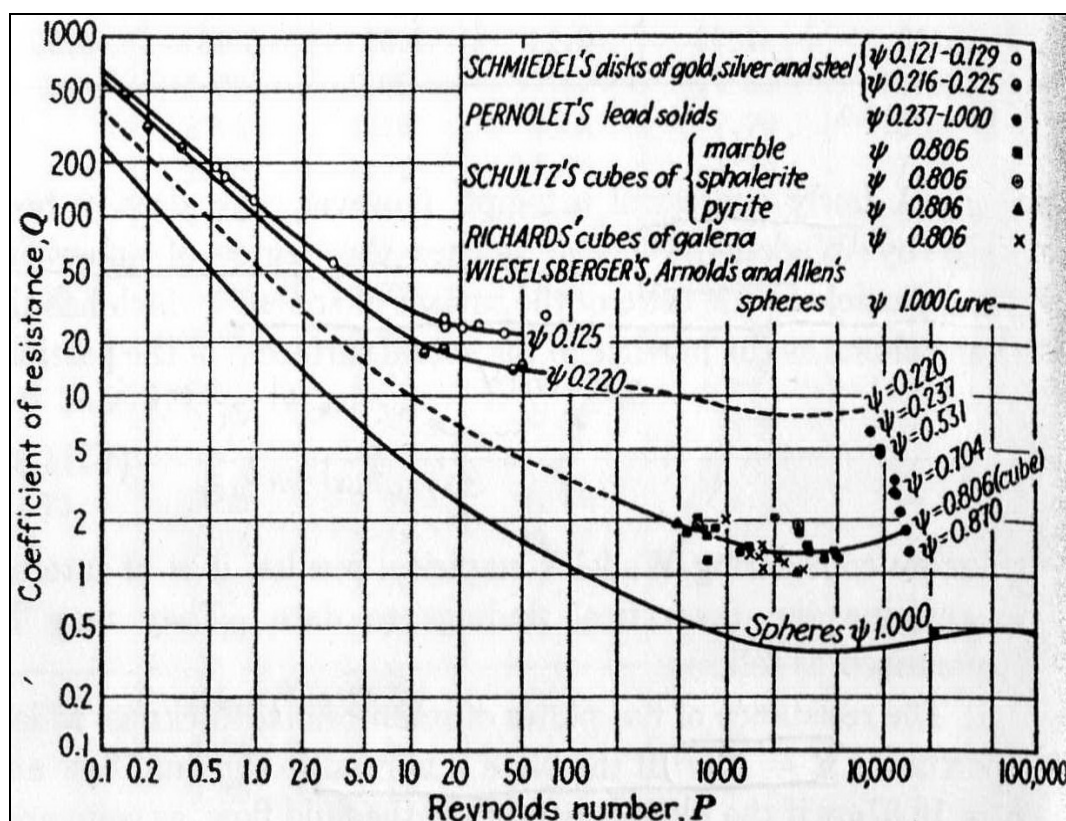
โดยธรรมชาติรูปร่างของอนุภาคไม่ได้เป็นแบบทรงกลมเสมอไป Wadell (1934) ได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างที่ไม่เป็นทรงกลมกับรูปร่างที่เป็นทรงกลมโดยเรียกว่า “Sphericity (ψ)” ดังนี้

$$\psi = \frac{s}{S} \quad (1.2)$$

เมื่อ s = พื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับอนุภาค

S = พื้นที่ผิวจริงของอนุภาค

ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของอนุภาคกับการตกตัวเป็นดังรูปที่ 1.6 ซึ่ง $\psi = 0.806$ คืออนุภาคที่เป็นทรงลูกบาศก์ และ $\psi = 0.125$ และ $\psi = 0.220$ คืออนุภาคที่เป็นแผ่นแบน

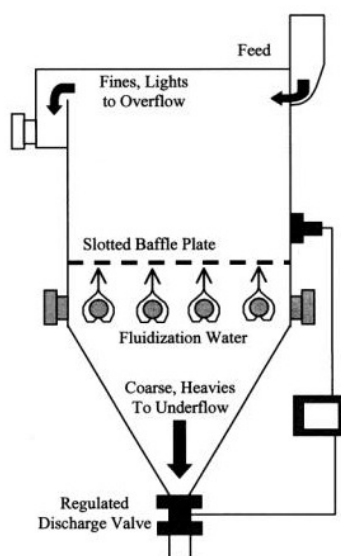


รูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Reynold's Number กับ Coefficient of Resistance ของอนุภาค (Wadell 1934)

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้สามารถหาพื้นที่ผิวของอนุภาคทรงแบน ที่มีปริมาตรเทียบเท่ากับอนุภาคทรงกลมได้โดยใช้ค่า $\psi = 0.220$ ดังนั้น อนุภาคที่ได้จากการัดขนาดโดยใช้ Stokes's Diameters ก็จะได้อนุภาคทรงแบนที่มีพื้นที่ผิวเทียบเท่ากับทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง d เช่นกัน

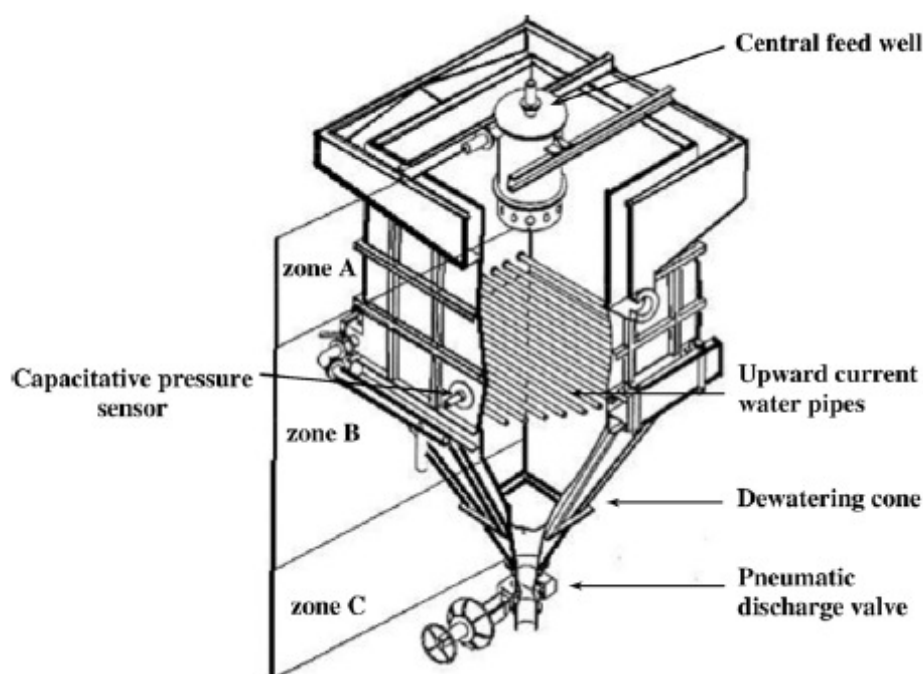
1.3 การตรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Eisenmann (2001) ได้ทำการทดลองประยุกต์ใช้เครื่องมือในการแต่งแร่โดยอาศัยหลักการของอิลูทริเอชัน (Elutriation) ในการแยกควอตซ์ออกจากกลุ่มแร่หนัก ลักษณะของเครื่องมือเป็นดังรูปที่ 1.7 หลักการทำงานของเครื่องมือนี้คือ อาศัยบริเวณที่น้ำไหลขึ้น (Fluidized Zone) ที่เกิดขึ้นจากการฉีดน้ำออกจากท่อ สวนทางกับการตกตัวของอนุภาค ทำให้เกิดการคัดแยกแร่ตรงส่วนนี้ แร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงหรือมีขนาดอนุภาคโตจะมีความเร็วในการตกตัวสูงจึงสามารถตกตัวผ่านบริเวณ ที่น้ำไหลขึ้น (Fluidized Zone) ไปได้ ส่วนแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำหรือมีขนาดอนุภาคเล็กซึ่งมีความเร็วในการตกตัวช้า ก็จะไม่สามารถผ่านบริเวณน้ำไหลขึ้น (Fluidized Zone) ไปได้ จึงไหลล้นออกไปทางส่วนไหลล้น (Overflow) ผลที่ได้จากการทดลองนี้คือ สามารถแยกควอตซ์ ออกจากกลุ่มแร่หนักได้สูงถึง 80% โดยใช้ อัตราการป้อนที่ 1.5 ตันต่อชั่วโมงและใช้ ฟลักส์หรืออัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของน้ำไหลขึ้นที่ 3.5 แกลลอนต่อนาทีต่อตารางฟุต



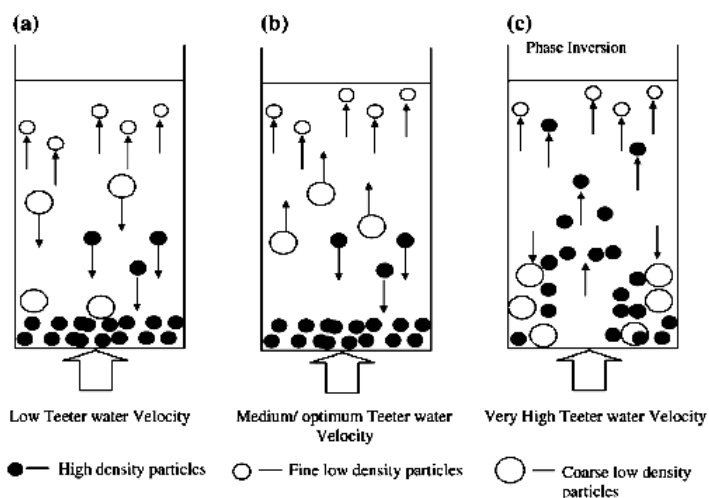
รูปที่ 1.7 เครื่องมือแต่งแร่ที่ใช้หลักการ Elutriation (Eisenmann 2001)

Kapure และคณะ (2007) ทำการวิจัยเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของการทำนายผลของการแต่งแร่โครไมต์ด้วย Slip Velocity ของเครื่องแต่งแร่ Floatex Density Separator (FDS) แสดงดังรูปที่ 1.8 มีรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 30.5 ซม. ยาว 30.5 ซม. ด้านล่างเป็นรูปทรงกรวย ซึ่งเครื่องแต่งแร่นี้แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ส่วนแรก (Zone A) เป็นส่วนป้อน ส่วนที่สอง (Zone B) เป็นส่วนที่เกิดการแต่งโดยปล่อยกระแสไหลขึ้นสวนทางกับการตกตัวของอนุภาค และส่วนที่สาม (Zone C) เป็นส่วนของอนุภาคที่เอาชนะแรงต้านของกระแสไหลขึ้นตกลงมาเป็นหัวแร่ โดยมีการออกแบบการทดลองเป็น 6 การทดลองและกำหนดตัวแปรแสดงดังตารางที่ 1.2



รูปที่ 1.8 เครื่องแต่งแร่ Floatex Density Separator (Kapure และคณะ 2007)

Kapure และคณะ (2007) ได้กล่าวถึงอิทธิพลของกระแสที่ไหลขึ้นสวนทางกับการตกตัวของอนุภาค (Teeter Water) ดังแสดงในรูปที่ 1.9 หากเพิ่มอัตราการไหลของ Teeter Water ก็จะเป็นการเพิ่ม Relative Velocity ระหว่างอนุภาคกับของเหลว (Slip Velocity) เป็นผลให้แรงต้าน (Drag Force) สูงขึ้นจนเอาชนะความเร็วในการตกตัวที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงโลก (Gravity Force) ทำให้อนุภาคถูกพาขึ้นเป็นส่วนไหลล้นได้



รูปที่ 1.9 อิทธิพลของ Teeter Water ที่กระทำต่ออนุภาค (Kapure และคณะ 2007)

ตารางที่ 1.2 การออกแบบตัวแปรในการทดลอง (ที่มา: Kapure และคณะ 2007)

Operating conditions for the FDS						
	Slurry flowrate (t/h)	Dry solids flowrate (t/h)	Water flowrate m ³ /h	% Solids	%, Cr ₂ O ₃ (from chemical analysis)	Approximate slurry density (kg/m ³)
<i>Experiment 1</i>						
Feed	5.81	0.90	4.91	15.50	45.20	1117.52
Underflow	1.01	0.66	0.35	65.04	48.10	1789.77
Overflow	9.60	0.24	9.36	2.5	37.40	1017.25
Teeter water	4.80		4.80			
<i>Experiment 2</i>						
Feed	5.38	0.85	4.53	15.80	44.90	1120.07
Underflow	0.82	0.525	0.30	64.12	51.30	1769.99
Overflow	10.93	0.32	10.61	2.93	34.80	1020.59
Teeter water	6.37		6.37			
<i>Experiment 3</i>						
Feed	4.84	0.80	4.04	16.53	44.80	1126.30
Underflow	0.68	0.43	0.25	63.04	51.66	1747.30
Overflow	12.33	0.37	11.96	3.0	37.02	1020.70
Teeter water	7.70		7.70			
<i>Experiment 4</i>						
Feed	5.62	0.91	4.71	16.20	45.10	1123.00
Underflow	0.67	0.43	0.24	64.08	54.20	1769.14
Overflow	13.84	0.48	13.36	3.47	36.78	1024.10
Teeter water	8.60		8.60			
<i>Experiment 5</i>						
Feed	10.23	1.52	8.71	14.86	42.26	1112.00
Underflow	0.77	0.46	0.31	60.09	58.54	1688.00
Overflow	19.43	1.02	18.41	5.25	35.18	1036.00
Teeter water	10.00		10.00			
<i>Experiment 6</i>						
Feed	16.39	3.33	13.06	20.32	38.24	1159.00
Underflow	0.72	0.35	0.37	48.64	55.70	1492.00
Overflow	33.45	2.95	30.05	8.82	36.04	1063.00
Teeter water	17.80		17.80			

Slip Velocity Model (Kapure และคณะ 2007) คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$V_i = U_{ti} \left(\frac{\rho_i - \rho_m}{\rho_i - \rho} \right)^{n_i-1} \quad (3)$$

โดย V_i = Slip Velocity of Any Species

U_{ti} = Terminal Velocity of Species

ρ_i = Density of Particle

ρ_m = Suspension Medium Density

ρ = Density of Fluid

n_i = Constant (4-5 for Spherical Particle)

ซึ่งผลของงานวิจัยนี้พบว่า โมเดลสามารถทำนายผลได้เฉพาะที่ความเร็วของ Teeter Water ต่ำ แต่ไม่สามารถทำนายผลในกรณีที่ Teeter Water มีความเร็วสูงได้

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ศึกษาวิธีการแยกมลทินกลุ่มเคลย์ออกจากหางแร่สังกะสีขนาดละเอียดมากโดยหลักความแตกต่างของความถ่วงจำเพาะและออกแบบเครื่องมือแต่งแร่ที่สามารถแต่งหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) โดยสามารถเพิ่มปริมาณสังกะสีจากหางแร่ที่มีอยู่ 5-7% Zn เป็น 15 % Zn โดยประมาณ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการนำหางแร่สังกะสีที่ไม่สามารถเข้ากระบวนการลอยแร่ได้ (ขนาดละเอียดเกินความเหมาะสมที่จะนำมาลอยแร่) มาแยกมลทินประเภทดินเคลย์ออกโดยยึดหลักการแต่งแร่ทางฟิสิกส์เกี่ยวกับความแตกต่างของความเร็วในการจมตัวของอนุภาคในของไหล ซึ่งเป็นวิธีที่มีต้นทุนต่ำและทำได้ง่าย โดยจะทำให้ปริมาณแร่สังกะสีเพิ่มขึ้นจาก 5-7 % Zn เป็น 15 % Zn ซึ่งใช้ตัวอย่างหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการวิจัยนี้ทำให้สามารถนำหางแร่จากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) มาแยกมลพิษประเภทดินเคลย์ออกไป ทำให้ปริมาณสังกะสีในหางแร่สูงขึ้นประมาณ 15-16% Zn (ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่คุ้มค่าต่อการนำไปถลุงที่โรงถลุงแร่สังกะสีที่อำเภอเมือง จังหวัดตาก) ด้วยเครื่องมือแต่งแร่ที่สร้างขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแร่ในลักษณะเดียวกัน

1.7 สถานที่ทำการวิจัย

1.7.1 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.7.2 สถานีวิจัยวิศวกรรมวัสดุ (อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์ สิรินคร ชั้น 4) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

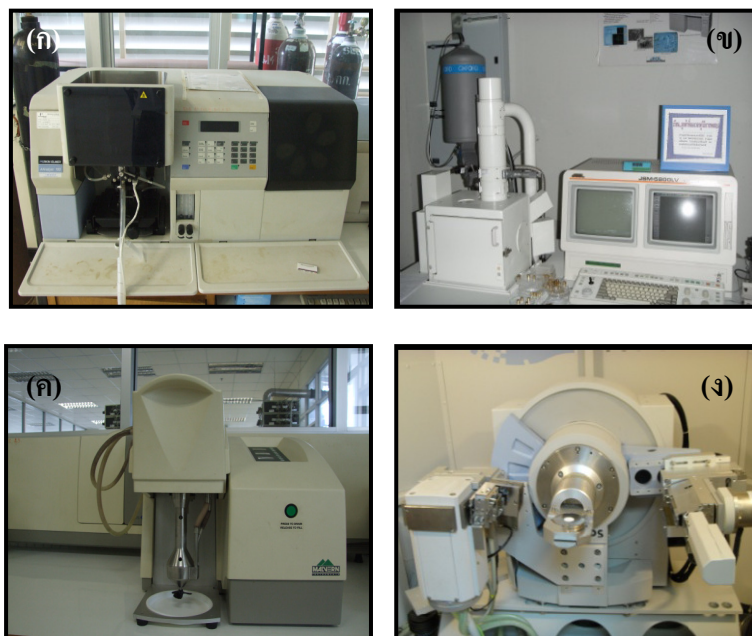
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ประกอบไปด้วยวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสี รวมถึงขั้นตอนการดำเนินการ

2.1 อุปกรณ์การวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์และทดสอบ คุณลักษณะของหางแร่ แสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์	ยี่ห้อ	แบบ/รุ่น
Atomic Absorption Spectrometer (AAS)	Perkin Elmer	AAAnalyst 100
Laser Particle Size Analyzer (LPSA)	Malvern Instruments	Mastersizer 2000
Scanning Electron Microscope (SEM) With Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX)	JEOL, FEI Oxford	JSM-5800LV, QUANTA ISIS 300
X-ray Diffractometer (XRD)	Philips	X' Pert MPD
X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)	Philips	PW 2400



รูปที่ 2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะ ก) AAS ข) SEM with EDX ค) LPSA ง) XRD

2.2 วัสดุและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความเข้มข้นของสังกะสีในตัวอย่างเพื่อคำนวณเกรดของสังกะสีโดยวิธีการย่อย (Digestion) ด้วยกรดแล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS รายละเอียดของสารเคมีและตัวอย่างทางแร่สังกะสีแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 วัสดุและสารเคมี

ชื่อทางการค้า	ความบริสุทธิ์	ผู้ผลิต/ให้ความอนุเคราะห์
Hydrochloric Acid (HCl)	37 %	J.T. Baker
Perchloric Acid (HClO ₄)	70 %	J.T. Baker
Nitric Acid (HNO ₃)	65 %	J.T. Baker
Sodium Silicate	-	ภาควิชาเหมืองแร่และ วัสดุ
ทางแร่สังกะสี	5-7 %Zn	บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด (มหาชน)

2.3 การออกแบบการศึกษาและวิธีการศึกษา

2.3.1 กิจกรรมที่ 1: ศึกษาคุณลักษณะและองค์ประกอบของหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน)

2.3.1.1 ศึกษาขนาดอนุภาคของหางแร่สังกะสี

เนื่องจากลักษณะของหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) เป็นหางแร่ที่มีขนาดละเอียดมาก (ส่วนใหญ่ออกจากไฮโดรไซโคลน) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จึงไม่สามารถใช้ตะแกรงในการวิเคราะห์ห้ขนาดได้ จำเป็นต้องวิเคราะห์ห้ขนาดด้วยเครื่อง LPSA ซึ่งเป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่อาศัยเทคนิคการกระเจิงแสง (Light Scattering)



รูปที่ 2.2 โรงลอยแร่บริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ก) ไฮโดรไซโคลนชุดที่ 1 ข) ส่วนไหลออกจากไฮโดรไซโคลนชุดที่ 1 ค) ภายในโรงแต่งแร่ ง) หางแร่ส่วนที่นำมาทำวิจัย

2.3.1.2 การคัดแยกขนาดอนุภาคของหางแร่สังกะสีออกเป็นช่วง ๆ

หลังจากวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคหางแร่สังกะสีแล้ว จำเป็นต้องรู้ว่าในหางแร่สังกะสีนั้นมีองค์ประกอบใดอยู่บ้าง ดังนั้นจึงต้องแยกหางแร่สังกะสีออกเป็นช่วง ๆ ตามขนาดอนุภาคโดยวิธี Beaker Decantation ซึ่งวิธีนี้ใช้หลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาระหว่างอนุภาคและของเหลวในสภาวะของแรงโน้มถ่วง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการตกตัวของอนุภาค (Settling Velocity) และขนาดอนุภาค โดยการตั้งสมมติฐานว่า อนุภาคมีลักษณะทรงกลม (Spherical Particles) มีความหนาแน่นค่าหนึ่ง (ρ_s) กระจายตัวอยู่ในของเหลวที่มีความหนืดค่าหนึ่ง (η) และมีความหนาแน่นต่ำ (ρ_l) ด้วยสมการของสโตคส์ (Stokes Equation) นำมาใช้ในการคำนวณหาความเร็วในการตกตัวของอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของอนุภาค (Equivalent Diameter) ที่สนใจดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$v = \frac{(\rho_s - \rho_l)gd^2}{18\eta} \quad (2.1)$$

$$t = \frac{h}{v} \quad (2.2)$$

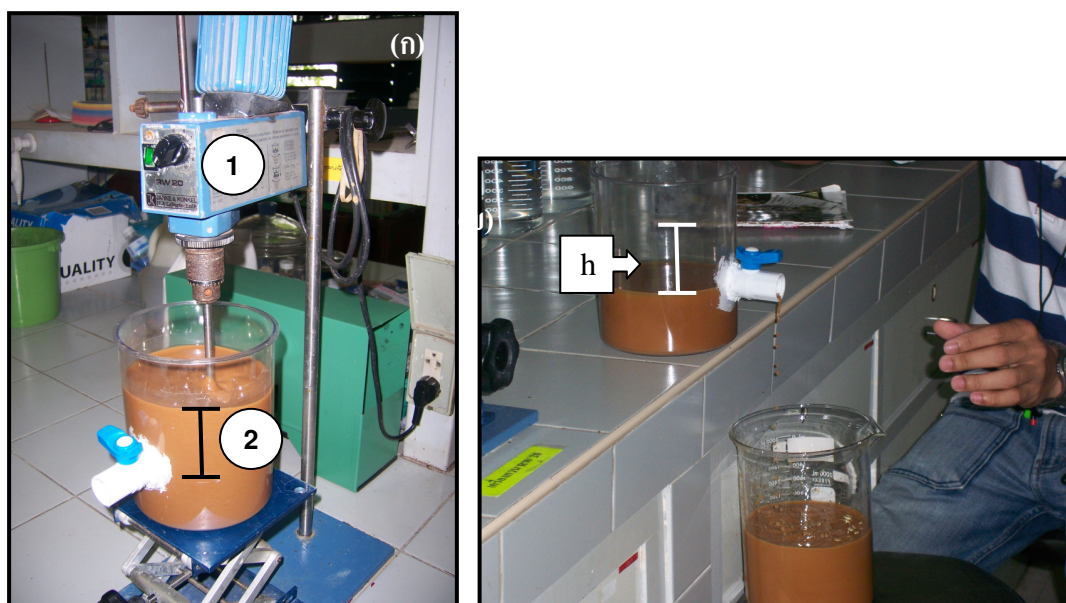
ขั้นตอนการดำเนินการมีดังนี้

- 1) กำหนดช่วงอนุภาคที่ต้องการแยกโดยอาศัยข้อมูลการกระจายตัวของอนุภาคหางแร่สังกะสี
- 2) นำช่วงขนาดอนุภาคที่กำหนดขึ้น มาคำนวณความเร็วในการตกตัว (Settling Velocity) โดยใช้สมการของสโตคส์ (Stokes's Equation) สมการที่ 2.1
- 3) คำนวณเวลาที่แต่ละช่วงอนุภาคใช้ในการตกตัวดังสมการที่ 2.2 โดยกำหนดระยะความสูงจากระดับผิวน้ำถึงระยะที่จะปล่อยน้ำออก (h) ในการตกตัวให้ดังแสดงในรูปที่ 2.3
- 4) นำตัวอย่างหางแร่สังกะสีประมาณ 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตรแล้วเติมน้ำให้ระดับผิวน้ำห่างจากปากบีกเกอร์ประมาณ 5 เซนติเมตร
- 5) นำตัวอย่างที่อยู่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร กวนด้วยเครื่องกวน (Mechanical Stirrer) แล้วเติมสารช่วยกระจายตัว (Dispersing Agent) โซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) ความเข้มข้น 3% (โดยปริมาตร) ประมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อให้อนุภาคหางแร่สังกะสีกระจายตัวและเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solution)

6) เมื่อนุภาคหางแร่สังกะสีกระจายตัวสม่ำเสมอแล้วจึงหยุดกวน แล้วจับเวลาตามที่ได้คำนวณไว้ในข้อ 3) เมื่อหมดเวลา จึงเอาน้ำส่วนที่กำหนดเป็นระยะในการตกตัวออกดังแสดงในรูปที่ 2.3

7) นำตะกอนส่วนที่อยู่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตรมาทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 – 6 จนครบหกครั้งก็จะได้ช่วงขนาดอนุภาคที่สนใจ

8) เมื่อคัดขนาดอนุภาคหางแร่สังกะสีออกเป็นช่วง ๆ ด้วยวิธี Beaker Decantation แล้ว จึงนำอนุภาคแต่ละช่วงขนาดไปวิเคราะห์หองค์ประกอบด้วยเครื่อง XRD คุณลักษณะรูปร่างและตรวจหาอนุภาคแร่สังกะสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM With EDX Mapping และวิเคราะห์หาปริมาณสังกะสีโดยการย่อยด้วยกรด (Digestion) แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์การคัดแยกอนุภาคด้วยวิธี Beaker Decantation ก1) เครื่องกวน ก2) ภาชนะ 2 ลิตร ข) การเทน้ำส่วนที่กำหนดเป็นระยะในการตกตัวออก

2.3.1.3 การศึกษาองค์ประกอบของหางแร่สังกะสี

หลังจากคัดแยกขนาดอนุภาคหางแร่สังกะสีออกเป็นช่วง ๆ แล้ว นำอนุภาคแต่ละช่วงขนาดมาวิเคราะห์หองค์ประกอบด้วยเครื่อง XRD เพื่อตรวจสอบดูว่าในหางแร่สังกะสีมีองค์ประกอบแร่ใดอยู่บ้าง

2.3.1.4 การศึกษารูปร่างของอนุภาคหางแร่สังกะสี

เมื่อรู้ถึงองค์ประกอบของหางแร่สังกะสีแล้ว จำเป็นต้องรู้ว่าองค์ประกอบแต่ละตัว มีลักษณะรูปร่างอย่างไร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาโดยใช้ SEM โดยหากเจออนุภาคที่มีลักษณะรูปร่างคล้ายอนุภาคของแร่สังกะสี (รูปร่างกลมหรือเป็นแผ่นแบนหนา) ก็สามารถตรวจสอบชนิดของธาตุที่เป็นองค์ประกอบโดยใช้เทคนิคการกระจายค่าพลังงาน EDX Mapping เพื่อดูว่าอนุภาคที่สนใจเป็นอนุภาคของแร่สังกะสีหรือไม่

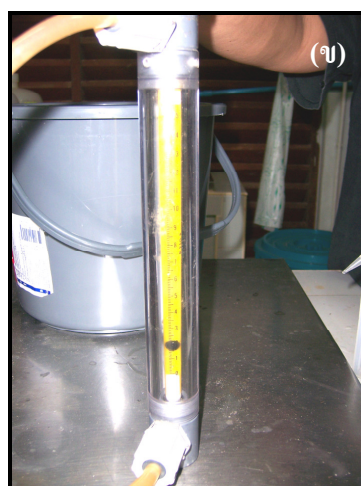
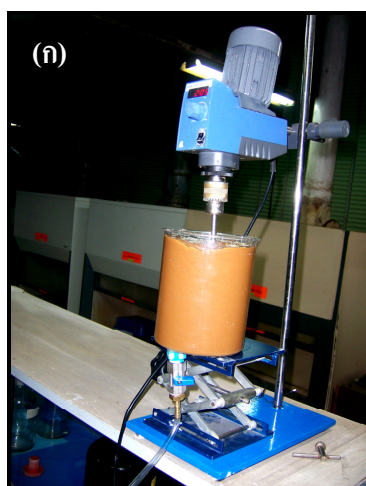
2.3.2 กิจกรรมที่ 2: การศึกษาการแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย (Simple Elutriator)

2.3.2.1 การเตรียมตัวอย่างหางแร่สังกะสีเพื่อทำการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย

ตัวอย่างหางแร่สังกะสีถูกเตรียมขึ้นให้มีอัตราส่วนระหว่างน้ำและตัวอย่างหางแร่ที่ 95:5 โดยน้ำหนัก (5% Solids by wt.) บรรจุลงในภาชนะทรงกระบอกขนาด 2 ลิตรแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นถังที่ป้อนตัวอย่างหางแร่เข้าสู่กระบอกอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย

2.3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

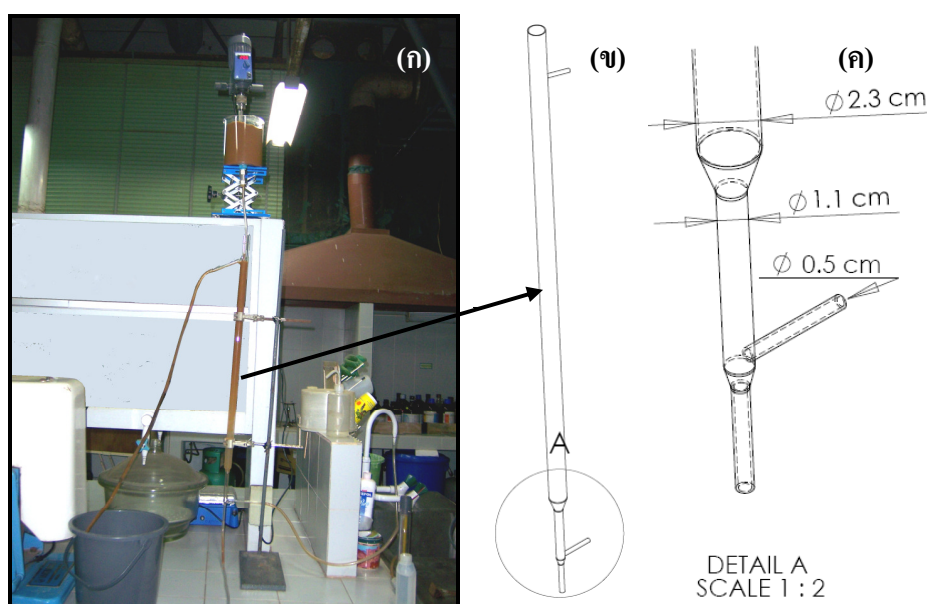
กระบอกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 เซนติเมตร ยาว 98 เซนติเมตรดังรูปที่ 2.5 ซึ่งมีอยู่ในห้องปฏิบัติการเป็นอุปกรณ์ที่จะนำมาประยุกต์เป็นอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการคัดแยกมลทินออกจากหางแร่สังกะสี



รูปที่ 2.4 ชุดทดลองอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย ก) ภาชนะป้อนตัวอย่างขนาด 2 ลิตรและเครื่องกวน ข) กระบอกวัดอัตราการไหล (Flow Rate Meter)

2.3.2.3 การกำหนดอัตราการไหลของกระแสที่ป้อนเข้าอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย

อัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่กระบอกอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่ายถูกควบคุมด้วยกระบอกวัดอัตราการไหล (Flow Rate Meter) แสดงในรูปที่ 2.4 ข โดยกำหนดค่าอัตราการไหลที่ 0.1 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที หรือที่ความเร็วกระแสที่ 0.0004 เซนติเมตรต่อวินาที และ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาทีตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของกระบอกวัดอัตราการไหลนี้ เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อปล่อยน้ำเข้ากระบอกอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย 1.1 เซนติเมตร (cm) ดังนั้นความเร็วของกระแสจะถูกควบคุมโดยกระบอกวัดอัตราการไหล



รูปที่ 2.5 ชุดทดลองอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย ก) ขณะทำการศึกษา ข) ภาพร่างกระบอกอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย ค) ภาพขยายส่วนที่ป้อนน้ำเข้ากระบอกอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย

2.3.2.4 ขั้นตอนการแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่าย

- 1) นำตัวอย่างที่เตรียมจากข้อ 2.3.2.1 กวนด้วยเครื่องกวนเพื่อให้อนุภาคของหางแร่สังกะสีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ (พร้อมกับซักตัวอย่างเก็บไว้วิเคราะห์ผล)
- 2) ติดตั้งท่อน้ำที่ป้อนเข้ากระบอกอิฐตรีเอเตอร์โดยต่อผ่าน Flow Rate Meter แล้วปรับให้ได้ค่าอัตราการไหลที่ 0.1 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที
- 3) เปิดน้ำให้เข้ากระบอกอิฐตรีเอเตอร์จนสิ้นออกทางท่อไหลสั้น
- 4) ปล่อยตัวอย่างหางแร่สังกะสีจากถังป้อนเข้าสู่กระบอกอิฐตรีเอเตอร์แล้วเก็บตัวอย่างส่วนไหลสั้น และส่วนจมไว้วิเคราะห์ผล

2.3.3 กิจกรรมที่ 3: การออกแบบสร้างอิฐตรีเอเตอร์ขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ

2.3.3.1 การออกแบบชุดการศึกษาอิฐตรีเอเตอร์

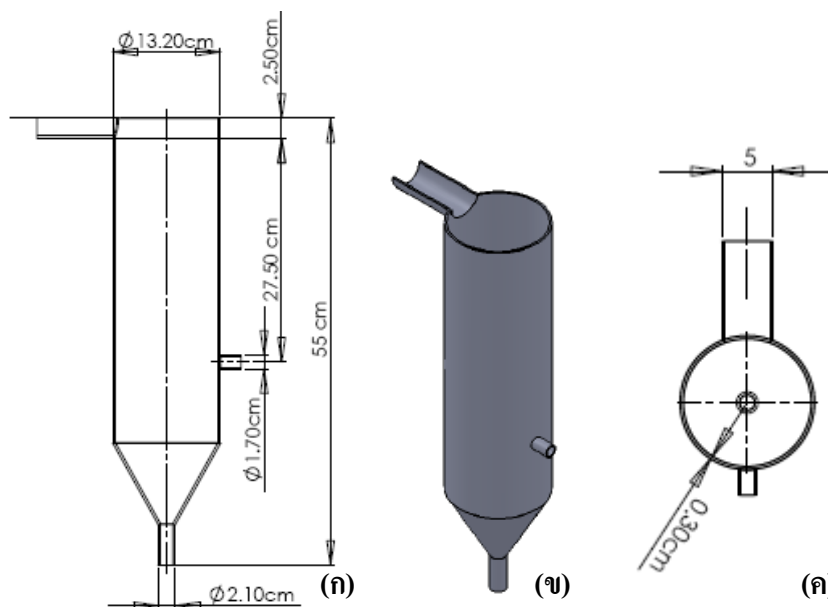
อิฐตรีเอเตอร์ที่ออกแบบเป็นการนำข้อมูลการศึกษาเบื้องต้นและข้อมูลการแต่งตั้งด้วยอิฐตรีเอเตอร์อย่างง่ายมาประยุกต์ใช้ ซึ่งหลักการสำคัญคือการออกแบบให้กระแสน้ำที่ไหลขึ้นมีอัตราการไหลที่สม่ำเสมอ และพยายามลดแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างผนังของอิฐตรีเอเตอร์กับกระแสน้ำ ดังนั้นอิฐตรีเอเตอร์ที่ออกแบบขึ้นนี้มีหลักการสำคัญคือ

1) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12.6 เซนติเมตร ระยะจากท่อปล่อยน้ำถึงส่วนไหลสั้น 20 เซนติเมตรดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทั้งนี้เพื่อสามารถปรับค่าอัตราการไหลได้กว้างขึ้น รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับภาพร่างแสดงไว้ในภาคผนวก ข

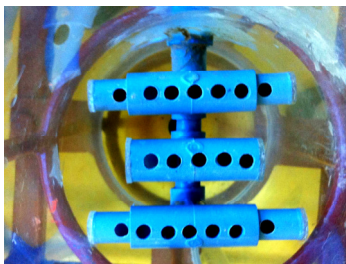
2) ทำด้วยวัสดุพลาสติกใสอะคริลิก (Acrylic) ทำให้ลดแรงเสียดทานระหว่างผนังของอิฐตรีเอเตอร์กับกระแสน้ำและสามารถมองเห็นการไหลภายในกระบอกอิฐตรีเอเตอร์ได้

3) มีถังเก็บน้ำเพื่อควบคุมแรงดันสถิต (กล่าวโดยละเอียดในข้อ 2.3.3.2) ของกระแสน้ำที่ไหลเข้ากระบอกอิฐตรีเอเตอร์ช่วยให้กระแสน้ำมีอัตราการไหลที่คงที่สม่ำเสมอ

4) ท่อปล่อยน้ำในกระบอกอิฐตรีเอเตอร์ต้องกระจายน้ำอย่างสม่ำเสมอดังแสดงในรูปที่ 2.7 เพื่อให้อัตราการไหลเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow)



รูปที่ 2.6 อิฐตรีเอเตอร์ที่ออกแบบ ก) ภาพร่างกระบอกอิฐตรีเอเตอร์ ข) ภาพกระบอกอิฐตรีเอเตอร์มุมมอง 3 มิติ ค) ภาพมุมมองด้านบน

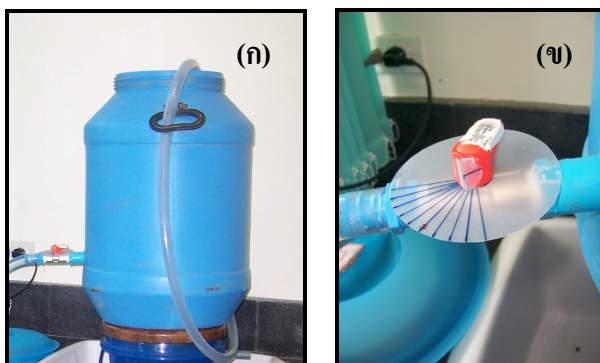


รูปที่ 2.7 ภาพขยายท่อปล่อยน้ำในกระบอกอีลูตริเอเตอร์

ท่อปล่อยน้ำเพื่อให้ไหลขึ้นสวนทางกับการตกตัวของอนุภาคที่อยู่ในกระบอกอีลูตริเอเตอร์ที่ออกแบบถูกต้องจากวาล์วควบคุมน้ำและถังควบคุมความดันสถิต โดยกระแสน้ำจะไหลขึ้นจากรูทั้ง 19 รู (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร) เพื่อดำเนินการตกตัวของอนุภาค

2.3.3.2 การกำหนดระดับชั้นของวาล์วควบคุมน้ำและการวัดค่าอัตราการไหล

เนื่องจากการป้อนน้ำเข้าอีลูตริเอเตอร์ (Elutriator) จำเป็นจะต้องให้น้ำไหลอย่างคงที่สม่ำเสมอ ดังนั้นน้ำที่จะป้อนเข้าสู่อีลูตริเอเตอร์จึงต้องปล่อยมาจากต้นกำเนิดที่มีความดันสถิตคงที่โดยการนำน้ำป้อนเข้าสู่ถังขนาด 60 ลิตร (ระดับน้ำในถังสูงจากระดับน้ำในอีลูตริเอเตอร์ 70 เซนติเมตร) แสดงในรูปที่ 2.8ก แล้วปล่อยให้ น้ำล้นอยู่ตลอดเวลา จากนั้นจึงต่อเข้ากับวาล์วควบคุมน้ำซึ่งติดตั้งระดับชั้นการเปิดวาล์วไว้แสดงในรูปที่ 2.8ข ซึ่งการวัดอัตราการไหลทำได้โดยการเปิดวาล์วไว้ตามระดับชั้นแล้วรองรับน้ำใส่บีกเกอร์พร้อมจับเวลาจนน้ำเต็มบีกเกอร์ทำซ้ำ 4 ครั้งในแต่ละระดับชั้นของการเปิดวาล์ว แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลแต่ละระดับชั้นการเปิดวาล์ว



รูปที่ 2.8 ถังควบคุมความดันสถิตและวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ ก) ถังควบคุมความดันสถิต ข) วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

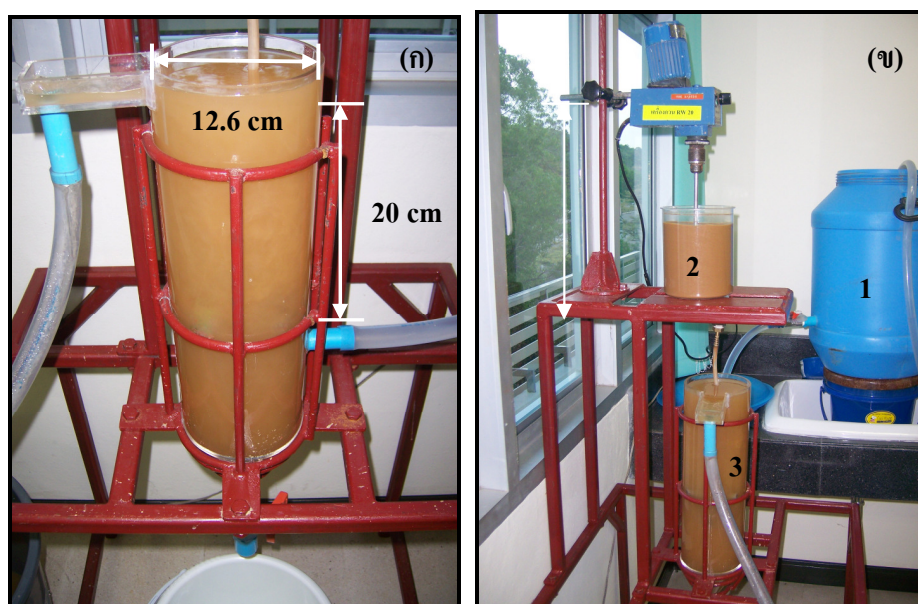
2.3.4 กิจกรรมที่ 4: การแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ

2.3.4.1 การเตรียมตัวอย่างหางแร่สังกะสีก่อนป้อนเข้าสู่อิลูทริเอเตอร์

ตัวอย่างหางแร่สังกะสีถูกเตรียมโดยให้มีอัตราส่วนของน้ำกับหางแร่สังกะสี 95:5 โดยน้ำหนัก โดยเตรียมในภาชนะขนาด 2 ลิตรและเติมสารช่วยกระจายตัวโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate) ความเข้มข้น 3% (โดยปริมาตร) ปริมาณ 10 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวน (Mechanical Stirring) ให้อนุภาคกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอก่อนป้อนเข้าสู่อิลูทริเอเตอร์

2.3.4.2 ขั้นตอนการแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิลูทริเอเตอร์

- 1) ชักตัวอย่างหางแร่สังกะสีจากถังป้อนในข้อ 2.3.4.1 เพื่อเก็บวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคและปริมาณสังกะสีก่อนป้อนเข้าสู่อิลูทริเอเตอร์
- 2) เปิดวาล์วน้ำตามระดับขึ้นจากถังควบคุมความดันสถิต เข้าสู่อิลูทริเอเตอร์
- 3) ปล่อยให้ น้ำล้นกระบอกอิลูทริเอเตอร์
- 4) ปล่อยตัวอย่างหางแร่สังกะสีเข้าสู่กระบอกอิลูทริเอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.9
- 5) เก็บตัวอย่างในส่วนที่ไหลล้นและส่วนจมเพื่อนำไปรอให้ตกตะกอนแล้วชักตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีและลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค



รูปที่ 2.9 ก) อิลูทริเอเตอร์ขณะทดลอง ข1) ถังควบคุมความดันสถิต ข2) ถังป้อน ข3) อิลูทริเอเตอร์

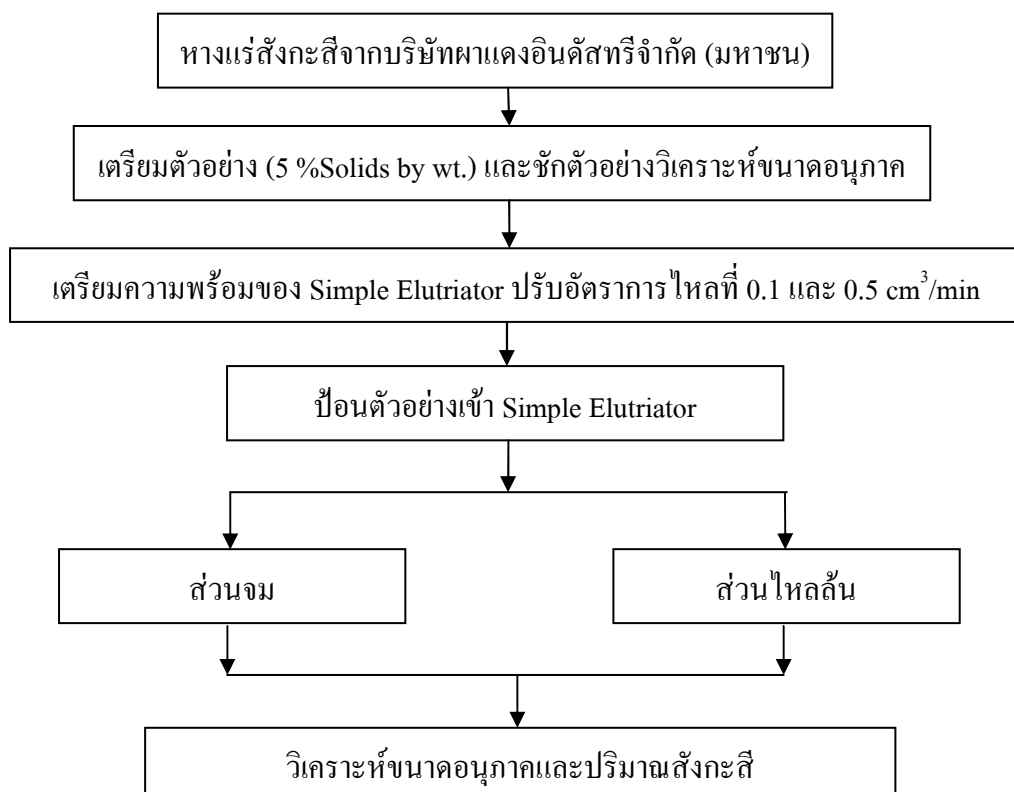
2.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสรุป

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยมี 4 ขั้นตอน ดังแสดงเป็นผังการดำเนินการในรูปที่

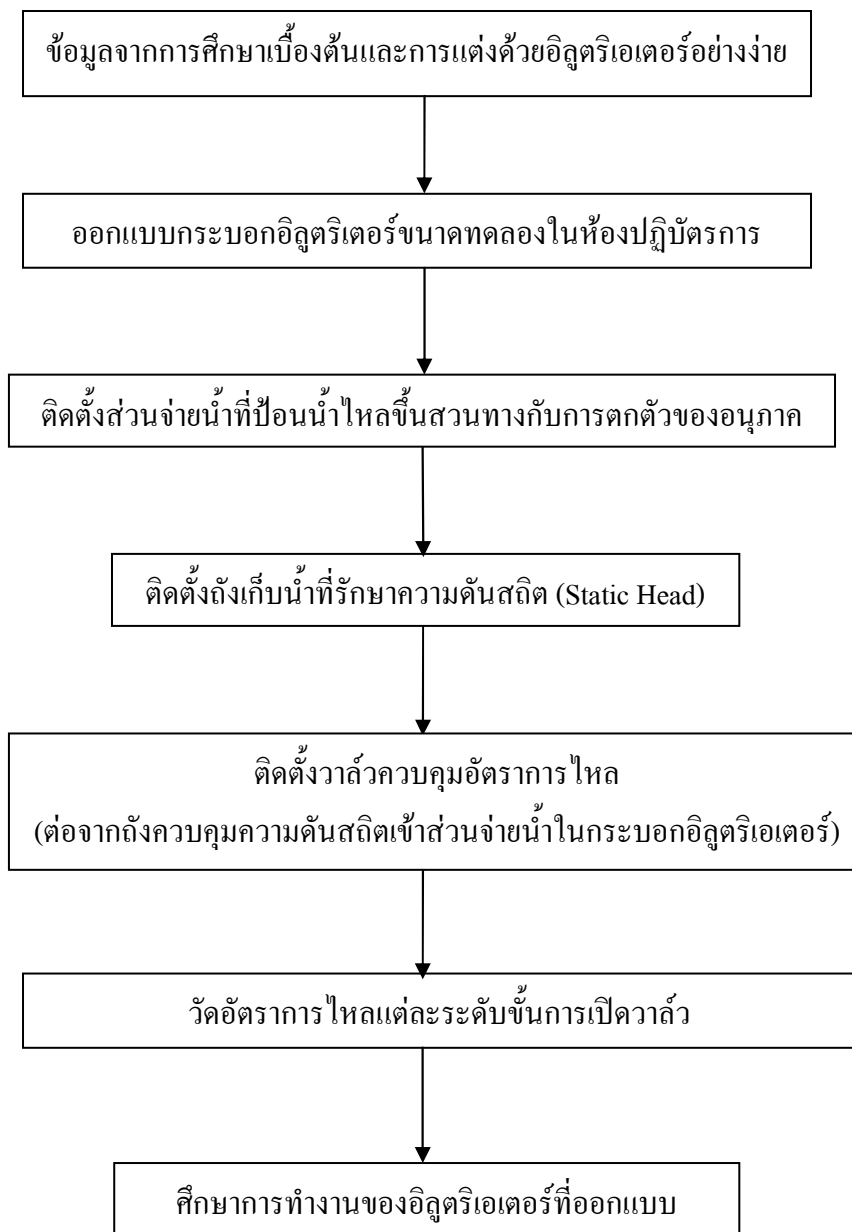
2.10-2.13



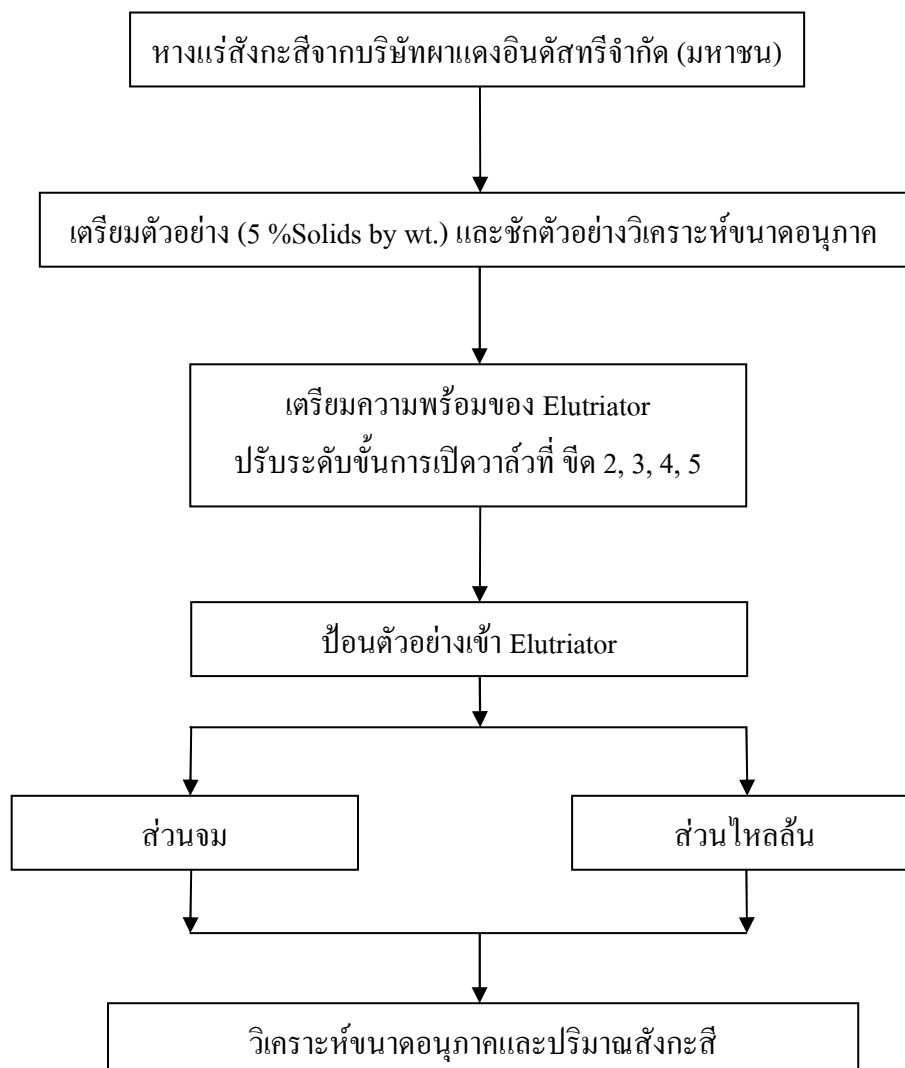
รูปที่ 2.10 ผังการศึกษาขั้นที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะ



รูปที่ 2.11 ผังการศึกษาขั้นที่ 2 ขั้นตอนแต่งหางแร่ด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย



รูปที่ 2.12 ผังการศึกษาขั้นที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างอิฐตรีเอเตอร์



รูปที่ 2.13 ผังการศึกษาขั้นที่ 4 ขั้นตอนแต่งหางแร่ด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ

บทที่ 3

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ผลการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะเบื้องต้นของหางแร่สังกะสี โดยนำหางแร่สังกะสีมาคัดแยกด้วยวิธี Beaker Decantation เพื่อศึกษาองค์ประกอบและการกระจายตัวของอนุภาครวมถึงลักษณะรูปร่างของอนุภาคหางแร่สังกะสี

ส่วนที่สอง เป็นการนำหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอัลตราโซนิกอย่างง่าย โดยควบคุมอัตราการไหลขึ้นของน้ำที่ 0.1 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที หรือที่ความเร็วไหลขึ้นของกระแสน้ำ 0.0004 และ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ส่วนที่สามเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องมืออัลตราโซนิกขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ

ส่วนสุดท้าย นำหางแร่สังกะสีแต่งด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้นโดยควบคุมอัตราการไหลขึ้นของน้ำที่ 3.2, 14.0, 34.5 และ 56.4 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที หรือที่ความเร็วไหลขึ้นของกระแสน้ำ 0.006, 0.028, 0.069 และ 0.113 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะเบื้องต้น (กิจกรรมที่ 1)

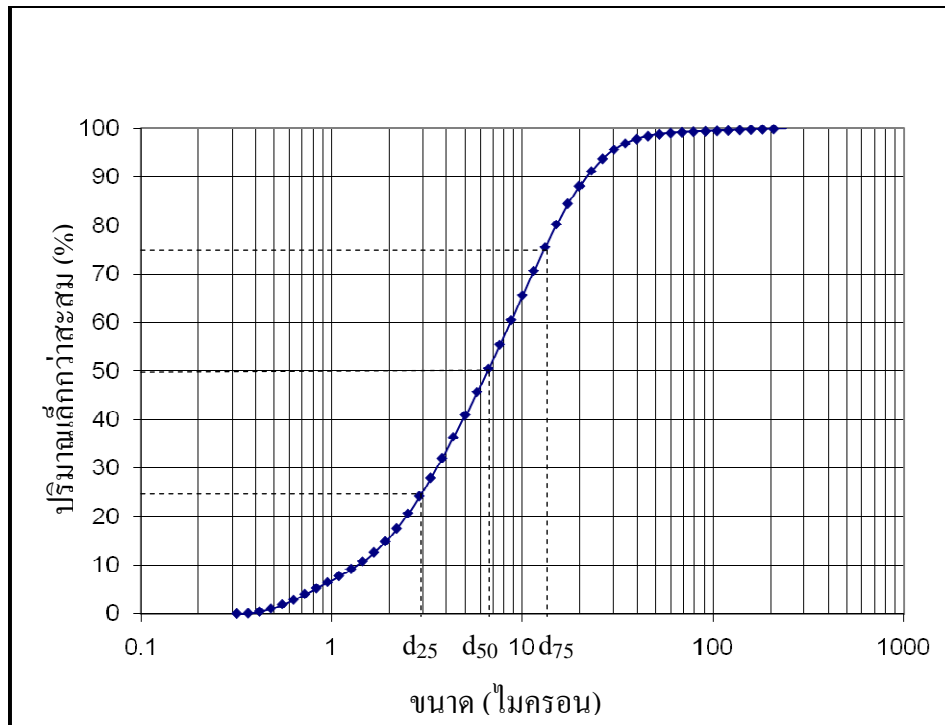
3.1.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคหางแร่สังกะสี

การกระจายตัวของอนุภาคหางแร่สังกะสีที่เป็นส่วนไหลล้นจากไฮโดรไซโคลนของบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีค่า d_{25} ประมาณ 3 ไมครอน d_{50} ประมาณ 7 ไมครอน และ d_{75} ประมาณ 13 ไมครอน ซึ่งค่า Sharpness Index เป็น 0.23 สูตรการคำนวณแสดงในสมการที่ 3.1

$$S.I. = \frac{d_{25}}{d_{75}} \quad (3.1)$$

เมื่อ d_{25} คือ ขนาดอนุภาคที่มีการกระจายตัวอยู่ที่ 25 %

d_{75} คือ ขนาดอนุภาคที่มีการกระจายตัวอยู่ที่ 75 %



รูปที่ 3.1 การกระจายตัวของอนุภาคหางแร่สังกะสี วิเคราะห์ด้วยเครื่อง LPSA

3.1.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย XRD สำหรับอนุภาคหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation

ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 เกี่ยวกับการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการคัดขนาดที่เล็กเกินความสามารถของตะแกรงจะคัดได้ โดยใช้หลักการความแตกต่างของความเร็วในการตกตัวของอนุภาคทรงกลมในของเหลว ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างขนาด และความถ่วงจำเพาะของอนุภาคนั้น ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดช่วงขนาดของอนุภาคหางแร่สังกะสีดังตารางที่ 3.1 ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วย XRD สำหรับหางแร่สังกะสีในแต่ละช่วงขนาดแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และข้อมูลดิบแสดงไว้ในภาคผนวก ค

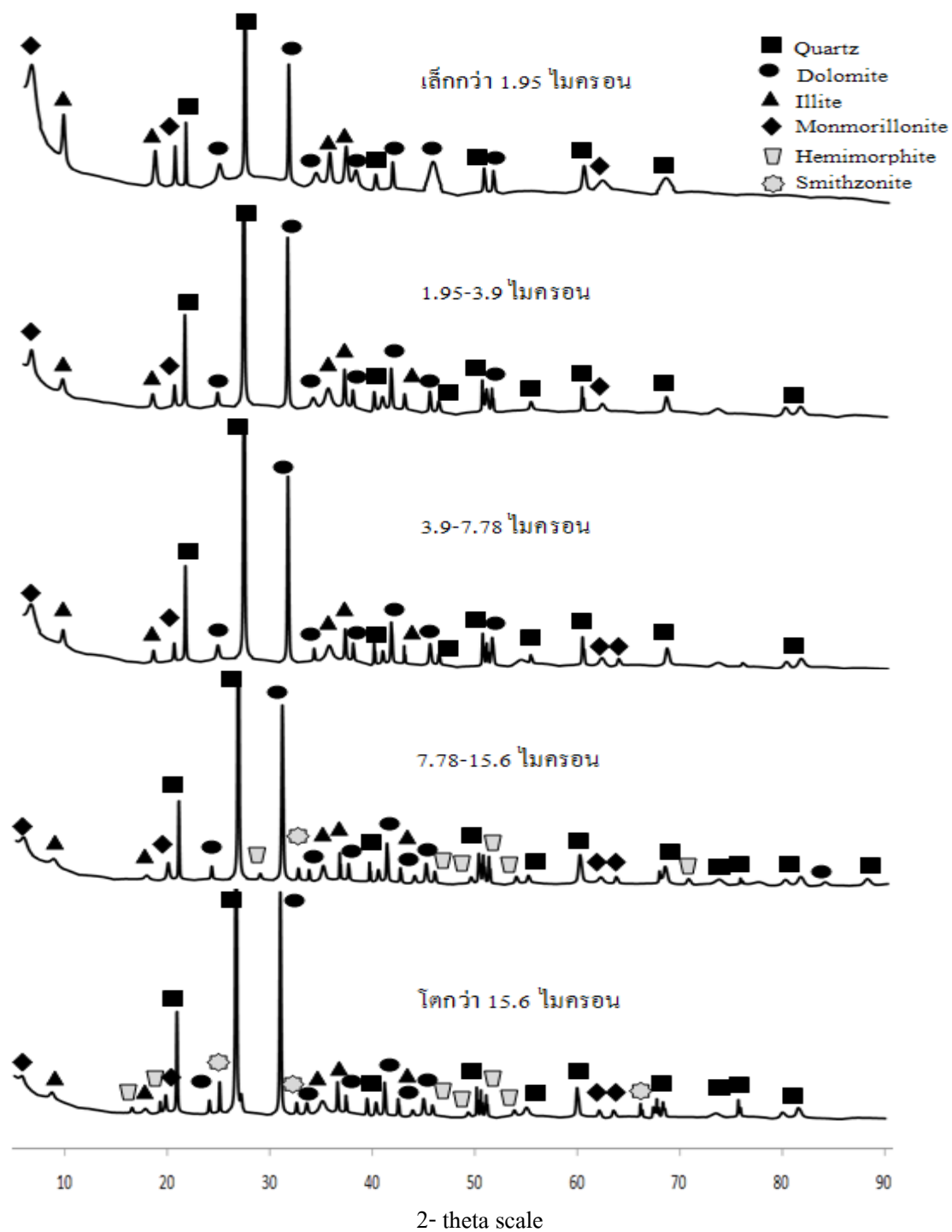
จากผลการวิเคราะห์ XRD ของอนุภาคหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation ซึ่งให้เห็นว่า ช่วงขนาดอนุภาคที่โตกว่า 8 ไมครอนมีแร่สังกะสีเฮมิมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) และแร่สังกะสีสมิทซอไนต์ (Smithsonite) กระจายตัวอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ส่วนที่ช่วงขนาดอนุภาคเล็กกว่า 8 ไมครอน มี Dolomite, Quartz, Illite และ Montmorillonite กระจายตัวอยู่

ตารางที่ 3.1 การคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation

ขนาดอนุภาค (microns)	ความเร็วในการตกตัว (cm/s)	เวลาที่ใช้ในการตกตัว (min.)
<1.95	0.000705	179
1.95-3.90	0.002818	45
3.90-7.78	0.011216	11
7.78-15.6	0.045095	3
>15.6	-	-

ตารางที่ 3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของอนุภาคหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation โดยวิธี XRD

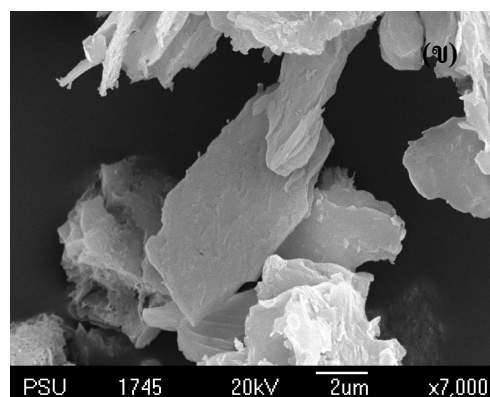
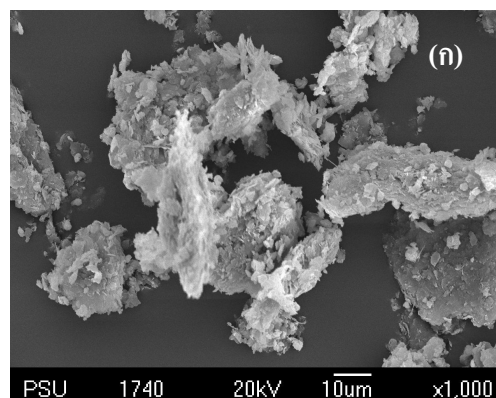
Stokes 's Diameter	แร่ที่พบ	สูตรเคมี
-1.95	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
1.95-3.9	Quartz	SiO_2
3.9-7.78	Illite	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{A}_{12}\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
	Montmorillonite	$\text{Ca}_{0.2}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{24}\text{H}_2\text{O}$
7.78-15.6	Quartz	SiO_2
	Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
	Illite	$(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{A}_{12}\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
+15.6	Montmorillonite	$\text{Ca}_{0.2}(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{24}\text{H}_2\text{O}$
	Hemimorphite	$\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2\cdot\text{H}_2\text{O}$
	Smithsonite	ZnCO_3



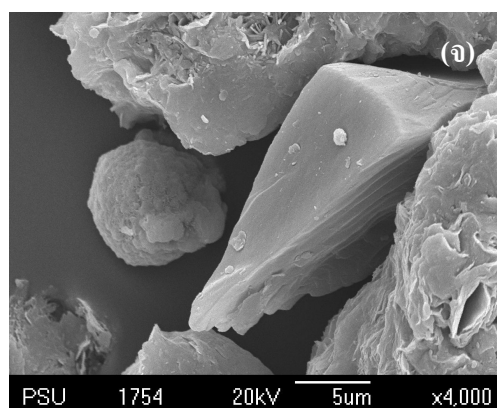
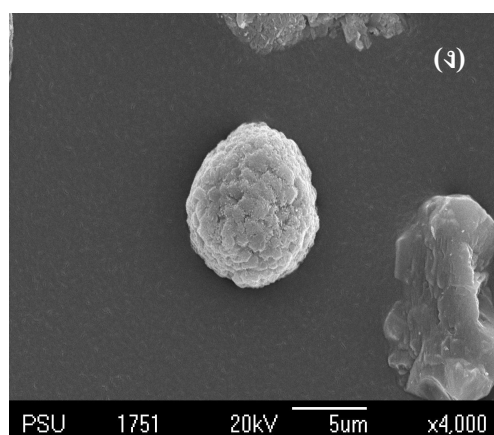
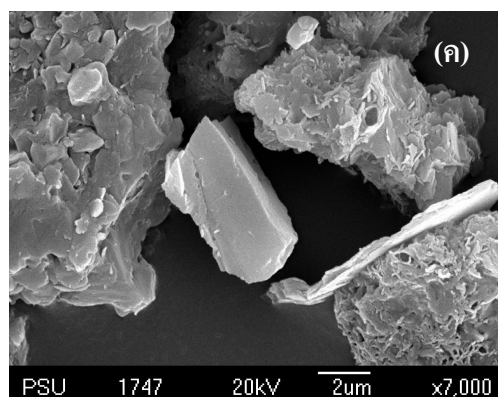
รูปที่ 3.2 XRD Spectrum สำหรับอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation

3.1.3 ผลการศึกษาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation

จากภาพถ่าย SEM รูปที่ 3.3 พบว่าแร่ที่ช่วงขนาดเล็กกว่า 8 ไมครอน (รูปที่ 3.3ก – 3.3ค) อนุภาคหางแร่สังกะสีมีลักษณะเป็นแผ่นแบนซึ่งเป็นลักษณะรูปร่างของกลุ่มอนุภาคเคลย์ ซึ่งเมื่อเทียบขนาดกับขนาดที่ใช้ในการคำนวณความเร็วในการตกตัวโดยสมการของสโตคส์ (Stoke's Equation) แล้ว จะเห็นว่าขนาดอนุภาคที่ได้จะโตกว่าขนาดของ Stoke's Diameter ทั้งนี้เนื่องจากสมการของสโตคส์ใช้ในการคำนวณความเร็วในการตกตัวของอนุภาคทรงกลม ดังนั้นอนุภาครูปปร่างอื่นที่ไม่ใช่ทรงกลมแต่มีพื้นที่ผิวเทียบเท่ากับอนุภาคทรงกลมที่ใช้ในการคำนวณความเร็วในการตกตัวก็จะตกมาพร้อมกับอนุภาคทรงกลมนั้นด้วย ในส่วนของช่วงอนุภาคที่โตกว่า 8 ไมครอน (รูปที่ 3.3ง และ 3.3จ) จะเห็นว่าขนาดของอนุภาคที่ได้จะมีขนาดเท่าๆ กันกับขนาดอนุภาคที่ใช้ในการคำนวณความเร็วในการตกตัวโดยกฎของสโตคส์ ทั้งนี้เนื่องจากมีอนุภาคทรงกลม (อนุภาคแร่สังกะสีสมิทซอไนต์) อยู่ในช่วงขนาดอนุภาคนี้ด้วย



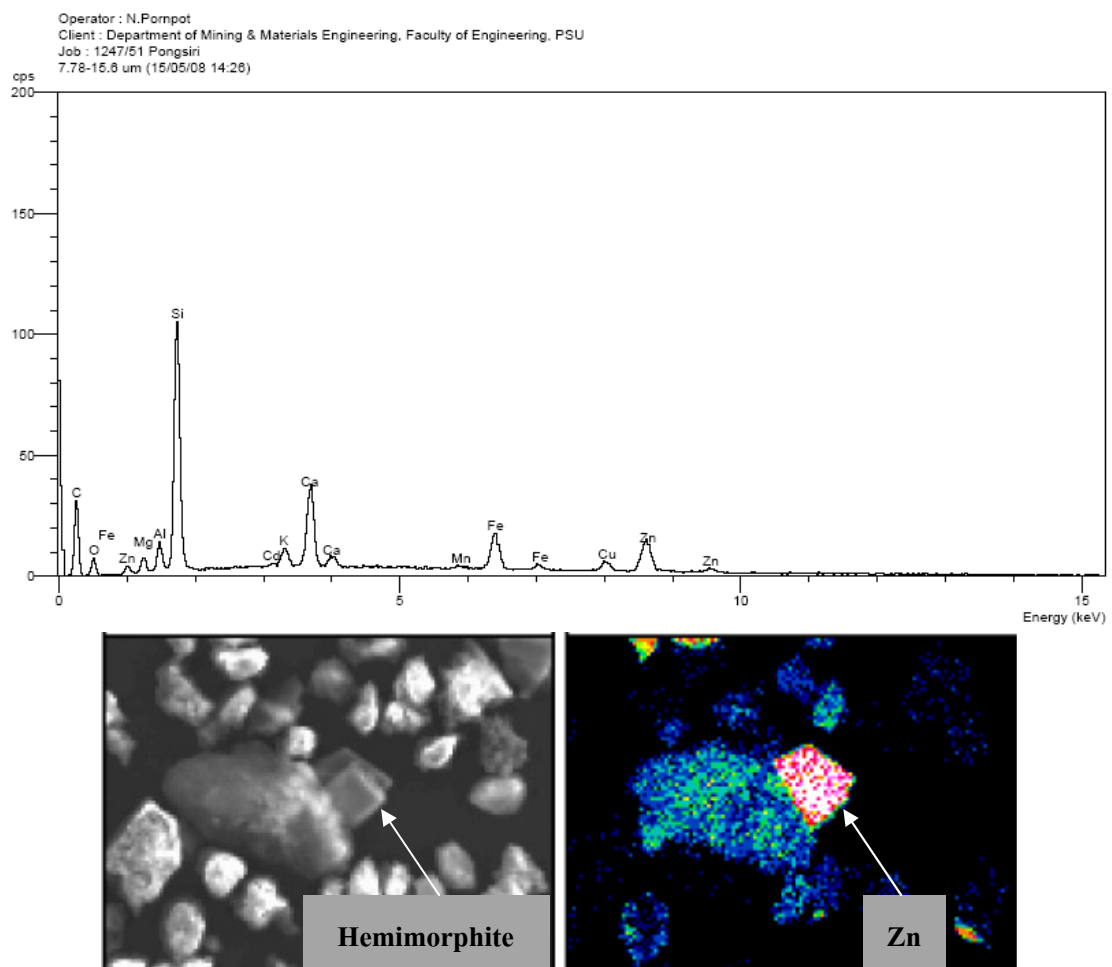
รูปที่ 3.3 ภาพถ่าย SEM สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดละเอียดด้วยวิธี Beaker Decantation ที่ช่วงขนาด ก) ขนาดเล็กกว่า 1.95 ไมครอน และ ข) 1.95-3.9 ไมครอน



รูปที่ 3.3 (ต่อ) ภาพถ่าย SEM สำหรับหาแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดละเอียดด้วยวิธี Beaker Decantation ที่ช่วงขนาด ค) 3.9-7.78 ไมครอน ง) 7.78-15.6 ไมครอน และ จ) โดกว่า 15.6 ไมครอน

3.1.4 ผลการวิเคราะห์ห่องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation

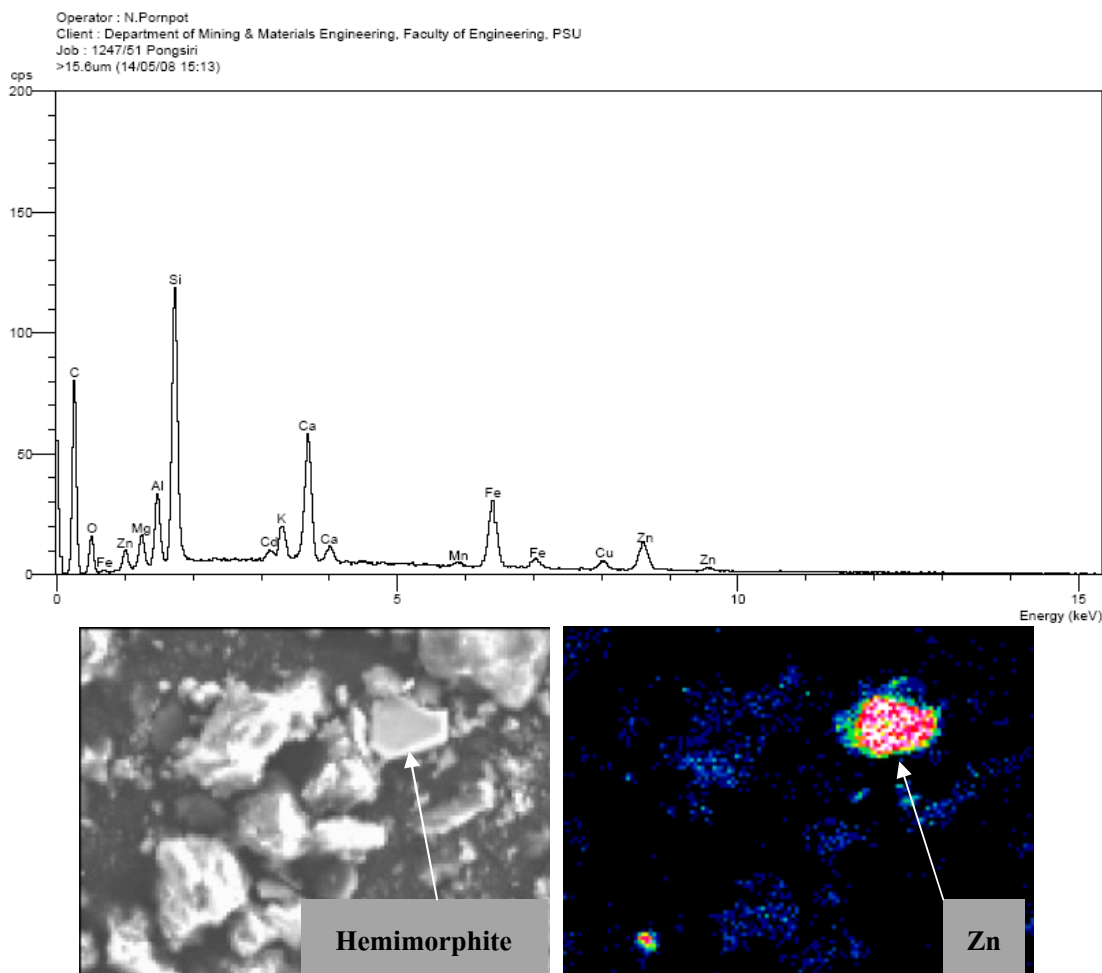
ผลการวิเคราะห์ห่องค์ประกอบด้วย EDX Mapping แสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งแสดงให้เห็นเฉพาะในช่วงขนาดอนุภาค 7.78-15.6 และช่วงขนาดโตกว่า 15.6 ไมครอน ส่วนผลของช่วงขนาดอนุภาคอื่นแสดงไว้ในภาคผนวก ง



รูปที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ห่องค์ประกอบด้วย EDX Mapping สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation ที่ช่วงขนาด 7.78-15.6 ไมครอน

จากรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นช่วงขนาดอนุภาคที่ 7.78-15.6 ไมครอน สังเกตได้ว่าอนุภาคที่แสดงค่าการกระจายค่าพลังงานของธาตุสังกะสีมีรูปร่างคล้ายอนุภาคของแร่สังกะสีเฮมิมอร์ไฟต์ ซึ่งรูปร่างเป็นแผ่นแบนหนา ความถ่วงจำเพาะ 3.4-3.5 เมื่อผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker

Decantation จึงจมตัวมาพร้อมกับอนุภาคของมลทินที่มีขนาดโตกว่าแต่ความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าเช่น มลทินประเภทดินเคลย์ที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.6-2.9 ดังได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 1



รูปที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย EDX Mapping สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยวิธี Beaker Decantation ที่ช่วงขนาดโตกว่า 15.6 ไมครอน

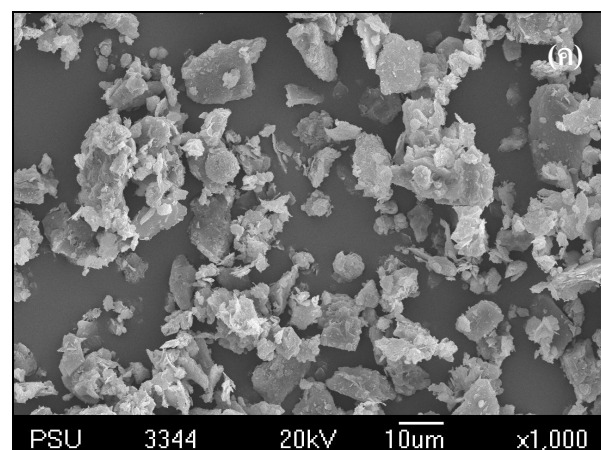
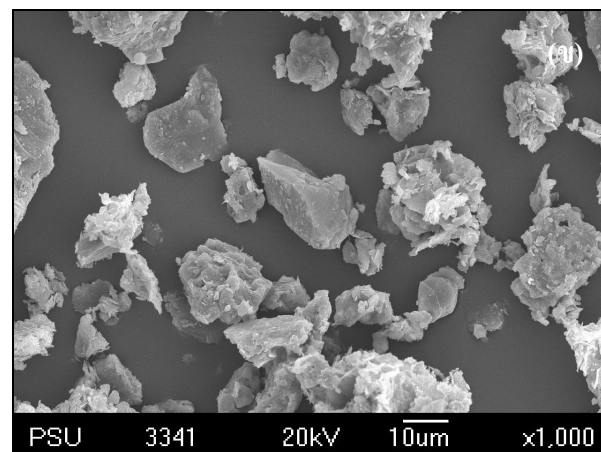
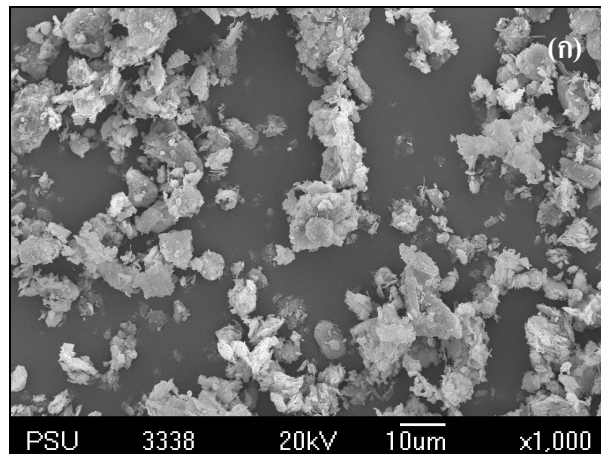
จากรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นช่วงขนาดอนุภาคที่โตกว่า 15.6 ไมครอน สังเกตได้ว่าอนุภาคที่ตรวจพบธาตุสังกะสีมีรูปร่างคล้ายอนุภาคของแร่สังกะสีเฮมิมอร์ไฟต์เช่นเดียวกับรูปที่ 3.4 ซึ่งผลวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย EDX Mapping ของช่วงขนาดที่เล็กกว่า 8 ไมครอน พบอนุภาคของแร่สังกะสีประปรายไม่ชัดเจนจึงสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ XRD

3.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่าย (กิจกรรมที่ 2)

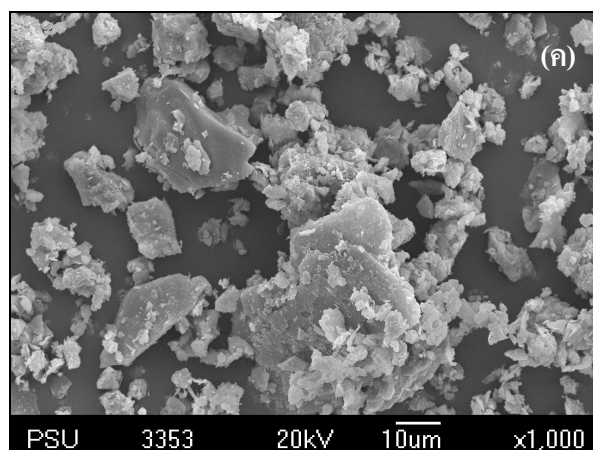
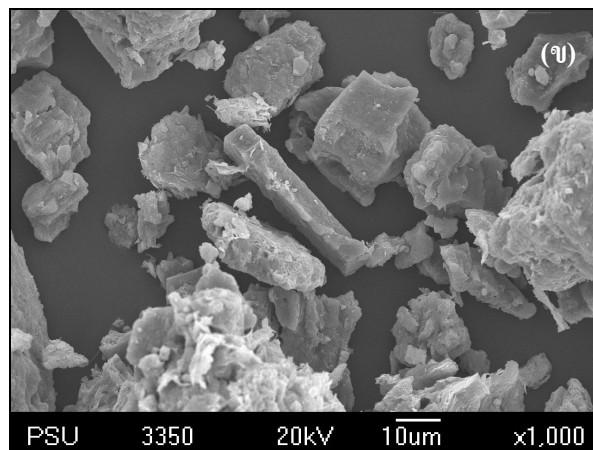
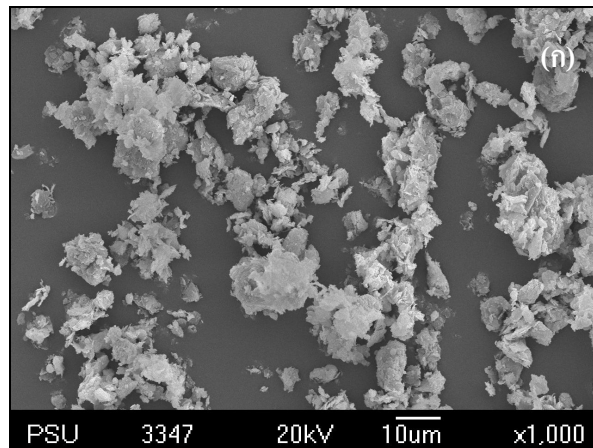
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของการแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่ายโดยปรับค่าอัตราการไหลขึ้นของน้ำในกระบอกอิเล็คโตรโอดีที่ 0.1 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที หรือที่ความเร็วกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น 0.0004 และ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาทีตามลำดับ แล้วนำผลในแต่ละส่วนคือ ส่วนไหลล้น และ ส่วนจม วิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) วิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) และหาปริมาณสังกะสีด้วย AAS

3.2.1 ผลการศึกษาภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่าย

จากผลภาพถ่าย SEM สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่ายในรูปที่ 3.6 ซึ่งปรับค่าอัตราการไหลของน้ำที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อนุภาคหางแร่สังกะสีในส่วนของตัวอย่างก่อนป้อน (รูปที่ 3.6 ก) มีลักษณะอนุภาคคละขนาดกัน แต่อนุภาคหางแร่สังกะสีในส่วนจม (รูปที่ 3.6 ข) มีลักษณะอนุภาคที่ใกล้เคียงกัน พบอนุภาคที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนเพียงเล็กน้อย ส่วนอนุภาคหางแร่สังกะสีในส่วนไหลล้น (รูปที่ 3.6 ค) มีลักษณะคล้ายกับอนุภาคหางแร่สังกะสีของตัวอย่างก่อนป้อนคือมีอนุภาคเล็กใหญ่ปะปนกันแต่มีอนุภาคขนาดใหญ่ลักษณะเป็นแผ่นแบนมากกว่า ส่วนรูปที่ 3.7 เป็นภาพถ่าย SEM สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอดีอย่างง่ายซึ่งปรับค่าอัตราการไหลของน้ำที่ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที อนุภาคหางแร่สังกะสีในส่วนของตัวอย่างก่อนป้อน (รูปที่ 3.7 ก) มีลักษณะอนุภาคเล็กใหญ่อยู่ปะปนกัน แต่อนุภาคหางแร่สังกะสีในส่วนจม (รูปที่ 3.7 ข) มีลักษณะอนุภาคที่มีขนาดใกล้เคียงกัน มีขนาดโตกว่าอนุภาคในส่วนของการไหลที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที และอนุภาคที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนมีน้อยมาก ส่วนอนุภาคหางแร่สังกะสีในส่วนไหลล้น (รูปที่ 3.7 ค) มีลักษณะคล้ายกับอนุภาคหางแร่สังกะสีของตัวอย่างก่อนป้อนคือมีอนุภาคขนาดเล็กปะปนกับอนุภาคขนาดใหญ่ แต่มีลักษณะของอนุภาคที่เป็นแผ่นแบนโตอยู่มาก และขนาดโตกว่าอนุภาคในส่วนของการไหลที่ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที



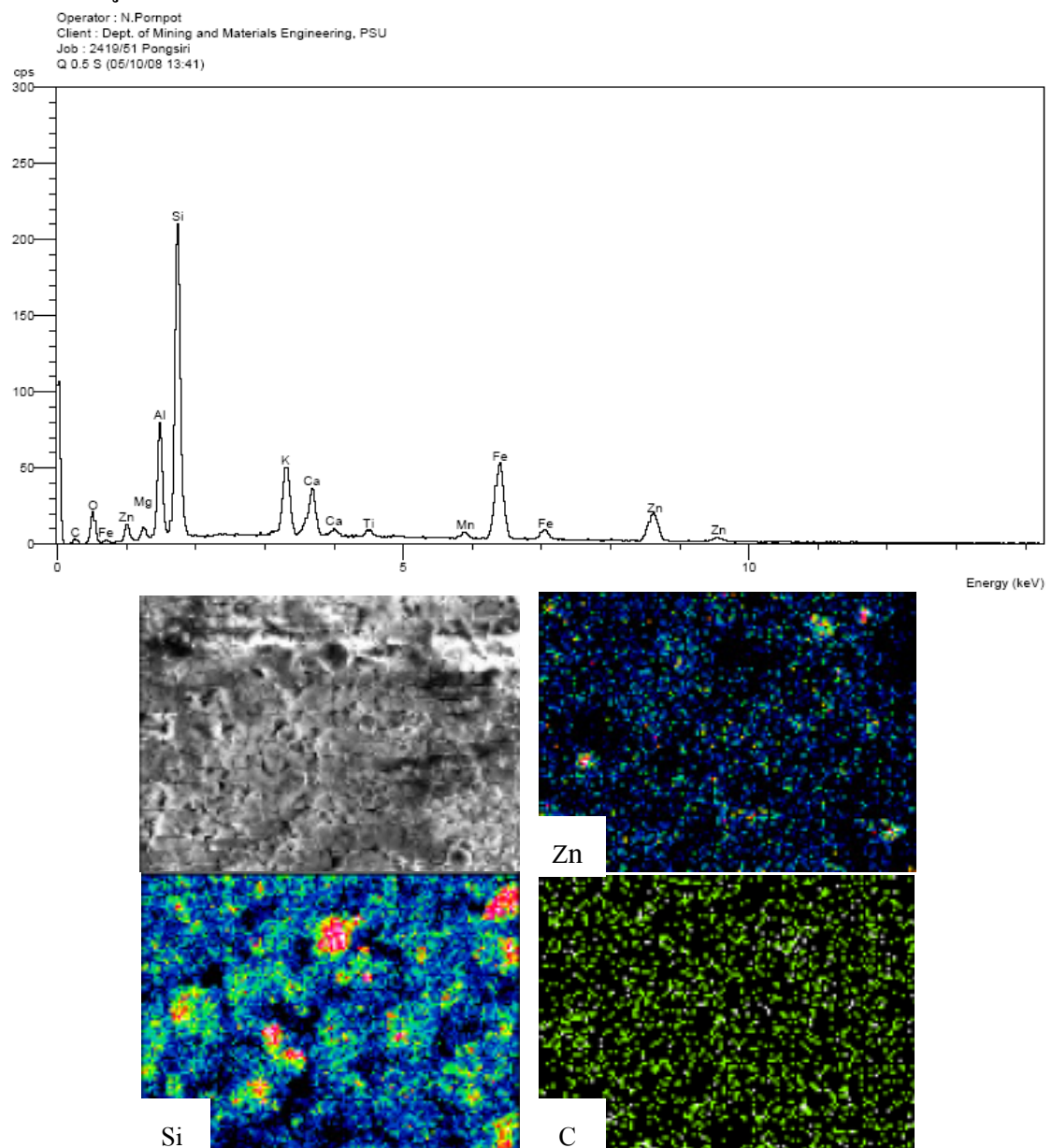
รูปที่ 3.6 ภาพถ่าย SEM สำหรับทางแร่สังกะสีที่ผ่านการแต่งด้วยอิลูตริเอเตอร์อย่างง่ายด้วยอัตรา
การไหล 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีหรือที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.0004 เซนติเมตรต่อวินาที ก)
ตัวอย่างก่อนเข้ากระบวนการ ข) ส่วนจม และ ค) ส่วนไหลล้น



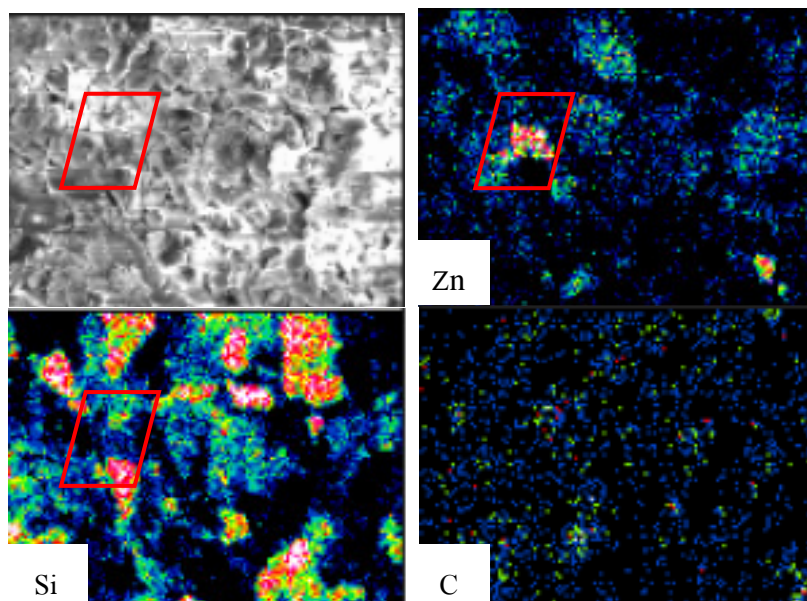
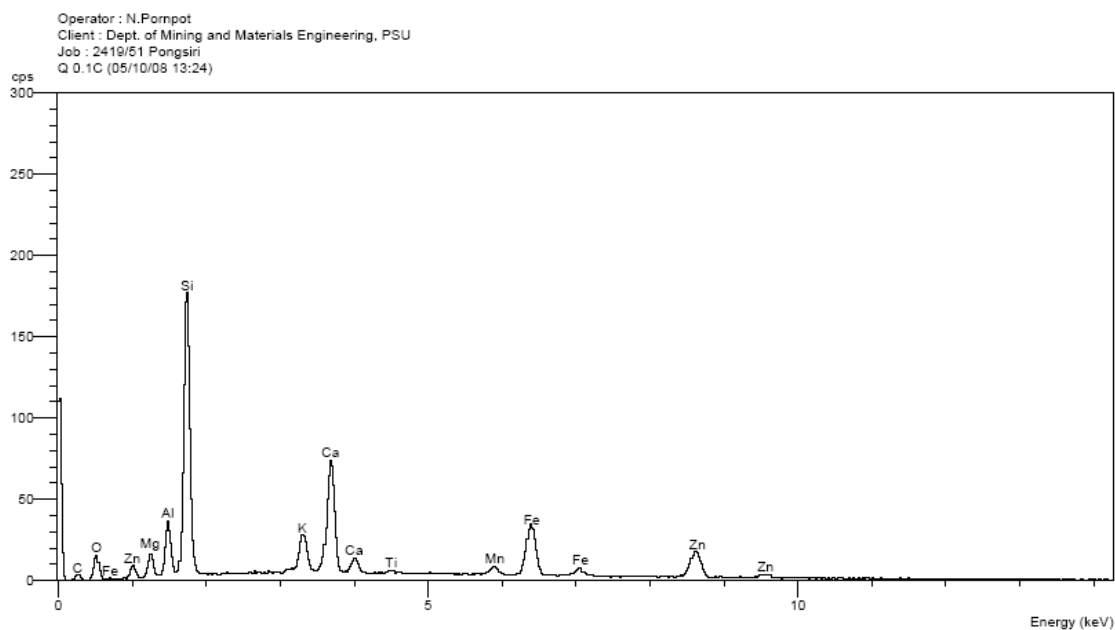
รูปที่ 3.7 ภาพถ่าย SEM สำหรับหางแร่สังกะสีที่ผ่านการแต่งด้วยอิเล็คโตรโอฟอย่างง่ายด้วยอัตรา
การไหล 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีหรือที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที ก)
ตัวอย่างก่อนเข้ากระบวนการ ข) ส่วนจม และ ค) ส่วนไหลล้น

3.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) สำหรับอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเลคโตรโพรเซสอย่างง่าย

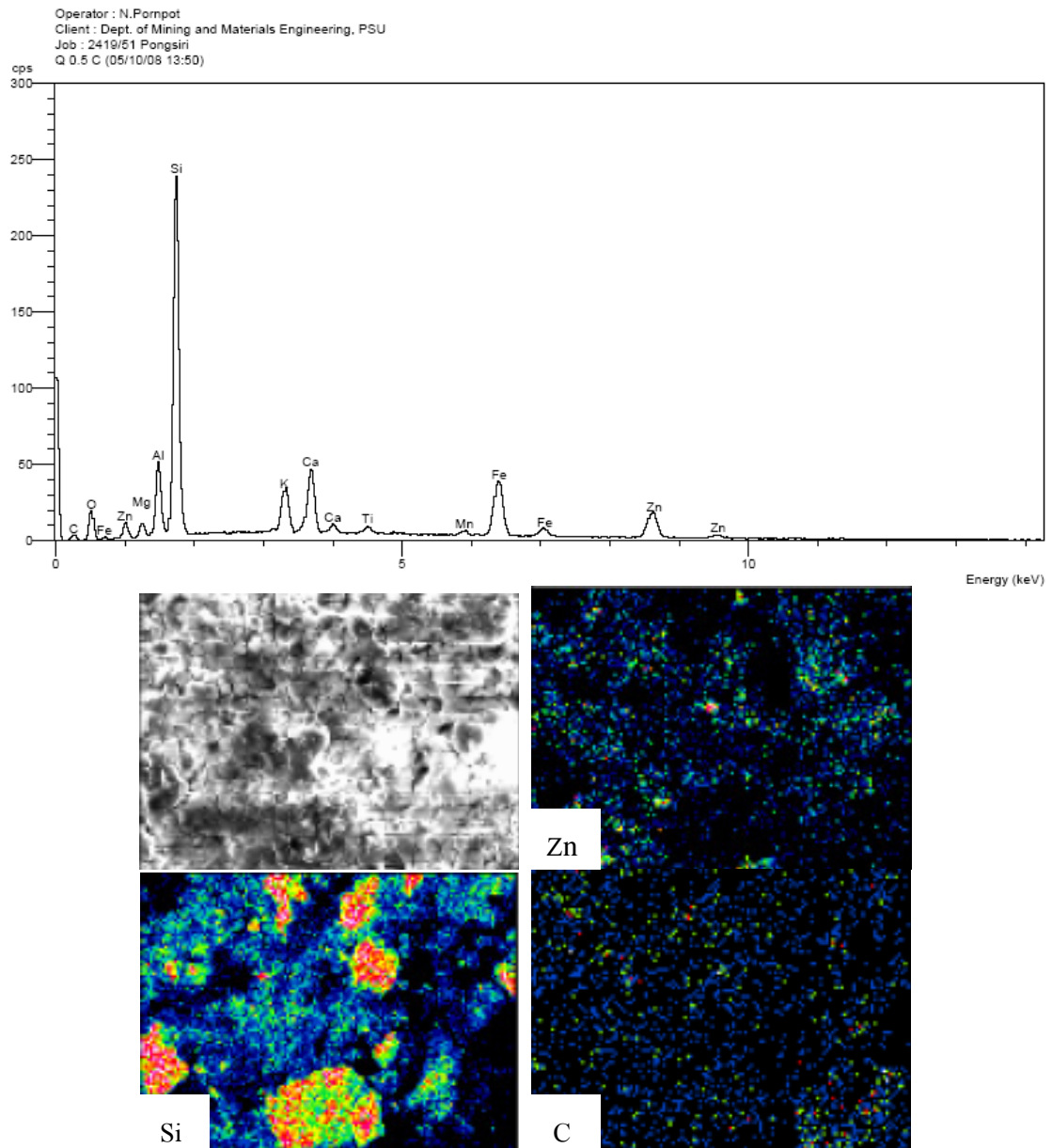
ผลวิเคราะห์ EDX Mapping ในส่วนของทางแร่ก่อนป้อนเข้าแต่งด้วยอิเลคโตรโพรเซสอย่างง่ายและส่วนจมเมื่อผ่านการแต่งด้วยอิเลคโตรโพรเซสอย่างง่ายที่อัตราการไหลของน้ำ 0.1 และ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที หรือที่ความเร็วกระแสไฟฟ้า 0.0004 และ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 3.8- 3.10



รูปที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย EDX Mapping สำหรับทางแร่สังกะสีก่อนป้อนเข้าแต่งด้วยอิเลคโตรโพรเซสอย่างง่าย



รูปที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย EDX Mapping สำหรับทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโพรเซสในสัณฐานที่อัตราการไหลของน้ำ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาทีหรือที่ความเร็วกระแสไฟฟ้าที่ 0.0004 เซนติเมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย EDX Mapping สำหรับทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเลคโตร้อย่างง่ายในส่วนจมน้ำที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาทีหรือที่ความเร็วกระแสน้ำที่ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วย EDX Mapping สำหรับอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านการแต่งด้วยอิเลคโตร้อย่างง่ายในส่วนของตัวอย่างก่อนป้อนจะเห็นว่าอนุภาคของแร่สังกะสีจะกระจายอยู่ทั่วไปไม่เด่นชัด (รูปที่ 3.8) แต่เมื่อผ่านการแต่งด้วยอิเลคโตร้อย่างง่ายที่อัตราการไหลของน้ำ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาทีหรือที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.0004 เซนติเมตรต่อวินาที

(รูปที่ 3.9) อนุภาคของแร่สังกะสีในส่วนจมน้ำเด่นชัดขึ้นซึ่งพบธาตุสังกะสีอยู่ตรงกับตำแหน่งที่เป็นซิลิกอนด้วย นั่นแสดงว่าอนุภาคของแร่สังกะสีนี้เป็นอนุภาคของแร่สังกะสีซิลิเกต หรือแร่เฮมิโมร์ไฟต์ (Hemimorphite; $Zn_4Si_2O_7(OH)_2H_2O$)

ในส่วนผลวิเคราะห์การกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) ของหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาทีหรือที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที (รูปที่ 3.10) พบว่าอนุภาคของแร่สังกะสีกระจัดกระจายไม่ก่อยเด่นชัด ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วกระแสน้ำที่ 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที ทำให้การไหลในกระบอกอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายไม่ราบเรียบ อนุภาคของแร่สังกะสีจึงถูกพาออกไปปนกับส่วนไหลล้น

3.2.3 ผลการศึกษาเบื้องต้น (ตามกิจกรรมที่ 3) ด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่าย

จากผลการแต่งหางแร่สังกะสีด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายแสดงให้เห็นว่าสามารถแยกอนุภาคของแร่กลุ่มเคลย์บางส่วนออกจากหางแร่สังกะสีได้ (ผลจากภาพถ่าย SEM รูปที่ 3.6 และ 3.7) แต่ยังไม่สามารถทำให้เกรดสังกะสีเพิ่มขึ้นได้ (ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสีตารางที่ 3.3 และ 3.4) ทั้งนี้เนื่องจากกระแสน้ำที่ป้อนเข้าสู่กระบอกอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายยังมีความเร็วที่ทำให้อนุภาคของแร่สังกะสีบางส่วนปะปนออกไปกับอนุภาคในส่วนไหลล้นทำให้ไม่สามารถแยกอนุภาคสังกะสีออกจากมลทินได้อย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 3.3 เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายที่อัตราการไหลของน้ำ 0.1 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที หรือที่ความเร็วกระแสน้ำ 0.0004 เซนติเมตรต่อวินาที

ชื่อตัวอย่าง	ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสี (%)
ตัวอย่างก่อนป้อน (Feed)	6.06
ส่วนจมน้ำ (Sink)	5.78
ส่วนไหลล้น (Overflow)	4.68

ตารางที่ 3.4 เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรไลต์อย่างง่ายที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที หรือที่ความเร็วกระแสไฟฟ้า 0.002 เซนติเมตรต่อวินาที

ชื่อตัวอย่าง	ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสี (%)
ตัวอย่างก่อนป้อน (Feed)	6.41
ส่วนจม (Sink)	6.21
ส่วนไหลล้น (Overflow)	5.84

3.3 ผลการออกแบบและสร้างอิเล็คโตรไลต์ขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ (กิจกรรมที่ 3)

อิเล็คโตรไลต์ที่สร้างขึ้นมีอัตราการไหลของน้ำที่คงที่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.11 เนื่องจากควบคุมความดันสถิตของแหล่งน้ำที่ป้อนเข้าอิเล็คโตรไลต์ ดังนั้นการไหลจึงเป็นแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ซึ่งค่าอัตราการไหลของกระแสไฟฟ้าและความเร็วของกระแสไฟฟ้าที่ไหลสวนทางกับการตกตัวของอนุภาคแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 และ 3.6

ตารางที่ 3.5 ระดับขั้นการเปิดวาล์วกับอัตราการไหลของน้ำที่เข้าสู่อิเล็คโตรไลต์

จีระดับขั้น	อัตราการไหล (cm ³ /s)	จีระดับขั้น	อัตราการไหล (cm ³ /s)
0	-	4	34.5
1	-	5	56.4
2	3.2	6	88.4
3	14.0	7	129.8

ตารางที่ 3.6 ระดับขั้นการเปิดวาล์วกับความเร็วของกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่อิเล็คโตรไลต์

จีระดับขั้น	ความเร็วกระแสไฟฟ้า, v (cm/s)	จีระดับขั้น	ความเร็วกระแสไฟฟ้า, v (cm/s)
0	-	4	0.06911
1	-	5	0.11300
2	0.00634	6	0.17732
3	0.02810	7	0.26024

จากผลการศึกษาเบื้องต้นทำให้รู้ว่าอนุภาคแร่สังกะสีจะกระจายตัวอยู่ที่ช่วงขนาดโตกว่า 8 ไมครอน ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลนี้เพื่อคำนวณความเร็วในการตกตัวของอนุภาคแต่ละอนุภาคที่อยู่ในหางแร่สังกะสีดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ความเร็วในการตกตัวของอนุภาคต่าง ๆ ที่อยู่ในหางแร่สังกะสี (ต้องการเก็บอนุภาคที่โตกว่า 8 ไมครอนเป็นส่วนจม (Sink)) โดยคำนวณจากสมการของสโตคส์

อนุภาคในหางแร่	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (microns)	ความถ่วงจำเพาะ	ความเร็ว, V (cm/s)
Smithsonite	8	4.35	0.01168
Hemimorphite	8	3.45	0.00854
Illite	8	2.75	0.00610
Monmorillonite	8	2.5	0.00523

จากข้อมูลในตารางที่ 3.6 และ 3.7 จะเห็นว่าอิลูตริเอเตอร์ที่ออกแบบ มีความเร็วของกระแสน้ำที่ทำให้เอาชนะความเร็วในการตกตัวของมลทินกลุ่มเคลย์ ดังนั้นอิลูตริเอเตอร์ที่ออกแบบขึ้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะคัดแยกมลทินกลุ่มเคลย์ออกจากหางแร่สังกะสีได้



รูปที่ 3.11 อิลูตริเอเตอร์ที่ออกแบบและสร้างขณะทำการศึกษา

3.4 ผลการศึกษาการแต่งแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่สร้างขึ้น (กิจกรรมที่ 4)

จากผลการวิเคราะห์การแต่งแร่ด้วยอิลูทริเอเตอร์อย่างง่ายทำให้รู้ว่ากระแสน้ำที่ไหลเข้ากระบอกลูทริเอเตอร์มีความเร็วมากเกินไปทำให้อนุภาคของแร่สังกะสีปะปนออกไปกับส่วนไหลล้นเนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกลูทริเอเตอร์มีขนาดเล็ก ดังนั้นอิลูทริเอเตอร์จึงถูกออกแบบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตขึ้น เพื่อควบคุมให้กระแสน้ำที่ไหลเข้าสู่กระบอกลูทริเอเตอร์ช้าลง และกำหนดอัตราการไหลของกระแสน้ำที่กระบอกลูทริเอเตอร์เป็น 3.2, 14, 34.5 และ 56 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที (ความเร็วไหลขึ้นของกระแสน้ำ 0.006, 0.028, 0.069 และ 0.113 เซนติเมตรต่อวินาทีตามลำดับ) ตามขีดลำดับขั้นของวาล์วควบคุมอัตราการไหล ซึ่งผลการแต่งถูกวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาค และการวิเคราะห์เกรดสังกะสี

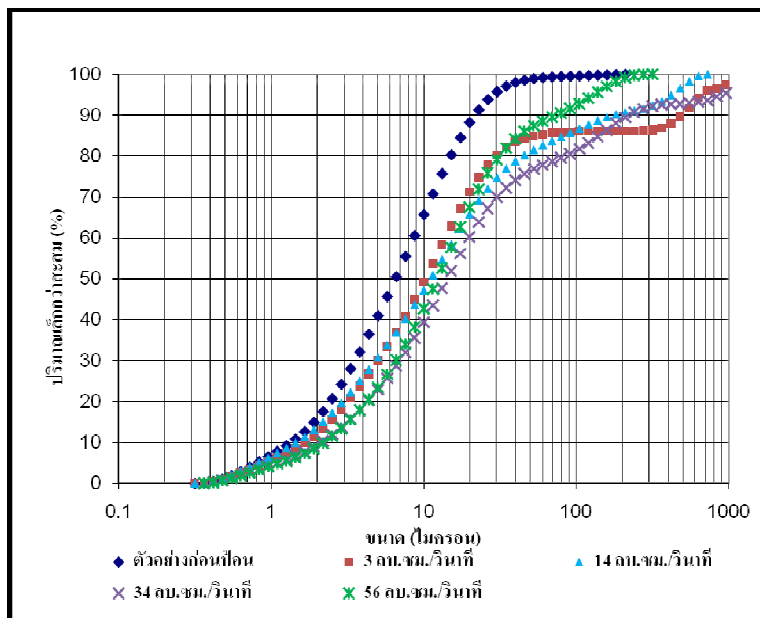
3.4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคทางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งแร่

ตารางที่ 3.8 ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ d_{50} เมื่อแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ที่ออกแบบ

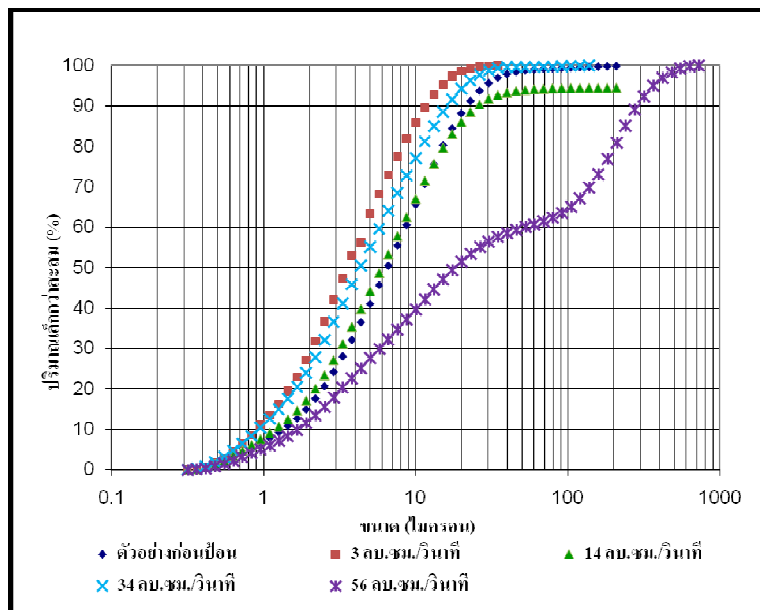
ชื่อตัวอย่าง อัตราการไหล	d_{50} (ไมครอน) ส่วนป้อน (Feed)	d_{50} (ไมครอน) ส่วนจม (Sink)	d_{50} (ไมครอน) ส่วนไหลล้น (Overflow) (อ่านจาก Smooth Curve)
3.2 cm ³ /s	6.8	10	3.2
14 cm ³ /s	6.8	10.1	5.9
34.5 cm ³ /s	6.8	10.5	7.5
56 cm ³ /s	6.8	10.3	8.3

จากผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ในส่วนจม (รูปที่ 3.12) แสดงให้เห็นว่าขนาด d_{50} ของส่วนจมในแต่ละอัตราการไหลมีขนาดโตกว่า d_{50} ของหางแร่ก่อนป้อนเข้าสู่กระบอกลูทริเอเตอร์ นั่นคืออนุภาคขนาดเล็กและความถี่จำเพาะต่ำโดยเฉพาะอนุภาคของกลุ่มแร่เคลย์ถูกคัดออกไปในส่วนไหลล้นแล้ว ดังในรูปที่ 3.13 ซึ่งขนาดอนุภาคในส่วนไหลล้นของแต่ละอัตราการไหล มีขนาด d_{50} ต่ำกว่าขนาดอนุภาคหางแร่ก่อนป้อนเข้าสู่กระบอกลูทริเอเตอร์ดังตารางที่ 3.8 (ซึ่งเป็นค่าที่อ่านจากกราฟปรับแก้ในภาคผนวก จ) ยกเว้นที่อัตราการไหลที่ 56 cm³/s ขนาด d_{50} ของส่วนไหลล้นโตกว่าตัวอย่างก่อน

ป้อนเข้าสู่กระบอกลูทริเอเตอร์ ซึ่งอาจเป็นเพราะอนุภาคของกลุ่มแร่เคลย์มีขนาดโตปะปนอยู่มาก จึงทำให้ผลวิเคราะห์ในส่วนนี้มีค่า d_{50} สูงกว่าหางแร่ก่อนป้อนเข้าสู่กระบอกลูทริเอเตอร์



รูปที่ 3.12 การกระจายตัวของหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ในส่วนจม



รูปที่ 3.13 การกระจายตัวของหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิลูทริเอเตอร์ในส่วนไหล
ล้น

3.4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโพลีเมอร์ที่ออกแบบ

ตารางที่ 3.9 เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโพลีเมอร์ที่ออกแบบที่อัตราการไหลขึ้นของน้ำ 3.2 ลบ.ซม.ต่อวินาที หรือ ที่ความเร็วของกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น 0.006 ซม.ต่อวินาที

ชื่อตัวอย่าง	ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสี (%)	น้ำหนักแร่แห้ง (g)	%Recovery
ตัวอย่างก่อนป้อน (Feed)	8.08	78.56	
ส่วนจม (Sink)	10.30	42.13	54
ส่วนไหลล้น (Overflow)	5.64	36.43	

ตารางที่ 3.10 เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโพลีเมอร์ที่ออกแบบที่อัตราการไหลขึ้นของน้ำ 14.0 ลบ.ซม.ต่อวินาที หรือที่ความเร็วของกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น 0.028 ซม.ต่อวินาที

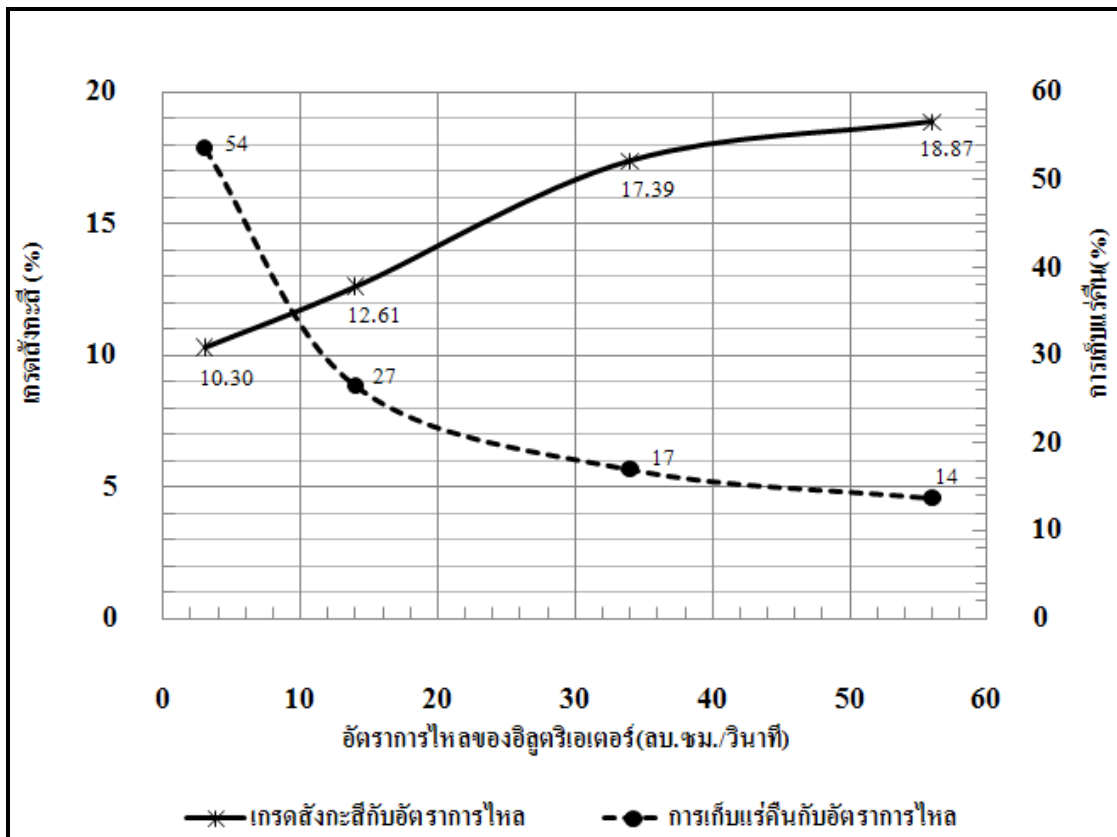
ชื่อตัวอย่าง	ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสี (%)	น้ำหนักแร่แห้ง (g)	%Recovery
ตัวอย่างก่อนป้อน (Feed)	8.08	78.71	
ส่วนจม (Sink)	12.61	20.87	27
ส่วนไหลล้น (Overflow)	6.47	57.84	

ตารางที่ 3.11 เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโพลีเมอร์ที่ออกแบบที่อัตราการไหลขึ้นของน้ำ 34.5 ลบ.ซม.ต่อวินาที หรือที่ความเร็วของกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น 0.069 ซม.ต่อวินาที

ชื่อตัวอย่าง	ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสี (%)	น้ำหนักแร่แห้ง (g)	%Recovery
ตัวอย่างก่อนป้อน (Feed)	8.08	82.76	
ส่วนจม (Sink)	17.39	14.09	17
ส่วนไหลล้น (Overflow)	5.91	68.67	

ตารางที่ 3.12 เกรดของแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิเล็คโตรโพลีเมอร์ที่ออกแบบที่อัตราการไหลขึ้นของน้ำ 56.0 ลบ.ซม.ต่อวินาที หรือที่ความเร็วของกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น 0.113 ซม.ต่อวินาที

ชื่อตัวอย่าง	ผลวิเคราะห์เกรดสังกะสี (%)	น้ำหนักแร่แห้ง (g)	%Recovery
ตัวอย่างก่อนป้อน (Feed)	8.08	71.82	
ส่วนจม (Sink)	18.87	9.88	14
ส่วนไหลล้น (Overflow)	7.12	61.94	



รูปที่ 3.14 ปริมาณสังกะสีในส่วนจมที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิฐตรีเอดอร์กับเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่

จากผลวิเคราะห์เกรตติ้งกะสีในหางแร่สังกะสีที่ผ่านกระบวนการแต่งด้วยอิฐตรีเอดอร์ที่ออกแบบตามตารางที่ 3.9 - 3.12 และรูปที่ 3.14 แสดงให้เห็นว่าอิฐตรีเอดอร์ที่ออกแบบขึ้นสามารถคัดแยกมลทินของแร่กลุ่มเคลย์ออกจากหางแร่สังกะสีได้โดยไม่ทำให้อนุภาคของแร่สังกะสีไหลปะปนไปกับส่วนไหลล้น

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 บทสรุป

4.1.1 จากการศึกษาการแต่งหางแร่สังกะสีในงานวิจัยนี้พบว่า หางแร่สังกะสีมีขนาดอนุภาคที่ d_{50} ประมาณ 7 ไมครอน ประกอบด้วย โดโลไมต์ (Dolomite) ควอตซ์ (Quartz) อิลไลต์ (Illite) และมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ซึ่งเป็นกลุ่มแร่ลทินที่ปะปนกับแร่สังกะสีสองชนิดคือ แร่สังกะสีฮีโมมอร์ไฟต์ (Hemimorphite) และแร่สังกะสีสมิทซอไนต์ (Smithsonite)

4.1.2 เมื่อทำการคัดขนาดหางแร่สังกะสีด้วยวิธี Beaker Decantation แล้วนำไปตรวจสอบด้วย XRD พบว่าแร่สังกะสีจะตกอยู่ที่ช่วงขนาดโตกว่า 8 ไมครอนเป็นส่วนใหญ่

4.1.3 เมื่อนำข้อมูลจากการศึกษาเบื้องต้นและการแต่งด้วยกระบอกอิลูตริเอเตอร์อย่างง่ายมาออกแบบอิลูตริเอเตอร์ขนาดทดลองในห้องปฏิบัติการ แล้วทำการแต่งหางแร่สังกะสีพบว่า สามารถแต่งหางแร่สังกะสีจากเกรด 5-7 %Zn เพิ่มเป็น 10-19 %Zn ซึ่งขนาดอนุภาคที่ d_{50} ของแต่ละอัตราการไหลอยู่ที่ประมาณ 10-10.5 ไมครอนขณะที่ขนาดอนุภาคที่ d_{50} ของแร่ป้อนอยู่ที่ประมาณ 7 ไมครอน ทั้งนี้เนื่องจากอิลูตริเอเตอร์ที่ออกแบบขึ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่ขึ้น (12.6 เซนติเมตร) ทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ดีขึ้น และมีถังเก็บน้ำซึ่งสามารถควบคุมความดันสถิตให้คงที่ ทำให้อัตราไหลของน้ำที่เข้าสู่อิลูตริเอเตอร์ไหลอย่างคงที่สม่ำเสมอแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

4.1.4 เปอร์เซ็นต์ของการเก็บแร่ได้ (%Recovery) ขึ้นอยู่กับแต่ละอัตราการไหลของกระแสน้ำที่ป้อนเข้ากระบอกอิลูตริเอเตอร์ ซึ่งเกรดหัวแร่ที่จะนำเข้าโรงถลุงที่ประมาณ 15 – 16 %Zn จะเก็บแร่ได้ประมาณ 17.4% และใช้อัตราการไหลที่ประมาณ 34 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที หรือความเร็วไหลขึ้นของกระแสน้ำที่ 0.069 เซนติเมตรต่อวินาที

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การเก็บแร่ได้ (% Recovery) ของอิลูทรีเอเตอร์ที่ออกแบบเก็บแร่ได้น้อย หากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพต้องออกแบบอิลูทรีเอเตอร์ให้เป็นลักษณะต่อขนานกันหลายตัว ซึ่งจะเพิ่มปริมาณการเก็บแร่ได้ (% Recovery) ของอิลูทรีเอเตอร์ให้สูงขึ้นได้

4.2.2 เนื่องจากหางแร่สังกะสีมีขนาดละเอียดมากและมีเกรดสังกะสีอยู่เพียง 5-7 %Zn ดังนั้นการชักตัวอย่างที่ถูกรวบรวม และการวางแผนการเก็บตัวอย่างจากแหล่งตัวอย่างเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องการความถูกต้อง นอกจากนี้การชักตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ในแต่ละครั้งต้องใช้ความละเอียดรอบคอบมากเนื่องจากปริมาณของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละผลการทดลองน้อยมาก จึงจำเป็นต้องทำอย่างระมัดระวังรอบคอบเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องมากที่สุดในการชักตัวอย่างเพื่อให้ได้ตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง

บรรณานุกรม

- Balassone, G., Rossi, M., Boni, M., Stanley, G., and McDermott, P. (2008). “Mineralogical and geochemical characterization of nonsulfide Zn–Pb mineralization at Silvermines and Galmoy (Irish Midlands),” *Ore Geology Reviews*, 33(2), 168-186.
- Eisenmann, M.D. (2001). “Elutriation Technology in Heavy Mineral Separations.” report presented to Virginia Polytechnic Institute and State University, at Blacksburg, VA., in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- Gualtieri, A.F., Ferrari, S., Leoni, M., Grathoff, G., Hugo, R., Shatnawi, M., Pagliad G., and Billinged, S. (2008). “Structural Characterization of The Clay Mineral Illite-1M.” *J. Appl. Cryst.*, 41(2), 402-415.
- Kapure, G., Kari, C., Rao, S.M., and Rao, N.D. (2007). “The Feasibility of a Slip Velocity Model for Predicting the Enrichment of Chromite in a Floatex Density Separator,” *Int. J. Miner. Process.*, 82(2), 86-95.
- Wills, B.A. (1981). *Mineral Processing Technology*, 2nd Ed., Pergamon Press, NY., 218.
- Ramos-Tejada, M.M., Arroyo, F.J., Perea, R., and Duran, J.D.G. (2001). “Scaling Behavior of the Rheological Properties of Montmorillonite Suspensions: Correlation between Interparticle Interaction and Degree of Flocculation” *Journal of Colloid and Interface Science*, 235(2), 251-259.
- Stokes, G.G. (1901). “Mathematical and Physical Papers.” *also in Trans. Cambridge Phil. Soc.*, 9(2), 51 et seq. (1851) อ้างตาม Gaudin, A.M. (1967). *Principles of Mineral Dressing*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 165-201.
- Wadell, H. (1934). “Some New Sedimentation Formulas.” *Physics*, 5(10), 281-291. อ้างตาม Gaudin, A.M. (1967). *Principles of Mineral Dressing*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 195.
- Wadell, H. (1934). “The Coefficient of Resistance as Function of Reynolds’ Number for Solids of Various Shapes.” *J. Franklin Inst.*, 217(4), 459-490. อ้างตาม Gaudin, A.M. (1967). *Principles of Mineral Dressing*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 196.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วย AAS

การวิเคราะห์ปริมาณสังกะสีในหางแร่สังกะสี

เนื่องจากหางแร่สังกะสีมีปริมาณสังกะสีอยู่น้อยมากจึงใช้วิธีการย่อย (Digestion) ด้วยกรด ไฮโดรคลอริก (HCl) เปอร์คลอริก (HClO₄) และ กรดไนตริก (HNO₃) เพื่อให้สังกะสี กลายเป็นสารละลายความเข้มข้นสูง (Stock Solution) แล้วนำไปเจือจาง (Dilute) เพื่อวัดปริมาณ สังกะสีด้วย AAS

ขั้นตอนการดำเนินการมีดังนี้

1) อดตัวอย่างหางแร่สังกะสีเพื่อไล่ความชื้น แล้วบดด้วยครกบด Silicate Mortar (เนื่องจากหางแร่มีลักษณะเป็นน้ำโคลน เมื่อผ่านการอบจึงจับตัวกันแน่นเป็นก้อน)

2) นำตัวอย่างหางแร่สังกะสีที่ผ่านการบดแล้วไปร่อนผ่านตะแกรง 100 เมช (ต้อง ผ่านทั้งหมด) แล้วชั่งตัวอย่างเพื่อทำการย่อย (Digestion) ด้วยกรดซึ่งจะใช้ตัวอย่างประมาณ 0.5000 กรัม (ชั่งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3) นำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตรปิดด้วยกระจกนาฬิกา พร้อมทั้งเตรียม สารละลายเปล่า (Blank Solution) ไปพร้อม ๆ กัน

4) ใส่น้ำข้างบีกเกอร์ให้ตัวอย่างเปียกเล็กน้อย (ป้องกันการกระเด็นของกรด)

5) เติมกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 10 มิลลิลิตร และกรดไนตริก (HNO₃) 5 มิลลิลิตร ย่อยจนเกือบแห้งบนเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) ประมาณ 1 ชั่วโมง

6) ยกออกจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) แล้วปล่อยให้เย็น เมื่อเย็นแล้วจึงเติม กรดเปอร์คลอริก (HClO₄) 10 มิลลิลิตร (ก่อนเติมต้องแน่ใจว่าตัวอย่างเย็นแล้ว) อุณหภูมิเกิดควันขาว ของกรด แล้วเปิดกระจกนาฬิกาไล่ควันให้แห้งประมาณ 1 ชั่วโมง

7) ยกออกจากเครื่องให้ความร้อน (Hot Plate) ปล่อยให้เย็นแล้วเติมกรดไฮโดร คลอริกความเข้มข้น 20% (HCl) ประมาณ 10 มิลลิลิตร อุณหภูมิประมาณ 10 นาทีแล้วปล่อยให้เย็น

8) นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในขวด Volumetric Flask ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วล้างตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% (HCl) 3-4 ครั้ง ตามด้วยน้ำกลั่น 3-4 ครั้ง

9) ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำกลั่นเพื่อเตรียมเป็นสารละลายความ เข้มข้นสูง (Stock Solution)

10) อดสารละลายสังกะสีจากสารละลายข้อ 9) มา 1 มิลลิลิตร ทำให้เจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร โดยเติมกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร นำ ตัวอย่างที่เจือจางแล้ววิเคราะห์ปริมาณสังกะสีด้วย AAS

ภาคผนวก ข
แบบแสดงขนาดและส่วนประกอบอิฐตรีเเตอร์ที่ออกแบบ

A

B

C

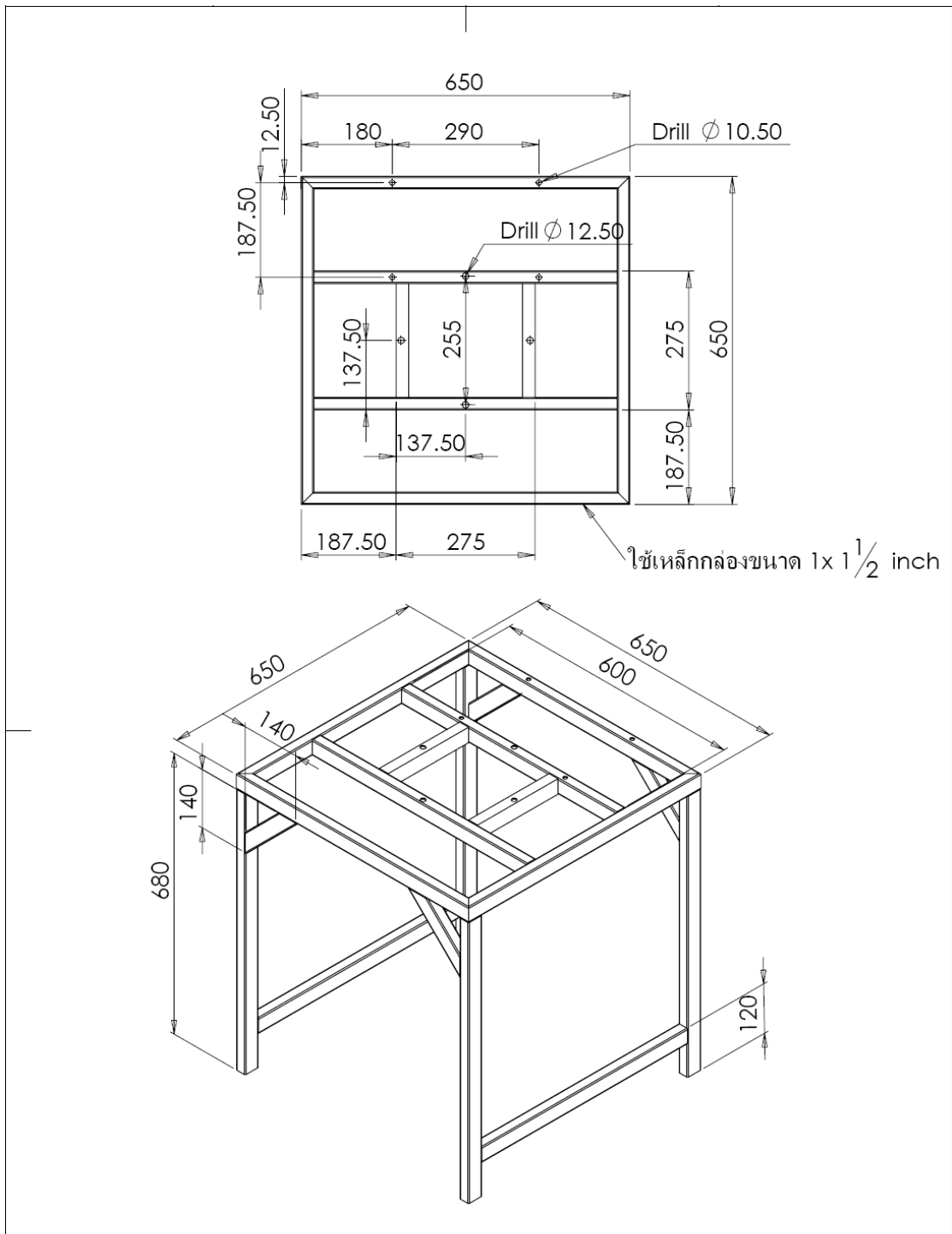
D

E

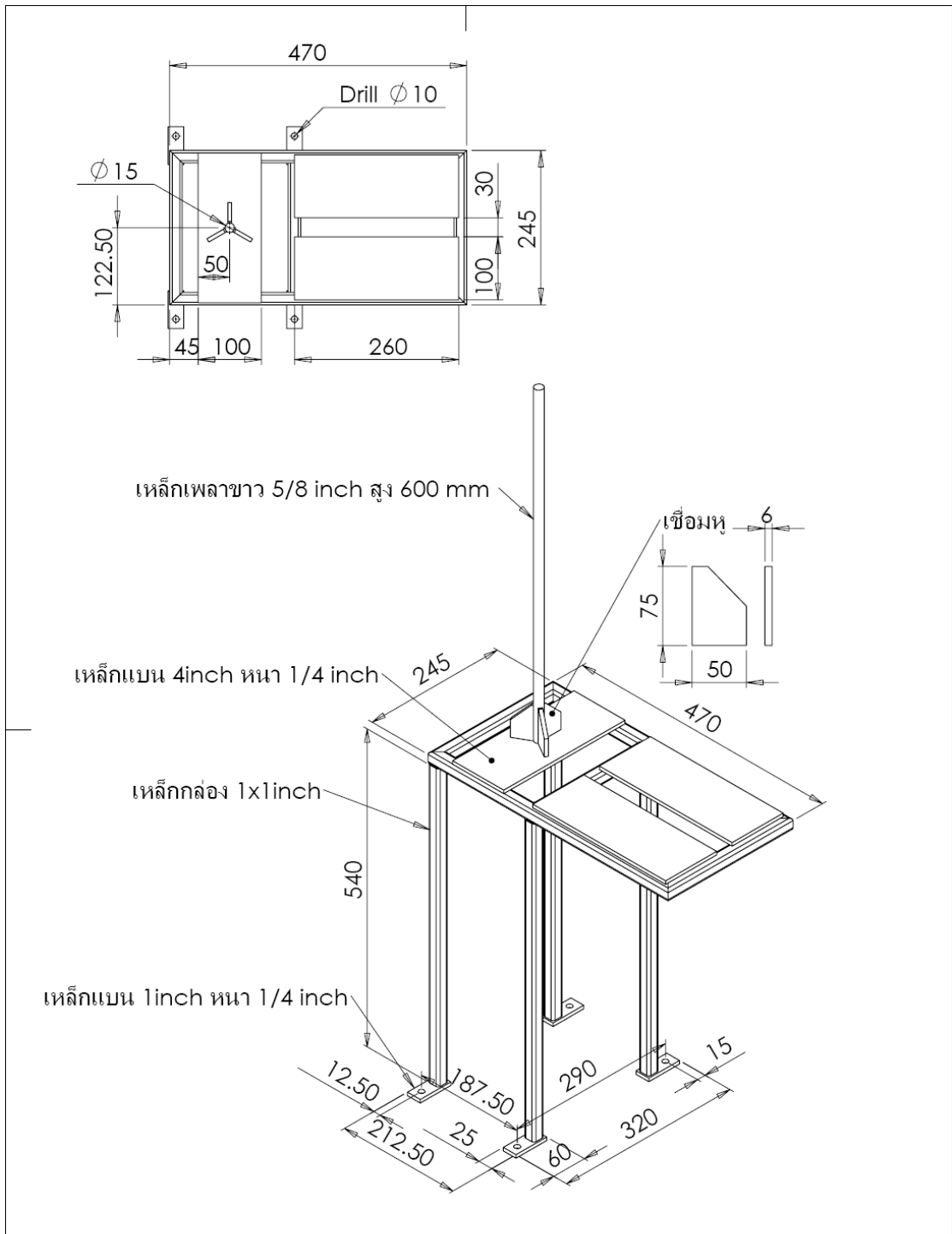
F

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Table, square steel 1x1 1/2 inch	1
2	Support Cone, Tube steel 3/8 inch	1
3	Cone	1
4	B18.2.3.3M - Heavy hex screw, M12 x 1.75 x 45 --45N	4
5	Header, square steel 1x1 inch	1
6	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M10 x 1.5 x 45 --26WN	4

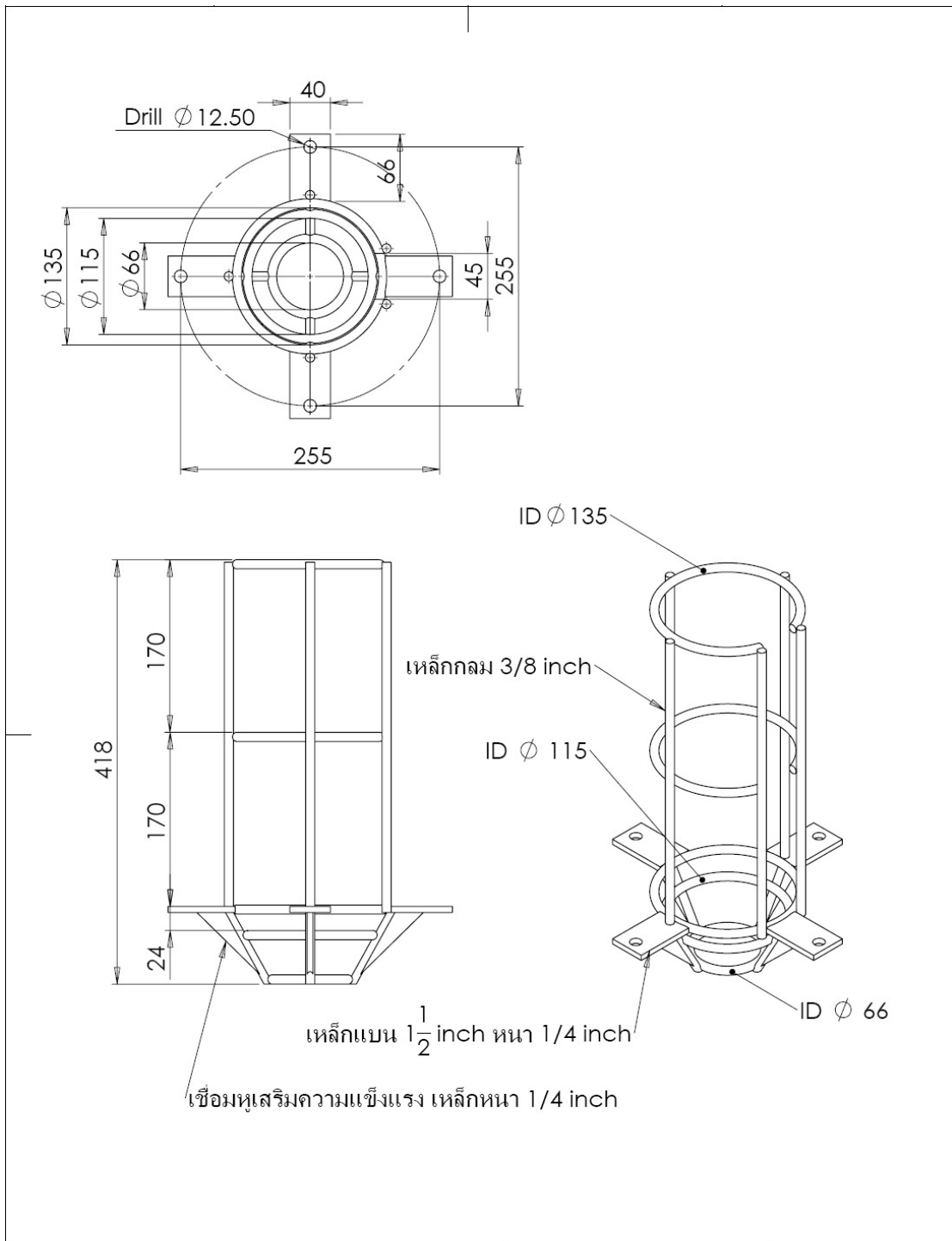
Company: Mining Engineering Address: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 Fax: 074-212897	Dimension: mm Materials: Steel DWG name: ภาพประกอบ TITLE: Hydrocyclone DWG by: Somjai janudom Edit DWG by: Pongsisi Julapong 0872936383	Date : Oct 7,2009 Nuber: 1 PCS DWG No: A4 SCALE:1:20 SHEET 1 OF 4
Tolarances: 01-50 ± 0.05 51-100 ± 0.1 101-200 ± 0.5	Third Agle:	Customer/Vender name: File name:
WEIGHT:		



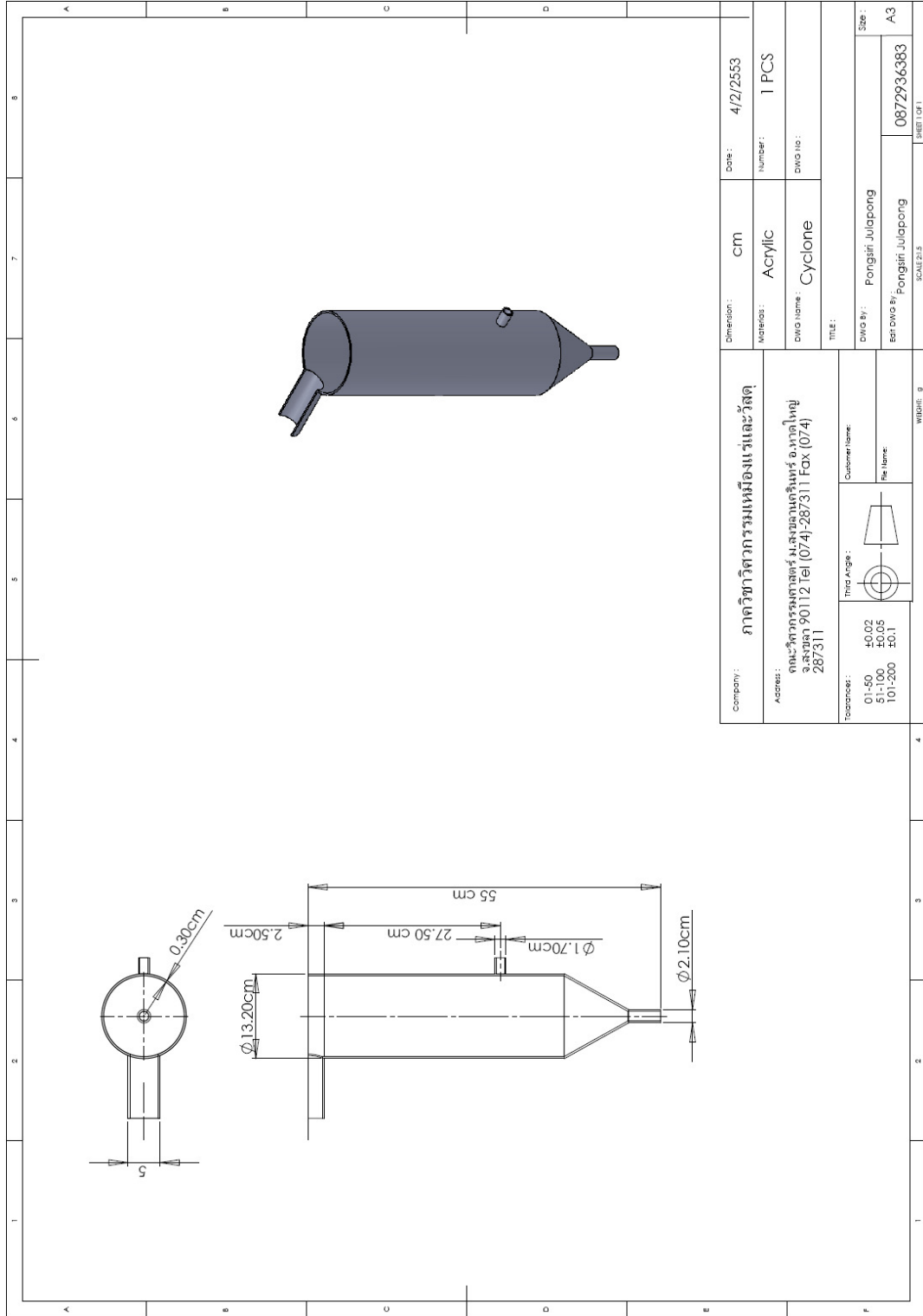
Company: Mining Engineering		Dimension: mm	Date: Oct 7, 2009
Address: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 Fax: 074-212897		Materials: Steel	Number: 1 PCS
Tolerances: 01-50 ± 0.05 51-100 ± 0.1 101-200 ± 0.5		DWG name: Table	DWG No:
Third Angle:	Customer/Vender name:	TITLE: Hydrocyclone	
File name:		DWG by: Somjai janudom	A4
WEIGHT:		Edit DWG by: Pongsisi Julapong 0872936383	
		SCALE: 1:20	SHEET 2 OF 4



Company: Mining Engineering		Dimension: mm	Date: Oct 7, 2009
Address: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 Fax: 074-212897		Materials: Steel	Nuber: 1 PCS
Tolarances: 01-50 ± 0.05 51-100 ± 0.1 101-200 ± 0.5		DWG name: Header	DWG No:
Third Angle:	Customer/Vender name:	TITLE: Hydrocyclone	
File name:		DWG by: Somjai janudom	A4
WEIGHT:		Edit DWG by: Pongsisi Julapong 0872936383	
SCALE:1:10		SHEET 3 OF 4	



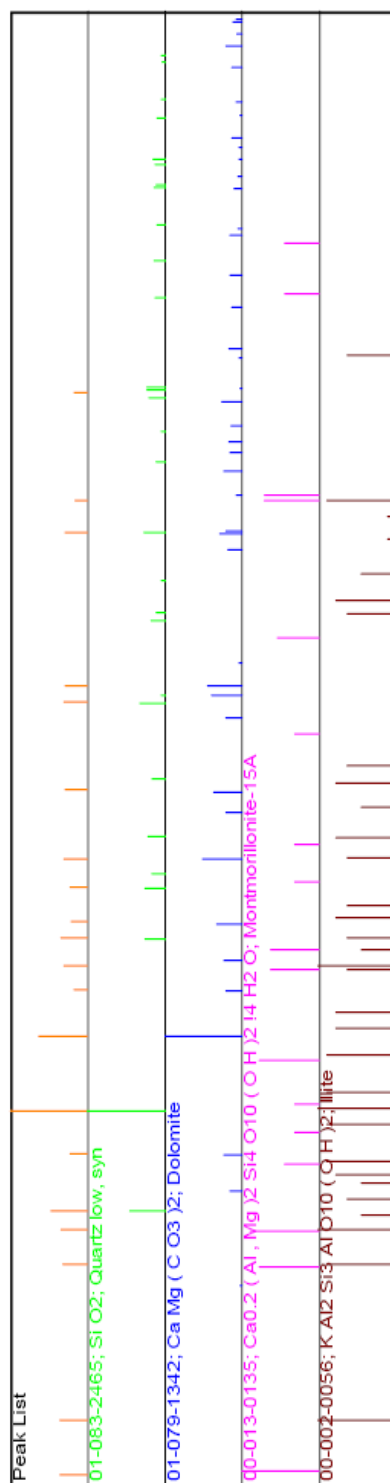
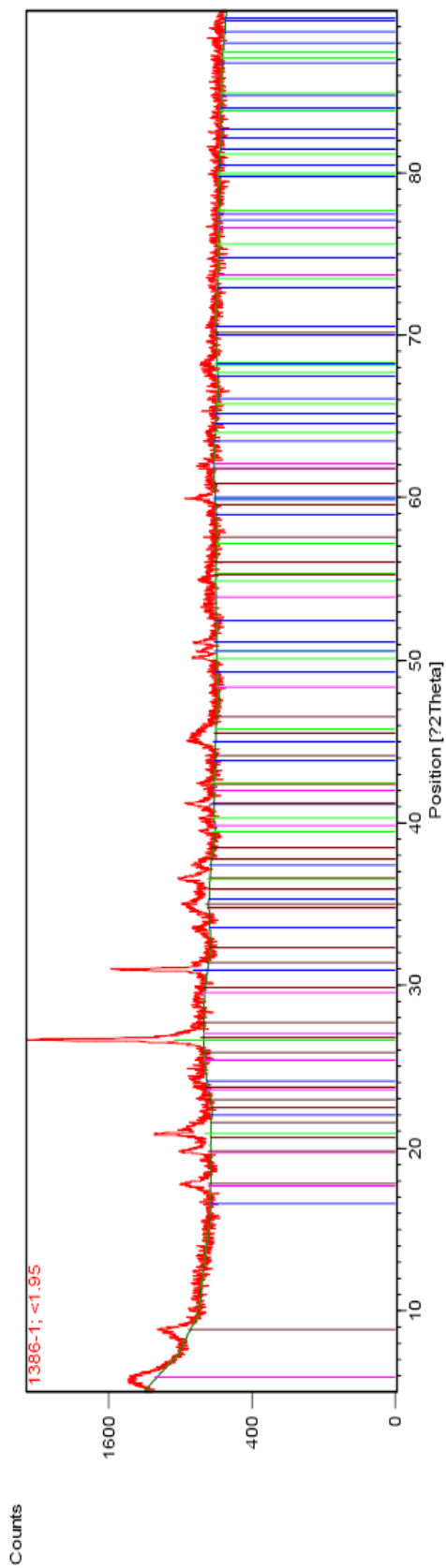
Company: Mining Engineering		Dimension: mm	Date: Oct 7, 2009
Address: ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112 Fax: 074-212897		Material: Steel	Number: 1 PCS
Tolerances: 01-50 ± 0.05 51-100 ± 0.1 101-200 ± 0.5		DWG name: Support Cone	DWG No:
Third Angle:	Customer/Vender name:	TITLE: Hydrocycone	
File name:		DWG by: Somjai janudom	A4
WEIGHT:		Edit DWG by: Pongsisi Julapong 0872936383	
SCALE: 1:5		SHEET 4 OF 4	

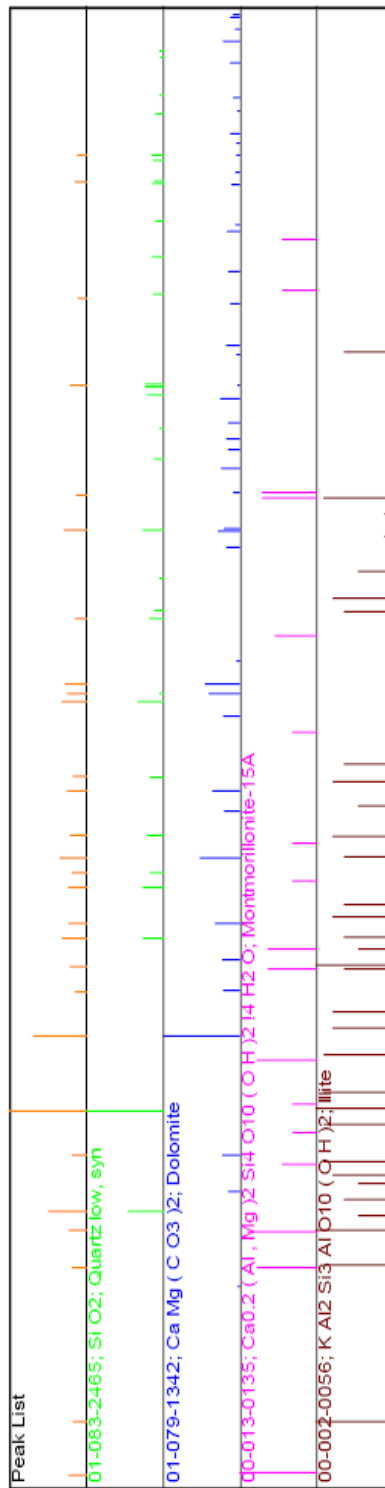
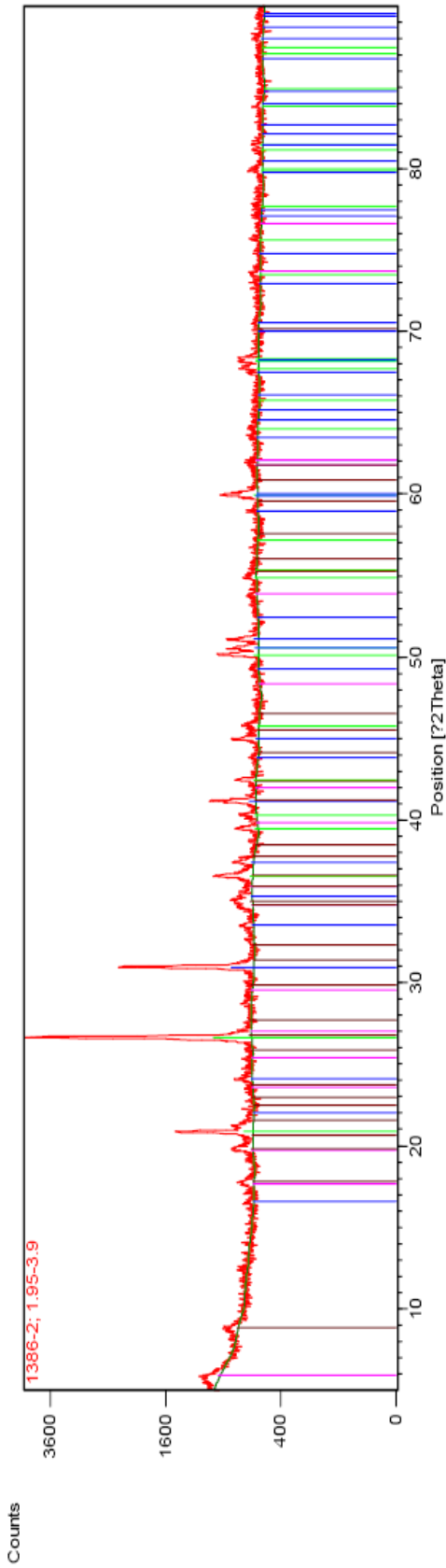


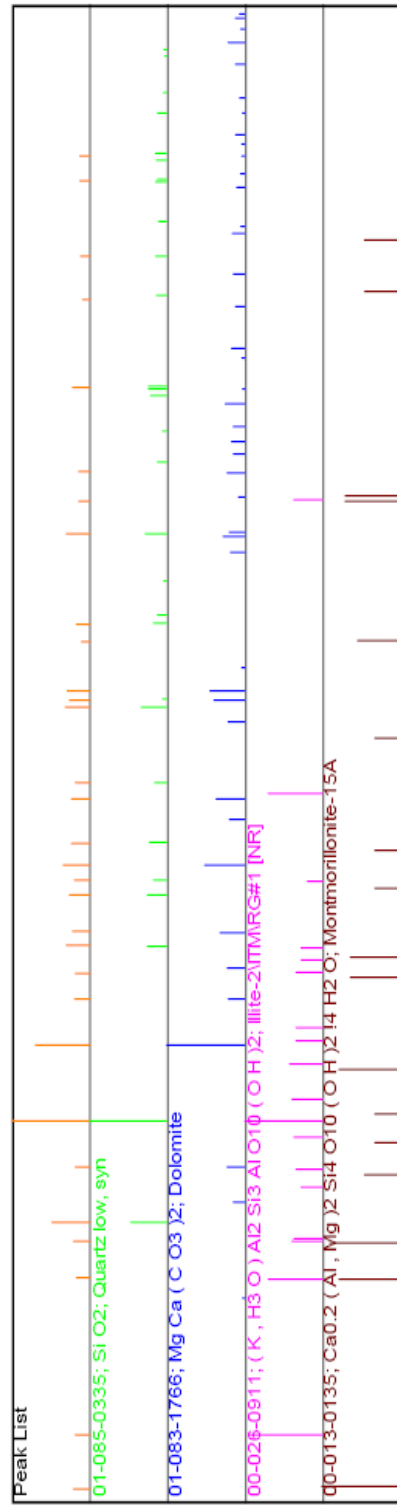
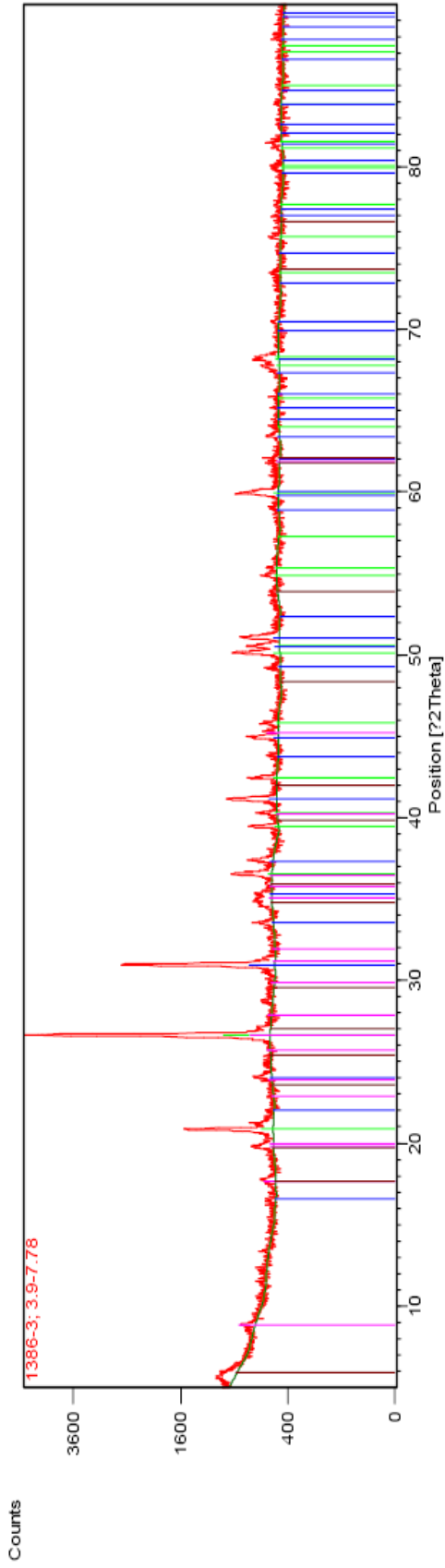
Company:	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและวัสดุ		Dimension:	cm	Date:	4/2/2553
Address:	คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.สงขลานครินทร์ วิทยาเขตใหญ่ จ.สงขลา 90112 Tel (074)-287311 Fax (074) 287311		Material:	Acrylic	Number:	1 PCS
Telephones:	01-50 40.02 51-100 40.05 101-200 40.1	Customer Name:	Div Name:	Cyclone	Div No.:	
		File Name:	TITLE:			
		Scale:	DWG By: Pongsiri Julapong			
		Sheet No.:	Ser DWG By: Pongsiri Julapong			
		Scale:	08/2936383			
		Sheet No.:	A3			
		Scale:	SCALE 2:1			
		Weight:	g			
			SHEET 0/01			

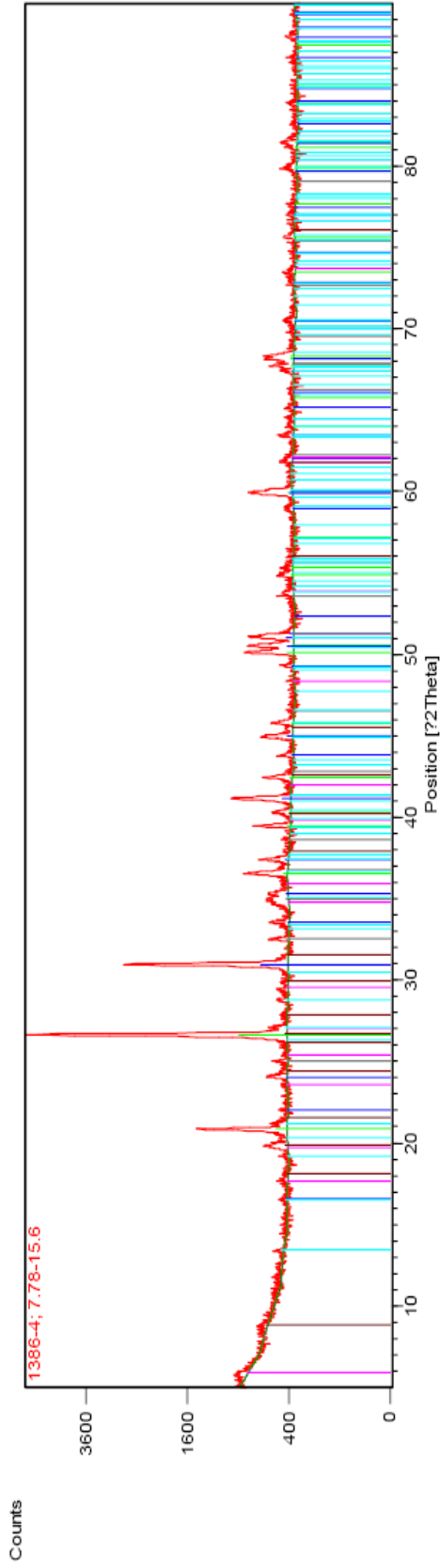
ภาคผนวก ก

ข้อมูลรูปแบบการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์สำหรับอนุภาคทรงเรขาคณิตที่ผ่านการตัด
แยกขนาดด้วยวิธีบีกเกอร์ดีเคนเทชั่น

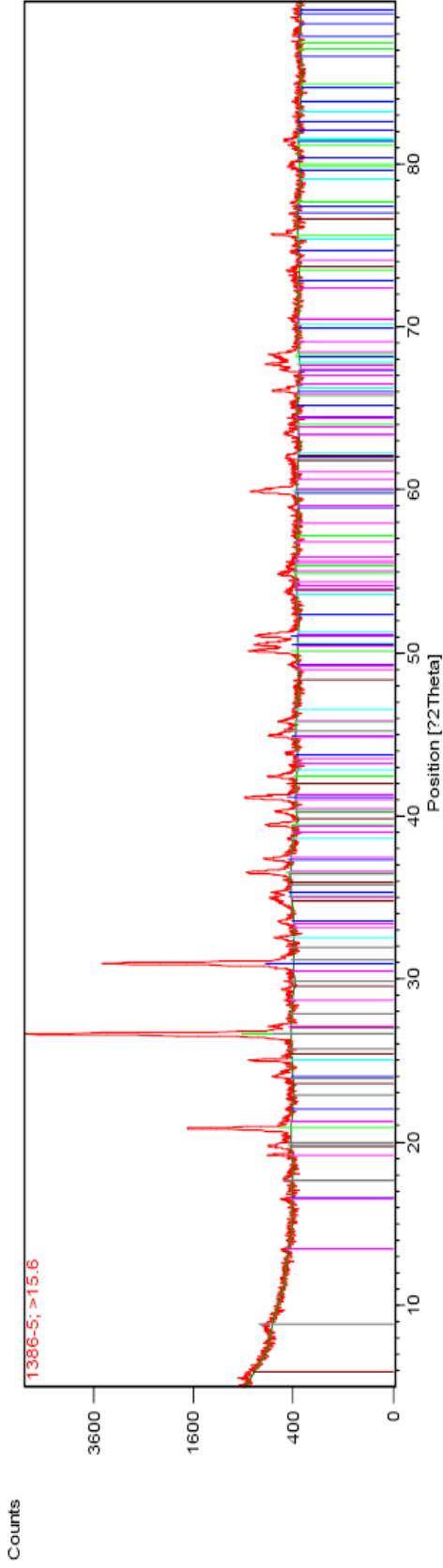








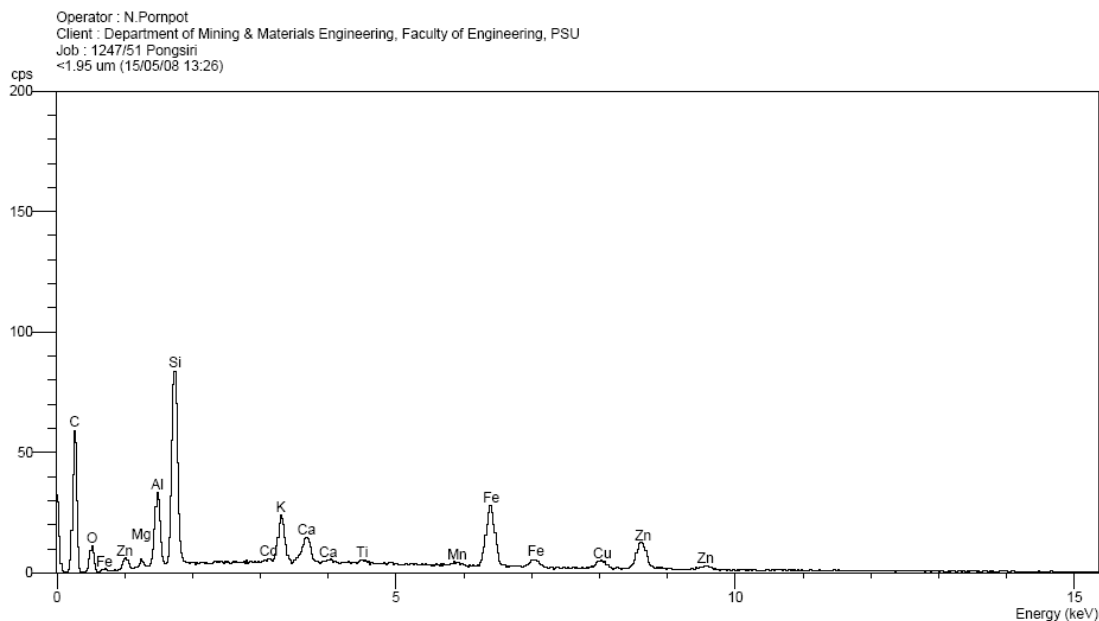
Peak List
01-083-2465; Si O ₂ ; Quartz low, syn
01-075-1760; Ca Mg (C O ₃) ₂ ; Dolomite
00-013-0135; Ca _{0.2} (Al, Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ · 4 H ₂ O; Montmorillonite-15A
00-003-0050; 2 K ₂ O · 3 Mg O · 1 Al ₂ O ₃ · 24 Si O ₂ · 12 H ₂ O; Illite
00-003-0774; Zn C O ₃ ; Smithsonite
01-085-1738; Zn ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂ (H ₂ O); Hemimorphite



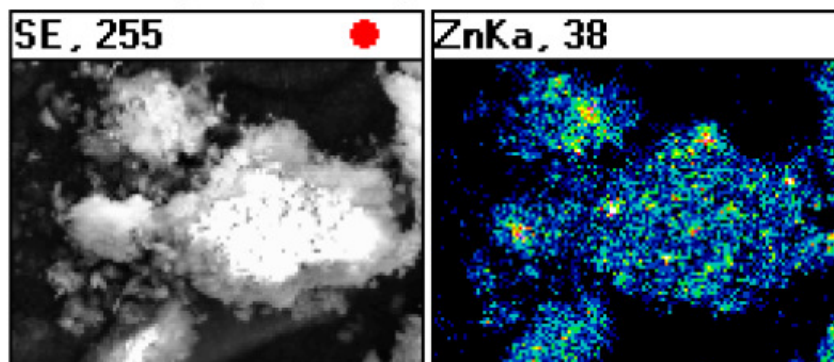
Peak List
01-083-2465; Si O ₂ ; Quartz low, syn
01-083-1766; Mg Ca (C O ₃) ₂ ; Dolomite
00-005-0555; Zn ₄ Si ₂ O ₇ (O H) ₂ 1 H ₂ O; Hemimorphite
00-013-0135; Ca _{0.2} (Al , Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (O H) ₂ 14 H ₂ O; Montmorillonite-15A
00-026-0911; (K , H ₃ O) Al ₂ Si ₃ Al O ₁₀ (O H) ₂ ; Illite-2VTMRG#1 [NR]
00-003-0774; Zn C O ₃ ; Smithsonite

ภาคผนวก ง

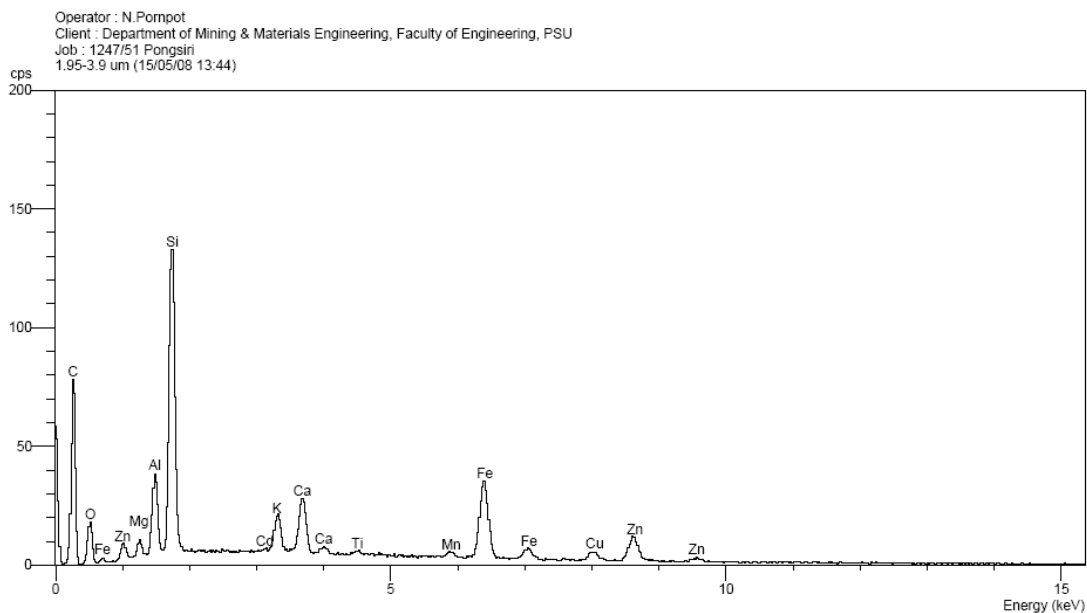
ผลวิเคราะห์ห้องคู่ประกอบด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) สำหรับ
อนุภาคหางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ที่ผ่านการคัดขนาดด้วย
วิธีบีกเกอร์ดีเคนเทชั่น



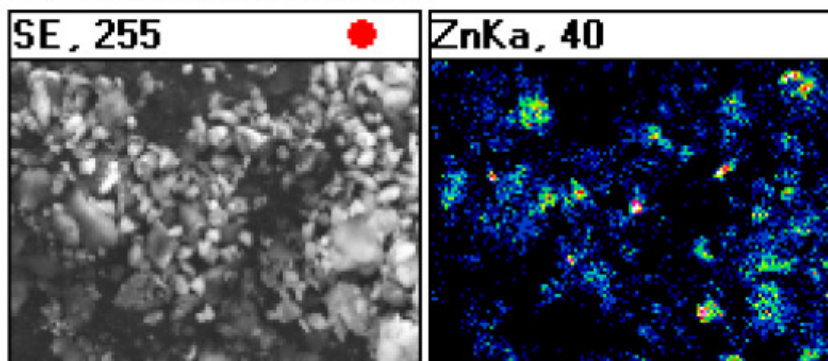
Operator: N.Pompot
 Client: Department of Mining & Materials Engineering, Faculty of Engineering, PSU
 Job: 1247/51 Pongsiri
 Label: <1.95 um (15 May 08 13:28:16)



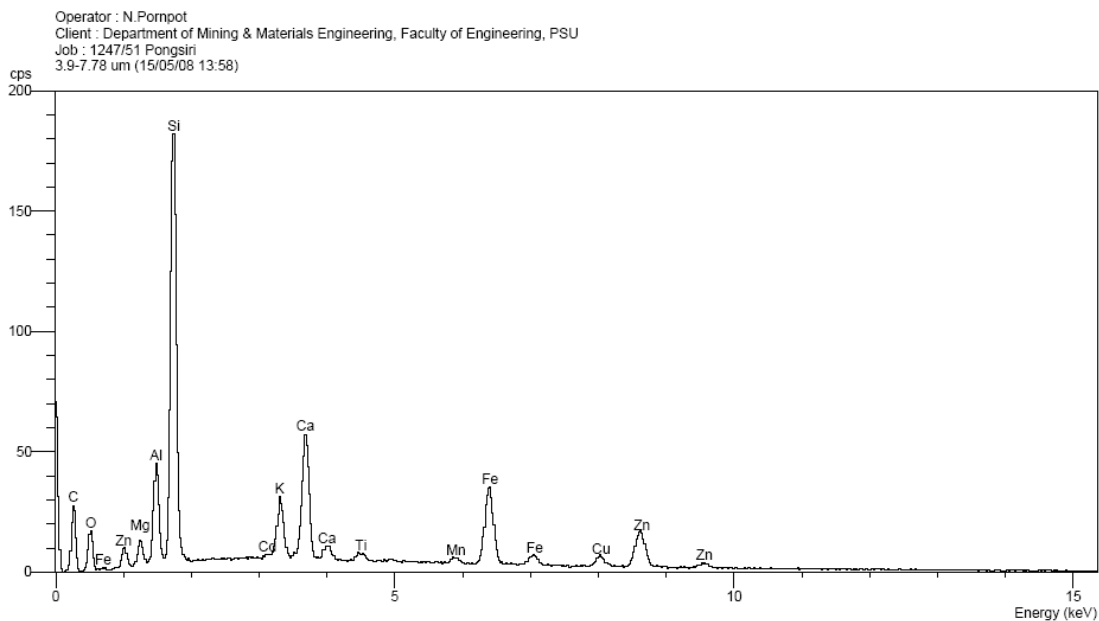
ผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) สำหรับอนุภาคทาง
 แร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธีบีกเกอร์ดีเคนเทชั่น
 ที่ช่วงขนาดเล็กกว่า 1.95 ไมครอน



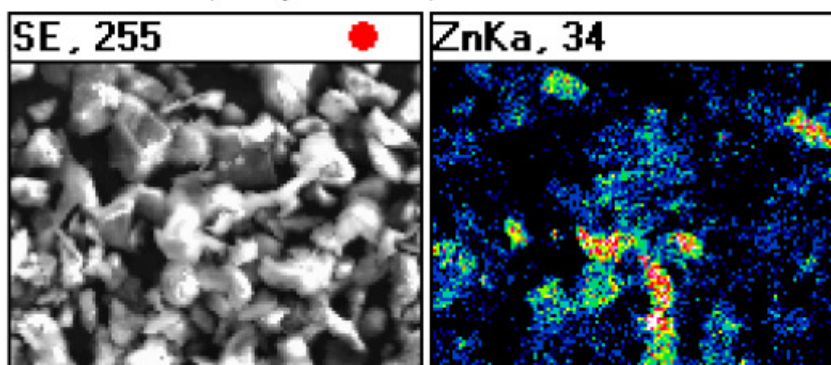
Operator: N.Pompot
 Client: Department of Mining & Materials Engineering, Faculty of Engineering, PSU
 Job: 1247/51 Pongsiri
 Label: 1.95-3.9 um (15 May 08 13:46:16)



ผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) สำหรับอนุภาคทางแร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธีบีกเกอร์ดีเคนเทชั่น ที่ช่วงขนาด 1.95-3.9 ไมครอน



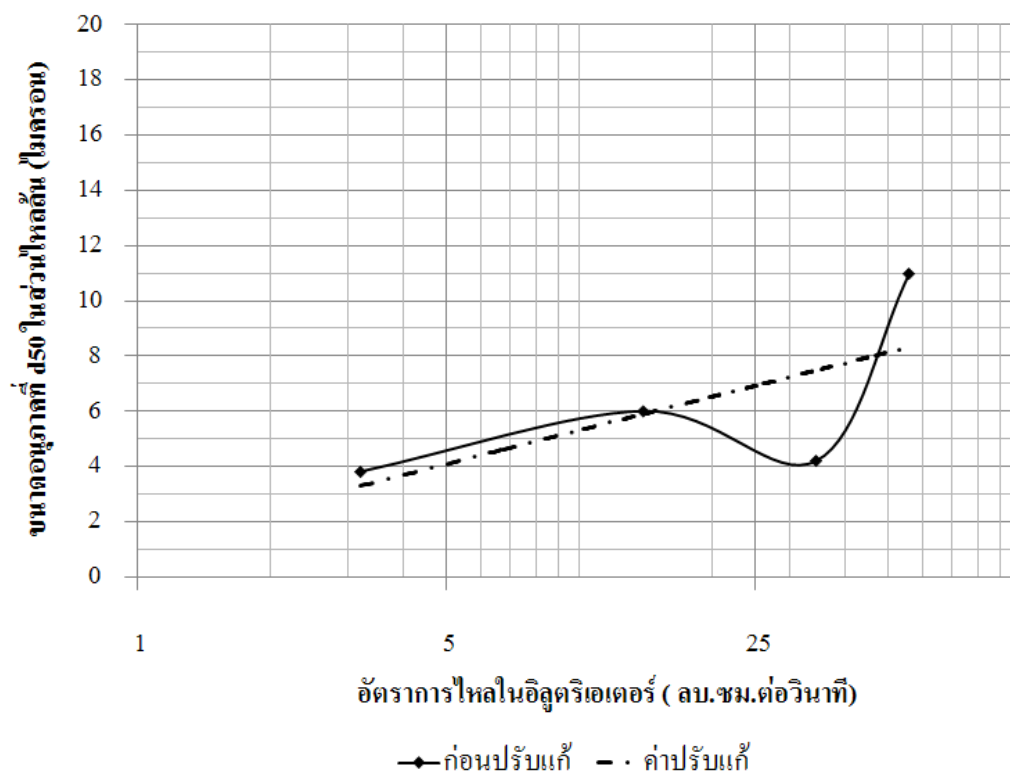
Operator: N.Pompot
 Client: Department of Mining & Materials Engineering, Faculty of Engineering, PSU
 Job: 1247/51 Pongsiri
 Label: 3.9-7.78 um (15 May 08 14:00:18)



ผลวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการด้วยเทคนิคการกระจายค่าพลังงาน (EDX Mapping) สำหรับอนุภาคทาง
 แร่สังกะสีจากบริษัทผาแดงอินดัสทรีจำกัด (มหาชน) ที่ผ่านการคัดขนาดด้วยวิธีบีกเกอร์ดีเคนเทชั่น
 ที่ช่วงขนาด 3.9-7.78 ไมครอน

ภาคผนวก จ

ผลวิเคราะห์ขนาดอนุภาคที่ d_{50} ของตัวอย่างก่อนป้อน ส่วนจม และส่วนไหลล้นโดย
แสดงกราฟปรับแก้ (Smooth Curve) ขนาดอนุภาคในส่วนไหลล้น



ผลวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคที่ d_{50} เมื่อแต่งด้วยอิเล็คโทรไลต์ที่ออกแบบ (ค่าก่อนการปรับแก้)

ชื่อตัวอย่าง อัตราการไหล	d_{50} (ไมครอน) ส่วนป้อน (Feed)	d_{50} (ไมครอน) ส่วนจม (Sink)	d_{50} (ไมครอน) ส่วนไหลล้น (Overflow)
3.2 cm ³ /s	6.8	10	3.8
14 cm ³ /s	6.8	10.1	6
34.5 cm ³ /s	6.8	10.5	4.2
56 cm ³ /s	6.8	10.3	11

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายพงศ์ศิริ จุลพงศ์
 รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010120129
 วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเหมืองแร่)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนศึกษย์ก้นกฏกณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

พงศ์ศิริ จุลพงศ์ พิษณุ บุญนวล และกัลยาณี คุปตานนท์ (2554) “การประยุกต์ใช้เทคนิคอิทธิทธิเอชเอ็นในการเก็บแร่สังกะสีจากหางแร่ละเอียดมาก” การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ โลหการ และปิโตรเลียม ครั้งที่9 เรื่อง การสำรวจและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรณีเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดี โรงแรมมณเฑียรริเวอร์ไซด์ กรุงเทพมหานคร หน้า 237-242.