

การเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่ที่เกิดร่วมกันจากกองหางแร่ท้ายรางของเหมืองตะโกปิดทอง ราชบุรี



นายทวีทรัพย์ ทองสงธรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RECOVERY OF TIN AND ASSOCIATED MINERALS FROM THE PALONG TAILINGS OF
ABANDONED TIN MINES IN TAKOPITTHONG, RATCHABURI

Mr. Taweessup Thongsongtum



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 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่ที่เกิดร่วมกันจากกองหางแร่
	ท้ายรางของเหมืองตะโกปิดทอง ราชบุรี
โดย	นายทวีทรัพย์ ทองสงคราม
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พรทิพย์ ปริณายก)

วิทยุทรัพย์ ทองสงธรรม : การเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่ที่เกิดร่วมกันจากกองหางแร่ท้ายรางของเหมืองตะโกปิดทอง ราชบุรี (RECOVERY OF TIN AND ASSOCIATED MINERALS FROM THE PALONG TAILINGS OF ABANDONED TIN MINES IN TAKOPITTHONG, RATCHABURI) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.ภิญโญ มีชำนะ, อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 89 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตรวจสอบกรรมวิธีที่เป็นไปได้ในการเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่ที่เกิดร่วมกันในหางแร่จากท้ายรางกู่แร่ของเหมืองตะโกปิดทองที่ถูกกองทิ้งไว้ ผลการศึกษาพบว่า เมื่อนำตัวอย่างแร่จากกองหางแร่มาคัดแยกขนาดด้วยตะแกรง แล้วนำแต่ละส่วนมาผ่านกรรมวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะที่แตกต่างกัน คัดแยกหัวแร่หนักออกมาต่อมานำหัวแร่หนักที่ได้มาอบให้แห้งแล้วนำมาผ่านเครื่องแยกแร่ด้วยไฟฟ้าแรงสูง (High-tension separator) และเครื่องแยกแร่ด้วยแม่เหล็ก (Magnetic separator) ทำการคัดแยกแร่ดีบุก (Cassiterite), แร่โคลัมไบต์-แร่แทนทาลิต (Columbite-Tantalite), แร่ทังสเตน (Tungstenite) และแร่อื่นที่เกี่ยวข้องได้หัวแร่ดีบุกที่ได้มีความสะอาด 46.15% Sn สามารถเก็บเก็บคืนได้ 89.37% ความสะอาดหัวแร่โคลัมไบต์-แทนทาลิตได้ 20.74% $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$ สามารถเก็บเก็บคืนได้ 70.54% และหัวแร่ทังสเตนมีความสะอาด 4.56% WO_3 สามารถเก็บเก็บคืนได้ 77.36% จากศึกษาครั้งนี้แนะนำว่าควรใช้วิธีการทางเคมีเพื่อแยกแร่ทังสเตน ออกจากแร่โคลัมไบต์-แทนทาลิต เพราะการแยกในทางกายภาพไม่สามารถแยกได้ และยังมีแร่มีค่า เช่น แร่แมกนีไทต์ (Magnetite), แร่อิลเมนิต (Ilmenite), แร่ไฮโดรอิลเมนิต (Hydro-ilmenite), แร่ซีนไทม์ (Xenotime), แร่โมนาไซต์ (Monazite), แร่เซอร์คอน (Zircon), แร่การ์เนต (Garnet) และแร่ทัวร์มาลีน (Tourmaline) ที่น่าจะสามารถแยกให้เป็นหัวแร่สะอาดได้ด้วยการนำกลับไปแยกใหม่

ภาควิชา	วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม	ลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี	ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก
ปีการศึกษา	2557	ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาร่วม

5570205721 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: PALONG TAILING / TIN AND HEAVY MINERALS / HIGH TENSION / MAGNETIC SEPARATION

TAWEESUP THONGSONGTUM: RECOVERY OF TIN AND ASSOCIATED MINERALS FROM THE PALONG TAILINGS OF ABANDONED TIN MINES IN TAKOPITTHONG, RATCHABURI. ADVISOR: ASSOC. PROF. PINYO MEECHUMNA, Ph.D., CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMSAK SAISINCHAI, 89 pp.

This study investigates the possibility of recovering tin and associated minerals from the Palong tailings of abandoned tin mines in Takkopithong, Ratchaburi, Thailand. It has been found that screening of the Palong tailings into different size fractions before gravity concentration using different types of shaking tables to obtain heavy concentrates is advised. After screening into different size fractions, drying of the heavy concentrates followed by high-tension and magnetic separation to obtain valuable concentrates of cassiterite, columbite-tantalite, wolframite and other associated minerals. Tin concentrate obtained is 46.15% Sn grade at a recovery of 89.37 %, columbite-tantalite concentrate grade is 20.74% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ at a recovery of 70.54% and wolframite concentrate is 4.56% WO_3 grade at 77.36% recovery. It is recommended that chemical separation should be done to separate wolframite from columbite-tantalite concentrate as physical separation is not possible. The other valuable minerals such as magnetite, ilmenite, hydro-ilmenite, xenotime, monazite, zircon, garnet and tourmaline may also be separated into concentrates with repeated separation.

Department: Mining and Petroleum Student's Signature

Engineering Advisor's Signature

Field of Study: Georesources Engineering Co-Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอกราบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำการทำงานอย่าใกล้ชิด รองศาสตราจารย์สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ช่วยแก้ไขปัญหาแนะนำการทำงาน ตลอดจนได้อย่างดี อาจารย์ ดร.พรทิพย์ ปริณายก ที่ช่วยตรวจร่างรายงานจนเสร็จสมบูรณ์ และรวมทั้งผู้มีคุณูปการจากบุคคลและหน่วยงานดังนี้

ครูอุทิศ ทองกลิ้ง ที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการวิเคราะห์โดยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

คุณวัชรินทร์ แก้วมณีวรรณ เจ้าหน้าที่บริการงานช่าง ที่ได้ช่วยเหลือในใช้เครื่องมือในการทดลองแต่งแร่

คุณอนเนกพงศ์ ศรีทอง ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำวิธีการส่องกล้องจุลทรรศน์ในการดูแร่เม็ด

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเพื่อสถานที่ และเครื่องมือในงานวิจัยนี้

ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์แนะนำ และวิเคราะห์ผลจากเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF)

และทุกท่านที่มีได้เอื้อนาม ที่มีส่วนในการช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องที่ให้การสนับสนุนการเรียนครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่ให้คำปรึกษา และกำลังใจจนสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูปภาพ	ฎ
สารบัญตาราง.....	1
บทที่ 1 บทนำ	3
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	3
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย.....	5
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย	7
บทที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ข้อมูลเบื้องต้น	8
2.1.1 ดีบุก	8
2.1.2 แร่ดีบุกที่พบในประเทศไทย	9
2.1.3 การกำเนิดของแร่ดีบุกในประเทศไทย	9
2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของแร่ดีบุก	11
2.2.1 แหล่งสะสมตัวแบบปฐมภูมิ	11
2.2.2 แหล่งสะสมตัวแบบทุติยภูมิ.....	12

2.3 แร่พลอยได้จากแต่งแร่ดีบุกในประเทศไทย	12
2.3.1 แร่ตระกูล Niobium-Tantalum	12
2.3.2 แร่ธาตุหายาก (Rare-earth)	12
2.3.3 แร่พลอยได้ชนิดอื่นๆ	12
2.4 ประโยชน์ของแร่พลอยได้ชนิดต่างๆ	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
2.6 พื้นที่ศึกษา	20
2.6.1 ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกของเหมืองตะโกปิดทอง	20
2.6.2 การทำเหมืองแร่ในพื้นที่ศึกษา	21
2.6.3 วิธีการทำเหมืองดีบุกและอุปกรณ์ที่ใช้	21
บทที่ 3 ระเบียบการวิจัยและผลการทดลอง	24
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	24
3.2 ศึกษาแร่วิทยา (Mineralogy) และองค์ประกอบของหางแร่ท้ายราง	25
3.3 ผลการศึกษาแร่วิทยา (Mineralogy) และองค์ประกอบของหางแร่ท้ายราง	29
3.3.1 ผลการศึกษาจากเลียงร่อนแร่ (Washing pan)	29
3.3.2 ผลการวิเคราะห์จำแนกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ..	29
3.3.3 ผลการศึกษาแร่วิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์	30
3.3.3.1 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กถาวรภายใต้กล้องจุลทรรศน์	30
3.3.3.2 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.0-0.4 แอมแปร์ ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์	31
3.3.3.3 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.4-0.7 แอมแปร์ ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์	32
3.3.3.4 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.7-1.2 แอมแปร์ ภายใต้กล้อง จุลทรรศน์	34

3.3.3.5 ลักษณะเม็ดแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กภายใต้กล้องจุลทรรศน์	35
3.3.4 ผลการนับเม็ดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Grain counting analysis)	36
3.4 ศึกษาวิเคราะห์ขนาด (Sieve analysis) และการกระจายตัวแร่ดีบุก แร่โคลัมไบต์-แร่ แทน-ทาไลต์ และแร่วุลแฟรมไนด์ในทางแร่ทำยาราง.....	38
3.5 ผลการศึกษาวิเคราะห์ขนาด (Sieve analysis) และการกระจายตัวโลหะดีบุก แร่โคลัม ไบต์-แร่แทน-ทาไลต์ และแร่วุลแฟรมไนด์ ในทางแร่ทำยาราง	39
3.6 ศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ (Gravity concentration) ด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table).....	44
3.7 ผลการศึกษาการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ (Gravity concentration) ด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table).....	47
3.7.1 ผลการคัดขนาดด้วยตะแกรงแบบเปียกจากตัวอย่าง 500 กิโลกรัม	47
3.7.2 ผลการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table).....	47
3.8 ศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง (High tension separator).....	50
3.9 ผลศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง (High- tension separator).....	51
3.10 ศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก แบบจาน (Mclean magnetic separation).....	54
3.11 ผลศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็ก แบบจาน (Mclean magnetic separation).....	55
3.12 สรุปผลการทดลองการกระบวนกรเก็บกลับคืนทั้งหมด.....	59
บทที่ 4 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
รายการอ้างอิง	68
ภาคผนวก.....	70
ภาคผนวก ก. อัตราการเก็บค่าภาคหลวงแร่ดีบุก.....	71

ภาคผนวก ข. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (เพิ่มเติม).....	73
ภาคผนวก ค. ผลวิเคราะห์ X-ray diffractometer.....	77
ภาคผนวก ง. รูปถ่ายแร่เม็ดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (เพิ่มเติม).....	82
ภาคผนวก จ. แสดงการเปรียบเทียบขนาดตะแกรงมาตรฐานแบบต่างๆ	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	89



สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1-1 แสดงแนวโน้มราคาโลหะดีบุกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2557	4
รูปที่ 1-2 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย	7
รูปที่ 2-1 แร่ดีบุก.....	8
รูปที่ 2-2 แผนที่ศักยภาพแร่หนักและแร่หายากประเทศไทย	10
รูปที่ 2-3 แผนผังการแต่งดีบุกแบบทั่วไปที่ใช้ในโรงงานแต่งแร่ดีบุกของประเทศไทย.....	15
รูปที่ 2-4 พื้นที่ศึกษาแหล่งแร่ตะโกปิดทอง	20
รูปที่ 2-5 แสดง Monitors และ Gravel pump	22
รูปที่ 2-6 แสดงภาพรางกู่แร่ (Palong).....	22
รูปที่ 3-1 เก็บตัวอย่างด้วยวิธีการแบบสุ่ม (Grab sampling) จากบ่อหางแร่.....	25
รูปที่ 3-2 การชั่งตัวอย่างด้วยวิธีแบบ Coning and quartering.....	26
รูปที่ 3-3 การชั่งตัวอย่างด้วยเครื่องโจนส์ริฟเฟิล (Jones riffer).....	26
รูปที่ 3-4 การเลียงร่อนแร่ (Washing pan).....	27
รูปที่ 3-5 เครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator.....	28
รูปที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาคณะประกอบของตัวอย่างหางแร่	28
รูปที่ 3-7 แร่แมกนีไทต์ (Magnetite) กำลังขยาย 40 เท่า	30
รูปที่ 3-8 แร่อีลเมนไนต์ (Ilmenite) แร่การ์เนต (Garnet) กำลังขยาย 40 เท่า	31
รูปที่ 3-9 แร่โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ (Columbite-Tantalite) แร่แฟรไมต์ (Wolframite) แร่ไฮโดรอีลเมนไนต์ (Hydro-Ilmenite) และแร่ทัวร์มาลีน (Tourmaline) กำลังขยาย 40 เท่า	33
รูปที่ 3-10 แร่โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ (Columbite-Tantalite) แร่รูลแฟรไมต์ (Wolframite) แร่ซีนไทม์ (Xenotime) และแร่ทัวร์มาลีน (Tourmaline) กำลังขยาย 40 เท่า.....	33
รูปที่ 3-11 แร่โมนาไซต์ (Monazite) แร่ทัวร์มาลีน (Tourmaline) และแร่โมนาไซต์ที่เป็นแร่คาบ กำลังขยาย 40 เท่า.....	34

รูปที่ 3-12 แร่โมนาไซต์ (Monazite) กำลังขยาย 40 เท่า.....	35
รูปที่ 3-13 แร่ดีบุก (Cassiterite) แร่เซอร์คอน (Zircon) และรูไทล์ (Rutile) กำลังขยาย 40 เท่า.....	36
รูปที่ 3-14 การทดสอบแร่ดีบุกบน Zinc plate	36
รูปที่ 3-15 ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน (Sieve).....	38
รูปที่ 3-16 ขั้นตอนการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของธาตุประกอบในตัวอย่างทางแร่.....	39
รูปที่ 3-17 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดตัวอย่างทางแร่ที่นำมาวิจัย.....	40
รูปที่ 3-18 กราฟแสดงปริมาณ Sn, Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅ และ WO ₃ ที่สะสมอยู่บนตะแกรงที่ขนาด ต่างๆ	42
รูปที่ 3-19 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดและปริมาณของ Sn, Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅ และ WO ₃ ในตัวอย่างที่นำมาวิจัย.....	43
รูปที่ 3-20 ขั้นตอนการคัดขนาดแร่แบบเปียกด้วยตะแกรงสั่น	44
รูปที่ 3-21 เครื่องมือที่ใช้ป้อนแร่ (Hopper).....	45
รูปที่ 3-22 สายพานลำเลียง (Belt conveyor).....	45
รูปที่ 3-23 เครื่องมือคัดขนาดแร่แบบเปียก (Vibrating screen) แบบ DAITO VIBRTING Eng.....	46
รูปที่ 3-24 โต๊ะสั่น (Shaking table) แบบ Wilfely.....	46
รูปที่ 3-25 แสดงขั้นตอนการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า.....	50
รูปที่ 3-26 เครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง (High tension separator).....	51
รูปที่ 3-27 แสดงขั้นตอนการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก	54
รูปที่ 3-28 เครื่องแยกแม่เหล็กแบบจาน (Ring type magnetic separation) แบบ Mclean....	55
รูปที่ 3-29 แผนผังขั้นตอนแสดงกระจายตัวของปริมาณแร่ดีบุก (Sn) ที่เก็บกลับคืนได้.....	61
รูปที่ 3-30 แผนผังขั้นตอนแสดงกระจายตัวของปริมาณแร่โคลัมไบต์-แทนทาลอต์ (Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅ ~ 3:1) ที่เก็บกลับคืนได้	62
รูปที่ 3-31 แผนผังขั้นตอนแสดงกระจายตัวของปริมาณแร่ Wolframite (WO ₃) ที่เก็บกลับคืนได้...	63
รูปที่ 4-1 ลักษณะแร่คาบติดกับแร่ควอตซ์ กำลังขยาย 40 เท่า.....	65

รูปที่ 4-2 ลักษณะแร่คาบติดกับแร่ควอตซ์ กำลังขยาย 40 เท่า..... 66



สารบัญตาราง

ตารางที่ 1-1	ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	6
ตารางที่ 2-1	แสดงประเภท ส่วนประกอบทางเคมี และชนิดของแร่พลอยได้จากแร่ดีบุก	13
ตารางที่ 2-2	ประโยชน์ของแร่พลอยได้ต่างๆ	14
ตารางที่ 2-3	อำนาจการติดแม่เหล็กของแร่ชนิดต่างๆ เมื่อแยกด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator.....	19
ตารางที่ 3-1	แสดงน้ำหนักที่ได้จากการเลียงร้อนแร่	29
ตารางที่ 3-2	แสดงน้ำหนักที่ได้จากการจำแนกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator.....	29
ตารางที่ 3-3	ผลวิเคราะห์คำนวณด้วยวิธีนับเม็ดแร่ (Analysis by grain counting)	37
ตารางที่ 3-4	แสดงการกระจายตัว สหสัมพันธ์ และผ่านตะแกรงของขนาดทางแร่ที่นำมาวิจัย	40
ตารางที่ 3-5	แสดงการกระจายตัวของขนาดและปริมาณของแร่ในตัวอย่างที่นำมาวิจัย	41
ตารางที่ 3-6	ผลการคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นแบบเปียก (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	48
ตารางที่ 3-7	ผลการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่นขนาด -500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	49
ตารางที่ 3-8	ผลการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่นขนาด -200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	49
ตารางที่ 3-9	ผลการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกไฟฟ้าแรงสูงขนาด -500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	53
ตารางที่ 3-10	ผลการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกไฟฟ้าแรงสูงขนาด -200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	53
ตารางที่ 3-11	ผลการนำแร่ที่นำไฟฟ้าแต่งแร่ที่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กขนาด-500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)	57

ตารางที่ 3-12 ผลการนำแร่ที่ไม่นำไฟฟ้าแต่งแร่ที่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาด-500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)	57
ตารางที่ 3-13 ผลการนำแร่ที่นำไฟฟ้าแต่งแร่ที่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาด-200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	58
ตารางที่ 3-14 ผลการนำแร่ที่ไม่นำไฟฟ้าแต่งแร่ที่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาด-200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer).....	58



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

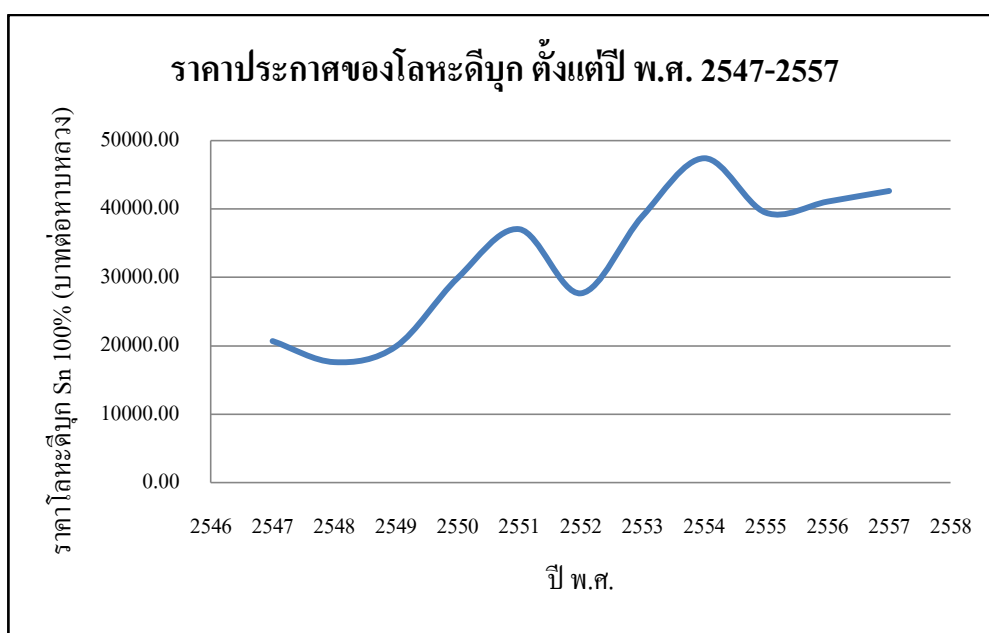
สินแร่หรือดีบุก (Tin) เป็นทรัพยากรแร่ที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศมาตั้งแต่อดีต สร้างความรุ่งเรืองให้กับประเทศไทยที่เคยเป็นผู้ผลิตแร่ดีบุกมากที่สุดเป็นอันดับต้นๆของโลก ในอดีตก่อนปี พ.ศ. 2528 ประเทศไทยมีเหมืองแร่ดีบุกมากถึง 696 เหมืองและแหล่งแร่ดีบุกตั้งอยู่ทางตะวันตกของประเทศตามแนวเทือกเขาตะนาวศรีของจังหวัด กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ และทางภาคใต้ จังหวัดพังงา และภูเก็ต เป็นต้นจนกระทั่งผู้ประกอบการประสบปัญหาราคาค่าดีบุกตกต่ำเนื่องจากทั่วโลกมีการผลิตแร่ดีบุกออกมาเกินความต้องการใช้ทำให้แร่ดีบุกล้นตลาด (Oversupply) ส่งผลให้แร่มีราคาตกต่ำต่อเนื่อง และไม่คุ้มค่าในการผลิต เหมืองต่างๆจึงทยอยปิดกิจการลง

ปัจจุบันราคาค่าดีบุกมีราคาสูงขึ้น เป็นที่ความต้องการใช้ในอุตสาหกรรมทางตลาดมากขึ้น แต่เหมืองแร่ดีบุกที่เปิดดำเนินการในปัจจุบันของประเทศไทยมีเพียง 7 แห่งเท่านั้น (ส่วนวิจัยและพัฒนาทรัพยากรแร่ สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี, 2555) และการเกิดของแร่ดีบุกยังมีแร่อื่นที่เกิดร่วมอยู่ด้วย เช่น แร่ Wolframite, แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Ilmenite, แร่ Rutile, แร่ Garnet, แร่ Zircon และกลุ่มแร่หายาก (Rare earth) เช่นแร่ Monazite และแร่ Xenotime เป็นต้น ซึ่งแร่เหล่านี้จัดเป็นแร่พลอยได้และมีความสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุไฟฟ้า เกราะยานอวกาศ อุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานทางเลือก และอุตสาหกรรมยานยนต์ในการผลิตรถยนต์ไฮบริด (Hybrid car) และคะตะลิสต์ในท่อไอเสียรถยนต์ (Catalytic converter)

ขณะนี้ตลาดดีบุกมีแนวโน้มฟื้นตัวขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2557 ราคาค่าดีบุกอ้างอิงจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงราคาแร่ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ โดยยังคงมีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นเรื่อยๆดังแสดงในรูปที่ 1-1 เริ่มจากปี พ.ศ. 2547 แร่ดีบุกมีราคาเฉลี่ย 20,695.45 บาทต่อหาบหลวง และ 42,622.54 บาทต่อหาบหลวงในปี พ.ศ. 2557 (น้ำหนัก 1 หาบหลวง เท่ากับ 60 กิโลกรัม) (ภาคผนวก ก) จะเห็นว่าแร่ดีบุกมีราคาเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัวในช่วงระยะเวลา 11 ปี

สาเหตุที่ทำให้ระดับราคาค่าดีบุกเพิ่มสูงขึ้น มาจากปัจจัย 2 ประการสำคัญ คือ ประการแรกเกิดจากปริมาณสำรองดีบุกโลกมีจำนวนลดลงและประการที่สองคือ ความต้องการใช้ดีบุกโลกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณดีบุกในตลาดมีไม่เพียงพอกับความต้องการใช้แร่ดีบุกจึงมีราคาสูงขึ้น

จากแนวโน้มของราคาที่สูงขึ้นส่งผลให้ผู้ประกอบการเหมืองแร่ดีบุกในประเทศไทยมีรายได้การขายแร่เพิ่มขึ้น ส่วนผู้ประกอบการที่หยุดการทำเหมืองแร่ดีบุกจะมีโอกาสฟื้นฟูกิจการทำเหมืองอีกครั้ง เนื่องจากราคาที่คุ้มทุนเชิงพาณิชย์ แต่เนื่องด้วยเหมืองแร่ดีบุกในปัจจุบันมีอยู่จำกัดและความสมบูรณ์ของแร่มีปริมาณลดลง การเลือกใช้กระบวนการแต่งแร่ที่เหมาะสมและการเลือกเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำเหมืองแร่ดีบุก



ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2558)

รูปที่ 1-1 แสดงแนวโน้มราคาโลหะดีบุกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2557

ในอดีตการแต่งแร่ดีบุกของโรงแต่งแร่มีเปอร์เซ็นต์การเก็บแร่ได้ต่ำมาก เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการแต่งแร่นั้นยังมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้มีการสูญเสียแร่เป็นจำนวนมากไปในส่วนของหางแร่ ประกอบกับในช่วงที่แร่ดีบุกมีราคาตกต่ำ จึงทำให้มีหางแร่ที่กองทิ้งไว้เป็นจำนวนมากและเป็นเพียงแค่งองดินกองทรายที่ไร้มูลค่าในเชิงพาณิชย์ เมื่อเวลาผ่านไปเทคโนโลยีในการปรับปรุงคุณภาพแร่มีการพัฒนาเพิ่มขึ้น เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการแต่งแร่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และเนื่องจากกองหางแร่เป็นแหล่งแร่ที่ใช้ต้นทุนต่ำในกระบวนการผลิต หากประเมินศักยภาพของแหล่งแร่แล้วมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะสามารถนำมาเข้ากระบวนการแต่งแร่เพื่อเก็บกลับคืนได้ต่อไป

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะประเมินศักยภาพแหล่งแร่จากกองหางแร่ เพื่อเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่มีค่าอื่นๆ และเมื่อพิจารณาหางแร่ดีบุกจากท้ายรางในชุมชนเหมืองเก่าแหล่งตะโกปิดทองของ

บริษัท เดอะสปาร์ไมนิ่ง จำกัด พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของโลหะดีบุกอยู่ร้อยละ 0.78 โดยน้ำหนัก จึงมีความสนใจที่จะนำทางแร่จากแหล่งดังกล่าวมาผ่านกระบวนการแต่งแร่อีกครั้ง เดิม บริษัท เหมืองแร่แหลมพิชัย จำกัด ได้เปิดทำเหมืองแร่ดีบุกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 การทำเหมืองระยะแรกเริ่มทำแร่จากแหล่งลานแร่ ต่อมาระยะหลังแร่จากลานแร่มีปริมาณน้อยลงและเหมืองประสบวิกฤติราคาดีบุกตกต่ำ การทำเหมืองและกระบวนการแต่งแร่ขณะนั้นไม่คุ้มทุนกับค่าใช้จ่ายในการกระบวนการแต่งแร่ จึงต้องปิดกิจการลง ต่อมาในปี พ.ศ. 2530 บริษัท เดอะสปาร์ไมนิ่ง จำกัด รับช่วงประทานบัตรต่อเพื่อผลิตแร่ฟเลตส์สปาร์ในแหล่งตะโกปิตทองนี้จึงมีทางแร่เหลือทิ้งจากทำयरางไว้ในชุมชนเหมืองเป็นจำนวนมากหากสามารถนำทางแร่ดังกล่าวมาแต่งอีกครั้งเพื่อเก็บกลับคืนดีบุกและแร่พลอยได้มีค่าที่กล่าวมาข้างต้นได้จะเกิดการจ้างงานและสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนบริเวณข้างเคียง เพื่อช่วยเศรษฐกิจชุมชนในระดับจุลภาคอีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรแร่ที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพ อันเป็นการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบ คุณสมบัติของแร่ดีบุกและแร่พลอยได้ที่มีอยู่ในทางแร่
2. เพื่อศึกษาค้นคว้ากระบวนการแต่งแร่ดีบุกและแร่พลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งนำไปใช้ประโยชน์ในระดับเบื้องต้นอุตสาหกรรมได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. สามารถเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่พลอยได้ได้มากที่สุด
2. สามารถใช้วิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายของแร่แยกแร่ออกจากกันได้โดยมีประสิทธิภาพ
3. สามารถแต่งแร่ให้มีเปอร์เซ็นต์ความสะอาดหัวแร่สูงสุด และสามารถนำเอาไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

การเก็บกลับคืนแร่ดีบุก

1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1-1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย (พ.ศ.2557)

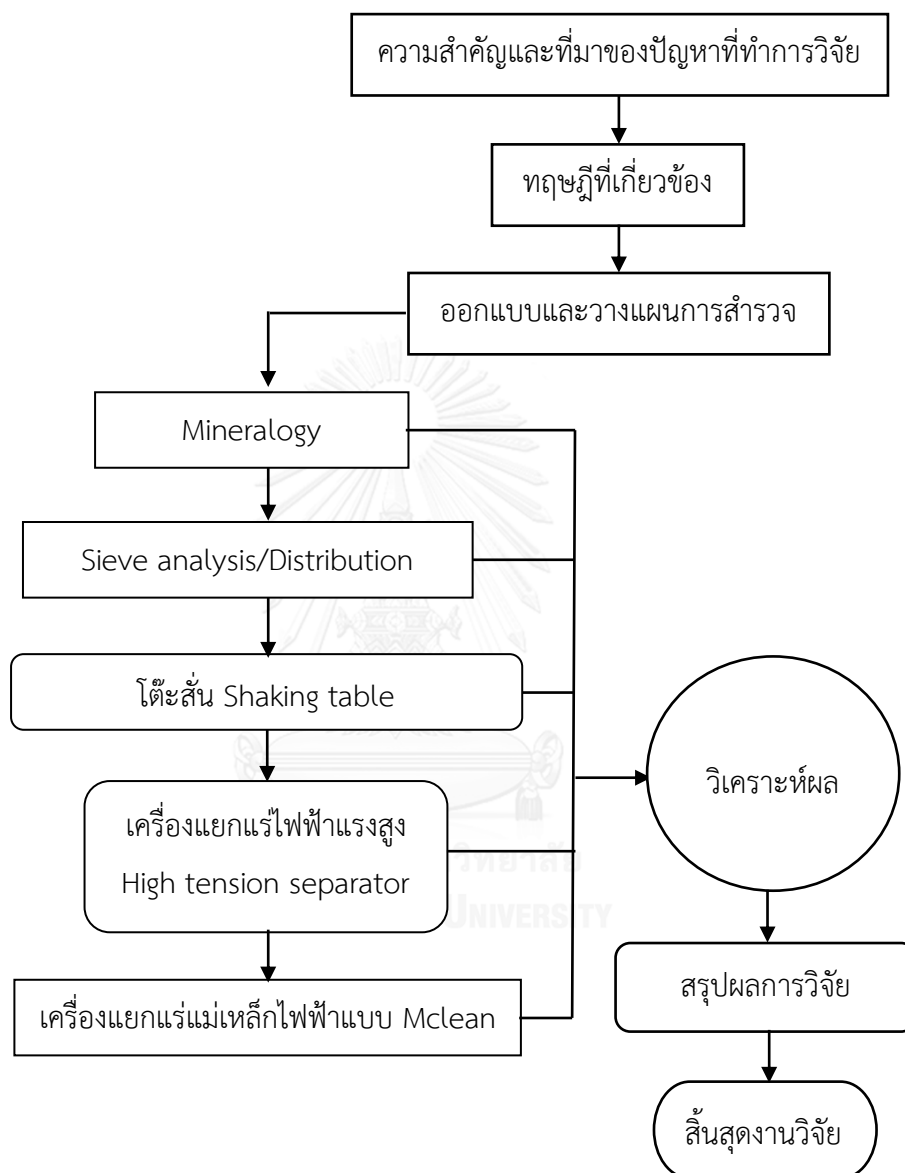
กิจกรรม	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. เตรียมศึกษาและรวบรวมข้อมูล										
2. ออกแบบและวางแผนสำรวจ										
3. งานภาคสนามและลงพื้นที่เก็บตัวอย่าง										
4. ทำการทดลองการเก็บกลับคืนแร่										
5. งานห้องปฏิบัติการวิเคราะห์แร่										
6. วิเคราะห์ผลจากการทดลอง										
7. สรุปและรายงานผลการทดลอง										

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเก็บกลับคืนแร่ดีบุกและแร่พลอยได้ได้มากที่สุด
2. สามารถใช้วิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของแร่แยกแร่ออกจากกันได้
อย่างมีประสิทธิภาพ
3. สามารถแต่งแร่ได้มีเปอร์เซ็นต์ความสะอาดของหัวแร่ดีบุกสูงสุด และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้

1.7 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย

มีลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัยดังต่อไปนี้



รูปที่ 1-2 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลงานวิจัย

บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ มีดังต่อไปนี้

2.1.1 ดีบุก

ดีบุกเป็นธาตุโลหะชนิดหนึ่ง อยู่ในหมู่ที่ 4 ของตารางธาตุ มีสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Sn มีเลขอะตอม 50 น้ำหนักอะตอม 118.69 มีชื่อในภาษาลาติน คือ Stannum มีความแข็ง 6-7 ตามตารางของโมลส์ มีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 6.8–7.1 ดีบุกมีผิววาวคล้ายเพชร มีหลายสี เช่นสีดำ สีเทา สีน้ำตาลอมแดง สีน้ำตาลอมม่วง สีส้ม สีแดง สีขาว เป็นต้น แต่ที่พบส่วนใหญ่จะเป็นสีโตนคล้ำดำและน้ำตาล (กรมทรัพยากรธรณี, 2526) เมื่อนำไปขูดทดสอบกับแผ่นกระดาษจะได้สีผงเป็นสีขาว มีรูปผลึกอยู่ในระบบสองแกนเท่า เทรตตระโกนอล มีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมสั้นๆ มักมีปลายเป็นรูปพีระมิดนำไฟฟ้าได้ดีและแม่เหล็กดูดไม่ติด เป็นธาตุโลหะที่หลอมตัวได้ง่าย มีความอ่อนและเหนียวสามารถยืดเป็นเส้นหรือรีดให้เป็นแผ่นบางได้ ทนทานต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิมไม่เป็นพิษต่อร่างกายและถูกออกซิไดซ์ได้ดีในอากาศ ใช้ผสมในโลหะได้หลายชนิด เช่น ดีบุกผสมทองแดงเป็นทองสัมฤทธิ์ ดีบุกผสมทองแดงและพลวงซึ่งใช้เป็นโลหะขึ้นส่วนคอมพิวเตอร์ ดีบุกผสมตะกั่วใช้เป็นตะกั่วบัดกรี ดีบุกผสมกับเงินและปรอททำสารอุดฟันทางทันตกรรมใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น และที่สำคัญใช้ประโยชน์ในการเคลือบโลหะภาชนะบรรจุอาหารเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของกรดและสารละลายต่างๆ



ที่มา: กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2558)

รูปที่ 2-1 แร่ดีบุก

2.1.2 แร่ดีบุกที่พบในประเทศไทย

แร่ดีบุกที่พบในประเทศไทยมี 2 ชนิดดังนี้

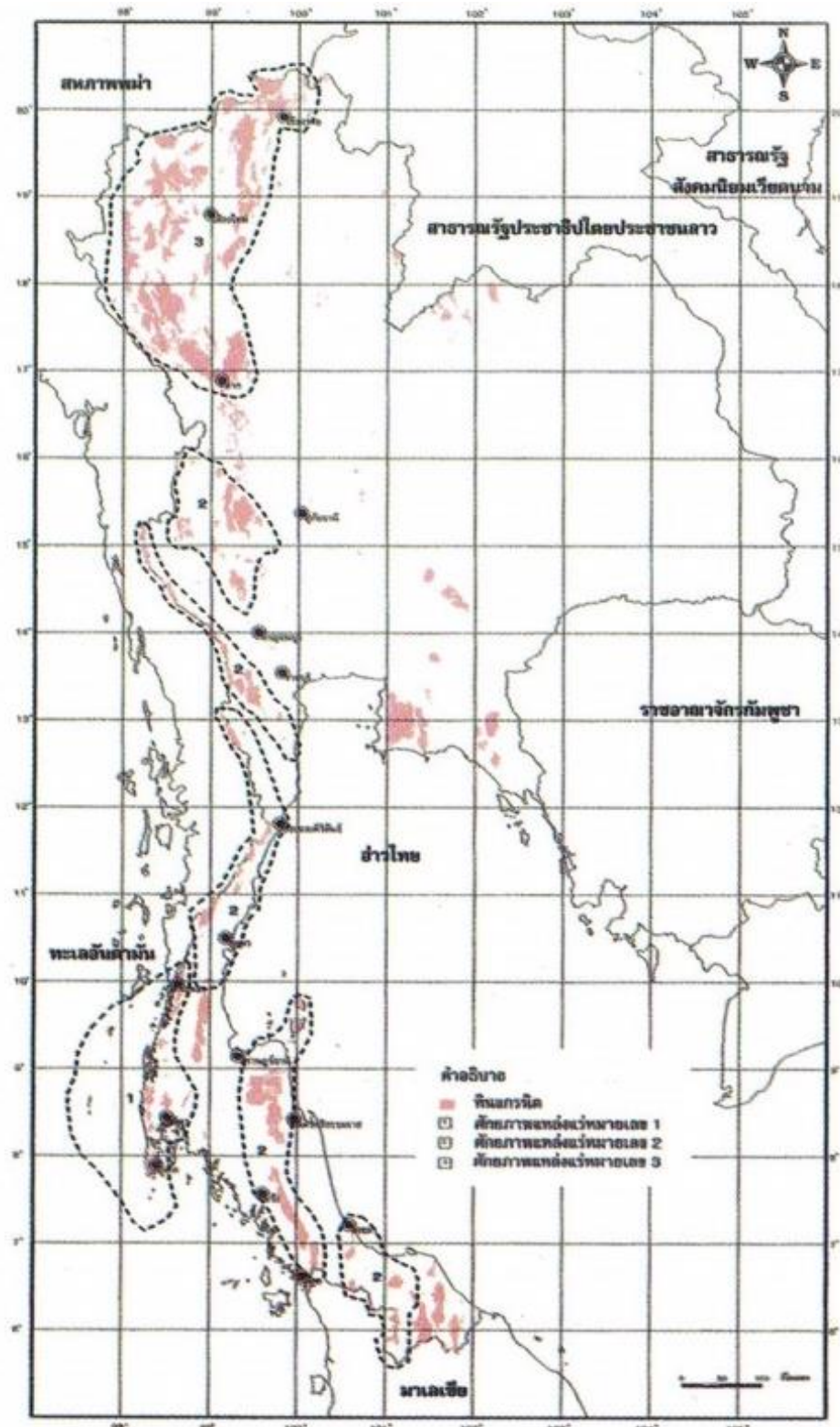
- 1) **แคสซิเทอไรต์ (Cassiterite)** มีสูตรทางเคมีคือ SnO_2 ซึ่งพบเป็นส่วนใหญ่มีปริมาณมากพอในระดับอุตสาหกรรม ประกอบด้วยธาตุดีบุกร้อยละ 78.6 และออกซิเจนร้อยละ 21.4 อาจปะปนด้วยเหล็กเล็กน้อยประมาณร้อยละ 3 และอาจจะมีธาตุไนโอเบียม (Nb) และแทนทาลัม (Ta) ปนเล็กน้อย
- 2) **สแตนไนต์ (Stannite)** พบน้อยมากและไม่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

2.1.3 การกำเนิดของแร่ดีบุกในประเทศไทย

การเกิดของแร่ดีบุกในประเทศไทย เกิดจากหินอัคนีแทรกซอนชนิดกรด (Acid rock) ซึ่งจะเกิดเป็นสายแร่แบบน้ำร้อนแทรกมาในหินแกรนิตหรือหินตะกอนที่อยู่ข้างเคียง แร่ดีบุกที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นผลึกหรือก้อนเล็กๆ ฝังอยู่ในหินเพกมาไทต์ หินสการ์น หรือบริเวณที่สัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินข้างเคียง เมื่อเวลาผ่านไปหินต้นกำเนิดเกิดการผุพัง แร่ดีบุกซึ่งมีความทนทานต่อการสึกกร่อนสูงก็จะถูกนำพาไปสะสมตัวกันบริเวณด้านล่าง ตามเชิงเขา ที่ราบลุ่มหรือแอ่งต่างๆ เกิดแหล่งสะสมตัวของแร่ หากพื้นที่สะสมตัวมีขนาดใหญ่และมีปริมาณแรมมากพอแหล่งนั้นก็ถือว่าเป็นแหล่งแร่ศักยภาพ มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สามารถทำเหมืองได้ ในการเกิดแร่ดีบุกมักจะมีแร่มีค่าอื่นเกิดร่วมด้วย เช่น แร่ Wolframite, แร่ Scheelite, แร่ Tourmaline, แร่ Topaz, แร่ Fluorite, แร่ตระกูล Niobium-Tantalum, แร่ Ilmenite, แร่ Monazite, แร่ Xenotime และแร่ Zircon เป็นต้น

แหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทยส่วนใหญ่จะพบบริเวณด้านตะวันตกของประเทศ โดยแนวแร่ดีบุกจะเริ่มจากพม่าผ่านมาในไทยตั้งแต่เหนือจรดใต้ซึ่งพื้นที่แหล่งแร่ดีบุกศักยภาพในประเทศไทย (Aranyakanon, 1969) สามารถแบ่งได้เป็น 3 บริเวณดังนี้

- 1) บริเวณด้านทิศตะวันตกทางตอนเหนือของประเทศ โดยเริ่มตั้งแต่อำเภอขุนยวม จังหวัดแม่ฮ่องสอน ต่อเนื่องลงมาจนถึงอำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก
- 2) บริเวณด้านตะวันตกทางตอนกลางของประเทศ เริ่มตั้งแต่อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรีต่อเนื่องลงมาจนถึงอำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี
- 3) บริเวณภาคใต้ของประเทศพบในทุกจังหวัด โดยเริ่มตั้งแต่จังหวัดชุมพร จนถึงใต้สุดของประเทศรวมทั้งบริเวณนอกชายฝั่งทะเลอันดามัน



ที่มา: จำรูญ อัยศิริไพศาล และคณะ (2542)
รูปที่ 2-2 แผนที่ศักยภาพแรมหนักและแรมหายากประเทศไทย

2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของแร่ดีบุก

โดยทั่วไปแหล่งแร่ดีบุกในประเทศไทยจะมีความสัมพันธ์กับหินแกรนิต โดยเฉพาะแนวเทือกเขาทางด้านตะวันตกของไทยตั้งแต่ตอนเหนือจรดตอนใต้ แหล่งสะสมตัวของแร่ดีบุกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือแหล่งสะสมตัวแบบปฐมภูมิ (Primary deposit) และแหล่งสะสมตัวแบบทุติยภูมิ (Secondary deposit)

2.2.1 แหล่งสะสมตัวแบบปฐมภูมิ

แหล่งสะสมตัวแบบปฐมภูมิ คือ แหล่งแร่ดีบุกที่เกิดในหินต้นกำเนิด โดยหินต้นกำเนิดที่มีการผุพังแล้ว แต่ยังไม่ถูกกระบวนการทางธรรมชาติเคลื่อนย้ายไปยังบริเวณอื่น (Aranyakanon, 1969) ซึ่งการเกิดมีดังนี้

- 1) แร่ดีบุกเกิดร่วมกับสายแร่ควอตซ์ โดยสายแร่ควอตซ์มีการแทรกตัดเข้ามาในหินแกรนิต และหินตะกอนในท้องที่ โดยแร่ดีบุกที่เกิดขึ้นมีหลายสี เช่น สีน้ำตาล สีดำ สีส้ม สีเหลือง เป็นต้น
- 2) แร่ดีบุกเกิดร่วมกับสายเพกมาไทต์ โดยเกิดเป็นสายแร่อยู่ในหินแกรนิตหรือเป็นสายตัดผ่านหรือขนานกับหินตะกอนในท้องที่ บางทีเกิดเป็นรูปร่างที่ไม่แน่นอนหรือเป็นรูปเลนซ์ เพกมาไทต์เป็นหินแกรนิตที่มีเนื้อหยาบมาก มีแร่ประกอบหลักคือ แร่ Quartz และแร่ Mica แร่ประกอบรอง ได้แก่ แร่ Tourmaline, แร่ Garnet, แร่ Cassiterite, แร่ Columbite-Tantalite, แร่-Lepidolite, แร่ Beryl และแร่ Topaz และมีแร่หายากพวก แร่ Monazite และแร่ Xenotime เป็นต้น
- 3) แร่ดีบุกเกิดแบบฝังประในหินแกรนิตในแหล่งแร่ประเภทนี้ แร่ดีบุกและวุลแฟรมจะเกิดฝังประหรือเป็นรูปกระเปาะหรือรูปเลนซ์ บริเวณส่วนขอบนอกของแหล่งแร่ดีบุกแบบฝังประในหินแกรนิตนี้ ถือว่าเป็นแหล่งแร่ดีบุกเกรดต่ำ แต่มีปริมาณมาก และเป็นแหล่งที่สำคัญที่ให้แร่ดีบุกไปสะสมตัวอยู่ในลานแร่เมื่อเกิดการพุดัง
- 4) แร่ดีบุกแบบแปรสัณฐานโดยการแทนที่ โดยแหล่งแร่ดีบุกแบบนี้เกิดบริเวณแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินตะกอนเนื้อปูน ซึ่งจะมีแร่ตระกูลแคลซิลิเกตหรือพวกสการ์น (Skarn) เกิดขึ้น เช่น เหมืองตะโกปิดทอง จ.ราชบุรี หรือเกิดในหินปูนที่ห่างจากหินแกรนิตโดยการแทนที่ แหล่งแร่แปรสัณฐานสามารถแบ่งได้ย่อยๆ ออกเป็นแบบแร่ดีบุก-เหล็ก ออกไซด์ และแบบแร่ดีบุก-เหล็กซิลไฟด์

2.2.2. แหล่งสะสมตัวแบบทุติยภูมิ

แหล่งสะสมตัวแบบทุติยภูมิ คือ แหล่งแร่ดีบุกที่เกิดจากการพุดังจากแหล่งปฐมภูมิ แล้วมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ เคลื่อนย้ายให้ไปสะสมตัว ณ ตำแหน่งใหม่จากแหล่งกำเนิดเดิม แหล่งแร่ชนิดนี้โดยทั่วไปเกิดจากการพุดังหลายตามธรรมชาติของหินที่มีแร่หลายชนิดปะปนอยู่ ทำให้แร่หลุดออกจากหินและเคลื่อนตัวลงสู่ที่ราบเบื้องล่างโดยมีน้ำเป็นตัวพัดพาไปเกิดเป็นแหล่งสะสมตัวแบบลานแร่ มีทั้งแร่ดีบุกและแร่มีค่าชนิดอื่นปะปนกันไป

2.3 แร่พลอยได้จากแร่ดีบุกในประเทศไทย

ในการเกิดแร่ดีบุกมักมีแร่พลอยได้ชนิดต่างๆ เกิดร่วมอยู่ด้วย ชนิดและปริมาณของแร่พลอยได้ที่พบบนขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยาและการกำเนิดของแหล่งแร่ต้นกำเนิด แร่พลอยได้จากแร่ดีบุกมีหลายชนิด บางชนิดมีคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถแต่งได้มากพอและนำไปจำหน่ายได้ แต่บางชนิดก็มีปริมาณน้อยและไม่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจเท่าที่ควรแร่พลอยได้จากแร่ดีบุกที่พบในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ (จรัสญ อุยศิริไพศาล, 2536) คือ

2.3.1 แร่ตระกูล Niobium-Tantalum

แร่ตระกูลโคลัมไบต์-แทนทาลไลท์ ได้แก่ แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Struverite, แร่ Microlite และแร่ Yttrotantaline แต่แร่ Yttrotantaline มีส่วนประกอบของธาตุหายากอยู่ ซึ่งแร่ชนิดนี้มีน้อย จึงไม่ค่อยคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์

2.3.2 แร่ธาตุหายาก (Rare-earth)

แร่ธาตุหายาก (Rare-earth) หมายถึง กลุ่มแร่ที่มีธาตุหายากเป็นสารประกอบ คือกลุ่มธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic number) ระหว่าง 57-71 และรวมถึงธาตุ Scandium (Sc), Yttrium (Y), Thorium (Th) และ Uranium (U) เนื่องจากธาตุเหล่านี้มักทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศอย่างรวดเร็ว จึงมักพบในรูปสารประกอบออกไซด์ (Rare-earth oxides : REO) เป็นส่วนใหญ่ แร่ธาตุหายากที่มีค่าเชิงพาณิชย์คือ แร่ Monazite และ Xenotime

2.3.3 แร่พลอยได้ชนิดอื่นๆ

แร่พลอยได้ชนิดอื่นๆ ได้แก่ แร่ Ilmenite, แร่ Wolframite, แร่ Zircon, แร่ Rutite และแร่ Leucoxene และมลทินที่เกิดร่วมและจำเป็นต้องกำจัดออกในการแต่งแร่ได้แก่ แร่ Quartz

(หรือทราย), แร่ Feldspar, แร่ Tourmaline, แร่ Mica, แร่ Garnet, แร่ Magnetite และกลุ่มแร่ Sulphides เช่น แร่ Pyrite และแร่ Arsenopyrite เป็นต้น

ตารางที่ 2-1 แสดงประเภท ส่วนประกอบทางเคมี และชนิดของแร่พลอยได้จากแร่ดิบทุก

ประเภท	ชื่อแร่	สูตรทางเคมี	ส่วนประกอบที่สำคัญ
1. แร่ตระกูล Niobium- Tantalum	Columbite Tantalite Struverite Microlite Pyrochlore Yttotalite	$(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$ $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$ $[(\text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Fe}_2)\text{O}_3]$ $(\text{Na}, \text{Ca})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$ $(\text{Na}, \text{Ca})\text{Nb}_2\text{O}_6\text{F}$ $[(\text{Fe}, \text{Y}, \text{U}, \text{Ca}, \text{etc.})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Zr}, \text{Sn})\text{O}_4]$	Nb_2O_5 Ta_2O_5 Nb_2O_5 หรือ Ta_2O_5 Ta_2O_5 Nb_2O_5 $\text{Nb}_2\text{O}_5, \text{Ta}_2\text{O}_5, \text{Y}_2\text{O}_3, \text{ThO}_2$ and U_3O_8
2. แร่ธาตุ หายาก	Monazite Xenotime Thorite Euxenite Samarskite Fergusonite	$(\text{Ce}, \text{La}, \text{Y}, \text{Th})\text{PO}_4$ YPO_4 ThSiO_4 $[(\text{Y}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6]$ $[(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Pb}, \text{Th})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti}, \text{Sn})_2\text{O}_6]$ $(\text{Y}, \text{Er}, \text{Ce}, \text{Fe})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})\text{O}_4$	Rate-earth oxides and ThO_2 Y_2O_3 ThO_2 Rare-earth oxides and $\text{ThO}_2, \text{Nb}_2\text{O}_5$ and Ta_2O_5 Rare-earth oxides and $\text{ThO}_2, \text{U}_3\text{O}_8, \text{Nb}_2\text{O}_5,$ Ta_2O_5 Rare-earth oxides, Nb_2O_5 and Ta_2O_5
3. แร่พลอยได้ ชนิดอื่นๆ	Wolframite Zircon Rutile Leucoxene Ilmenite/ Quartz Feldspar Tourmaline Mica Garnet Magnetite Pyrite	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$ Zr SiO_4 TiO_2 TiO_2 Fe TiO_3 สารประกอบซิลิเกตเชิงซ้อน สารประกอบซิลิเกตเชิงซ้อน Fe_3O_4 FeS_2	ZrO_2 TiO_2 TiO_2 TiO_2, FeO

ที่มา: วิชาญ อมตาริยกุล (2543)

2.4 ประโยชน์ของแร่พลอยได้ชนิดต่างๆ

แร่พลอยได้จากแร่ดิบชนิดต่างๆ ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมเครื่องแก้วและเซรามิก เครื่องจักรกล เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมการบิน และเทคโนโลยีขั้นสูง

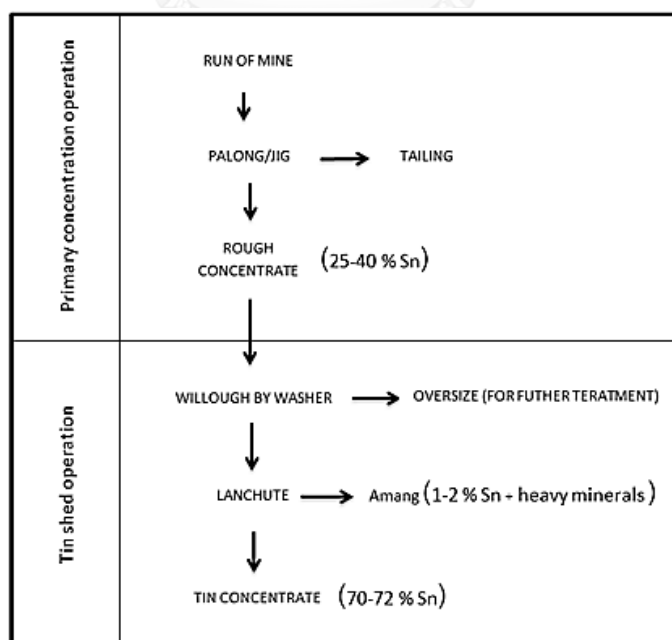
ตารางที่ 2-2 ประโยชน์ของแร่พลอยได้ต่างๆ

ชนิดแร่	ธาตุหรือสารประกอบที่สำคัญในการนำไปใช้ประโยชน์	การนำไปใช้ประโยชน์
1. Columbite-Tantalite และ Struverite	ธาตุ Tantalum (Ta) และธาตุ Niobium (Nb)	โลหะผสมสำหรับผลิตเครื่องจักรกลที่มีความเร็วสูง, การผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม, โลหะผสมที่ทนความร้อนสูง เช่น โลหะผสมในอุตสาหกรรมการบิน ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมเคมี และอุปกรณ์การแพทย์
2. Rutile, Leucosene และแร่ Ilmenite	ธาตุ Titanium (Ti) และสารประกอบ TiO_2	โลหะ Titanium นำไปใช้ในทั้งรูปโลหะบริสุทธิ์และโลหะผสมที่มีน้ำหนักเบา, เคลือบผิวโลหะในงานอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์, สารประกอบ TiO_2 ใช้ในอุตสาหกรรมทำแม่สี, อุตสาหกรรมลวดเชื่อม และการผลิตใยแก้ว
3. Wolframite	โลหะ Tungsten (w)	ใช้มากในการผลิต Tungsten carbide ทำให้หลอดไฟฟ้าโลหะผสมสำหรับการผลิตเครื่องมือและเครื่องจักรกล
4. Zircon	ZrO_2 , ธาตุ Zirconium และธาตุ Hafnium ในแร่	งานร่องเข้าหล่อพิมพ์โลหะและผลิตสารทนไฟ อุตสาหกรรมเซรามิก ผงขัด และอื่นๆ
5. Xenotime และ Monazite (แร่ธาตุหายาก)	Rare-earth oxides ชนิดต่างๆ	ใช้ในงานหลายอย่าง เช่น งานโลหะวิทยา, อุตสาหกรรมเคมี เซรามิก อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า และเชื้อเพลิงเตาปฏิกรณ์ปรมาณู

ที่มา: วิชาญ อมตาริยกุล (2543)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดีบุกที่พบในประเทศไทยส่วนมากอยู่ในรูปแร่แคสซิเทอไรต์ (Cassiterite) สูตรเคมี SnO_2 และมีการเกิดที่สัมพันธ์กับหินแกรนิต โดยเฉพาะแนวเทือกเขาด้านตะวันตกของประเทศไทยตั้งแต่ตอนเหนือจรดตอนใต้ แหล่งสะสมตัวของแร่ดีบุกแบ่งออก 2 แบบ คือแหล่งแร่สะสมตัวแบบปฐมภูมิ เป็นแหล่งที่แร่ดีบุกยังฝังตัวอยู่ในหินต้นกำเนิดหรืออาจพุดังแล้วยังไม่ถูกระบวนการทางธรรมชาติ เคลื่อนย้ายไปจากหินต้นกำเนิด และแหล่งสะสมตัวแบบทุติยภูมิ (Secondary deposit) เป็นแหล่งแร่ดีบุกที่เกิดจากแหล่งแร่ปฐมภูมิที่พุดังโดยธรรมชาติเม็ดแร่แตกหลุดออกจากหินเดิมแล้วถูกพัดพาโดยน้ำหนักมาสะสมตัวสู่ที่ราบ เรียกว่าแบบลานแร่ ที่นิยมทำเหมืองกันเพราะต้นทุนน้อยทำการแต่งแร่ได้ง่าย สามารถใช้วิธีเหมืองสูบ และเหมืองฉีดนำเอาสินแร่ไปคัดขนาดเอากรวดหินก้อนโตที่ไม่มีแร่ออก ด้วยตะแกรงหรือตะแกรงหมุน ต่อด้วยแยกแร่หิวแร่ดีบุกออกจากแร่เบาด้วยรางกู่แร่ (Palong) หรือใช้จิก (Jig) เป็นการแต่งแร่ขั้นต้น ขั้นต่อมานำหัวแร่ที่ได้จากขั้นต้นมาล้างทำความสะอาดในโรงแต่งแร่ โดยเริ่มจากคัดหัวแร่โดยใช้น้ำด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า วิลลอบบี้ วอซอร์ (Willoughby washer) และคัดล้างหัวแร่ขนาดเล็กด้วยเครื่องมือ ที่เรียกว่า แลงชุต (Lanchute) โดยใช้แรงงานคน ล้างซ้ำไปซ้ำมาจนมีปริมาณโลหะดีบุกที่ได้อ้อยละ 70 เป็นแร่ที่มีคุณภาพสูงพอที่ขายได้ แต่หางแร่ในส่วนนี้จะมดีบุกและแร่หนักที่เกิดร่วมกันปะปนไปในหางแร่ด้วยที่เรียกว่า อามัง (Amang) (กัญญา มีชานะ, 2532)



ที่มา: Meechumna (1985)

รูปที่ 2-3 แผนผังการแต่งดีบุกแบบทั่วไปที่ใช้ในโรงงานแต่งแร่ดีบุกของประเทศไทย

จากคู่มือการแต่งแร่ (กรมทรัพยากรธรณี, 2527) กล่าวว่า การพิจารณาความสะอาดหรือคุณภาพ (Grade) ของแร่ นั้น จะถือเอาผลวิเคราะห์ทางเคมีของปริมาณโลหะหรือสารประกอบที่สำคัญในแร่ เช่น แร่ดีบุกที่ซื้อขายกันในประเทศไทยจะถือเกณฑ์ว่าให้มีโลหะดีบุก (Sn) ในหัวแร่ (Concentrate) ไม่ต่ำกว่า 72 % จึงจะส่งออกจำหน่ายได้ เป็นต้น และยังสามารถนำมาใช้ในการพิจารณาถึงปริมาณแร่ที่เก็บได้ (Recovery) ว่ามีมากน้อยเพียงใดจากกระบวนการแต่งแร่ โดยมักจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของโลหะหรือสารประกอบที่สำคัญที่มีอยู่ในหัวแร่ต่อจำนวนโลหะหรือสารประกอบอย่างเดียวกันนั้นภายในแร่ที่ส่งเข้าแต่งหรือแร่ป้อน (Feed) คือ

$$R = 100 \frac{Cc}{Ff} \quad \text{สมการที่ 2-1}$$

ในเมื่อ R = เปอร์เซ็นต์ที่เก็บได้ (Percentage of recovery)

C = น้ำหนักหัวแร่ (Weight of concentrate)

c = ผลวิเคราะห์ของหัวแร่ (Assay of concentrate)

F = น้ำหนักแร่ป้อน หรือแร่ที่ส่งเข้าแยก (Weight of feed)

f = ผลวิเคราะห์ของแร่ป้อน (Assay of feed)

หรือ

$$R = 100 \frac{c(f - t)}{f(c - t)} \quad \text{สมการที่ 2-2}$$

ในเมื่อ t = ผลวิเคราะห์ของหางแร่ (Assay of tailing)

ในบางครั้งมักนิยามพูดกันในเทอมของอัตราส่วนของการแต่งแร่ กล่าวคือ

$$\text{อัตราส่วนของการแต่งแร่} = \frac{\text{น้ำหนักของแร่ป้อน}}{\text{น้ำหนักของหัวแร่}}$$

สมการที่ 2-3

$$\text{Ratio of Concentration} = \frac{\text{Weight of feed}}{\text{Weight of concentrate}}$$

หรือ

$$k = \frac{F}{C}$$

สมการที่ 2-4

หรือ

$$k = \frac{c - t}{f - t}$$

สมการที่ 2-5

ซึ่งได้มาจากสมการ ดังนี้

$$F = C + T \quad \dots\dots\dots(a)$$

$$Ff = Cc + Tt \quad \dots\dots\dots(b)$$

$$(a) \times t; \quad Ft = Ct + Tt \quad \dots\dots\dots(c)$$

$$(b) - (c); \quad F(f - t) = C(c - t)$$

สมการที่ 2-6

$$\frac{F}{C} = \frac{c-t}{f-t}$$

ดังนั้น

$$K = \frac{c-t}{f-t}$$

เมื่อ T = น้ำหนักของหางแร่ (Weight of tailing)

ส่วนสมการ $R = 100 \frac{c(f-t)}{F(c-t)}$ นั้นได้มาดังนี้ คือ

$$R = 100 \frac{c-f}{f(c-t)}$$

$$R = 100 \frac{c}{f} * \frac{C}{F}$$

$$R = 100 \frac{c}{f} * \frac{1}{k}$$

สมการที่ 2-7

ในเมื่อแทนค่า $K, R = 100 \frac{c(f-t)}{f(c-t)}$

ศุภชัย พงษ์ศิริวรรณ (2541) ได้ทำการศึกษการแต่งแร่ดีบุกจากกองหางแร่ กรณีศึกษาเหมืองแร่ถ้ำทะลุ จังหวัดยะลาโดยการศึกษาหาแหล่งหางแร่ดีบุกที่มีศักยภาพเพื่อความเป็นไปได้ในการลงทุน ด้วยการเลือกใช้เครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมในการเก็บกลับคืนแร่ โดยเริ่มจากการทำ การเก็บตัวอย่างแร่จากกองหางแร่เก่าเป็นจำนวน 2 บ่อ แล้วทำการชั่งตัวอย่างแร่ จากนั้นทำการล้างแร่ และกำจัดฝุ่นแล้วนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าตัวอย่างแร่ประกอบด้วย ควอตซ์เป็นส่วน ใหญ่ มีแร่เหล็กออกไซด์ แร่ตะกั่วขาวและดีบุกเม็ดเล็กๆปนอยู่บ้าง จากนั้นทำการศึกษการกระจาย ตัวของขนาดตัวอย่างแร่ พบว่า เม็ดแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 14 Mesh เป็นจำนวนถึง 97% ตัวอย่างแร่ที่ ผ่านการล้างแล้วจะถูกป้อนเข้าสู่โต๊ะสั่นแยกแร่ หัวแร่และแร่โคลจะถูกนำกลับไปแยกด้วยโต๊ะสั่นอีก รอบเพื่อให้หัวแร่สะอาดขึ้น จากนั้นนำหัวแร่ไปทำให้แห้งแล้วป้อนเข้าเครื่องแยกแม่เหล็กแบบ สายพานเพื่อแยกเอาแร่ที่ติดแม่เหล็กออกไป แล้วทำการแยกซ้ำอีกโดยการปรับค่าความเข้ม สนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น พบว่า หัวแร่ทั้งหมดเป็นแร่ดีบุกเปอร์เซ็นต์ต่ำปนแร่ตะกั่ว อีกทั้งยังมีแร่เหล็ก ออกไซด์และควอตซ์เม็ดละเอียดปนอยู่เป็นจำนวนมาก จากการวิเคราะห์มีความสมบูรณ์ของแร่ดีบุก พบว่า บ่อแรกมีค่าความสมบูรณ์เท่ากับ 2.80 กก/ลบ.ม. และบ่อที่สองเท่ากับ 0.8 กก/ลบ.ม. ทั้งนี้ การแต่งแร่ทั้งสองกองไม่สามารถแต่งให้ได้แร่ดีบุกเปอร์เซ็นต์สูงกวานี้ จึงทำให้แหล่งหางแร่นี้ดั่งกล่าวไม่ คุ่มค่าในการลงทุนแต่งแร่อีกครั้ง

วิชาญ อมตาริยกุล (2543) เทคนิคการวิเคราะห์แร่ทางฟิสิกส์เป็นการตรวจสอบแร่ และ คำนวณหาปริมาณแร่แต่ละชนิดที่ปะปนอยู่ ด้วยเริ่มจากการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค (Size distribution) ของแร่ เปอร์เซ็นต์แร่แต่ละชนิดในแต่ละขนาดทราบชนิดและปริมาณแร่ต่างๆ

ในมูลแร่ และหางแร่ สำหรับขั้นตอนในการวิเคราะห์แร่ทางฟิสิกส์ จะอาศัยหลักคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่แต่ละกลุ่มแต่ละชนิด เช่น การแยกแร่หนักออกจากแร่เบา การอาศัยคุณสมบัติในการติดแม่เหล็กและไม่ติดแม่เหล็ก และคุณสมบัติการนำไฟฟ้า แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กไฟฟ้าโดย Frantz isodynamic magnetic separator โดยผลที่ได้จะได้แร่แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ดังตารางที่ 2-3 แล้วนำแร่ที่ได้แต่ละกลุ่มมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์แร่โดยน้ำหนัก จากการนับเม็ดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนทั้งในการทำเหมืองและการแต่งแร่ ตลอดจนการประเมินปริมาณและมูลค่าแร่สำรองตลอดจนใช้สำหรับการซื้อขาย

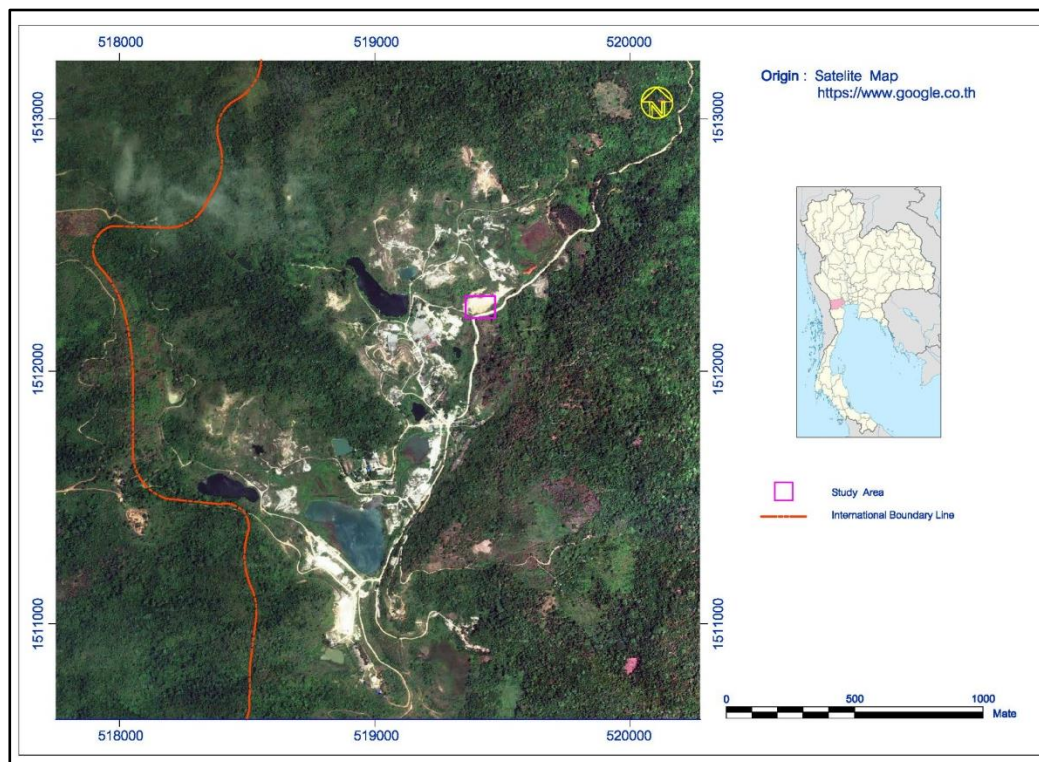
ตารางที่ 2-3 อำนาจการติดแม่เหล็กของแร่ชนิดต่างๆ เมื่อแยกด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator

ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ปรับเครื่องแยก (แอมแปร์)	ชนิดแร่ที่เจอ	หมายเหตุ
0.4 A	Garnet, Ilmenite, Siderite	เครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ปรับรางแยกแร่ ดังนี้ 1. มุมเอียงแนวข้าง 25° 2. ความเอียงตามแนวไหลลงของแร่ 15°
0.7 A	Hydroilmenite, Columbite-Tantalite, Wolframite, Xenotime, Hematite, Siderite, Laterite, Tourmaline and Limonite	
1.2 A	Hydroilmenite, Struverite, Tourmaline, Monazite, Muscovite, Biotite, Yttrotantalite, Samarskite and Leucoxene	ความเข้มข้นแม่เหล็กปรับด้วยกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-0.2A แต่ในการใช้งาน ค่าที่ใช้อยู่ระหว่าง 0.4-1.5A เท่านั้น
แร่ไม่ติดแม่เหล็ก	Cassiterite, Rutile, Zircon, Pyrite, Leucoxene, Thorite, Microlite and Quartz	

ที่มา: วิชาญ อมตาริยกุล (2543)

2.6 พื้นที่ศึกษา

แหล่งแร่ตะโกปิดทอง เดิมเปิดดำเนินการทำเหมืองแร่ดีบุก โดยแหล่งแร่ดีบุกในพื้นที่นี้สะสมตัวอยู่ในบริเวณแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินอ่อน มีแร่ดีบุกเกิดร่วมกับแร่ซัลไฟด์ ต่อมาเกิดสภาวะราคาแร่ดีบุกตกต่ำทำให้ต้องหยุดกิจการเหมืองแร่ดีบุกลงในปี พ.ศ. 2530 แต่เนื่องจากแหล่งแร่ตะโกปิดทอง เป็นหินแกรนิตที่ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ โปไรแตส เซียมเฟลด์สปาร์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ ซึ่งมีความสมบูรณ์และมีศักยภาพเพียงพอในการทำเหมืองแร่เฟลด์สปาร์ และในเวลานั้นอุตสาหกรรมเซรามิกส์กำลังเติบโตทำให้ต้องใช้แร่เฟลด์สปาร์จำนวนมากในกระบวนการผลิต ดังนั้นเหมืองแร่ตะโกปิดทองจึงเปลี่ยนมาผลิตแร่เฟลด์สปาร์ภายใต้ชื่อ บริษัท เดอะสปาร์ไมนิ่ง จำกัด



รูปที่ 2-4 พื้นที่ศึกษาแหล่งแร่ตะโกปิดทอง

2.6.1 ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกของเหมืองตะโกปิดทอง

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่พบว่ามี การเกิดแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยแหล่งแร่ดีบุกที่เกิดแบบปฐมภูมิจะอยู่ตามแนวสายแร่เพกมาไทต์ และในส่วนที่เป็นส่วนบนสุดของหินแกรนิตและในสายแร่ซัลไฟด์ ที่เกิดอยู่ตามแนวรอยเลื่อนที่วางตัวในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ โดยแร่ดีบุกที่พบเป็นแร่แคสซิเทอไรต์ที่เกิดรวมอยู่ในสายแร่ควอตซ์ สายเพกมาไทต์ และแร่ซัลไฟด์ เกิดแบบฝังประอยู่ในเนื้อหินแกรนิตที่ถูกแปรเปลี่ยนสภาพ

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกแบบทุติยภูมิพบแร่ดีบุกฝังอยู่ใกล้กับแหล่งต้นกำเนิดตามไหล่เขาเรียกว่า ลานพลัดแร่ไหล่เขา เม็ดแร่ยังมีลักษณะเป็นเหลี่ยมอยู่มาก แหล่งแร่แบบนี้มีความสมบูรณ์ค่อนข้างสูง เมื่อแร่ดีบุกถูกพัดพาต่อแล้วไปสะสมอยู่ตามเชิงเขาซึ่งเป็นส่วนต่อกับที่ราบเรียกว่า ลานแร่พลัดเชิงเขา โดยปกติช่วงที่มีความสมบูรณ์ของแร่ดีบุกดีที่สุดจะเป็นชั้นตะกอนล่างสุดที่ติดกับหินดานของหินแกรนิต และในชั้นกะสะจะพบแร่หนักอื่นๆ เกิดร่วมกับแร่ดีบุกไปด้วย เช่น แร่ Tourmaline, แร่ Ilmenite และแร่ Zircon

2.6.2 การทำเหมืองแร่ในพื้นที่ศึกษา

การทำเหมืองแร่ดีบุกของบริษัท เดอะสปาร์ไมนิ่ง จำกัดซึ่งเดิมบริษัท แหลมพิชัย จำกัด เป็นผู้ได้รับอนุญาตถือประทานบัตรเหมืองสูบ 3 แปลง และเหมืองหาบและสูบจำนวน 1 แปลง ในแปลงหมายเลข 9050/12264 บริษัทได้เปิดทำเหมืองดีบุกมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 โดยเริ่มทำเหมืองแร่จากลานแร่ (Alluvial mining) แร่ที่ฝังจากสายแร่ธรรมชาติ แล้วถูกน้ำพัดพามาสะสมตัวในทางน้ำหรือที่ราบ ต่อมาเริ่มทำเหมืองจากสายแร่แข็งหรือแหล่งแร่ปฐมภูมิ โดยวิธีเจาะระเบิดแล้วเอามาบดเพื่อแยกแร่ดีบุกออกจากมลทินที่เกิดร่วมกับแร่ ซึ่งหากมีมลทินติดไปกับดีบุกก็จะก่อให้เกิดปัญหาจะทำให้ถูกตัดราคาและหากปะปนอยู่มากโรงถลุงก็จะไม่รับซื้อ การทำเหมืองจากสายแร่ในอดีตจึงมีปัญหาด้านการแต่งแร่มาก เพราะต้องใช้เครื่องมือในการแยกแร่หลายชนิดและต้องมีประสบการณ์จึงจำเป็นต้องเอาแร่ที่ผลิตได้จากการทำเหมืองแบบลานแร่ ซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงมากมาผสม จึงสามารถขายแร่ได้ ต่อมาระยะหลังแร่จากลานแร่น้อยลงเพราะประสบวิกฤติราคาดีบุก จึงมีมูลแร่เหลือทิ้งไว้ในขุมเหมืองจำนวนมาก เพราะราคาในขณะนั้นไม่คุ้มทุนกับค่าใช้จ่ายในการแต่งแร่

2.6.3 วิธีการทำเหมืองดีบุกและอุปกรณ์ที่ใช้

ในอดีตที่ผ่านมาเหมืองสูบ (Gravel pump) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ในการทำเหมืองดีบุกในประเทศไทย เพราะต้นทุนต่ำและมีประสิทธิภาพสูงสำหรับแหล่งทุติยภูมิ ซึ่งอยู่ในชั้นดินหรือหินแกรนิตที่ไม่แข็งสามารถแตกหลุดออกจากกันได้ง่าย หลักการที่ใช้ในการทำเหมืองคือต้องแยกแร่ดีบุกให้ได้ในขั้นตอนแรกของกระบวนการเพื่อให้คุ้มกับค่าใช้จ่ายลงทุนไป โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทำเหมืองสูบที่สำคัญคือ เครื่องสูบน้ำ (Pump) รางกู่แร่ (Palong) และเลียงล่อนแร่ การทำเหมืองแบบสูบจะใช้ High pressure water jetsหรือเรียกอีกอย่างว่า Monitors (รูปที่ 2-5) เพื่อทำให้ชั้นที่มีแร่แตกออกจาก Karang ดินโคลนแล้วไหลพลัดพาไปยังบ่อกั้นเหมือง (Mine pit) จากนั้นก็ใช้เครื่องปั๊มสูบน้ำดินโคลนผ่าน Trommel screen คัดขนาดเอากรวด หิน ก้อนใหญ่ออกก่อนขึ้นไปยังรางกู่แร่ ประสิทธิภาพในการกู่แร่ขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Design) ของรางรางกู่จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการ

ทำเหมืองแร่ดีบุกเพราะเป็นจุดที่ใช้ในการกู้แร่ (รูปที่ 2-6) แสดงให้เห็นรางกู้แร่แบบดั้งเดิมซึ่งหาได้ดูยากมากในปัจจุบัน ประสิทธิภาพในการกู้แร่ขึ้นอยู่กับรูปแบบของรางที่ออกแบบ รางกู้ที่ออกแบบมาไม่ดีจะมีผลทำให้แร่ไปอยู่ในหางแร่



ที่มา: Gullick JM (1988)

รูปที่ 2-5 แสดง Monitors และ Gravel pump



ที่มา:Gullick JM (1988)

รูปที่ 2-6 แสดงภาพรางกู้แร่ (Palong)

นอกจากแร่แล้วยังมีอีกเครื่องมือหนึ่งชนิด คือ จิ๊ก (Jigs) เพื่อให้แร่มีความสะอาดมากขึ้นแร่ที่กู๊ได้จะถูกนำไปล้างที่โรงล้าง (Tin shed) ก่อนที่จะนำไปจำหน่ายแร่ที่ได้จะถูกนำมาล้างในรางกู๊แร่เล็กๆ เรียกว่า Lanchute และใช้โต๊ะสั่น (Shaking table) แล้วนำแร่ไปวางให้แห้งในเตาเผา แต่แร่ดิบุกหายาบพบว่ายังมีมลทินหลงเหลืออยู่มากจึงต้องนำมาบดหายาบและบดละเอียดก่อน แล้วนำมาผ่านเครื่องแม่เหล็กเพื่อที่จะแยกเอาดิบุกออกจากแร่โลหะตัวอื่นๆ เพื่อได้แร่เปอร์เซ็นต์สูง แล้วจึงบรรจุในถุงพร้อมที่จะขาย ส่วนที่เหลือจากการสกัดแร่ออกไปแล้วเรียกว่า Amang (Abdullah Hasbi bin Haji Hassan and Wallwork, 1984)



บทที่ 3

ระเบียบการวิจัยและผลการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษานี้ มีดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์ในภาคสนาม

- 1). แผนที่ระวาง 4836 III เหมือนทุ่งเจดีย์ (พื้นที่เก็บตัวอย่าง)
- 2). Global positioning system (GPS)
- 3). ส้อม / เสียม / จอบ
- 4). ถุงเก็บตัวอย่าง

3.1.2 เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

- 1). เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)
- 2). เครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF)
- 3). เตาเผาแร่อุณหภูมิสูง (High temperature furnace)
- 4). เตาอบแร่ให้แห้ง (Oven)
- 5). กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)
- 6). ตะแกรงสั่น (Vibrating screen)
- 7). ตะแกรงคัดขนาด (Sieve)
- 8). โต๊ะสั่น (Shaking table)
- 9). เสียงร่อนแร่ (Washing pan)
- 10). แม่เหล็กถาวร (Magnet)
- 11). เครื่องแยกด้วยแม่เหล็ก (Magnetic separator) รุ่น Mclean
- 12). เครื่องแยกด้วยไฟฟ้า (High tension/ Electrostatic separator)
- 13). เครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator

3.2 ศึกษาแร่วิทยา (Mineralogy) และองค์ประกอบของหางแร่ท้ายราง

การศึกษางานวิจัยนี้เริ่มจากเดินทางไปเก็บตัวอย่างหางแร่ท้ายรางด้วยวิธีการแบบสุ่ม (Grab sampling) จากบ่อหางแร่ของเหมืองตะโกปิดทองที่มีปริมาณสำรองประมาณ 80,000 ตัน (จากข้อมูลของ บริษัท เดอะสปาร์โมเนิ่ง จำกัด) มา 600 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3-1 จากนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่งคือ 100 กิโลกรัม นำมาชั่งตัวอย่างด้วยวิธี Coning and quartering จนเหลืออยู่ที่ปริมาณ 50 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3-2 จากนั้นใช้เครื่องโจนส์ริฟเฟิล (Jones riffle) สุ่มตัวอย่าง สลับซ้ายขวาไปมาจำนวน 4 ครั้ง โดยที่ครั้งที่ 1 ป้อนตัวอย่าง 50 กิโลกรัม แบ่งตัวอย่างออกมาซ้ายขวาได้ประมาณด้านละ 25 กิโลกรัม นำตัวอย่างด้านขวามาป้อนครั้งที่ 2 แบ่งตัวอย่างออกมาซ้ายขวาได้ประมาณด้านละ 12 กิโลกรัม จากนั้นนำตัวอย่างด้านซ้ายมาป้อนครั้งที่ 3 แบ่งตัวอย่างออกมาซ้ายขวาได้ด้านละประมาณ 6 กิโลกรัม และนำตัวอย่างด้านขวามาป้อนครั้งที่ 4 เป็นสุดท้ายได้ตัวอย่างมา ได้ประมาณด้านละ 3 กิโลกรัม ดังรูปที่ 3-3 นำตัวอย่างด้านซ้ายมาศึกษาแร่วิทยา (Mineralogy) และตัวอย่างจากด้านขวาไปศึกษาวิเคราะห์ขนาด (Sieve analysis) และการกระจายตัวของขนาด (Size distribution) และในส่วนที่ 500 กิโลกรัม นำไปทดลองแยกแร่ต่อหลังจากทำการศึกษาแร่วิทยา ศึกษาวิเคราะห์ขนาด และการกระจายตัวของขนาดของตัวอย่างหางแร่ท้ายรางนี้



รูปที่ 3-1 เก็บตัวอย่างด้วยวิธีการแบบสุ่ม (Grab sampling) จากบ่อหางแร่



รูปที่ 3-2 การชักตัวอย่างด้วยวิธีแบบ Coning and quartering



รูปที่ 3-3 การชักตัวอย่างด้วยเครื่องโจนส์ริฟเฟิล (Jones riffle)

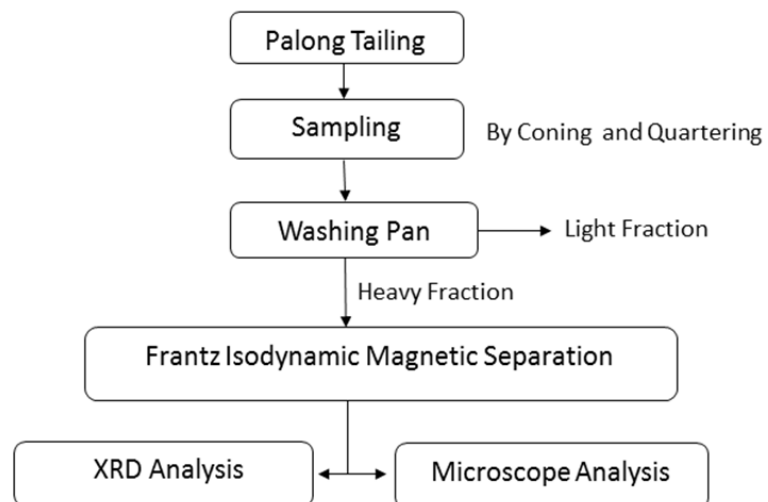
นำตัวอย่างที่สุ่มจากเครื่องโจนส์รีฟเฟิล ที่ได้มาประมาณ 3 กิโลกรัม แบ่งมาชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 2 กิโลกรัม แล้วนำไปแยกแร่เบาออกจากแร่หนักด้วยเลียจร้อนแร่ (Washing Pan) **รูปที่ 3-4** จากนั้นนำตัวอย่างแร่เบาและแร่หนัก อบตัวอย่างให้แห้งและชั่งน้ำหนักชั่งตัวอย่างแร่หนักออกมา 10 กรัม ด้วยวิธี Coning and quartering แล้วนำแม่เหล็กถาวรจับแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic mineral) ออกก่อนแล้วจึงนำตัวอย่างแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กไปแยกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator **รูปที่ 3-5** ที่ตั้งค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ต่างกัน โดยปรับกระแสไฟฟ้้าออกเป็นช่วงคือช่วงที่หนึ่ง 0.0-0.4 แอมแปร์, ช่วงที่สอง 0.4-0.7 แอมแปร์ และช่วงที่สาม 0.7-1.2 แอมแปร์ ปรับรางแยกแร่มุมเอียง 25 องศา ความเอียงตามแนวไหลลงของแร่ 15 องศา จากการศึกษาของ (วิชาญ อมตาริยกุล, 2543) แล้วนำแร่ที่แยกได้ในแต่ละส่วนหรือช่วง คือ แร่ติดแม่เหล็กถาวร แร่ติดแม่เหล็กช่วงที่ 0.0-0.4 แอมแปร์ แร่ติดแม่เหล็กช่วงที่ 0.4-0.7 แอมแปร์ แร่ติดแม่เหล็กช่วงที่ 0.7-1.2 แอมแปร์ และในส่วนของแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก มาตรวจสอบชนิดแร่และคำนวณปริมาณแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Grain counting analysis) **ภาคผนวก ข รูปที่ ข-1** และวิเคราะห์หาชนิดแร่ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) มีรูปแสดงภาคผนวก **ข รูปที่ ข-2** ซึ่งขั้นตอนการศึกษาแร่วิทยาแสดงได้ทั้งหมด ดัง**รูปที่ 3-6**



รูปที่ 3-4 การเลียจร้อนแร่ (Washing pan)



รูปที่ 3-5 เครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator



รูปที่ 3-6 ขั้นตอนการศึกษาองค์ประกอบของตัวอย่างทางแร่

3.3 ผลการศึกษาแร่วิทยา (Mineralogy) และองค์ประกอบของหางแร่ทำยาราง

ซึ่งมีผลการศึกษาที่จะนำเสนอตามลำดับดังต่อไปนี้

3.3.1 ผลการศึกษาจากเลียงร้อนแร่ (Washing pan)

หลังซีกตัวอย่างแร่ด้วยเครื่องโจนส์รีฟเฟิลออกมา แล้วนำตัวอย่างมาร้อนทรายหรือแร่เบาออกจากแร่หนักในน้ำ ได้แร่หนักที่ค้างอยู่บนเลียงร้อนแร่ และแร่เบาที่หลุดออกจากเลียงร้อนแร่ไปอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักบันทึกผลได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 น้ำหนักที่ได้จากการเลียงร้อนแร่

ชนิด	แร่ป้อน (Feed)	แร่หนัก (Heavy)	แร่เบา (Light)
น้ำหนัก (กรัม)	1995	1037.4	957.6
น้ำหนัก (%)	100	52	48

3.3.2 ผลการวิเคราะห์จำแนกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator

ซีกตัวอย่างแร่หนักจากเลียงร้อนแร่โดยวิธี Coning and quartering แล้วนำแม่เหล็กถาวรมาจับแร่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferromagnetic mineral) ออกก่อนนำแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กไปแยกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ที่ตั้งค่าของความเข้มข้นแม่เหล็กที่ต่างกัน โดยที่ปรับกระแสไฟฟ้าในช่วงต่างกันไปคือเริ่มที่ 0.0-0.4 แอมแปร์, 0.4-0.7 แอมแปร์, 0.7-1.2 แอมแปร์ และแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก นำแร่ที่ได้ในแต่ละส่วนมาชั่งน้ำหนักซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 น้ำหนักที่ได้จากการจำแนกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator

Feed	Ferro-magnetic	Magnetic at 0.1-0.4 amp	Magnetic at 0.4-0.7 amp	Magnetic at 0.7-1.2 amp	Non-Magnetic -1.2 amp
6.65 กรัม	3.821 กรัม	1.975 กรัม	0.167 กรัม	0.112 กรัม	0.575 กรัม
100 %wt	57.46 %wt	29.70 %wt	2.51 %wt	1.68 %wt	8.65 %wt

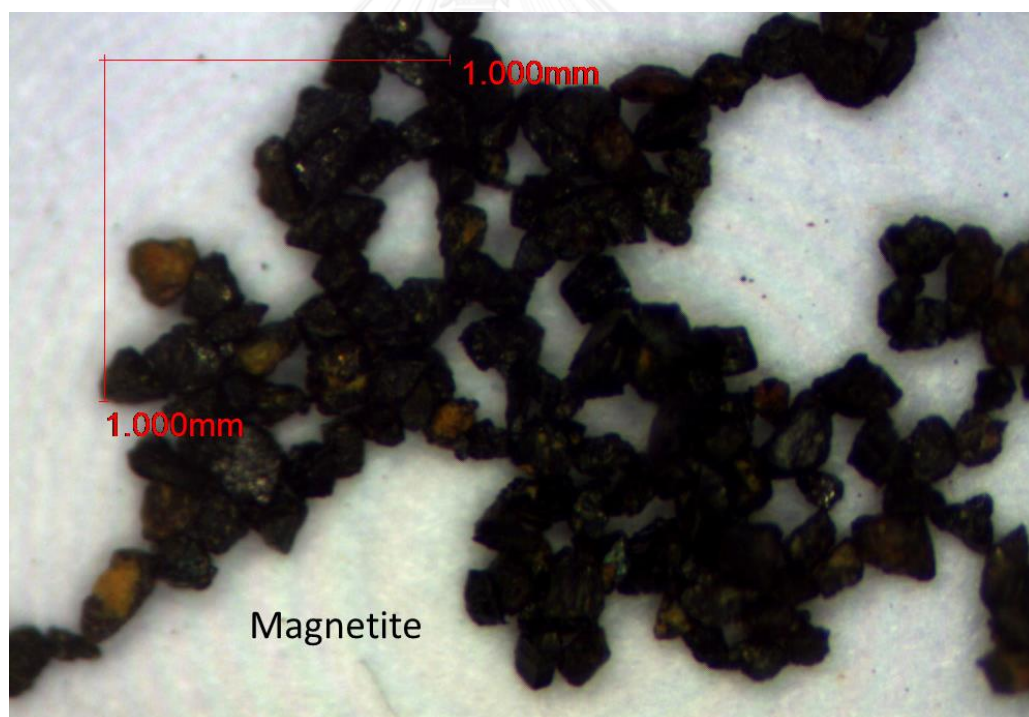
หมายเหตุ ปรับรยางแยกแร่มุมเอียง 25 องศา ความเอียงตามแนวไหลลงของแร่ 15 องศา

3.3.3 ผลการศึกษาแร่วิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ผลการศึกษาแร่วิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยนำแร่ในแต่ส่วนจากการผ่านกระบวนการจำแนกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator จากตารางที่3-2 มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะคุณสมบัติของแร่ทางฟิสิกส์ และศึกษาลักษณะเม็ดแร่ที่ได้จากสังเกต ได้แก่ สี รูปผลึก ความวาว รอยแตก และแนวแตก เป็นต้น ซึ่งมีผลดังต่อไปนี้

3.3.3.1 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กถาวรภายใต้กล้องจุลทรรศน์

แร่ที่ติดแม่เหล็กถาวร เป็นแร่ Magnetite ดูดติดแม่เหล็กอย่างรุนแรง และเมื่อส่องดูภายใต้กล้องพบว่าเม็ดแร่จะเรียงติดกันเป็นแนวดังรูปที่ 3-7 เม็ดแร่มีลักษณะสีดำ และบางเม็ดมีคราบสีเหลืองออกน้ำตาลติดคล้ายคราบสนิมเหล็กติดผิวอยู่ สีผงสีดำ ความวาวแบบโลหะ รอยแตกไม่เรียบ และผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) แสดงในภาคผนวก ค (รูปที่ค-1)



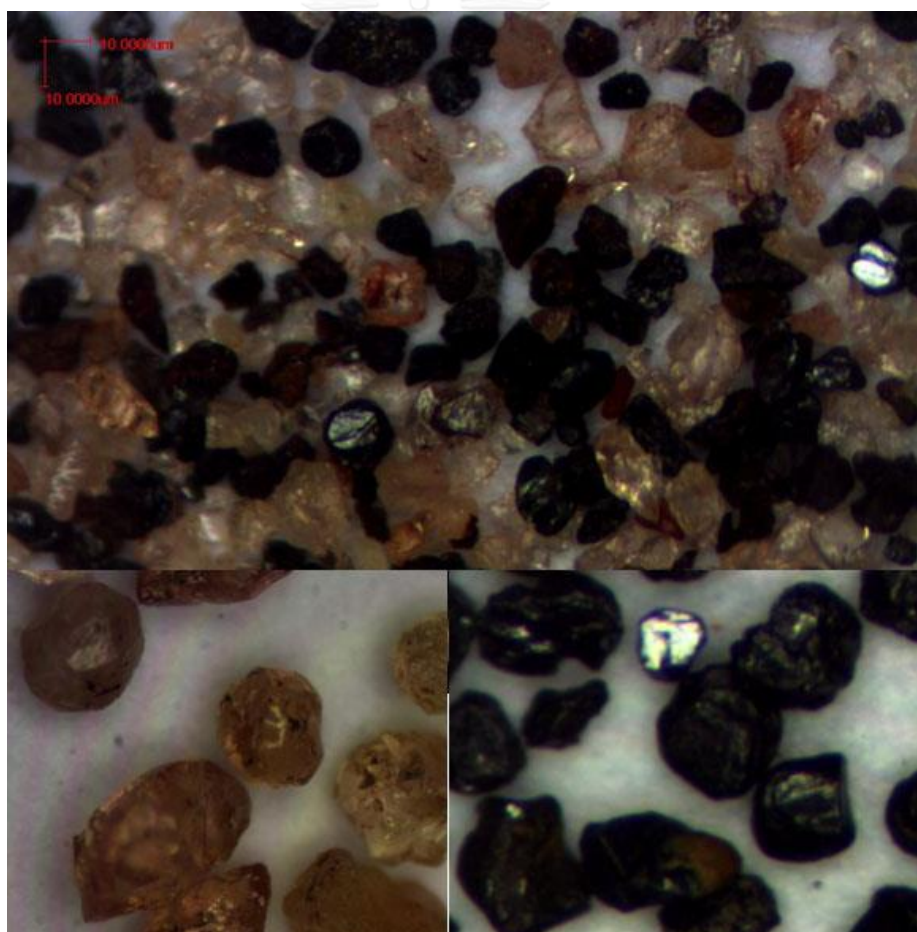
รูปที่ 3-7 แร่ Magnetite กำลังขยาย 40 เท่า

3.3.3.2 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.0-0.4 แอมแปร์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

แร่ที่ติดแม่เหล็กในเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ความเข้มข้นแม่เหล็กที่ปรับกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.0-0.4 แอมแปร์ พบว่ามีแร่ Ilmenite และ Garnet และผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) แสดงใน ภาคผนวก ค (รูปที่ ค-2)

แร่ Ilmenite ลักษณะมีสีดำ สีผงสีดำ ความวาวคล้ายโลหะ และรูปผลึกเป็นเม็ดเนื้อแน่น บางเม็ดลักษณะเป็นแผ่นหนา และทึบแสงดังรูปที่ 3-8

แร่ Garnet ลักษณะมีสีใส ชมพู แดง ความวาวคล้ายแก้ว รูปผลึกกลมคล้ายตะกร้อ รอยแตกคล้ายกันหอย และโปร่งแสง ดังรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 แร่ Ilmenite และแร่ Garnet กำลังขยาย 40 เท่า

3.3.3.3 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.4-0.7 แอมแปร์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

แร่ที่ติดแม่เหล็กในเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กที่ปรับกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.4-0.7 แอมแปร์ พบว่ามีแร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite, แร่ Hydro-Ilmenite, แร่ Xenotime, แร่ Tourmaline และแร่ Quartz และผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) แสดงในภาคผนวก ค (รูปที่ค-3)

แร่ Columbite-Tantalite ลักษณะมีสีดำ ดำน้ำตาล สีผงดำออกแดง วาวคล้ายโลหะ เปราะ มีรูปร่างไม่แน่นอน รอยแตกเป็นรูปก้นหอยถึงแตกแบบไม่เรียบ ดังรูปที่ 3-9

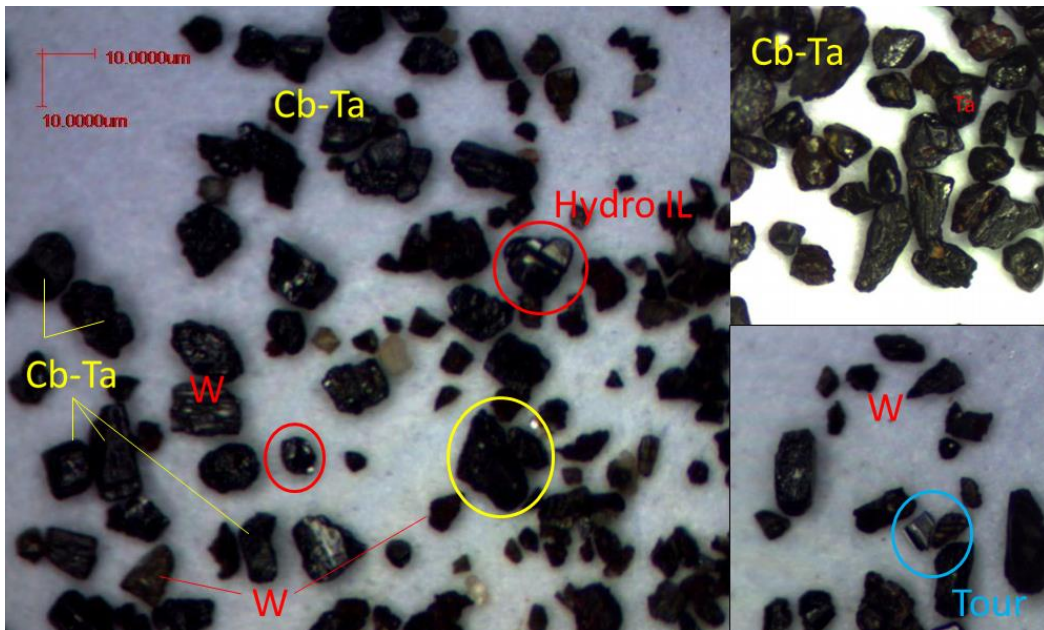
แร่ Wolframite ลักษณะมีสีดำน้ำตาล สีผงมีสีน้ำตาลแดง ความวาวกึ่งโลหะ มีรูปร่างเป็นแผ่นหนา และมีลักษณะทึบแสง ดังรูปที่ 3-9 และรูปที่ 3-10

แร่ Hydro-Ilmenite มีลักษณะต่างจากอิลเมไนต์คือสีดำเงา ความวาวคล้ายโลหะ สะท้อนแสง สีผงสีดำ และรูปผลึกมนเป็นเม็ดเนื้อแน่นหนา และมีลักษณะทึบแสง ดังรูปที่ 3-9

แร่ Xenotime ลักษณะมีสีเหลือง น้ำตาล แดง ความวาวคล้ายขี้ผึ้ง รูปผลึกคล้ายรูปปริมาตรประกบกันทั่วท้าย และมีลักษณะทึบแสงถึงโปร่งแสง ดังรูปที่ 3-10

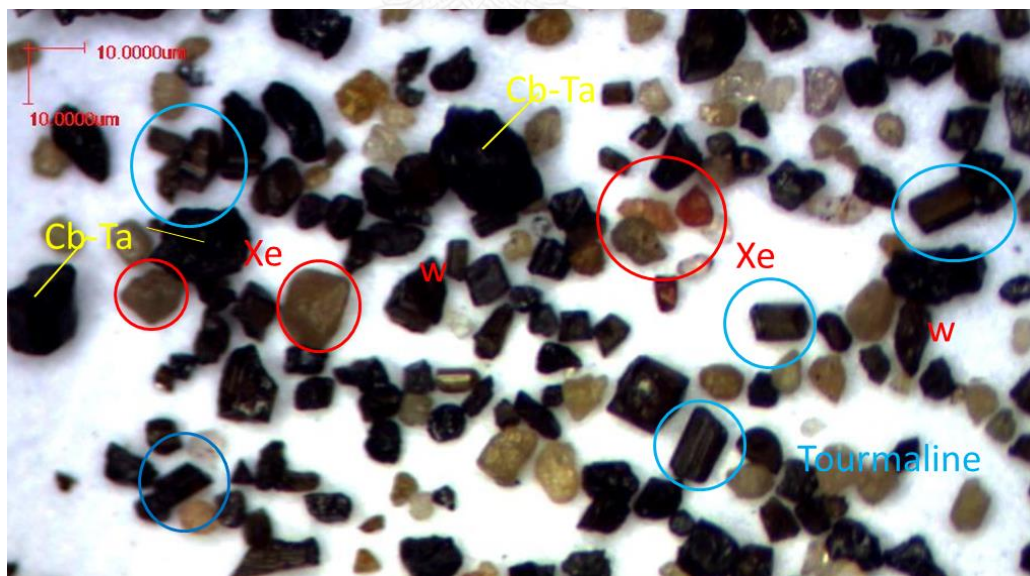
แร่ Tourmaline มีลักษณะสีใส ฟ้า เขียว ความวาวคล้ายแก้ว รูปผลึกเป็นแท่งยาวเหลี่ยม และมีลักษณะโปร่งแสง ดังรูปที่ 3-10

แร่ Quartz มีลักษณะใสไม่มีสี แต่มีสีดำหรือสีน้ำตาลติดอยู่บ้างในเม็ดเดียวกัน จัดเป็นแร่คาบหรือแร่เม็ดที่ยังไม่แตกตัวเป็นอิสระ (Non-liberated) ออกจากกัน ความวาวคล้ายแก้ว และมีลักษณะโปร่งแสง



หมายเหตุ: Cb-Ta คือแร่ Columbite-Tantalite, W คือแร่ Wolframite, Hydro IL คือแร่ Hydro-Ilmenite, และ Tour คือแร่ Tourmaline

รูปที่ 3-9 แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite, แร่ Hydro-Ilmenite และแร่ Tourmaline กำลังขยาย 40 เท่า



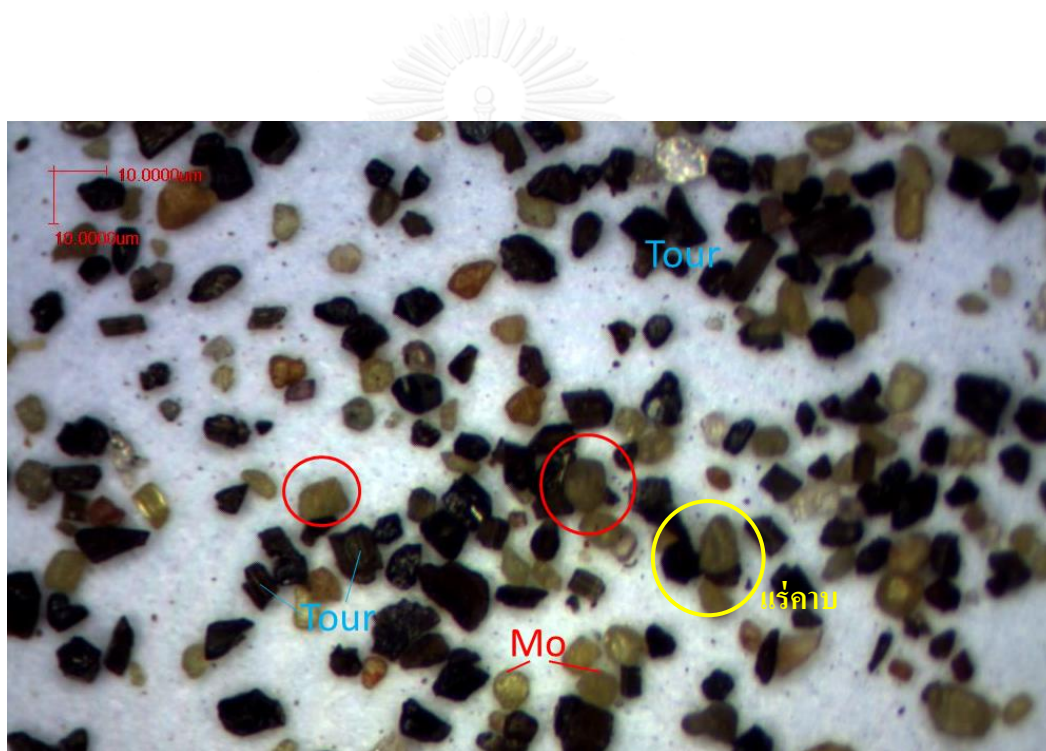
หมายเหตุ: Cb-Ta คือแร่ Columbite-Tantalite, W คือแร่ Wolframite และ Xe คือแร่ Xenotime

รูปที่ 3-10 แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite, แร่ Xenotime และแร่ Tourmaline กำลังขยาย 40 เท่า

3.3.3.4 ลักษณะเม็ดแร่ที่ติดแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.7-1.2 แอมแปร์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

แร่ที่ติดแม่เหล็กในเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ความเข้มข้นสนามแม่เหล็กที่ปรับกระแสไฟฟ้าในช่วง 0.7-1.2 แอมแปร์ พบว่ามีแร่ Monazite, แร่ Struverite, แร่ Tourmaline และมีแร่ Quartz แร่ Monazite ที่เป็นแร่คาบ ดังรูปที่ 3-11 และผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) ในภาคผนวก ค (รูปที่ ค-4)

แร่ Monazite มีลักษณะสีเหลืองใส ความวาวคล้ายแก้ว รูปผลึกบางเม็ดเป็นแท่งสั้นๆ และมนๆ เกือบกลม มีลักษณะโปร่งแสง ดังรูปที่ 3-12



หมายเหตุ: Mo คือ แร่ Monazite และ Tour คือ แร่ Tourmaline

รูปที่ 3-11 แร่ Monazite, แร่ Tourmaline และแร่ Monazite ที่เป็นแร่คาบ

กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 3-12 แร่ Monazite กำลังขยาย 40 เท่า

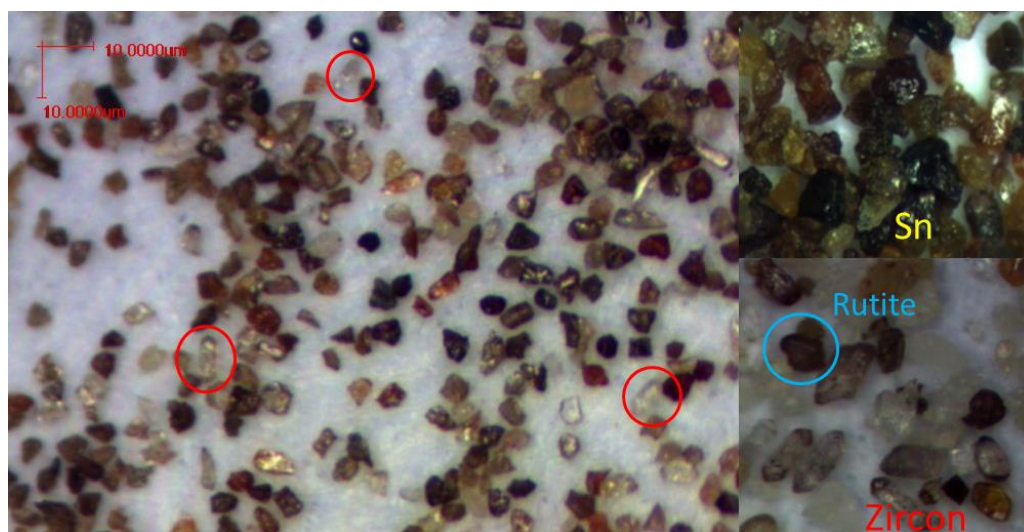
3.3.3.5 ลักษณะเม็ดแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กภายใต้กล้องจุลทรรศน์

แร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กในเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator พบว่า มีแร่ Cassiterite, แร่ Zircon, แร่ Rutile, แร่ Quartz และแร่คาบ ดังรูปที่ 3-13 และผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD) แสดงในภาคผนวก ค (รูปที่ ค-5)

แร่ Cassiterite มีลักษณะสีดำ สีเหลือง น้ำตาล แดง ความวาวคล้ายแก้ว ผลึกบางเม็ดเป็นแท่งคล้ายปริซึมสั้นๆ และบางเม็ดมีลักษณะมนๆ ดังรูปที่ 3-13 ซึ่งดีบุกมีขนาดเม็ดเล็กและสังเกตได้ยากจึงสามารถทดสอบได้โดยวิธีนำแร่ใส่ลงบนถาดสังกะสี (Zinc plate) แล้วเทกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ลงไป หากเป็นแร่ดีบุกจะเปลี่ยนเป็นสีเทา ดังรูปที่ 3-14

แร่ Zircon มีลักษณะใสไม่มีสี ความวาวคล้ายแก้ว ผลึกเป็นแท่งยาวคล้ายปิรามิด ประกบกันหัวท้าย มีลักษณะโปร่งแสง ดังรูปที่ 3-13

แร่ Rutile มีลักษณะสีน้ำตาลแดง คล้ายแร่ดีบุก แต่รูปผลึกเป็นแท่ง ลักษณะทึบแสงดังรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-13 แร่ดีบุก (Cassiterite) แร่เซอร์คอน (Zircon) และรูไทล์ (Rutile)

กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 3-14 การทดสอบแร่ดีบุกบน Zinc plate

3.3.4 ผลการนับเม็ดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Grain counting analysis)

ผลจากการวิเคราะห์แร่แต่ละชนิด โดยวิธีการนับเม็ดแร่คำนวณจากน้ำหนักทางแร่ ทำยาร่างที่แร่ป้อนพบว่าแร่ Cassiterite อยู่ที่ร้อยละ 0.83 แร่ Columbite-Tantalite อยู่ที่ร้อยละ 0.23 แร่ Wolframite อยู่ที่ร้อยละ 0.20 และแร่อื่นแสดงดังตารางที่ 3-3 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จึงสามารถเจาะจงที่จะศึกษาแร่ Cassiterite แร่ Columbite-Tantalite และแร่ Wolframite เป็นหลัก และนำไปสู่การศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3-3 ผลวิเคราะห์หาคำนวณด้วยวิธีนับเม็ดแร่ (Analysis by grain counting)

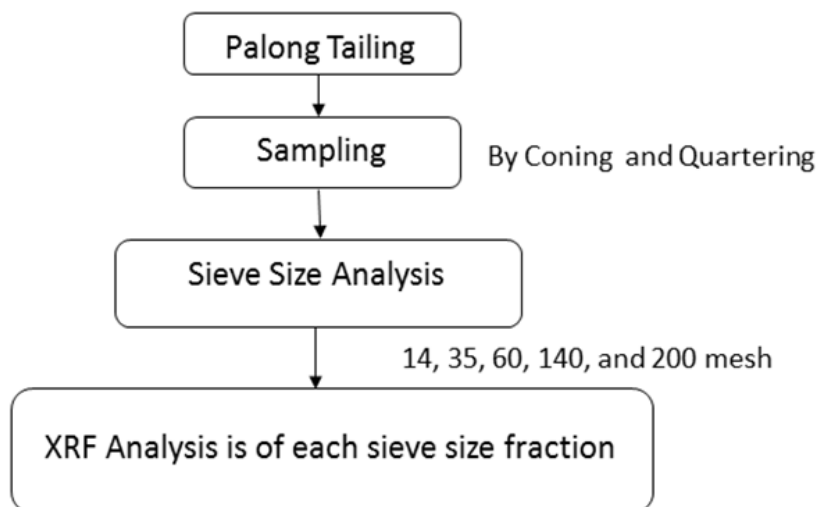
Fraction	Weight		Mineral composition		light fraction	Weight of each mineral (gm.)												Total Wt			
	gm.		Mineral	% Vol		Magnetite	Garnet	Ilmenite	Hydro Ilmenite	Co-Ta Ore	Wolframite	Tourmaline	Xenotime	struverite	Monazite	Zircon	cassiterite		Quartz	Rutile	Locked Particle
Ferro-Magnetic	3.82		Magnetite	100	3.821																3.821
Magnetic at 0.4 Amp			Granet	42		0.83															0.83
	1.98		Ilmenite	56			1.106														1.106
			Locked Particle	2																	0.04
Magnetic at 0.7 Amp			Co-Ta Ore	19					0.032												0.032
	0.17		Wolframite	17					0.028												0.028
			Hydro-ilmenite	28				0.047													0.047
			Tourmalime	19						0.032											0.032
			Xenotime	16							0.027										0.027
Magnetic at 1.2 Amp			Locked Particle	1																	0.002
			Monazite	30										0.034							0.034
	0.11		Tourmalime	50						0.056											0.056
			struverite	18									0.02								0.02
			แร่ทาบ	2																	0.002
Non Magnetic			cassiterite	20												0.115					0.115
	0.58		Zircon	7											0.04						0.04
			Rutile	1														0.006			0.006
			Quartz	70													0.403				0.403
			Locked Particle	2																	0.012
Total Wt	6.65					3.82	0.83	1.106	0.047	0.032	0.028	0.088	0.027	0.02	0.034	0.04	0.115	0.403	0.006	0.055	6.649
Percentages by weight of sample						57.44	12.47	16.63	0.703	0.477	0.427	1.319	0.402	0.303	0.505	0.605	1.729	6.053	0.086	0.826	100
feed	1995				1037	550	119	159	6.73	4.57	4.09	12.6	3.85	2.9	4.84	5.8	16.6	58	0.83	7.91	1995
Percentages by weight of sample						52	27.6	5.99	7.98	0.34	0.23	0.63	0.19	0.15	0.24	0.29	0.83	2.91	0.04	0.4	100

3.4 ศึกษาวิเคราะห์ขนาด (Sieve analysis) และการกระจายตัวแร่ดีบุก แร่โคลัมไบต์-แร่แทนทาไลต์ และแร่รูลแฟรไมต์ในทางแร่ท้ายราง

นำตัวอย่างอีกส่วนหนึ่งที่ได้จากโจนส์ริฟเฟิล 3 กิโลกรัม มาชั่งน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม แล้วนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve) ขนาด 14, 35, 60, 140 และ 200 Mesh แสดงดังรูปที่ 3-15 เพื่อวิเคราะห์ขนาด (Sieve analysis) และการกระจายตัวของธาตุที่ขนาดต่างกัน (Size distribution) นำตัวอย่างที่ข้างตะแกรงในแต่ละขนาดวิเคราะห์ธาตุเคมีประกอบเชิงปริมาณ (Quantitative analysis) ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF) ตามดังรูปที่ 3-16



รูปที่ 3-15 ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน (Sieve)



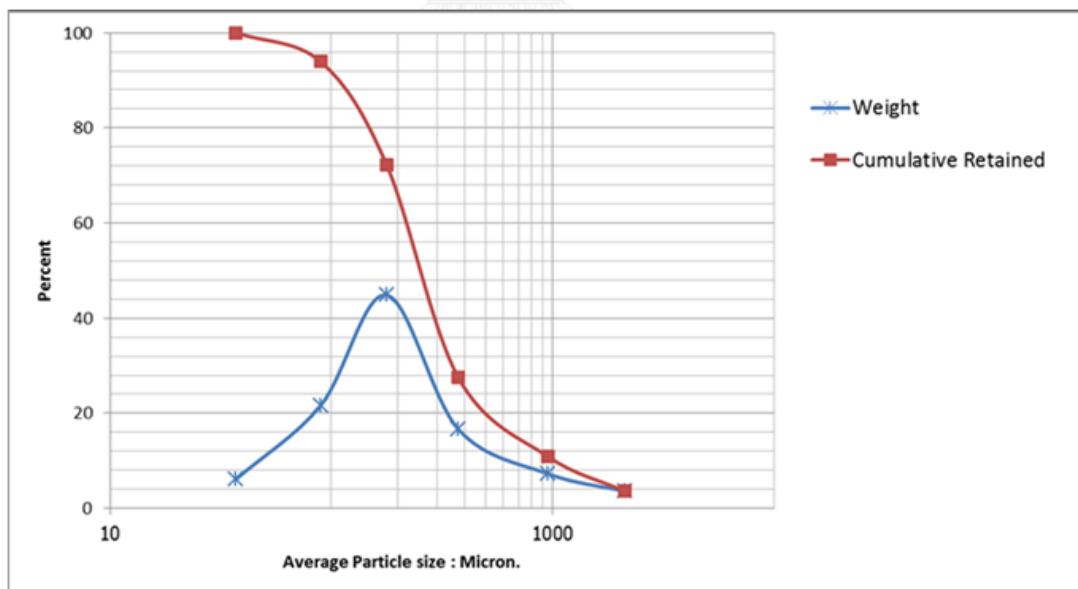
รูปที่ 3-16 ขั้นตอนการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของธาตุประกอบในตัวอย่างหางแร่

3.5 ผลการศึกษาวิเคราะห์ขนาด (Sieve analysis) และการกระจายตัวโลหะดีบุก แร่โคลัมไบต์-แร่แทน-ทาลิต์ และแร่วูลแฟรมไต์ ในหางแร่ทำयरาง

ผลจากการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างหางแร่ทำयरางที่นำมาวิจัยด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve) ได้ดังตารางที่ 3-4 พบว่าขนาดของเม็ดแร่ส่วนใหญ่สะสมตัวอยู่ในช่วงตะแกรงขนาด -35+200 Mesh (หรือ -1,410+74 ไมครอน) เทียบขนาดในภาคผนวก จ ตารางที่ จ-1 และขนาดเม็ดแร่มีการยังสะสมตัวมากที่สุดที่ขนาดเฉลี่ยอยู่ที่ 177.5 ไมครอนที่แสดงไว้ดังกราฟรูปที่ 3-17 จากผลวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของหางแร่ด้วยเครื่อง X-ray fluorescent spectrometer (XRF) พบว่า เริ่มมีแร่ Cassiterite (Sn) ที่ขนาด 500 ไมครอนลงไป และพบว่าแร่ Cassiterite มีความเข้มข้นมากขึ้นเมื่อขนาดของหางแร่มีขนาดเล็กลง และยังพบว่ายังมี Columbite-Tantalite ($\text{Nb}_2\text{O}_5\text{-Ta}_2\text{O}_5$) และแร่ Wolframite (WO_3) เป็นแร่ที่เกิดรวมกันอยู่ด้วยสะสมตัวและกระจายตัวดังตารางที่ 3-5 กราฟรูปที่ 3-18 และรูปที่ 3-19 จึงทำให้ตัดสินใจได้ว่า ควรนำหางแร่ทำयरางนี้ว่าคัดขนาดที่ตะแกรงขนาด 500 ไมครอน แล้วนำแร่ที่มีขนาดต่ำกว่า 500 ไมครอนลงไปคัดแยกแร่ต่อไป และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเก็บกลับคืนใช้ตะแกรงขนาด 200 ไมครอน เข้าอีกขนาด ในส่วนที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 500 ไมครอน ให้ตัดออกเป็นหางแร่ไปเพราะมีปริมาณของแร่ที่มีค่าน้อยมากและยากที่เก็บกลับคืนได้

ตารางที่ 3-4 แสดงการกระจายตัว สม่ำตัว และผ่านตะแกรงของขนาดทางแร่ที่นำมาวิจัย

Size			Weight (g)	Weight (%)	Cumulative % Retained	Cumulative % Passing
mesh	microns	Avg. microns				
+14	1410	2115	72	3.6	3.6	96.4
-14+35	-1410+500	955	145	7.26	10.86	89.14
-35+60	-500+250	375	332	16.62	27.47	72.53
-60+140	-250+105	177.5	896	44.84	72.32	27.68
-140+200	-105+74	89.5	432	21.62	93.94	6.06
-200+pan	-74+pan	37	121	6.06	100	0



รูปที่ 3-17 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดตัวอย่างทางแร่ที่นำมาวิจัย

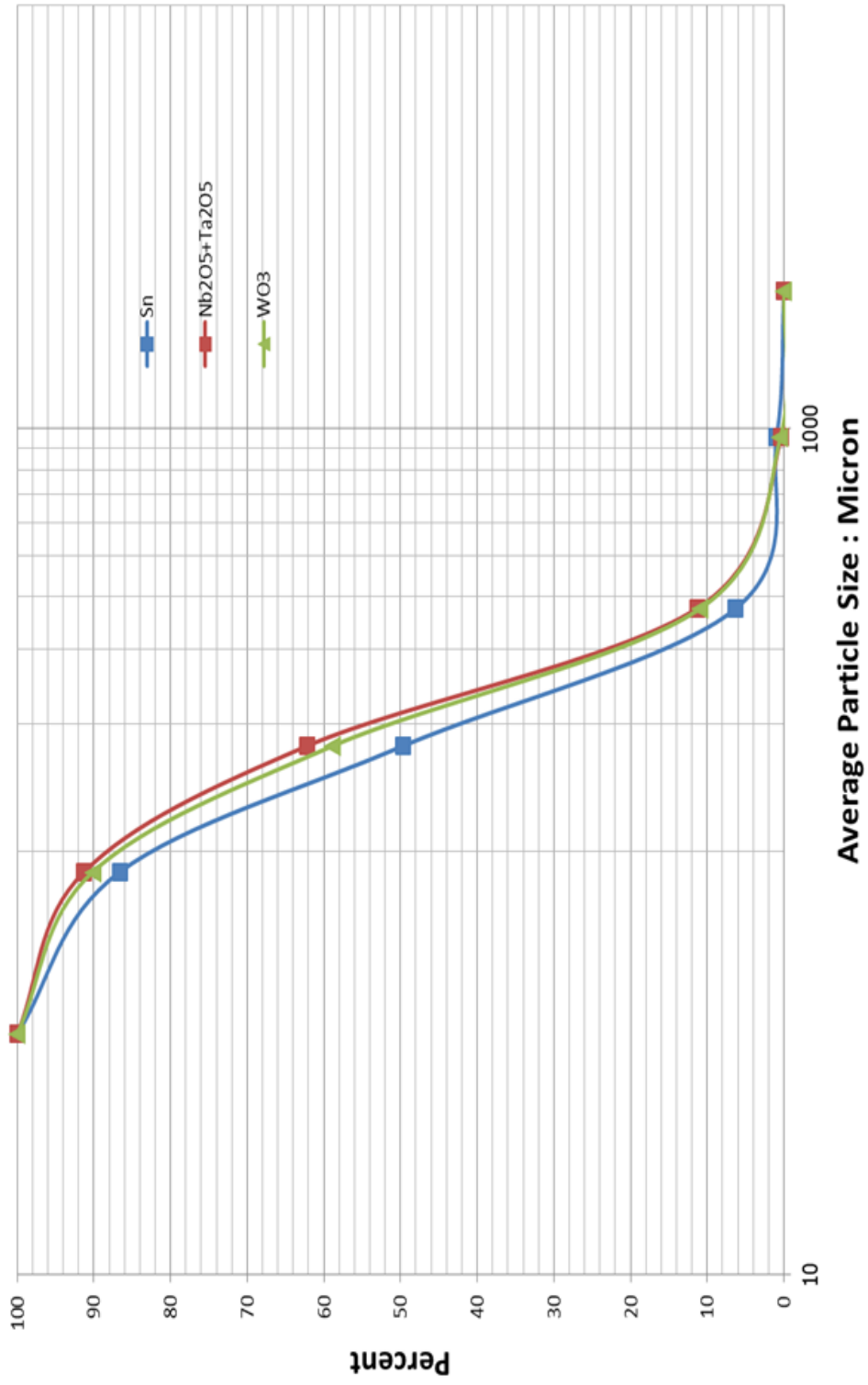
ตารางที่ 3-5 แสดงการกระจายตัวของขนาดและปริมาณของแร่ในตัวอย่งที่นำมาวิจัย

Size micron	Weight (%)	Cum Weight (%)	Analysed By XRF Methods			Sn		Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅		WO ₃	
			% Sn	% Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅	% WO ₃	% distn.	%cum	% distn	%cum	% distn	%cum
1410	3.60	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-1410+500	7.26	10.86	0.10	0.00	0.00	0.95	0.36	0.36	0.46	0.46	0.46
-500+250	16.62	27.47	0.25	0.05	0.01	5.32	10.97	11.33	10.45	10.90	10.90
-250+105	44.84	72.32	0.75	0.09	0.02	43.36	50.83	62.16	47.93	58.83	58.83
-105+74	21.62	93.94	1.33	0.11	0.02	36.94	29.09	91.25	31.27	90.10	90.10
-74+pan	6.06	100	1.72	0.12	0.03	13.43	8.75	100.00	9.90	100.00	100.00
Total (Palong Tailing)	100		0.78*	*0.080	0.016*	100.00	100.00		100.00		

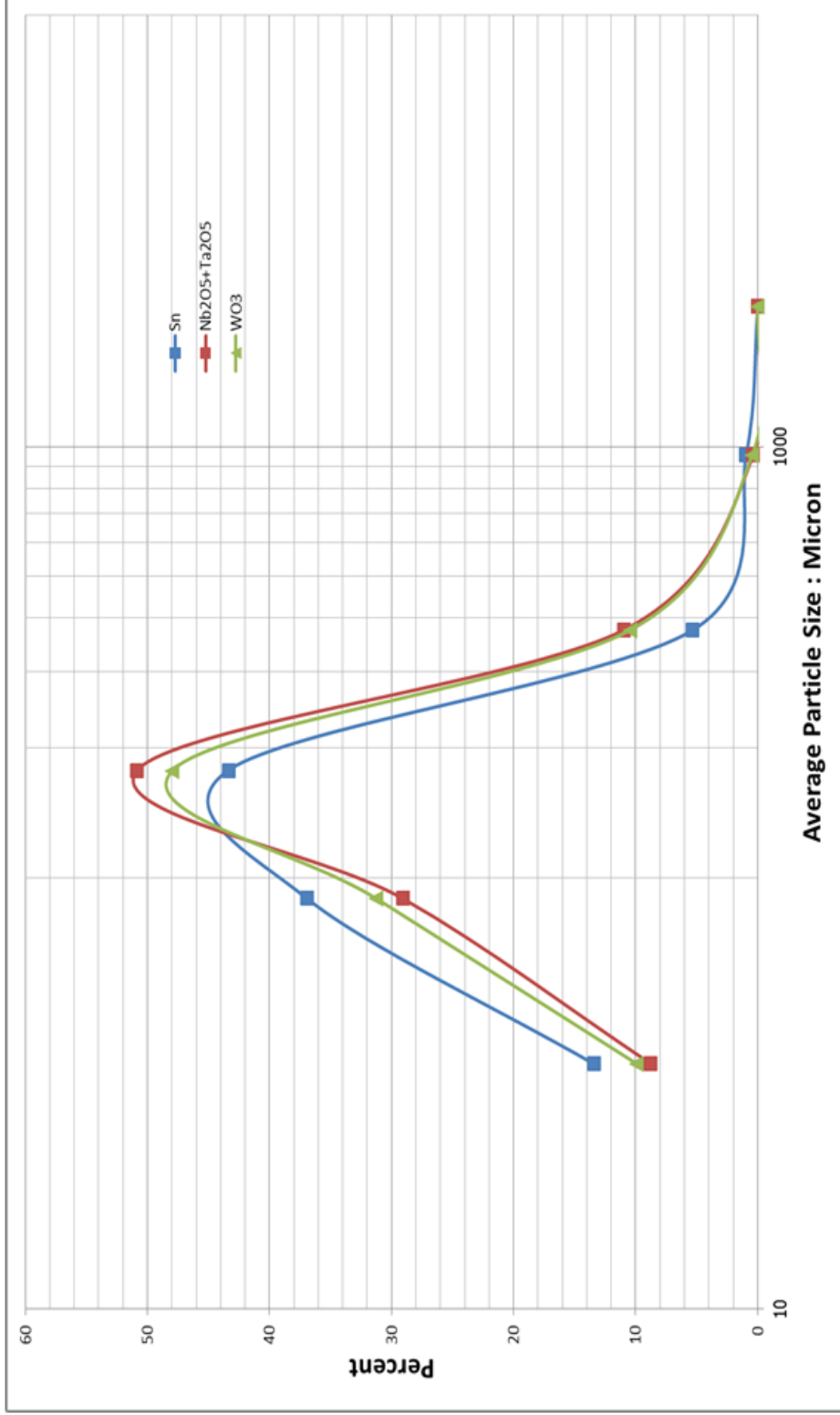
หมายเหตุ : distn. : distribution

cum : cumulative

*calculated



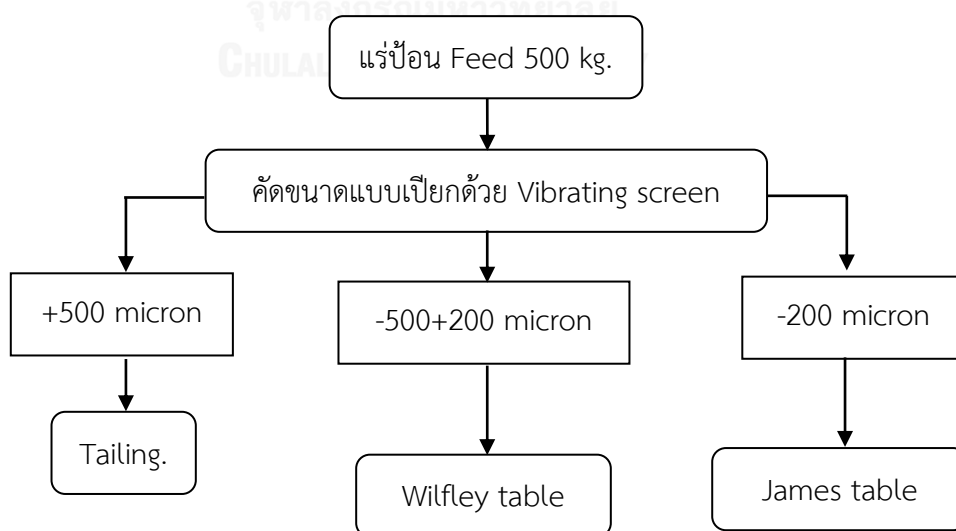
รูปที่ 3-18 กราฟแสดงปริมาณ Sn, Nb₂O₅+Ta₂O₅ และ WO₃ ที่สะสมอยู่บนตะแกรงที่ขนาดต่างๆ



รูปที่ 3-19 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดและปริมาณของ Sn, Nb₂O₅+Ta₂O₅ และ WO₃ ในตัวอย่างที่นำมาวิจัย

3.6 ศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ (Gravity concentration) ด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table)

หลังจากวิเคราะห์ขนาด และกระจายตัวของแร่ในตัวอย่างที่เก็บมาด้วยวิธีการแบบสุ่ม (Grab sampling) ในส่วนของน้ำหนัก 500 กิโลกรัม มาเริ่มศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ ซึ่งแสดงขั้นตอนการศึกษาดังแผนผังรูปที่ 3-20 โดยเริ่มจากนำตัวอย่างทางแร่ป้อนใส่ Hopper ดังรูปที่ 3-21 จากนั้นสายพานลำเลียง (Belt conveyor) รูปที่ 3-22 จะลำเลียงตัวอย่างไปคัดขนาดแร่แบบเปียกด้วย (Vibrating screen) ดังรูปที่ 3-23 ที่ขนาดตะแกรง 500 ไมครอน และ 200 ไมครอน ซึ่งตะแกรงคัดขนาดแบบเปียกนี้เป็นตะแกรง 2 ชั้น ชั้นบนวางตะแกรงขนาด 500 ไมครอน และชั้นถัดมาวางตะแกรงขนาด 200 ไมครอนแล้วนำตัวอย่างแร่ที่ผ่านตะแกรงขนาด 500 ไมครอน ค้างตะแกรง 200 ไมครอน และตัวอย่างแร่ที่ผ่านตะแกรง 200 ไมครอน มาแยกแร่หนักออกจากแร่เบาด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table) แบบ Wilfley และแบบ James ตามลำดับ ด้วยวิธีแบบเปียกแสดงดังรูปที่ 3-24 ตามลำดับ ส่วนตัวอย่างแร่ที่ขนาดโตกว่า 500 ไมครอน ซึ่งน้ำหนักและบันทึกไว้ซึ่งตัวอย่างแร่ที่ได้จากโต๊ะสั่นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของหัวแร่ (Concentrate) ที่เป็นแร่หนัก ส่วนของหางแร่ (Tailing) ที่เป็นแร่เบา และส่วนของแร่ละเอียดที่ปะปนกันระหว่างแร่หนักกับแร่เบาให้นำกลับไปวนขึ้นโต๊ะสั่นอีกครั้งจนหมด นำตัวอย่างที่ได้ในแต่ละส่วนไปอบให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก และชักตัวอย่างวิเคราะห์ธาตุประกอบด้วยเครื่อง X-ray fluorescent spectrometer แล้วนำแร่หนักไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3-20 ขั้นตอนการคัดขนาดแร่แบบเปียกด้วยตะแกรงสั่น



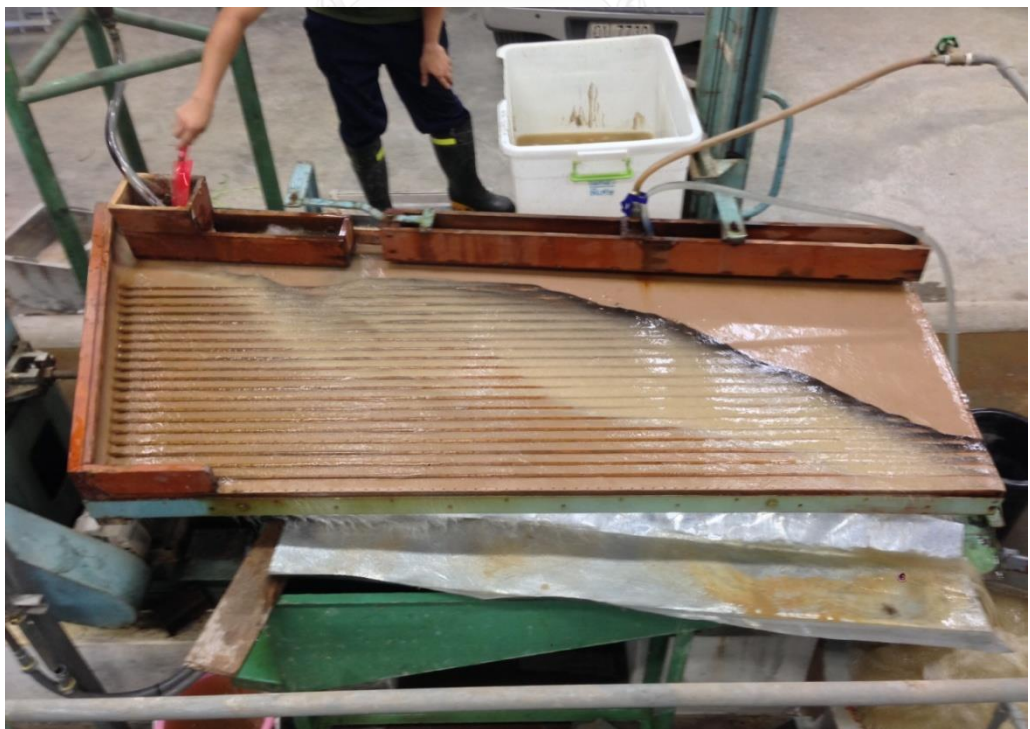
รูปที่ 3-21 เครื่องมือที่ใช้ป้อนแร่ (Hopper)



รูปที่ 3-22 สายพานลำเลียง (Belt conveyor)



รูปที่ 3-23 เครื่องมือคัดขนาดแร่แบบเป็ยก (Vibrating screen)
แบบ DAITO VIBRTING Eng.



รูปที่ 3-24 โต๊ะสั่น (Shaking table) แบบ Wilfley

3.7 ผลการศึกษาการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความถ่วงจำเพาะ (Gravity concentration) ด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table)

3.7.1 ผลการคัดขนาดด้วยตะแกรงแบบเปียกจากตัวอย่าง 500 กิโลกรัม

ผลการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการแบบสุ่มมา 500 กิโลกรัม นำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงที่ขนาด 500 ไมครอนและตะแกรงขนาด 200 ไมครอน ด้วยเครื่อง Vibrating screen แบบเปียก และผลจากการศึกษาการกระจายตัวของแร่และน้ำหนักที่ได้ดังตารางที่ 3-6 พบว่าแร่ที่ขนาด +500 ไมครอน มีน้ำหนักอยู่ 12.29% ตัวอย่างแร่ที่ขนาด -500+200 ไมครอน มีน้ำหนักอยู่ 39.81% และที่ขนาด -200 ไมครอน มีน้ำหนักอยู่ 47.90%

3.7.2 ผลการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่น (Shaking table)

ผลจากนำตัวอย่างแร่ขนาด -500+200 ไมครอน มาแยกแร่หนักออกจากแร่เบาด้วยโต๊ะสั่น Wilfley แบบเปียก ตั้งความเอียงของโต๊ะ (Slope) อยู่ที่ 1-2 องศา ความเร็วจังหวะชัก (Speed) 280 ครั้งต่อนาที ความยาวช่วงชัก (Stroke) 12-17 มิลลิเมตร อัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) อยู่ประมาณ 25 ลิตรต่อนาที โดยส่วนที่เป็นแร่ละเอียด (Middling) วนกลับไปขึ้นโต๊ะสั่นจนหมด และขนาดตัวอย่างผ่านตะแกรง 200 ไมครอน มาคัดแยกแร่หนักออกจากแร่เบาด้วยโต๊ะสั่น James แบบเปียก ตั้งความเอียงของโต๊ะ (Slope) อยู่ที่ 1-2 องศา ความเร็วจังหวะชัก (Speed) 240 ครั้งต่อนาที ความยาวช่วงชัก (Stroke) 19-25 มิลลิเมตร อัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) อยู่ประมาณ 25 ลิตรต่อนาที โดยส่วนที่เป็นแร่ละเอียด (Middling) แล้วนำหัวแร่ (Concentrate) ที่ได้แต่ละขนาดไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer หัวแร่ที่ได้ในส่วนขนาด -500+200 ไมครอน สามารถเก็บแร่ดีบุก (Sn), แร่ Columbite-Tantalite ($Nb_2O_5+Ta_2O_5$) และแร่ Wolframite (WO_3) ได้ปริมาณ 100% ทั้งหมดจากการคำนวณความสะอาดแร่ดีบุกได้ 2.00% Sn, แร่ Columbite-Tantalite 0.20% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และแร่ Wolframite 0.04% WO_3 ดังตารางที่ 3-7 และส่วนแร่ขนาด -200 ไมครอน สามารถเก็บแร่ดีบุก (Sn), แร่ Columbite-Tantalite ($Nb_2O_5+Ta_2O_5$) และแร่ Wolframite (WO_3) ได้ปริมาณ 100 % เช่นกัน ความสะอาดแร่ดีบุก 2.26% Sn, แร่ Columbite-Tantalite 0.22% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และแร่ Wolframite 0.04% WO_3 ดังตารางที่ 3-8 จากนั้นนำตัวอย่างแร่ที่ได้ในส่วนหัวโต๊ะทั้ง 2 ขนาด ไปแยกต่อด้วยเครื่อง High-tension ต่อไป

ตารางที่ 3-6 ผลการคัดขนาดด้วยตะแกรงสั่นแบบเปียก (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %
แร็ป้อน (Feed)	500,000	100.00	0.78	0.0780	100.00	0.080	0.080	100.000	0.016	0.016	100.000
Screen +500 micron	61,450	12.29	0.03	0.0037	0.50	0.000	0.004	4.991	0.006	0.001	4.375
Screen -500+200 micron	199,038	39.81	0.95	0.3764	48.27	0.095	0.038	47.189	0.019	0.008	46.875
Screen -200 micron	239,512	47.90	0.83	0.3994	51.23	0.080	0.038	47.819	0.016	0.008	48.750



ตารางที่ 3-7 ผลการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่นขนาด -500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %
แร่ป้อน (Feed)-500+200 micron	199,038.00	100	*0.945	0.95	100.00	*0.095	0.10	100.00	*0.019	0.02	100.00
Concentrate of shaking table	94,006.00	47.23	2.002	0.95	100.00	0.202	0.10	100.00	0.040	0.02	100.00
Tailing of shaking table	105,032.00	52.77	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

*คำนวณ

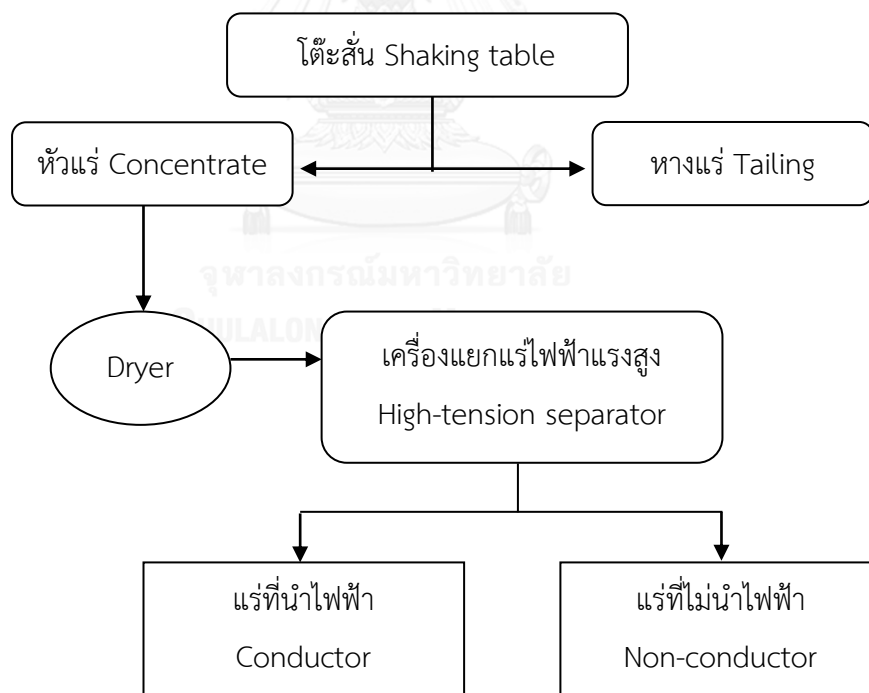
ตารางที่ 3-8 ผลการแต่งแร่ด้วยโต๊ะสั่นขนาด -200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %
แร่ป้อน (Feed)-200 micron	239,512.00	100	*0.834	0.83	100.00	*0.08	0.08	100.00	*0.02	0.02	100.00
Concentrate of shaking table	88,452.00	36.93	2.258	0.83	100.00	0.216	0.08	100.00	0.044	0.02	100.00
Tailing of shaking table	151,060.00	63.07	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00

*คำนวณ

3.8 ศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง (High tension separator)

นำหัวแร่ขนาด -500+200 ไมครอน และ ขนาด -200 ไมครอน จากโต๊ะสั่น มาศึกษาแยกแร่ โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า แสดงดังแผนผังรูปที่ 3-25 นำมาอบให้แห้งจนแน่ใจว่าไม่มีความชื้น เพราะความชื้น (Humidity) ทำให้แร่ที่มีคุณสมบัติไม่นำไฟฟ้าเป็นแร่ที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้า เป็นอุปสรรคต่อการแยกแร่ออกจากกัน (คู่มือแต่งแร่, กรมทรัพยากรธรณี) ตัวอย่างที่ได้จากการแยกแร่ ด้วยเครื่อง High-tension separator รูปที่ 3-26 จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ แร่นำไฟฟ้า (Conductor) แร่คละ (Middling) จะถูกวนกลับไปแยกใหม่จนหมด และส่วนสุดท้ายคือ แร่ที่ไม่นำไฟฟ้า (Non-conductor) นำตัวอย่างที่ได้ในแต่ละส่วนไปชั่งน้ำหนัก และชักตัวอย่างวิเคราะห์ธาตุ ประกอบด้วย X-ray fluorescent spectrometer คำนวณหากระจายตัวของธาตุ Sn, Nb₂O₅-Ta₂O₅, และ WO₃ และคำนวณเปอร์เซ็นต์ในการเก็บคืนเพื่อตรวจสอบถึงคุณภาพของเครื่อง High-tension และวิธีการศึกษานี้



รูปที่ 3-25 แสดงขั้นตอนการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า



รูปที่ 3-26 เครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง (High-tension separator)

3.9 ผลศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติทางไฟฟ้า ด้วยเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง (High-tension separator)

ผลการนำหัวแร่ (Concentrate) ที่ได้จากโต๊ะสั่นมาแยกแร่ต่อด้วยเครื่องแยกไฟฟ้าแรงสูงโดยตั้งความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 25 KV ลูกกลิ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาวลูกกลิ้ง 2 ฟุต และความเร็วในการหมุน 100 รอบต่อนาที (ขวัญชัย ลิเผ่าพันธุ์ และคณะ, 2530) ทำให้ได้แร่ที่นำไฟฟ้า (Conductor) และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้า (Non-conductor) ซึ่งก่อนทดลองแต่งแร่ด้วย High-tension ต้องนำหัวแร่ที่ได้จากโต๊ะมาเข้าเตาอบ (Dryer) ให้แห้งสนิทก่อนเพื่อช่วยให้แร่แยกตัวออกจากกันดี และมีประสิทธิภาพมากขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 140°C และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงมากกว่านี้ เพราะบางทีการเผาแร่ที่อุณหภูมิสูงมากเกินไปจะทำให้คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของแร่บางชนิดเปลี่ยนแปลงในการแยกแร่ด้วยเครื่อง High-tension ครั้งนี้สามารถแบ่งตัวอย่างออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. ป้อนหัวแร่จากโต๊ะสั่นขนาด -500+200 ไมครอน เมื่อนำตัวอย่างเข้าเครื่อง High-tension ได้ผลออกมา 2 ส่วน คือ แร่ที่นำไฟฟ้า และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้า โดยส่วนที่เป็นแร่เคละให้วนกลับไปป้อนใหม่จนหมด แยกแร่ที่นำไฟฟ้าได้ 84.77% จากน้ำหนักแร่ป้อน 100% จากหัวโต๊ะสามารถเก็บดีบุกได้ 92.90 % โดยมีความสะอาดของแร่ Cassiterite 2.19% Sn, แร่ Columbite-Tantalite 0.22% $\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{Ta}_2\text{O}_5$ และแร่ Wolframite 0.05% WO_3 และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้ามีย้ำหนัก 15.23 % มีความสะอาดของแร่ Cassiterite 0.93% Sn, แร่ Columbite-Tantalite 0.09% $\text{Nb}_2\text{O}_5+\text{Ta}_2\text{O}_5$ และแร่

Wolframite 0.003% WO_3 สรุปผลวิเคราะห์จากเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer ได้ดังตารางที่ 3-9 และนำตัวอย่างแร่ที่นำไฟฟ้า และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้าที่ได้นี้ไปแยกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กต่อไป

2. ป้อนหัวแร่จากโต๊ะสั่นขนาด -200 ไมครอน เมื่อนำตัวอย่างเข้าเครื่อง High-tension ได้ผลออกมา 2 ส่วน คือ แร่ที่นำไฟฟ้า และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้า โดยส่วนที่เป็นแร่คละให้วนกลับไปป้อนใหม่จนหมด แยกแร่ที่นำไฟฟ้าได้ 83.35% จากน้ำหนักแร่ป้อน 100% จากหัวโต๊ะขนาด-200 ไมครอน สามารถเก็บแร่ Cassiterite ได้ 93.78% Sn โดยมีความสะอาดของแร่ดีบุก 2.12% Sn, แร่ Columbite-Tantalite 0.25% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และแร่ Wolframite 0.05% WO_3 และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้ามีน้ำหนัก 16.65 % มีความสะอาดของแร่ Cassiterite 0.84% Sn, แร่ Columbite-Tantalite 0.06% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และแร่ Wolframite 0.006% WO_3 สรุปผลวิเคราะห์จากเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer ได้ดังตารางที่ 3-10 และนำตัวอย่างแร่ที่นำไฟฟ้า และแร่ที่ไม่นำไฟฟ้าที่ได้นี้ไปแยกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กต่อไปเช่นกัน

ตารางที่ 3-9 ผลการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกไฟฟ้าแรงสูงขนาด -500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

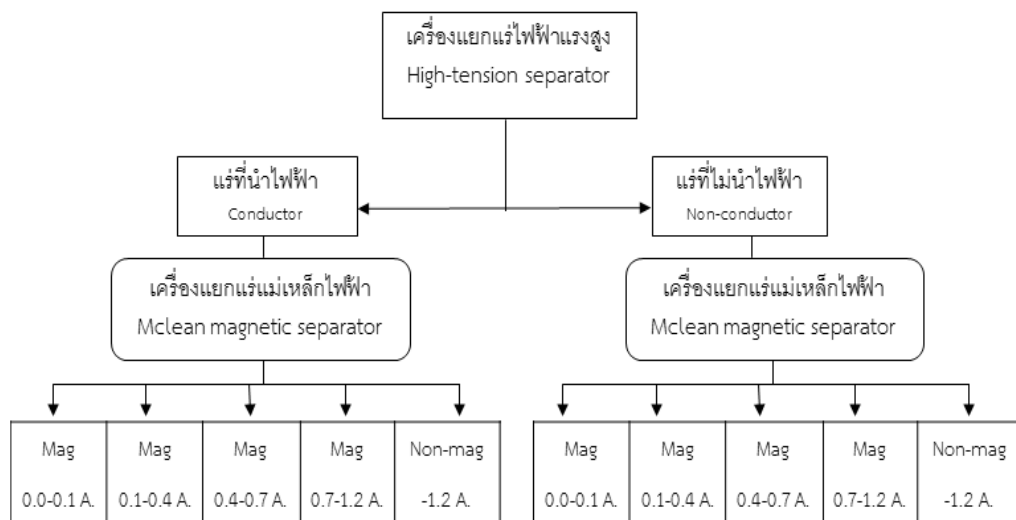
ชนิด ขนาด-500+200 micron	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %
Concentrate of shaking table	94,006	100.00	2.002	2.00	100.00	0.202	0.20	100.00	0.040	0.05	100.00
Conductor of high-tension	79,688.90	84.77	2.194	1.86	92.90	0.222	0.19	93.14	0.047	0.04	98.87
Non-conductor of high-tension	14,317.10	15.23	0.933	0.14	7.10	0.091	0.01	6.86	0.003	0.0005	1.13

ตารางที่ 3-10 ผลการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกไฟฟ้าแรงสูงขนาด -200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด ขนาด-200 micron	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %	Assay of %	Weight %	Distribution %
Concentrate of shaking table	88,452	100.00	2.258	2.26	100.00	0.216	0.22	100.00	0.044	0.04	100.00
Conductor of high-tension	73,725	83.35	2.541	2.12	93.78	0.247	0.21	95.74	0.052	0.04	97.747
Non-conductor of high-tension	14,727.30	16.65	0.844	0.14	6.22	0.055	0.01	4.26	0.006	0.001	2.253

3.10 ศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบจาน (Mclean magnetic separation)

นำตัวอย่างแร่ที่นำไฟฟ้า Conductor มาแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก (Mclean magnetic separator) รูปที่ 3-28 จำนวน 4 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ปรับกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดทองแดงที่ 0.1 แอมแปร์ แร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Strongly magnetic) จะติดในส่วนนี้ ครั้งที่ 2 ปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.4 แอมแปร์ นำแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กในครั้งแรกมาผ่านในส่วนนี้ ครั้งที่ 3 ตั้งปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.7 แอมแปร์ นำแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กมครั้งที่ 2 มาผ่านในส่วนนี้และครั้งที่ 4 ปรับกระแสไฟฟ้าที่ 1.2 แอมแปร์ นำแร่ในส่วนที่ 3 มาผ่านในส่วนนี้ทั้งหมดนี้จะแยกแร่ออกมาได้จำนวน 5 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ 5 เป็นแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก และนำแร่ที่ไม่นำไฟฟ้า (Non-conductor) มาผ่านเช่นเดียวกัน แต่จะไม่ต้องแยกแร่ด้วยแม่เหล็กที่ปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.1 แอมแปร์ แสดงขั้นตอนการศึกษาตั้งแต่แผนผังรูปที่ 3-27 ทำให้ได้ตัวอย่างแร่ที่แยกได้ออกมา 4 ตัวอย่างในส่วนของแร่ที่ไม่นำไฟฟ้า เพราะในส่วนนี้จะไม่มีการ Magnetite ปนอยู่ด้วย



รูปที่ 3-27 แสดงขั้นตอนการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็ก



รูปที่ 3-28 เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบจาน (Ring type magnetic separation)
แบบ Mclean

3.11 ผลศึกษาวิธีการแต่งแร่โดยอาศัยคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบจาน (Mclean magnetic separation)

การแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กไฟฟ้า รุ่น Mclean จะปรับตั้งกระแสไฟฟ้าเทียบเคียงกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กสามารถปรับได้ตามค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แร่ที่ติดแม่เหล็กจะถูกดูดติดไปกับจานหมุนด้านบนพาแร่ออกจากสนามแม่เหล็กแล้วจึงถูกปล่อยลงภาชนะที่รองรับ ส่วนแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กจะถูกหมุนพาไปถูกปล่อยลงภาชนะที่รองรับแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ซึ่งการแยกแร่ด้วยแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะแบบออกเป็นทั้งหมด 4 ส่วน คือ

1. แร่ที่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด $-500+200$ ไมครอน นำแร่ส่วนนี้ไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ ความเข้มสนามแม่เหล็กประมาณ 500 เกาส์ จะแยกแร่ที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (Ferro magnetics) ออกจากแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก แร่ที่ติดแม่เหล็กส่วนนี้ คือแร่ Magnetite จากการส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แล้วนำแร่ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กมาผ่านแม่เหล็กไฟฟ้า ปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.4 แอมแปร์ ในส่วนนี้จะพบแร่ Ilmenite, แร่ Garnet, แร่ Hydro-Ilmenite และแร่คาบ จากนั้นนำแร่ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 0.4 แอมแปร์ มาผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.7 แอมแปร์ พบมี แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite, แร่ Tourmaline, แร่ Hydro-Ilmenite, แร่ Struverite และแร่คาบจากนั้นนำแร่ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 0.7 แอมแปร์ มาผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้าที่ 1.2

แอมแปร์ แร่ Tourmaline, แร่ Struverite และแร่คาบ และส่วนแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 1.2 ก็พบแร่ Cassiterite และแร่ Quartz ซึ่งสามารถเก็บแร่ดีบุกได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer พบว่ามีความสะอาดของหัวแร่ดีบุก 45.78% Sn สามารถเก็บดีบุกได้ 97.52% จากแร่ป้อน 100% จากแร่ที่เป็นสื่อไฟฟ้าดังตารางที่ 3-11

2. แร่ที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด -500+200 ไมครอน นำแร่ส่วนนี้ผ่านขั้นตอนเช่นเดียวกับส่วนที่ 1 แต่จะเริ่มนำแร่ผ่านแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์ พบแร่ Granet, แร่ Ilmenite และแร่คาบ จากนั้นนำแร่ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กส่วนนี้ไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.7 แอมแปร์พบแร่ Tourmaline, แร่ Xenotime, แร่ Struverite และแร่ Monazite ส่วนแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 0.7 นำไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้า 1.2 แอมแปร์ พบแร่ Tourmaline, แร่ Struverite, แร่ Monazite และแร่คาบ และในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 1.2 แอมแปร์ พบแร่ Zircon, แร่ Quartz, แร่ Rutite, แร่คาบ และแร่ Cassiterite พบว่ามีแร่ดีบุกอยู่ในส่วนนี้ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer พบว่ามีความสะอาดของแร่ดีบุก 0.76% Sn สามารถเก็บดีบุกได้ 81.09% ดังตารางที่ 3-12

3. แร่ที่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด -200 ไมครอน มาผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้า 0.1 แอมแปร์ พบว่าแร่ที่ติดแม่เหล็กเป็นแร่ Magnetite เช่นเดียวกับแร่ในส่วนที่ 1 แล้วนำแร่ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กในส่วนนี้มา ผ่านแม่เหล็กไฟฟ้าปรับกระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์ แร่ติดแม่เหล็ก พบแร่ Ilmenite, แร่ Garnet, แร่ Hydro-Ilmenite และแร่คาบ จากนั้นนำแร่ส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 0.4 ไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้า 0.7 แอมแปร์ พบแร่ที่ติดแม่เหล็ก แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite, แร่ Tourmaline และแร่คาบ และนำแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 0.7 แอมแปร์ ไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้า 1.2 แอมแปร์ พบว่า มีแร่ Tourmaline, แร่ Struverite และแร่คาบ ที่ติดแม่เหล็ก และในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กพบแร่ Cassiterite และแร่ Zircon สามารถเก็บแร่ดีบุกได้ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer พบว่ามีความสะอาดของหัวแร่ดีบุก 46.80% Sn สามารถเก็บดีบุกได้ 94.72% ดังตารางที่ 3-13

4. แร่ที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด -200 ไมครอน เริ่มนำแร่ผ่านแม่เหล็กที่กระแสไฟฟ้า 0.4 แอมแปร์ พบแร่ Granet, แร่ Ilmenite และแร่คาบที่ติดแม่เหล็ก จากนั้นนำแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กส่วนนี้ไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้าที่ 0.7 แอมแปร์พบแร่ Tourmaline, แร่ Xenotime และแร่คาบ ที่ติดแม่เหล็ก ส่วนแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 0.7 นำไปผ่านแม่เหล็กปรับกระแสไฟฟ้า 1.2 แอมแปร์ พบแร่ Tourmaline, แร่ Struverite, แร่ Monazite และแร่คาบที่ติดแม่เหล็ก และในส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็กที่ 1.2 แอมแปร์ พบแร่ Zircon, แร่ Quartz, แร่ Rutite, แร่ Cassiterite และแร่คาบ ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer พบว่ามีความสะอาดของแร่ดีบุก 0.65% Sn สามารถเก็บดีบุกได้ 77.73 % ดังตารางที่ 3-14

ตารางที่ 3-11 ผลการนำแร่ที่นำไฟฟ้าแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กขนาด-500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด -500+200 micron	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %
แร็บบ้อน (Feed)	79,688.90	100.00	2.194	2.19	100.00	0.222	0.22	100.00	0.047	0.05	100.00
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.0-0.1 A	69,263.04	86.92	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.1-0.4 A	5,657.86	7.10	0.402	0.03	1.31	0.406	0.03	12.65	0.002	0.00	0.30
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.4-0.7 A	724.14	0.91	1.183	0.01	0.50	20.037	0.18	79.92	4.887	0.04	92.37
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.7-1.2 A	334.22	0.42	3.476	0.01	0.67	0.281	0.00	0.52	0.041	0.00	0.36
แร้ไม่ติดแม่เหล็กที่ -1.2 A	3,709.64	4.66	45.478	2.12	97.52	0.338	0.02	6.91	0.072	0.00	6.97

ตารางที่ 3-12 ผลการนำแร่ที่นำไฟฟ้าแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กขนาด-500+200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด -500+200 micron	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %
แร็บบ้อน (Feed)	14,317.10	100.00	0.933	0.93	100	0.091	0.09	100.00	0.003	0.0030	100.00
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.1-0.4 A	6,477.06	45.24	0.206	0.09	9.96	0.001	0.00	0.50	0.000	0.0000	0.00
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.4-0.7 A	1,431.71	10.00	0.587	0.06	6.27	0.733	0.07	81.43	0.025	0.0025	82.43
แร้ตติแม่เหล็กที่ 0.7-1.2 A	1,221.25	8.53	0.295	0.03	2.69	0.025	0.00	2.37	0.002	0.0002	5.62
แร้ไม่ติดแม่เหล็กที่ -1.2 A	5,187.08	36.23	2.095	0.76	81.09	0.039	0.01	15.70	0.001	0.0004	11.95

ตารางที่ 3-13 ผลการนำแร่ที่นำไฟฟ้าแต่งแร่ที่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาด-200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด -200 micron	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %
แร่ป้อน (Feed)	73,539.00	100.00	2.541	2.54	100.00	0.247	0.25	100.00	0.052	0.05	100.00
แรติดแม่เหล็กที่ 0.0-0.1 A	58,573.83	79.65	0.000	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00
แรติดแม่เหล็กที่ 0.1-0.4 A	10,501.37	14.28	0.761	0.11	4.47	0.253	0.04	14.25	0.006	0.00	1.58
แรติดแม่เหล็กที่ 0.4-0.7 A	669.20	0.91	1.560	0.01	0.58	21.831	0.20	78.38	4.258	0.04	71.29
แรติดแม่เหล็กที่ 0.7-1.2 A	177.23	0.24	2.240	0.01	0.22	0.401	0.00	0.38	0.098	0.00	0.43
แร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ -1.2 A	3,617.37	4.92	46.798	2.30	94.72	0.36	0.02	6.99	0.295	0.01	26.70

ตารางที่ 3-14 ผลการนำแร่ที่นำไฟฟ้าแต่งแร่ที่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กขนาด-200 ไมครอน (วิเคราะห์โดย X-ray fluorescent spectrometer)

ชนิด -200 micron	Weight (g)	Weight %	Sn			Nb ₂ O ₅ +Ta ₂ O ₅			WO ₃		
			Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %	Assay %	Weight %	Distribution %
แร่ป้อน (Feed)	14,727.3	100	0.844	0.84	100.00	0.055	0.06	100.00	0.006	0.01	100
แรติดแม่เหล็กที่ 0.1-0.4 A	6,582.96	44.70	0.366	0.16	19.46	0.008	0.00	6.47	0.000	0.00	0.00
แรติดแม่เหล็กที่ 0.4-0.7 A	1,708.37	11.60	0.12	0.01	1.66	0.421	0.05	88.33	0.046	0.01	87.23
แรติดแม่เหล็กที่ 0.7-1.2 A	1,365.22	9.27	0.105	0.01	1.16	0.005	0.00	0.84	0.001	0.00	1.52
แร่ไม่ติดแม่เหล็กที่ -1.2 A	5,070.75	34.43	1.898	0.65	77.73	0.007	0.00	4.36	0.002	0.00	11.26

3.12 สรุปผลการทดลองการกระบวนการเก็บกลับคืนทั้งหมด

กระบวนการเก็บคืนแร่ดีบุกเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากการเก็บตัวอย่างแร่วิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดแร่ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และความเข้มข้นของธาตุที่มีอยู่ในหางแร่จากเครื่อง XRF และแยกแร่หนักออกจากแร่เบาด้วยวิธีพื้นฐานจากเลียงร่อนแร่ นำแร่หนักไปจำแนกแร่ด้วยเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator ที่ใช้หลักการความเป็นแม่เหล็ก โดยปรับกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยไปในขดลวดที่ทำให้ได้แร่ที่ติดแม่เหล็กที่ช่วง 0.4 แอมแปร์ 0.7 แอมแปร์ 1.2 แอมแปร์ และแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก ไปส่งคำนวณด้วยวิธีนับเม็ดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer เพื่อยืนยันชนิดของแร่ที่พบในหางแร่ จึงสามารถออกแบบขั้นตอนการเก็บกลับคืนแร่ดีบุกได้ต่อไป

การเก็บกลับคืนแร่ดีบุกแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

1. เริ่มจากการคัดขนาดแบบเปียกโดยเลือกใช้ตะแกรงขนาด 500 ไมครอน และ 200 ไมครอน เพราะจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากการคัดขนาดพบว่า แร่ดีบุกมีเริ่มมีสะสมตัวที่ขนาดเล็กกว่า 500 ไมครอนลงไป แต่ที่เลือกใช้ตะแกรงขนาด 200 ไมครอน เพราะขนาดของแร่มีผลต่อประสิทธิภาพเครื่องมือที่ใช้แต่งแร่ จากนั้นนำแร่ที่คัดขนาดได้ -500+200 ไมครอน และ -200 ไมครอน มาคัดแยกแร่หนักที่ประกอบด้วยแร่ Cassiterite, แร่ Ilmenite, แร่ Garnet, แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Monazite, แร่ Xenotime และแร่ Wolframite ที่ความถ่วงจำเพาะสูงออกจากแร่เบาที่ประกอบด้วยแร่ Quartz, แร่ Feldspar และแร่ Mica ด้วยโต๊ะสั่น แร่หนักที่ได้จะเป็นหัวแร่ ส่วนแร่เบาจะเป็นหางแร่จากโต๊ะสั่น

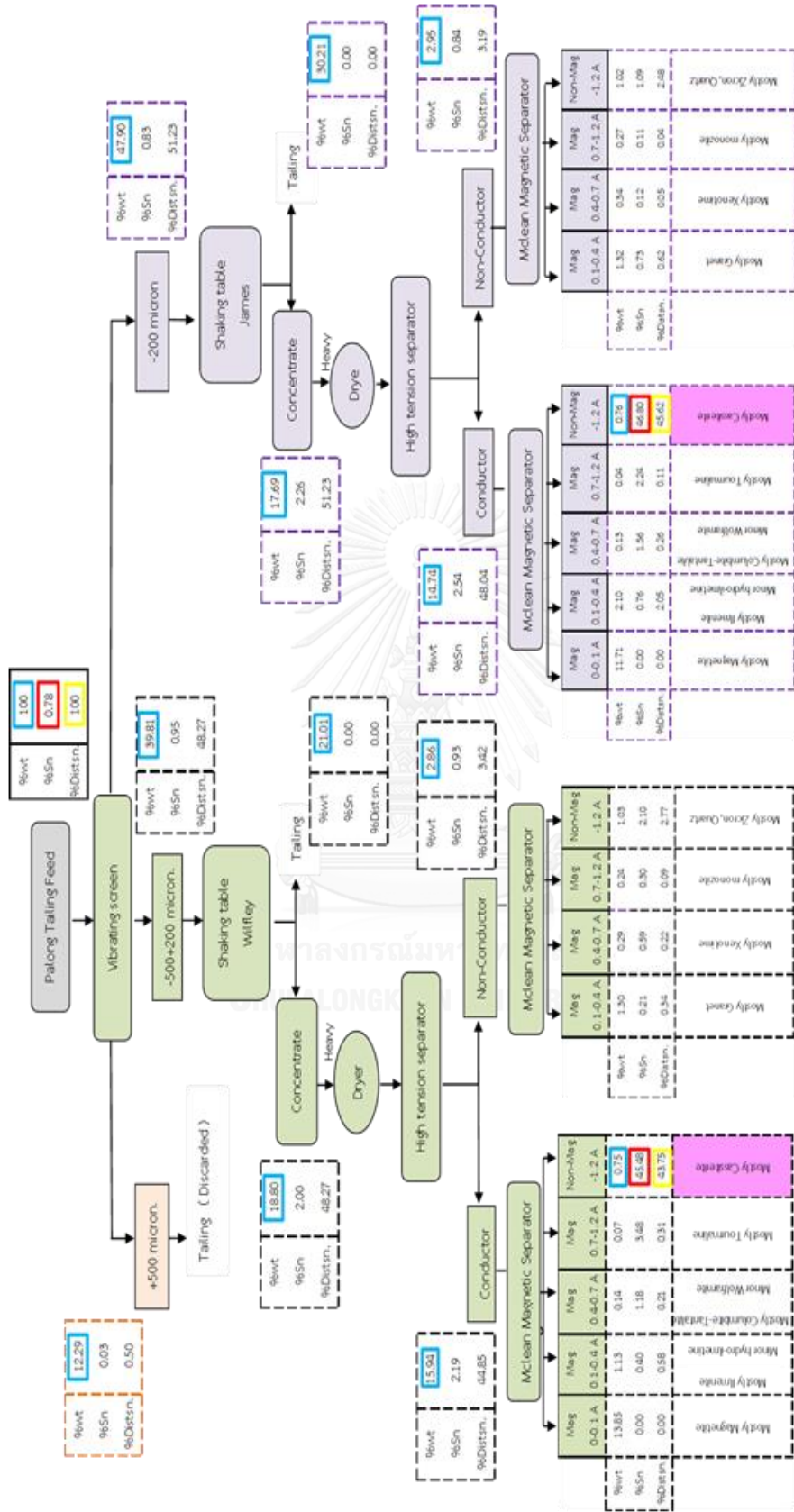
2. นำหัวแร่จากโต๊ะสั่นทั้ง 2 ส่วนคือ -500+200 ไมครอน และ -200 ไมครอนมาแยกด้วยเครื่อง High-tension โดยขั้นตอนนี้จะแยกแร่ที่เป็นสื่อไฟฟ้า ออกแร่ที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า ซึ่งจะแยก แร่ Cassiterite, แร่ Ilmenite, แร่ Columbite-Tantalite และแร่ Wolframite ที่เป็นสื่อไฟฟ้า ออกจากแร่ Garnet, แร่ Monazite และแร่ Xenotime ที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าขั้นตอนนี้จะได้แร่ ออกมา 4 ส่วน คือ 1.แร่ที่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด -500+200 ไมครอน 2.แร่ที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด -500+200 ไมครอน 3.แร่ที่เป็นสื่อไฟฟ้าขนาด -200 ไมครอน และ 4. แร่ที่ไม่เป็นสื่อไฟฟ้า -200 ไมครอน

3. สุดท้ายนำแร่ทั้ง 4 ส่วนมาแยกด้วยเครื่องแยกแม่เหล็ก โดยที่ปรับกระแสไฟฟ้าที่ปล่อยไปในขดลวดที่เป็นสนามแม่เหล็กเทียบเคียงกับเครื่อง Frantz Isodynamic magnetic separator คือ 0-0.1, 0.1-0.4, 0.4-0.7 และ 0.7-1.2 แอมแปร์ เปรียบเทียบในภาคผนวก จ ตารางที่ จ-2 แร่

Magnetite จะติดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 0-0.1 แอมแปร์ แร่ Garnet และ แร่ Ilmenite ติดแม่เหล็กไฟฟ้าที่ 0.1-0.4 แอมแปร์ แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite, แร่ Tourmaline และแร่ Xenotime ติดแม่เหล็กที่ไฟฟ้าที่ 0.4- 0.7 แอมแปร์ แร่ Monazite, แร่ Tourmaline และแร่ Struverite ติดแม่เหล็กที่ 0.7-1.2 แอมแปร์ และแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก คือ แร่ Cassiterite, แร่ Zircon และแร่ Quartz

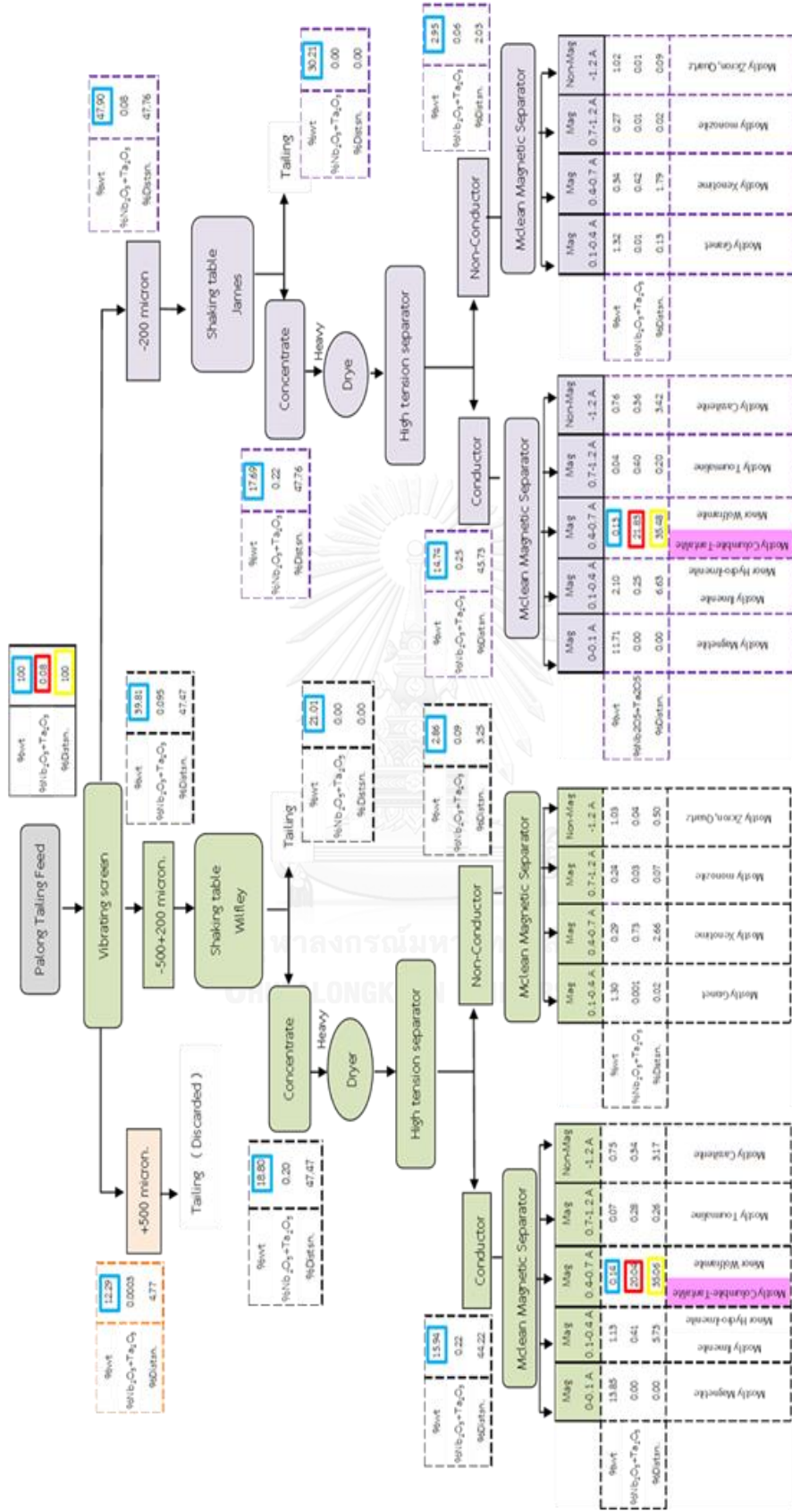
และสามารถนำผลการทดลองมาคำนวณหาประสิทธิภาพของการเก็บกลับคืนแร่ดีบุกหรือแร่ Cassiterite แร่ Columbite-Tantalite และแร่ Wolframite จากวิเคราะห์โดยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer ตามแผนผังขั้นตอนการเก็บกลับดีบุก (Sn) แร่ Columbite-Tantalite ($Nb_2O_5-Ta_2O_5$) และแร่ Wolframite (WO_3) ได้ดังรูปที่ 3-29 ถึง รูปที่ 3-30





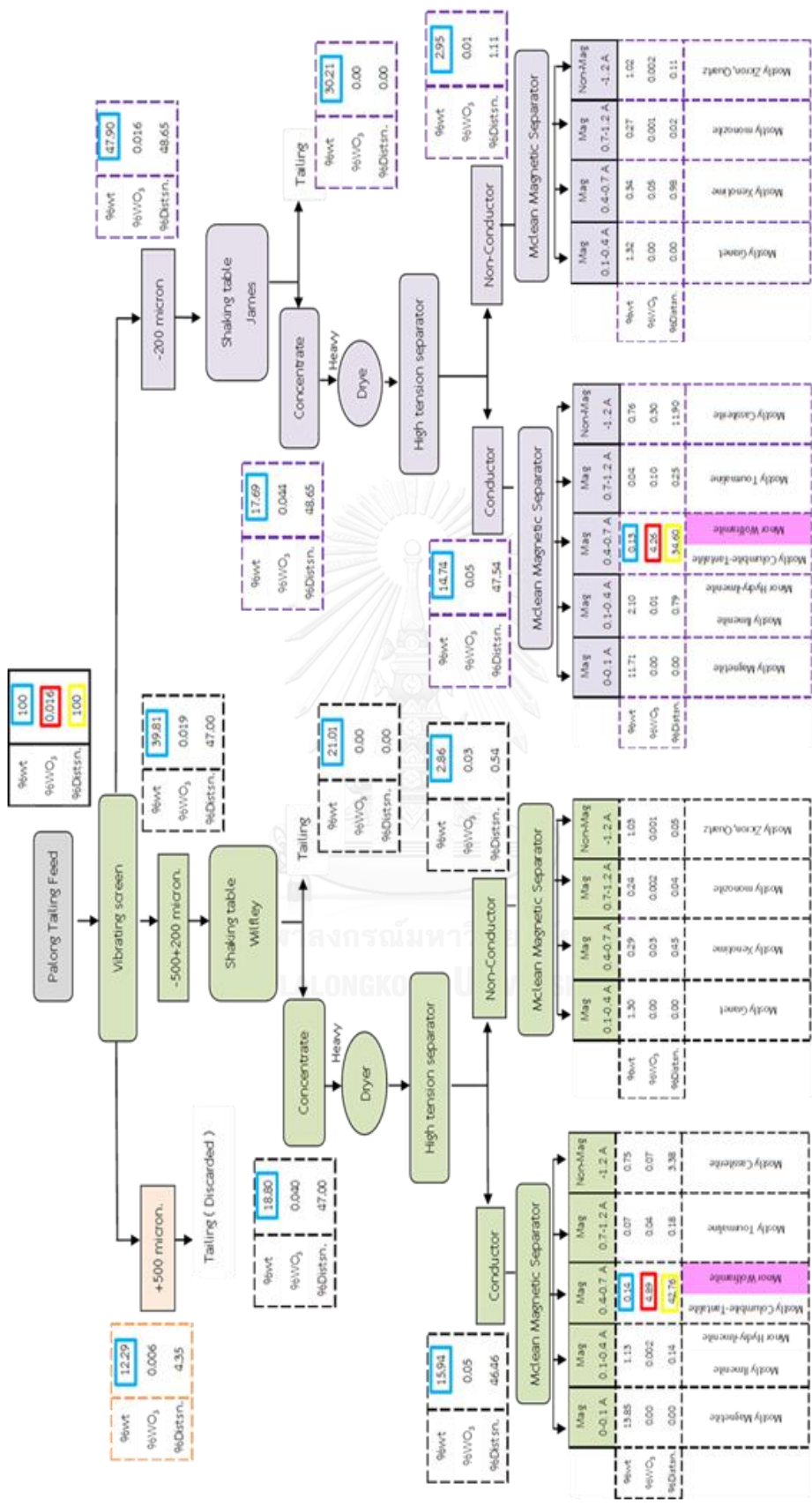
Remarks Sn Analysis by X-ray Fluorescent ; Distn.= distribution

รูปที่ 3-29 แผนผังขั้นตอนแสดงกระจายตัวของปริมาณแร่ดีบุก (Sn) ที่เก็บกลับคืนได้



Remarks Nb₂O₅+Ta₂O₅ Analysis by X-ray Fluorescent ; Distn.= distribution

รูปที่ 3-30 แผนผังขั้นตอนแสดงการจ่ายตัวของปริมาณแร่ Columbite-Tantalite (Nb₂O₅+Ta₂O₅ ~ 3:1) ที่เก็บกลับคืนได้



Remarks WO₃ Analysis by X-ray Fluorescent ; Distn.= distribution

รูปที่ 3-31 แผนที่ขั้นตอนแสดงกระจายตัวของปริมาณแร่ Wolframite (WO₃) ที่เก็บกลับคืนได้

จากการเก็บกลับคืนแร่ดีบุก (Sn) ในรูปที่**3-29** ก็ จะเห็นได้ว่าดีบุก จะอยู่ในส่วนที่เป็นแร่หนัก เป็นสื่อนำไฟฟ้า และไม่ติดแม่เหล็ก สำหรับที่ขนาด -500 + 200 ไมครอน มีน้ำหนักแร่ดีบุกที่เก็บได้ คือ 0.75% จากน้ำหนักของหางแร่ป้อน 100% เพิ่มความสะอาดของหัวแร่ดีบุกได้ 45.48% Sn และเก็บกลับคืน (Recovery) ได้ 43.75% และในส่วนขนาด -200 ไมครอนน้ำหนักของดีบุกที่เก็บได้คือ 0.76% จากน้ำหนักของหางแร่ป้อน ที่มีความสะอาดของหัวแร่ดีบุกถึง 46.80% Sn และเก็บกลับคืน ได้ 45.62% เมื่อนำหัวแร่ดีบุก รวมกันของทั้งสองขนาดจะได้หัวแร่ดีบุกน้ำหนักรวม 1.51% โดย น้ำหนักจากหางแร่ป้อนที่มีความสะอาดของหัวแร่ดีบุก 46.15% Sn ที่สามารถเก็บเก็บคืนได้ 89.37%

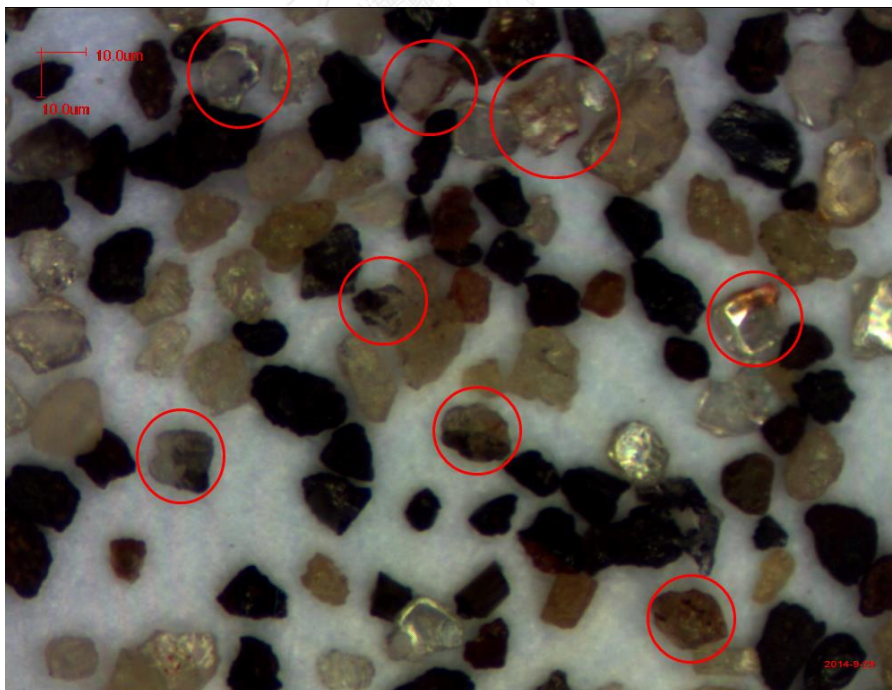
จากการเก็บกลับคืนแร่ Columbite-Tantalite ($Nb_2O_5+Ta_2O_5$) ในรูปที่**3-30** จะเห็นได้ว่า แร่ Columbite-Tantalite จะถูกแยกอยู่ในส่วนที่เป็นแร่หนัก เป็นแร่ที่นำไฟฟ้า และติดแม่เหล็ก เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดที่ 0.4-0.7 แอมแปร์ สำหรับที่ขนาด -500 + 200 ไมครอน มี น้ำหนักแร่ แร่ Columbite-Tantalite ที่เก็บได้ คือ 0.14% จากน้ำหนักของหางแร่ป้อน 100% เพิ่ม ความสะอาดของหัวแร่ Columbite-Tantalite ได้ 20.04% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และเก็บกลับคืน (Recovery) ได้ 35.06% และในส่วนขนาด -200 ไมครอนน้ำหนักของแร่แร่ Columbite-Tantalite ที่เก็บได้คือ 0.13% จากน้ำหนักของหางแร่ป้อน ที่มีความสะอาดหัวแร่ แร่ Columbite-Tantalite ถึง 21.83% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และเก็บกลับคืนได้ 35.48 % เมื่อนำหัวแร่แร่ Columbite-Tantalite รวมกันของทั้งสองขนาดจะได้หัวแร่แร่ Columbite-Tantalite น้ำหนักรวม 0.27% โดยน้ำหนักจาก หางแร่ป้อนที่มีความสะอาดของหัวแร่แร่ Columbite-Tantalite 20.74% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ ที่สามารถ เก็บกลับคืนได้ 70.54%

จากการเก็บกลับคืนแร่ Wolframite (WO_3) ในรูปที่ **3-31** ก็ จะเห็นได้ว่าแร่ Wolframite จะอยู่ในส่วนที่เป็นแร่หนัก เป็นแร่ที่นำไฟฟ้า และติดแม่เหล็ก เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขด ลวดที่ 0.4-0.7 แอมแปร์ เหมือนกันแร่ Columbite-Tantalite สำหรับที่ขนาด -500 + 200 ไมครอน มีน้ำหนักแร่ Wolframite ที่เก็บได้คือ 0.14 % จากน้ำหนักของหางแร่ป้อน 100% เพิ่มความสะอาด ของหัวแร่ Wolframite ได้ 4.89% WO_3 และเก็บกลับคืน (Recovery) ได้ 42.76% และในส่วน ขนาด -200 ไมครอนน้ำหนักของแร่ Wolframite ที่เก็บได้คือ 0.13% จากน้ำหนักของหางแร่ป้อน ที่ มีความสะอาดของหัวแร่ Wolframite ถึง 4.26% WO_3 และเก็บกลับคืนได้ 45.62% เมื่อนำหัวแร่ Wolframite รวมกันของทั้งสองขนาดจะได้หัวแร่ Wolframite น้ำหนักรวม 34.60% โดยน้ำหนักจาก หางแร่ป้อน ที่มีความสะอาดหัวแร่ Wolframite 4.56% WO_3 ที่สามารถเก็บกลับคืนได้ 77.36%

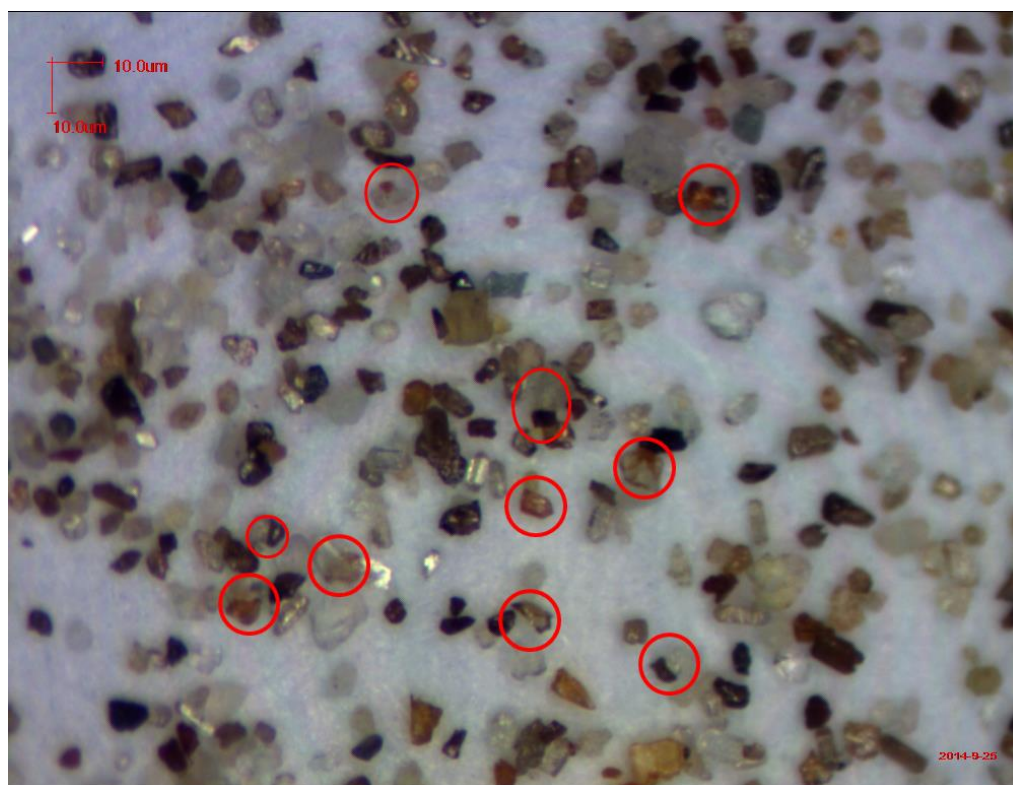
บทที่ 4

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การเก็บกลับคืนแร่ดีบุก และแร่ธาตุที่เกิดร่วมกันจากหางแร่ท้ายรางโรงแต่งแร่ของเหมืองตะโกปิดทอง จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ที่สามารถแยกแร่ดีบุกและแร่ธาตุที่เกิดร่วมกันได้ โดยเฉพาะแร่ดีบุก (Sn) ที่สามารถเก็บกลับคืนได้ 89.37% มีความสะอาดหัวแร่ดีบุกอยู่ที่ 46.15% Sn ซึ่งในเชิงพาณิชย์ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ เนื่องจากหัวแร่ดีบุกยังมีความสะอาดไม่ถึง 70% Sn ที่ใช้ซื้อขายกันในตลาดทั่วไป และยังพบว่าหัวแร่ดีบุกที่ได้จากงานวิจัยนี้เมื่อสังเกตภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่ามีแร่ดีบุกที่คาบติดกับแร่ควอตซ์ ดังรูปที่ 4-1 และรูปที่ 4-2 และมีแร่ควอตซ์ปะปนมาในหัวแร่ดีบุกจากเนื่องในขั้นตอนที่ใช้โต๊ะสั่นแยกแร่ออกมามีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรนำกลับไปบดใหม่ให้แร่ในส่วนคาบติดกันแยกออกจากกันและใช้โต๊ะลม (Air table) แยกแร่ควอตซ์ออกจากแร่ดีบุก หรือเพิ่มขั้นตอนในการแยกแร่โดยใช้ไฮโดรไซโคลอน (Hydrocyclone) แยกแร่ก่อนนำมาบดเข้าโต๊ะสั่น ทั้งนี้จะทำให้ได้หัวแร่ดีบุกที่สะอาดขึ้น



รูปที่ 4-1 ลักษณะแร่คาบติด (Locked particle) กับแร่ Quartz กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 4-2 ลักษณะแร่คาบ (Locked Particle) กับแร่ควอตซ์ (Quartz) กำลังขยาย 40 เท่า

ในส่วนของแร่ Columbite-Tantalite สามารถเก็บกลับคืนได้ 70.54 % ความสะอาดของหัวแร่ 20.74% $Nb_2O_5+Ta_2O_5$ และแร่ Wolframite สามารถเก็บกลับคืนได้ 77.36% มีความสะอาดหัวแร่ Wolframite 4.56% WO_3 ซึ่งผลการศึกษาไม่สามารถแยกแร่ Columbite-Tantalite ออกจากแร่ Wolframite ได้ด้วยวิธีทางกายรูปที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีคุณสมบัติทางกายรูปที่คล้ายคลึงกันมาก เช่น ความถ่วงจำเพาะที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแร่ Columbite-Tantalite ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity : S.G.) = 5.2-7.9 และแร่ Wolframite มี (Specific gravity : S.G.) = 7.1-7.5 (Kostov, 1986) มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าเหมือนกัน และคุณสมบัติที่ติดแม่เหล็กที่ความเข้มแม่เหล็กในช่วงเดียวกันคือช่วง 0.4-0.7 แอมแปร์ เมื่อใช้เครื่องแยกแร่ด้วยแม่เหล็ก และสำหรับนักวิจัยที่มีความสนใจจะขยายผลการศึกษาเพื่อแยกแร่ดังกล่าว สามารถใช้กรรมวิธีทางเคมี (Hydrometallurgy)

อย่างไรก็ตามทางแร่จากท้ายรางนี้ยังมีแร่ที่มีค่าอยู่อีกหลายชนิด เช่น แร่ Ilmenite แร่ Hydro-Ilmenite แร่ Xenotime และแร่ Monazite ที่สามารถแยกได้ด้วยวิธีการเดียวกับการศึกษานี้ แต่จากการทดลองพบว่าหากต้องการศึกษาแยกแร่ในกลุ่มนี้เพิ่มเติม ควรจะต้องเพิ่มปริมาณตัวอย่างที่จะนำมาทดลองให้มากกว่านี้

หากประเมินค่านวมราคาหางแร่ดีบุกท้ายรางจากการศึกษาในงานวิจัยนี้ที่สามารถเก็บกลับคืนหัวแร่ดีบุกได้ 89.37% ซึ่งมีปริมาณสำรองของหางแร่ท้ายอยู่ประมาณ 80,000 ตัน ความสะอาดของดีบุก 0.78% Sn หางแร่ท้ายนี้จะมีมูลค่าของดีบุกอยู่ถึง 296,085,600 บาท จากการเทียบราคาโลหะดีบุกที่ 100% จากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ประจำเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 มีราคาอยู่ที่ 31,901 บาทต่อหาบหลวง

จากงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่ากองหางแร่ท้ายรางที่ถูกกองทิ้งไว้นี้ จะสามารถนำไปพัฒนาใช้ประโยชน์ได้จริง หลังจากประเมินมูลค่าดีบุกที่มีอยู่ในหางแร่ท้ายรางนี้ พบว่ามีมูลค่ามากพอที่จะลงทุนนำหางแร่นี้กลับมาแต่งใหม่ให้ได้หัวแร่ดีบุกที่สะอาดและไปใช้ประโยชน์ได้ และยังได้แร่มีค่าที่เป็นแร่พลอยได้อีก จึงเหมาะสมกับผู้ที่มีความสนใจที่จะนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาต่อไปให้ เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินศักยภาพของแหล่งแร่ตะโกปิดทองนี้ และสามารถนำข้อมูลนี้ไปประกอบเป็นแนวทางในการพัฒนาแร่ และแหล่งแร่ที่ยั่งยืนต่อไป



รายการอ้างอิง

- Abdullah Hasbi bin Haji Hassan and G. R. Wallwork (1984). MINING TECHNIQUES FOR ALLUVIAL TIN DEPOSITS. Proceedings of the fourth SEATRADC Seminar held in Ipoh, Malaysia
- Aranayakanon, p. (1969). Tin deposits in Thailand. A second Technical Conferene on Tin, Bangkok, 1969. W. Fox. International Tin Council, London. **V.1**: pp. 83-102.
- ERROL G. KELLY and D. J. SPOTTISWOOD (1982). Introduction to Mineral Processing (Chapter 9: Screening and Sieving).
- Gullick JM (1988). "Kuala Lumpur 1880-1895 Pelanduk Publications (1988)."
- Kostov, I. (1986). "Mineralogy." pp.236-250 and pp.482-487.
- Meechumna, P. (1985). RECOVER OF RARER MINERALS FROM THAI CASSITERITE CONCENTRATES. Mining and Mineral Engineering, University of Leeds. **Ph. D.**
- Numprasanthai, A. (2003). DISTRIBUTION OF PRECIOUS METALS IN SECONDARY SLAG GOLD REFINING. Mining and Petroleum Engineering, Chulalongkorn University. **Ms.Eng.**
- WILLS, B. A. (1988). Mineral Processing Technology, Chapter 4: Particle-size analysis, Fourth edition (1988).
- กรมทรัพยากรธรณี (2526). "Industry Minerals ". วิทยาลัย
- กรมทรัพยากรธรณี (2527). คู่มือแต่งแร่, ฝ่ายสนเทศและวิเทศสัมพันธ์, กองเศรษฐกิจและเผยแพร่, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2558). "www.dpim.go.th." Retrieved 20 มิถุนายน 2558, 2558.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2558). "www.dpim.go.th/articles/article?catid=127&articleid=3701." Retrieved 20 มิถุนายน 2558, 2558.
- ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ และคณะ (2530). รายงานความก้าวหน้า โครงการวิจัยและพัฒนาแร่ไทย-ญี่ปุ่น เรื่องการแยกแร่หายากจากหางแร่ดีบุก.
- จำรูญ อัยศิริไพศาล (2536). รายงานการสำรวจและวิจัย แร่และธาตุหายากจากแหล่งแร่ดีบุก, รายงานเศรษฐธรณีวิทยา. กองเศรษฐธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี 93 หน้า.

- จำรูญ อัยศิริไพศาล และคณะ (2542). ข่าวสารการธรณี (Mineral Resources Gazette). สถานการณ์แร่
หนักและแร่หายากในประเทศไทย. กรมทรัพยากรธรณี. กรมทรัพยากรธรณี, กรมทรัพยากร
ธรณี: 30.
- ธงชัย พึ่งรัศมี และคณะ (2553). สมุดแผนที่ผลวิเคราะห์แร่ โดยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์, ศูนย์
หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรไพฑูรย์ เหล่าสมบัติทวี (2557). การเก็บกลับคืนโลหะจากขยะอิเล็กทรอนิกส์โดยวิธีการหลอมแบบ
รีดักชัน. วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม. คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย. **Master: 82.**
- ภิญโญ มีชำนะ (2532). "แร่โอลิเมนต์ของประเทศไทย." วารสารโลหะ, วัสดุ และแร่: หน้า 45-54.
- วิชาญ อมตารียกุล (2543). เทคนิคการแต่งแร่และการวิเคราะห์แร่ทางฟิสิกส์ของแร่ดีบุกและแร่
พลอยได้ชนิดต่างๆ. สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต), กรมทรัพยากรธรณี: 86 หน้า.
- ศุภชัย พงษ์ศิริวรรณ (2541). การแต่งแร่ดีบุกจากกองหางแร่ กรณีศึกษา: เหมืองแร่ถ้ำทะลุ จังหวัด
ยะลา, กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
- สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย (2554). Resources process laboratory 1 (2106332). กรมทรัพยากรธรณี,
กรุงเทพฯ.
- ส่วนวิจัยและพัฒนาทรัพยากรแร่ สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี (2555). เอกสาร
ประกอบการระดมความคิดเห็นและเผยแพร่องค์ความรู้ เรื่อง "สำรวจและประเมินศักยภาพ
ทรัพยากรแร่ ชั้นรายละเอียด แหล่งแร่ดีบุก" จังหวัดราชบุรี.

ภาคผนวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.

อัตรการเก็บค่าภาคหลวงแร่ดิบ

กฎกระทรวง

ฉบับที่ ๓๑ (พ.ศ. ๒๕๒๘)

ออกตามความในพระราชบัญญัติพิกัดอัตราค่าภาคหลวงแร่

พ.ศ. ๒๕๐๙

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๗ แห่งพระราชบัญญัติพิกัดอัตราค่าภาคหลวงแร่ พ.ศ. ๒๕๐๙ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพิกัดอัตราค่าภาคหลวงแร่ (ฉบับที่ ๓) พ.ศ. ๒๕๒๒ และมาตรา ๙ แห่งพระราชบัญญัติพิกัดอัตราค่าภาคหลวงแร่ พ.ศ. ๒๕๐๙ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกกฎกระทรวงไว้ดังต่อไปนี้

ให้ยกเลิกความใน (๑) ของข้อ ๒ แห่งกฎกระทรวง ฉบับที่ ๖ (พ.ศ. ๒๕๑๔) ออกตามความในพระราชบัญญัติพิกัดอัตราค่าภาคหลวงแร่ พ.ศ. ๒๕๐๙ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยกฎกระทรวง ฉบับที่ ๑๕ (พ.ศ. ๒๕๒๐) ออกตามความในพระราชบัญญัติพิกัดอัตราค่าภาคหลวงแร่ พ.ศ. ๒๕๐๙ และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

"(๑) แร่ดิบ

(ก) ราคาโลหะดิบในแร่ ให้ประกาศเป็นราคาต่อหกลบิโลกรัม โดยให้ถือราคาในตลาดดังต่อไปนี้เป็นราคาประกาศตามลำดับ

๑. ราคาในตลาดสหพันธ์มาเลเซียที่ซื้อขายกันครั้งหลังสุด

๒. ในกรณีที่ตลาดสหพันธ์มาเลเซียไม่มีการซื้อขายเกินสามวัน ให้ถือราคาตลาดนครลอนดอน ประเทศอังกฤษ ที่ซื้อขายกันในขณะที่นั้น ซึ่งได้หักค่าขนส่งและค่าประกันภัยจากท่าเรือนครลอนดอนถึงท่าเรือกรุงเทพ ฯ ตามอัตราที่อธิบดีกำหนดออกแล้ว

๓. ในกรณีที่ทั้งในตลาดสหพันธ์มาเลเซียและตลาดนครลอนดอน ประเทศอังกฤษ ไม่มีการซื้อขายในขณะที่นั้น ให้ถือราคาตลาดนครนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา ที่ซื้อขายกันในขณะที่นั้น ซึ่งได้หักค่าขนส่งและค่าประกันภัยจากท่าเรือนครนิวยอร์กถึงท่าเรือกรุงเทพ ฯ ตามอัตราที่อธิบดีประกาศกำหนดออกแล้ว

๔. ในกรณีที่ทั้งในตลาดสหพันธ์มาเลเซีย ตลาดนครลอนดอน ประเทศอังกฤษ และตลาดนครนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา ไม่มีการซื้อขายในขณะที่นั้น ให้ถือราคาซื้อขายภายในประเทศตามอัตราที่อธิบดีกำหนด

(ข) เมื่อใดราคาเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากราคาที่ได้ประกาศครั้งหลังสุดเกิน
ห้าสิบบาทต่อหกลสิบกิโลกรัม ให้ประกาศใหม่"

ให้ไว้ ณ วันที่ ๑๖ ธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๘

จิรายุ อิศรางกูร ณ อยุธยา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

หมายเหตุ:- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ เนื่องจากหลักเกณฑ์การกำหนด
ราคาตลาดของแร่ดีบุกในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ของการซื้อขายแร่ดีบุกในปัจจุบัน
สมควรแก้ไขหลักเกณฑ์การกำหนดราคาตลาดของแร่ดีบุกเสียใหม่ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น จึงจำเป็น
ต้องออกกฎกระทรวงฉบับนี้



ภาคผนวก ข.

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (เพิ่มเติม)

กล้องจุลทรรศน์ (Reflected optical microscope)

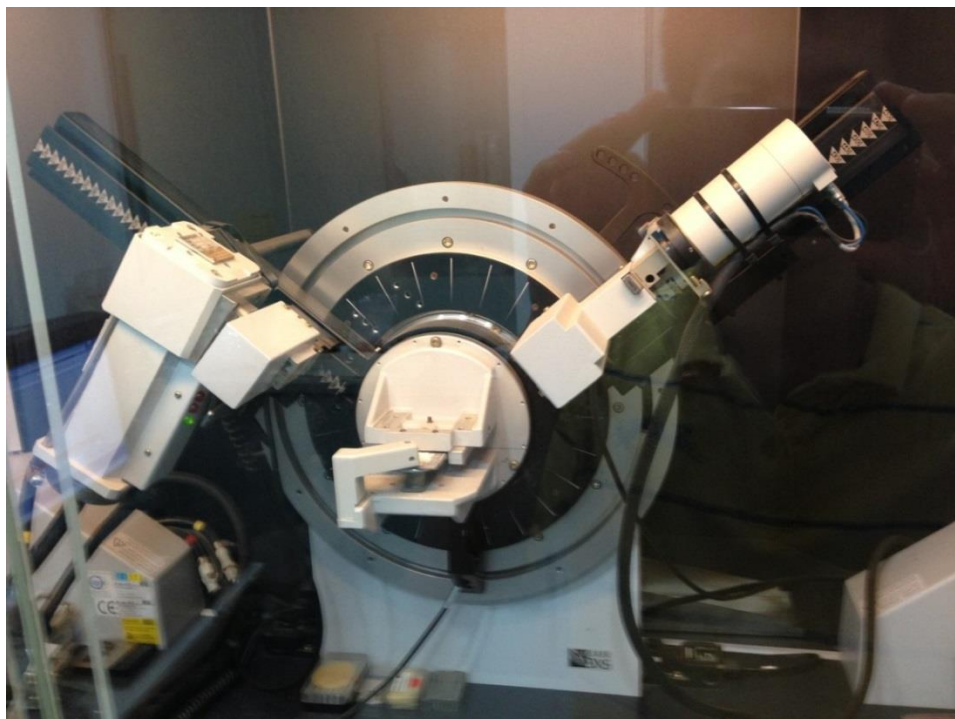


รูปที่ ข-1 กล้องจุลทรรศน์ (Reflected optical microscope)

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ที่ใช้ส่องดูวัตถุที่มีขนาดเล็ก ขยายให้เป็นภาพขนาดใหญ่และมองเห็นรายละเอียดมากขึ้น ซึ่งปกติตาคนเราจะสามารถจำแนกรายละเอียด (Resolving power) เพียง 0.25 มิลลิเมตร ถ้าใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยจะสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ถึง 0.25 ไมโครเมตร โดยทั่วไปถ้ากล่าวถึงกล้องจุลทรรศน์จะหมายถึงกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical หรือ Light microscope) ซึ่งสามารถขยายภาพสูงสุดไม่เกิน 2,000 เท่า ใช้ประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้างานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้หลายสาขาวิชา (Numprasanthai, 2003)

สำหรับงานวิจัยนี้แตกต่างกับจากกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในงานด้านชีววิทยา เนื่องจากตัวอย่างที่ศึกษาเป็นวัตถุทึบแสง จึงใช้อาศัยหลักการตกกระทบและสะท้อนแสงของผิวหน้าที่เรียบของชิ้นงาน เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่มีแหล่งกำเนิดแสงแบบธรรมดาเพื่อ ใช้ศึกษาลักษณะของแร่ จำแนกชนิดแร่ และนับเม็ดแร่ภายใต้กล้อง

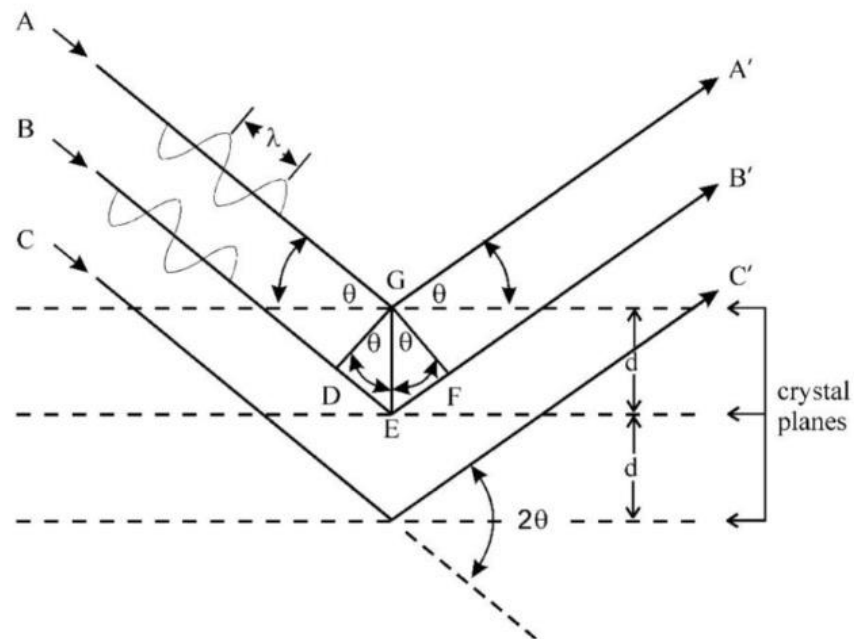
เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer)



รูปที่ ข-2 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (XRD) ของ บริษัท Philips รุ่น X' Pert MPD

หลักการทำงาน

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้การศึกษาโครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบหน้าผลึกของสารตัวอย่างที่มุมต่างๆกัน ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุองค์ประกอบของสารประกอบ โดยอาศัยหลักการของ Bragg's Law ในการคำนวณการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ยิงผ่านชั้นผลึก จะทำให้เกิดการสะท้อนที่ผิวอะตอมแต่ละชั้น ดังรูป



รูปที่ ข-3 การจัดเรียงของอะตอมในผลึกและ Bragg diffraction

ที่มา: พรไพฑูรย์ เหล่าสมบัติทวี (2557)

พรไพฑูรย์ เหล่าสมบัติทวี (2557) โดยการแทรกสอดแบบเสริมกันจากรังสีสะท้อนทั้งสอง เกิดขึ้นได้เฉพาะมุม λ บางมุม ที่มีความแตกต่างระหว่างระยะทางคลื่น ($n\lambda$; $n = 1, 2, 3 \dots$)

Bragg's Law; $n\lambda = 2d\sin\theta$

ผลวิเคราะห์ที่ได้จะสามารถจำแนกตัวอย่างออกมาตามโครงสร้างผลึกที่พบ ผลวิเคราะห์ที่ได้ จะเป็นเชิงคุณภาพ (Qualitative) (ธงชัย พึ่งรัศมี และคณะ, 2553)

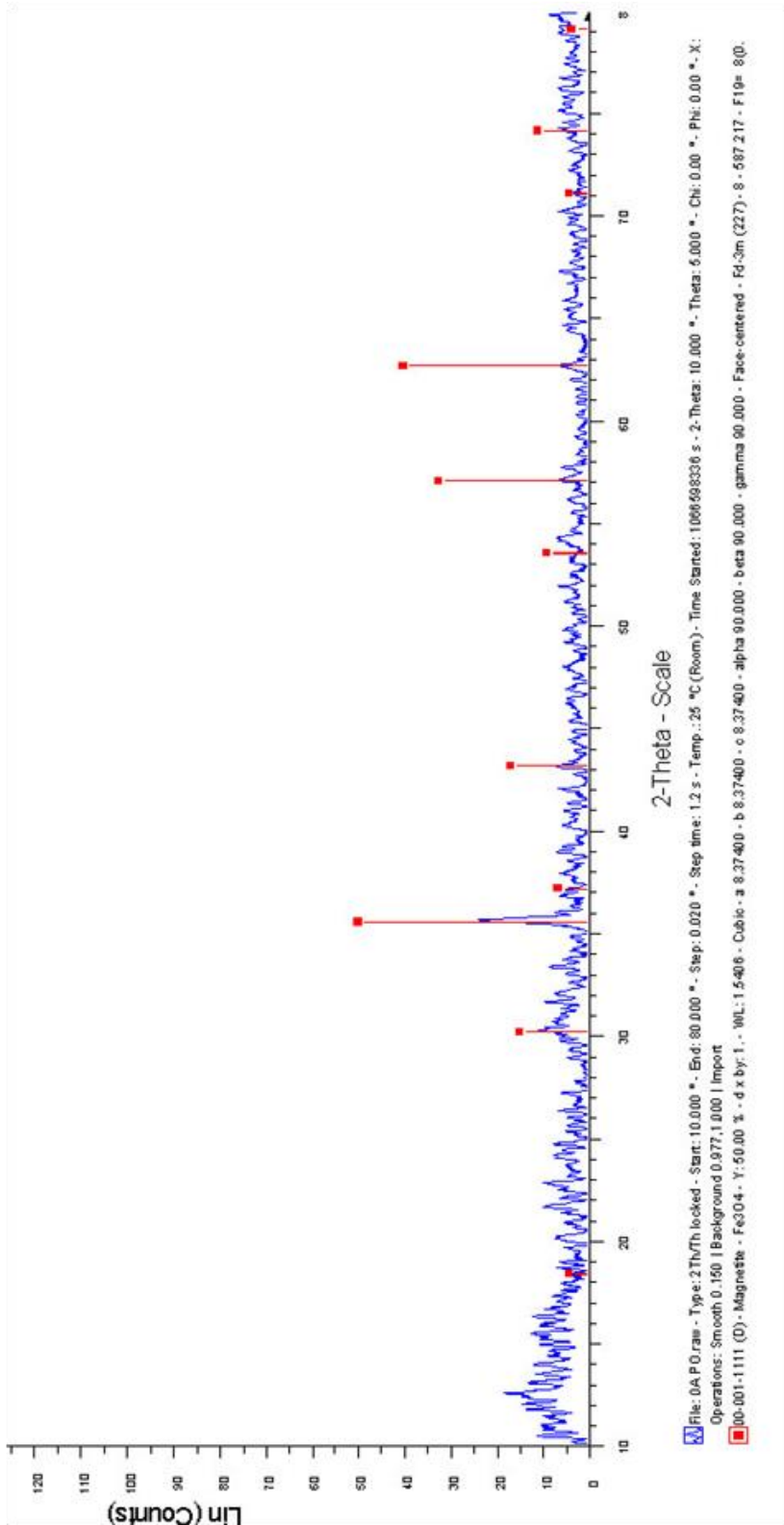
เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี (X-ray fluorescence spectrometer)



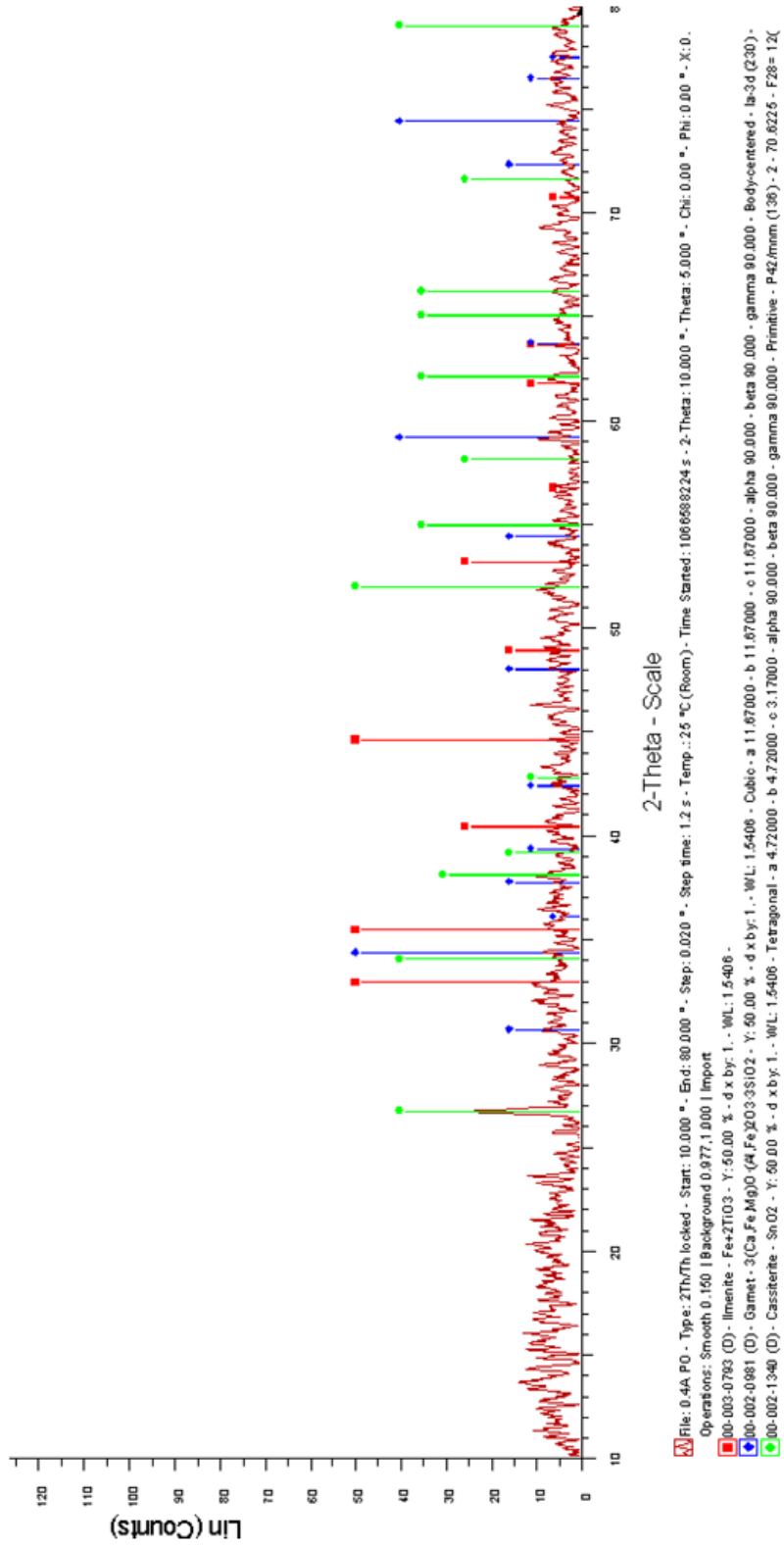
รูปที่ ข-4 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรโกปี (XRF)

Analytical Instrument	X-ray fluorescence spectrometer (XRF): Bruker AXS, Germany Model: S4 Pioneer Wavelength dispersive X-ray fluorescence (WDXRF) spectrometry
Voltage/Current	60 kV / 50 mA
Conditions	Range 0.2 – 20 A (60 – 0.6 keV) Total resolution 3 – 100 eV Typical measurement time 2 – 10 s per element
Program used	SPECTRA Plus software of the Bruker with the standardless Analysis.

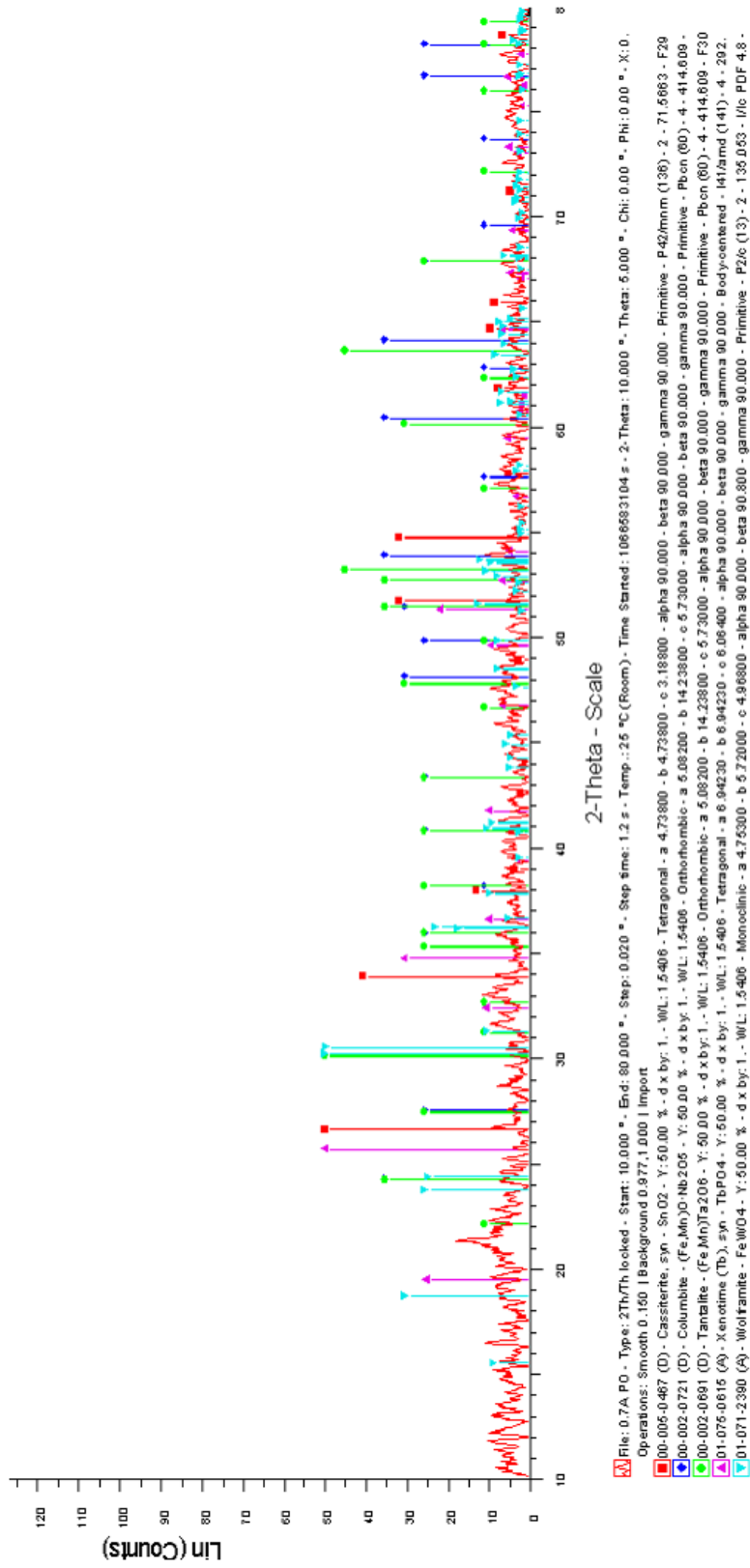
ภาคผนวก ค.
ผลวิเคราะห์ X-ray diffractometer



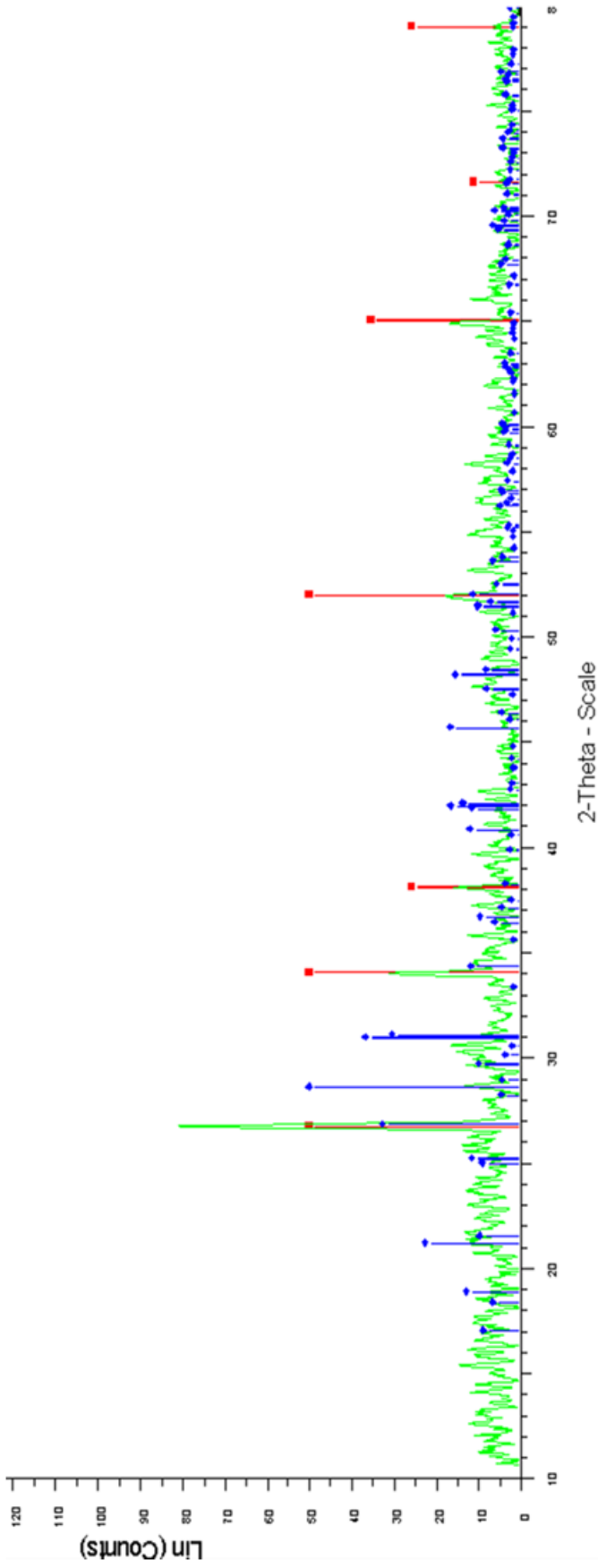
รูปที่ ค-1 ผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแร่ที่ติดแม่เหล็กถาวร



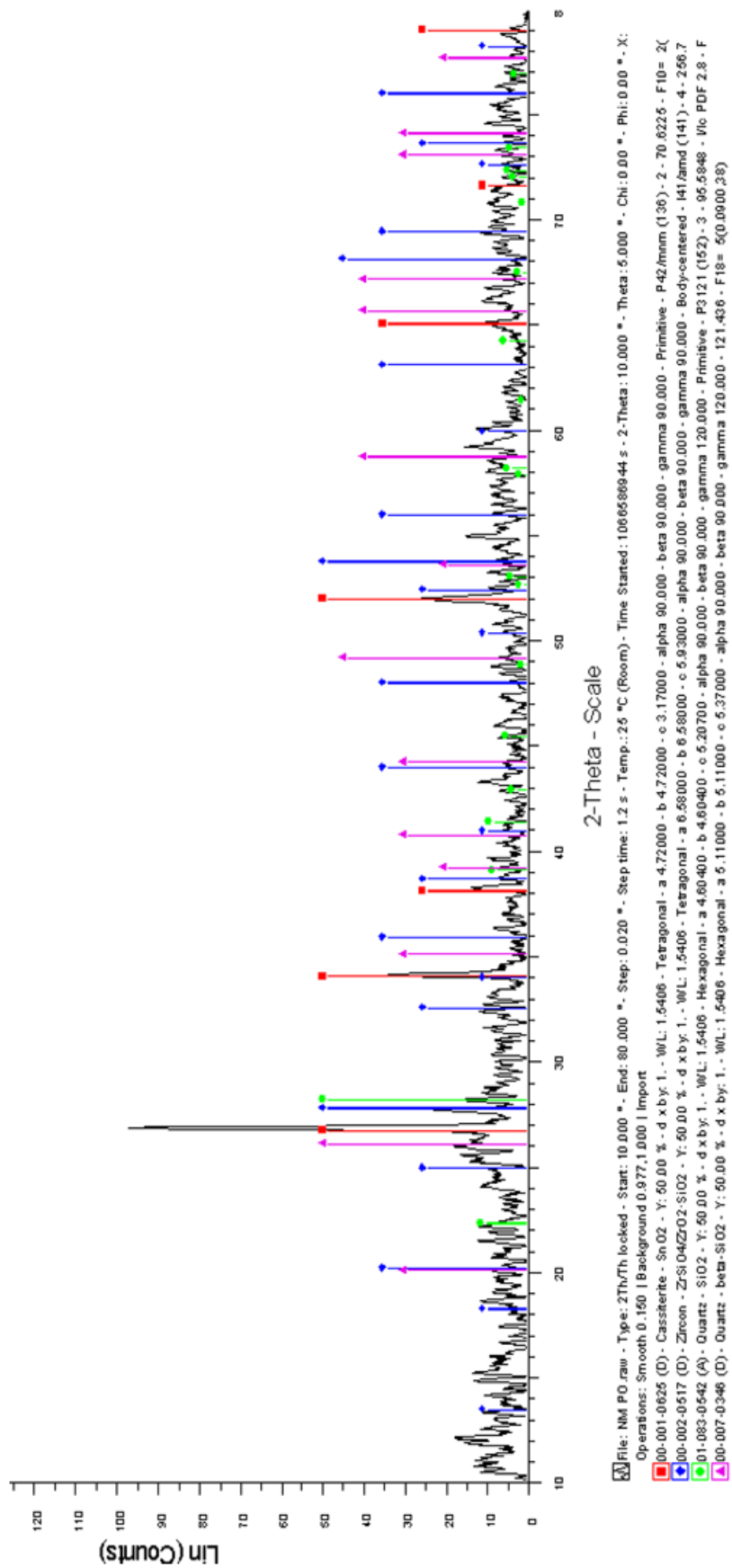
รูปที่ ค-2 ผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแร่ที่ตีแตกเม็ดลึกลง 0.0-0.4 A.



รูปที่ ค-3 ผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแร่ที่ติดแม่เหล็กช่วง 0.4-0.7 A.



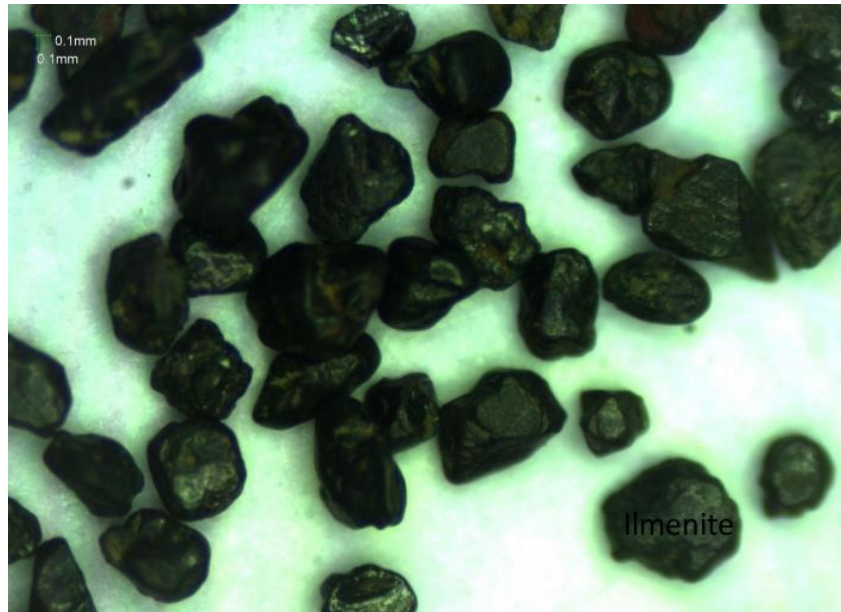
รูปที่ ค-4 ผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแร่ที่ติดแม่เหล็กช่วง 0.7-1.2 A.



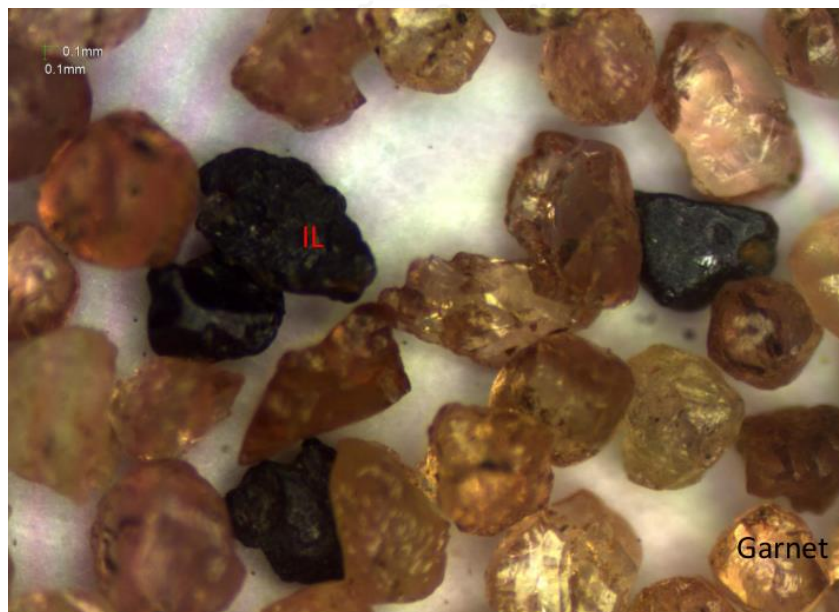
รูปที่ ค-5 ผลการวิเคราะห์ด้วย X-ray diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแร่ที่ไม่ติดแม่เหล็ก

ภาคผนวก ง.

รูปถ่ายแร่เม็ดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (เพิ่มเติม)

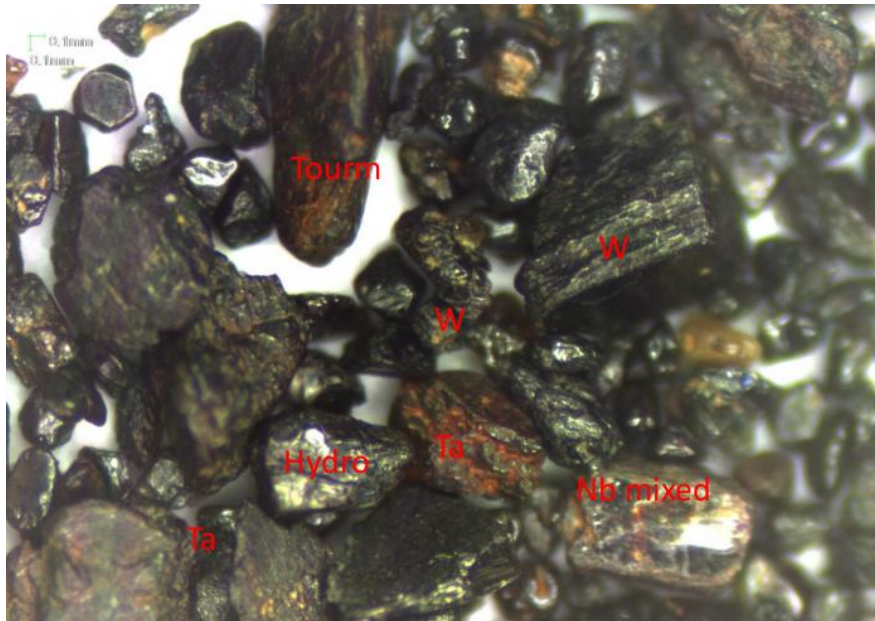


รูปที่ ง-1 แร่ Ilmenite กำลังขยาย 40 เท่า



หมายเหตุ:IL คือแร่ Ilmenite

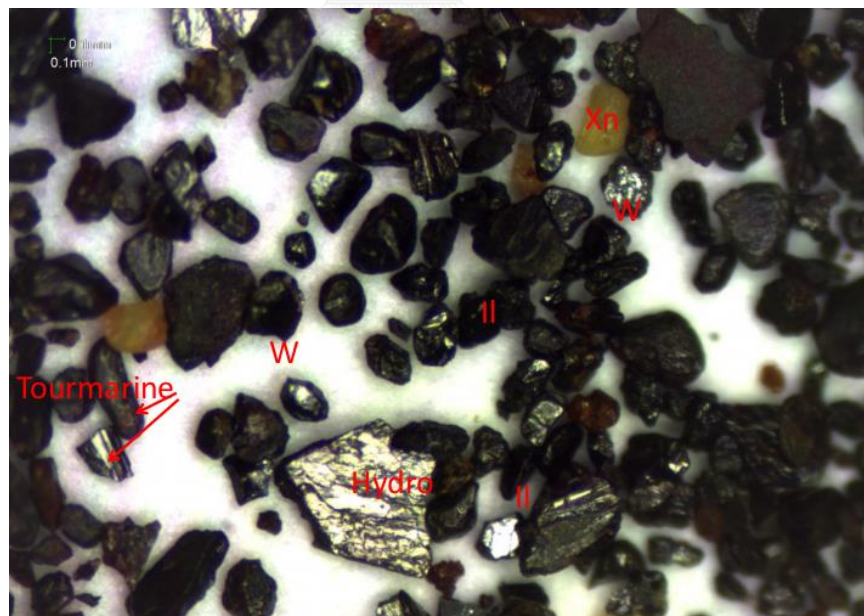
รูปที่ ง-2 แร่ Garnet และแร่ Ilmenite กำลังขยาย 40 เท่า



หมายเหตุ Ta คือแร่ Columbite-Tantalite, W คือแร่ Wolframite, Hydro IL คือแร่ Hydro-ilmenite
และ Tourm คือ Tourmaline

รูปที่ ง-3 แร่ Columbite-Tantalite, แร่ Wolframite และแร่ Hydro-ilmenite

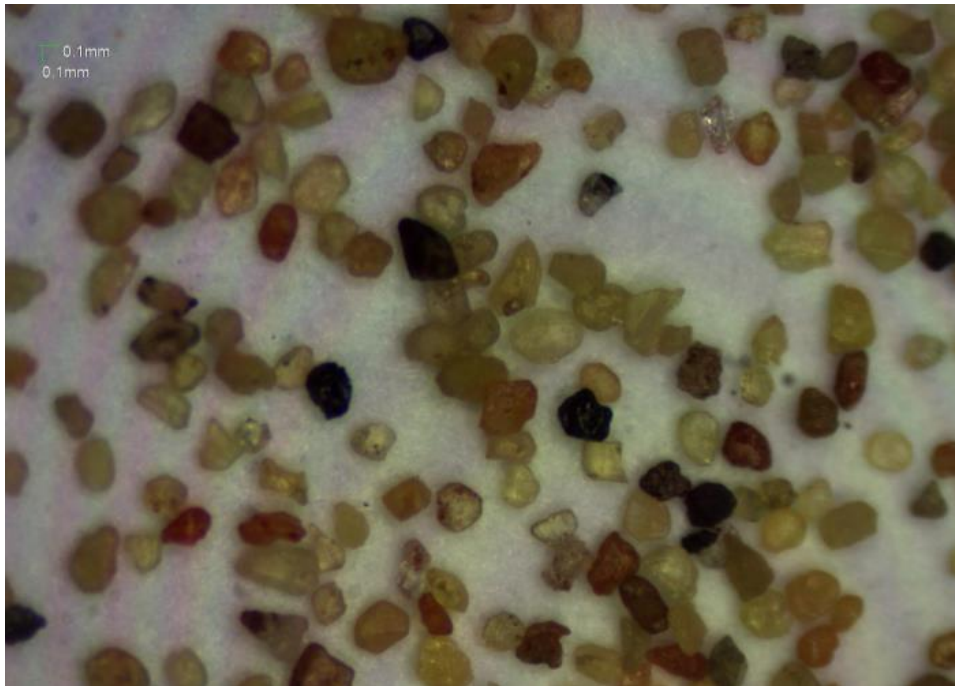
กำลังขยาย 40 เท่า



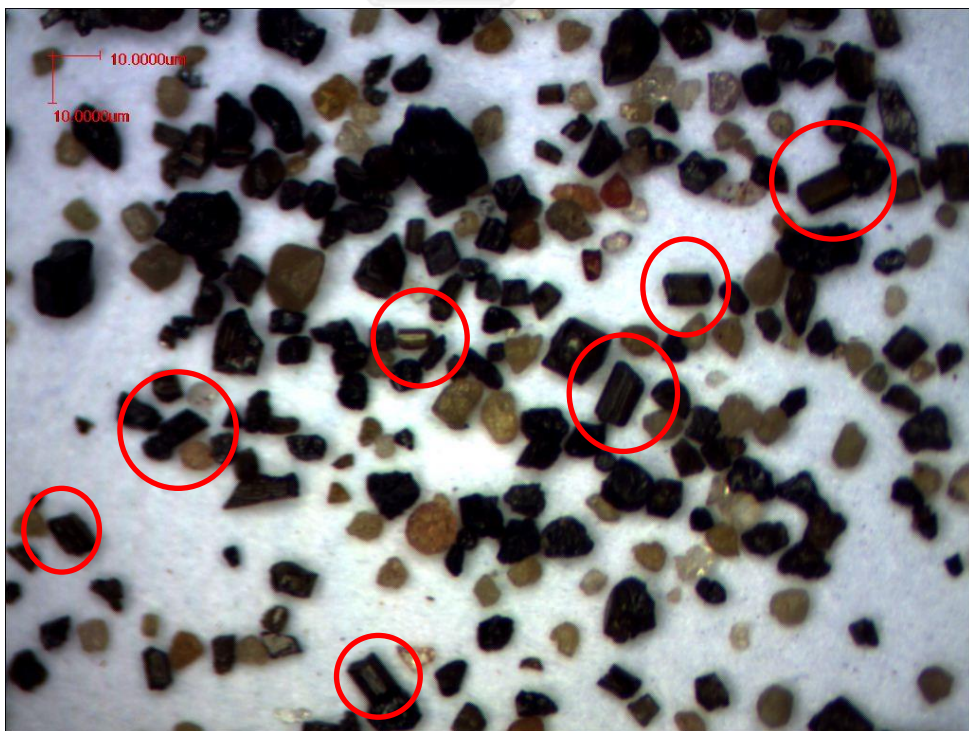
หมายเหตุ W คือแร่ Wolframite, Hydro คือแร่ Hydro-ilmenite
และ Xe คือแร่ Xenotime

รูปที่ ง-4 แร่ Wolframite, แร่ Hydro-ilmenite, แร่ Tourmaline

และ แร่ Xenotime กำลังขยาย 40 เท่า



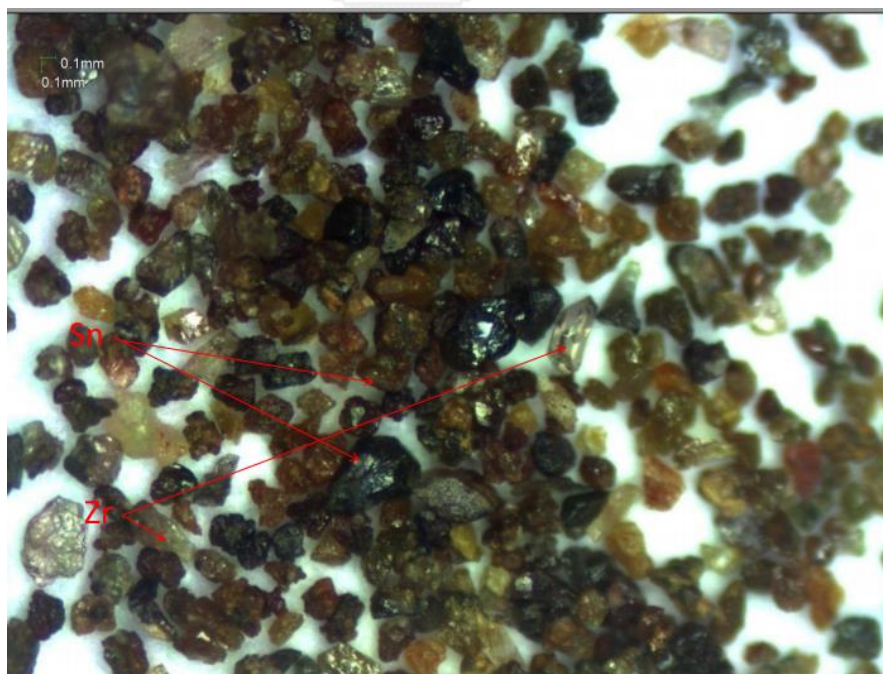
รูปที่ ง-5 แร่ Monazite กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ ง-6 แร่ Tourmaline กำลังขยาย 40 เท่า

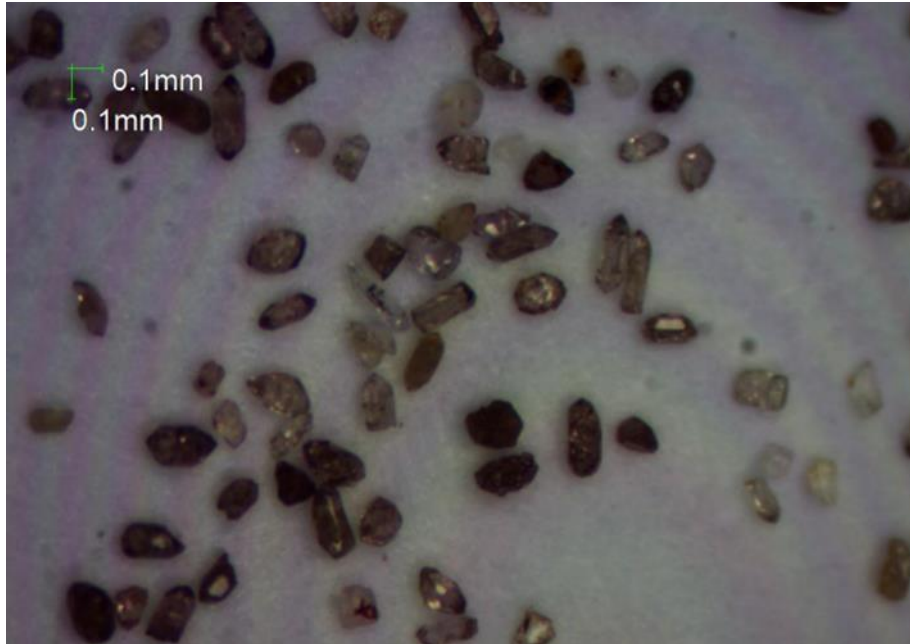


รูปที่ ง-7 ลักษณะแร่คาบติดกับแร่ Ilmenite กำลังขยาย 40 เท่า



หมายเหตุ Zr คือ แร่ Zircon และ Sn คือ แร่ Cassiterite

รูปที่ ง-8 แร่ Cassiterite และแร่ Zircon กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ ง-9 แร่ Zircon กำลังขยาย 40 เท่า

ภาคผนวก จ.

แสดงการเปรียบเทียบขนาดตะแกรงมาตรฐานแบบต่างๆ

ตารางที่ จ-1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดตะแกรงมาตรฐานแบบต่างๆ

U.S.A. (1)		TYLER (2)	CANADIAN (3)		BRITISH (4)		FRENCH (5)		GERMAN (6)
Standard	Alternate	Mesh Designation	Standard	Alternate	Nominal Aperture	Nominal Mesh No.	Org. M.M.	No.	Size
125 mm	5"		125 mm	5"					
106 mm	4.24"		106 mm	4.24"					
100 mm	4"		100 mm	4"					
90 mm	3.5"		90 mm	3.5"					
75 mm	3"		75 mm	3"					
63 mm	2.5"		63 mm	2.5"					
53 mm	2.12"		53 mm	2.12"					
50 mm	2"		50 mm	2"					
45 mm	1.75"		45 mm	1.75"					
37.5 mm	1.5"		37.5 mm	1.5"					
31.5 mm	1.25"		31.5 mm	1.25"					
26.5 mm	1.06"	1.05"	26.5 mm	1.06"					25.0 mm
25.0 mm	1"		25.0 mm	1"					
22.4 mm	.883"	.883"	22.4 mm	.883"					20.0 mm
19.0 mm	.742"	.742"	19.0 mm	.742"					
16.0 mm	.625"	.625"	16.0 mm	.625"					15.0 mm
13.2 mm	.530"	.530"	13.2 mm	.530"					12.5 mm
12.5 mm	.5"		12.5 mm	.5"					
11.2 mm	.441"	.441"	11.2 mm	.441"					10.0 mm
9.5 mm	.375"	.375"	9.5 mm	.375"					9.0 mm
8.0 mm	.315"	.315"	8.0 mm	.315"					8.0 mm
6.7 mm	.265"	.265"	6.7 mm	.265"					6.3 mm
6.3 mm	.25"	.25"	6.3 mm	.25"					
5.6 mm	No. 3 1/2	3 1/2	5.6 mm	No. 3 1/2			5.000	38	5.0 mm
4.75 mm	4	4	4.75 mm	4			4.000	37	4.0 mm
4.00 mm	5	5	4.00 mm	5	3.35 mm	5	3.150	36	3.15 mm
3.35 mm	6	6	3.35 mm	6					
2.80 mm	7	7	2.80 mm	7	2.80 mm	6	2.500	35	2.5 mm
2.36 mm	8	8	2.36 mm	8	2.40 mm	7	2.000	34	2.0 mm
2.00 mm	10	9	2.00 mm	10	2.00 mm	8	1.600	33	1.6 mm
1.70 mm	12	10	1.70 mm	12	1.68 mm	10			
1.40 mm	14	12	1.40 mm	14	1.40 mm	12	1.250	32	1.25 mm
1.18 mm	16	14	1.18 mm	16	1.20 mm	14	1.000	31	1.0 mm
1.00 mm	18	16	1.00 mm	18	1.00 mm	16			
850 μm	20	20	850 μm	20	850 μm	18	.800	30	800 μm
710 μm	25	24	710 μm	25	710 μm	22	.630	29	630 μm
600 μm	30	28	600 μm	30	600 μm	25	.500	28	500 μm
500 μm	35	32	500 μm	35	500 μm	30			
425 μm	40	35	425 μm	40	420 μm	36	.400	27	400 μm
355 μm	45	42	355 μm	45	355 μm	44	.315	26	315 μm
300 μm	50	48	300 μm	50	300 μm	52	.250	25	250 μm
250 μm	60	60	250 μm	60	250 μm	60	.200	24	200 μm
212 μm	70	65	212 μm	70	210 μm	72	.160	23	160 μm
180 μm	80	80	180 μm	80	180 μm	85			
150 μm	100	100	150 μm	100	150 μm	100	.125	22	125 μm
125 μm	120	115	125 μm	120	125 μm	120	.100	21	100 μm
106 μm	140	150	106 μm	140	105 μm	150			
90 μm	170	170	90 μm	170	90 μm	170	.080	20	80 μm
75 μm	200	200	75 μm	200	75 μm	200	.063	19	71 μm 63 μm 56 μm
63 μm	230	250	63 μm	230	63 μm	240			
53 μm	270	270	53 μm	270	53 μm	300	.050	18	50 μm 45 μm 40 μm
45 μm	325	325	45 μm	325	45 μm	350	.040	17	
38 μm	400	400	38 μm	400					

(1) U.S.A. Sieve Series - ASTM Specification E-11-70
(2) Tyler Standard Screen Scale Sieve Series
(3) Canadian Standard Sieve Series C-97-14
(4) British Standards Institution, London BS-410-62
(5) French Standard Specifications, AFNOR X-11-501
(6) German Standard Specification DIN 4188

*These sizes correspond to those recommended by ISO (International Standards Organization) as an International Standard and this designation should be used when reporting sieve analysis intended for international publication.

พินา สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย (2554)

ตารางที่ จ-2 แสดงการปรับเทียบความเข้มสนามแม่เหล็กของเครื่องแยกแม่เหล็กแต่ละประเภท

อำนาจในการติดแม่เหล็กของแร่	การปรับความเข้มสนามแม่เหล็กเป็นแอมแปร์ (A)		
	เครื่อง Maclean	เครื่อง Rapid	เปรียบเทียบกับเครื่องวิเคราะห์ Frantz
ติดแม่เหล็กดี	1.5 – 1.8	1.2 – 1.5	0.4
ติดแม่เหล็กปานกลาง	2.0 – 2.5	2.0 – 2.5	0.7
ติดแม่เหล็กอย่างอ่อน	3.0 – 4.0	3.5 – 4.0	1.2
ติดแม่เหล็กอ่อนมาก	4.5 – 5.0	4.5 – 5.0	1.5

หมายเหตุ การปรับความเข้มสนามแม่เหล็กโดยปรับค่าแอมแปร์ (A) อาจแตกต่างกันแล้วแต่ขั้วของเครื่อง

ที่มา:วิชาญ อมตาริยกุล (2543)



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายทวีทรัพย์ ทองสงธรรม เกิดเมื่อวันจันทร์ที่ 3 พฤศจิกายน พ.ศ.2529 จบการศึกษามัธยมปลายจากโรงเรียนสารสิทธิ์พิทยาลัย จังหวัดราชบุรี จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2553 ได้เข้าทำงานที่กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง ในตำแหน่งนักธรณีวิทยา (ลูกจ้างชั่วคราว) และเข้าศึกษาต่อปริญญาโท สาขาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2555 และปัจจุบันประกอบธุรกิจส่วนตัวกิจการเหมืองแร่ สังกัดบริษัท เดอะสปาร์ไมนิ่ง จำกัด

