

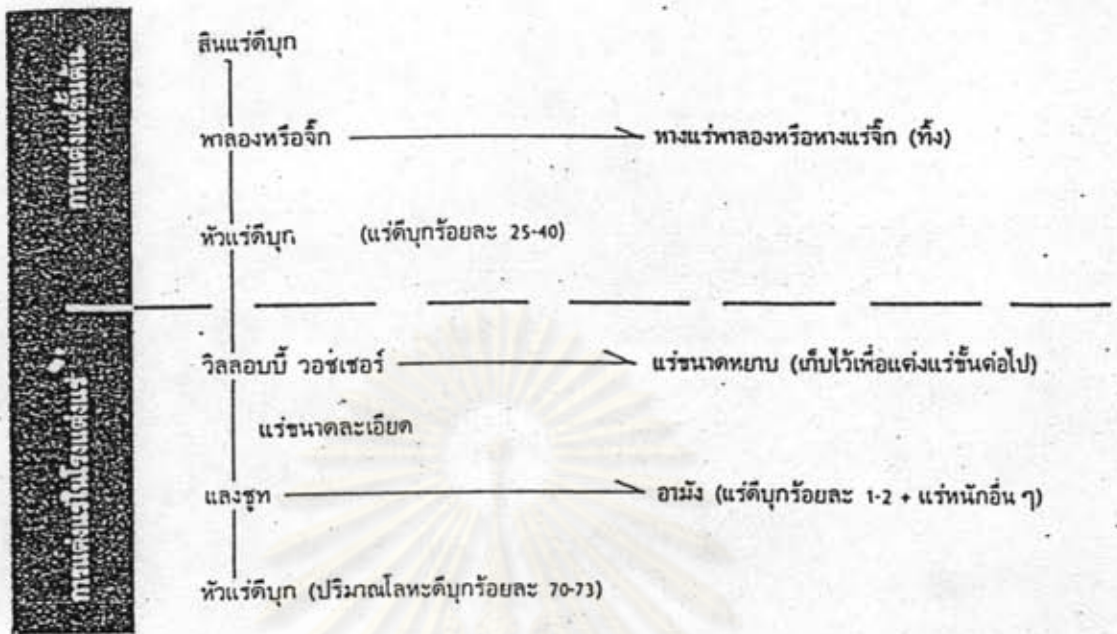


การศึกษาลักษณะทางแร่วิทยา

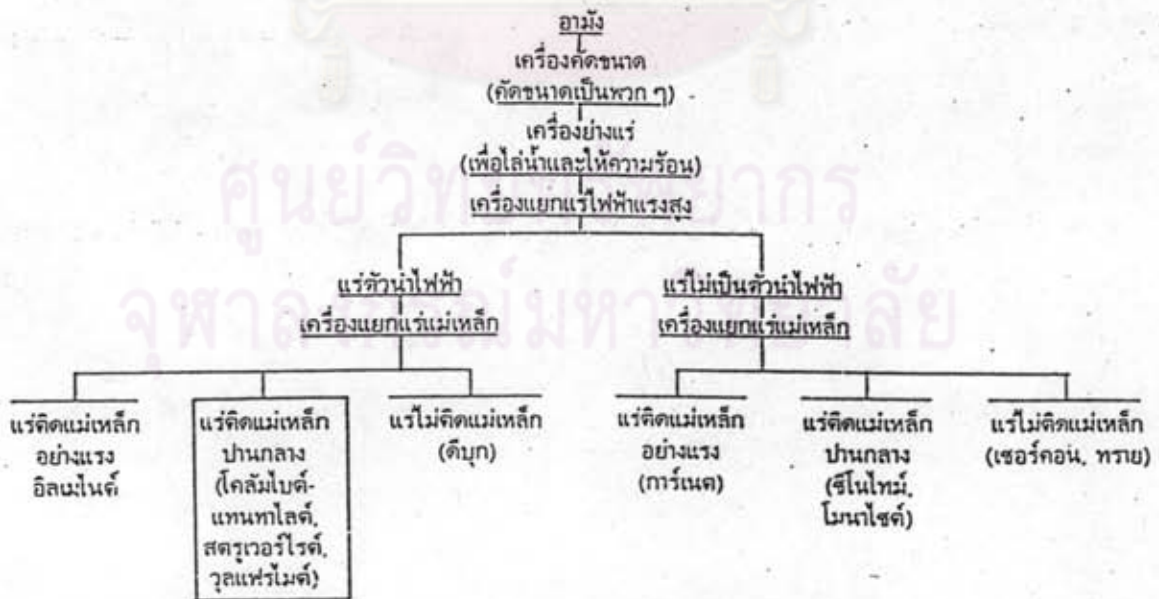
3.1 ตัวอย่างแร่ที่นำมาวิจัย

ตัวอย่างแร่ที่ทำการวิจัยนำมาจากโรงแต่งแร่ ห้างหุ้นส่วนจำกัด รุ่งอรุณตะกั่วป่า อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา เป็นตัวอย่างแร่ที่ผ่านการแต่งแร่มาแล้ว จากการแยกทางแร่ดีบุก ซึ่งได้ทำการแยกดีบุกออกไปแล้ว การแยกดีบุกของไทย(30)โดยทั่วไปจะใช้รางกุ่มแร่ (Palong) หรือจิก (Jig) ในการแต่งแร่ขั้นต้น จากนั้นจึงส่งไปโรงแต่งแร่ เพื่อทำการแต่งแร่ขั้นที่ 2 โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า วิลลอบบี้วอชเชอร์ (Willoughby washer) ร่วมกับการแยกแร่ ในรางแยกแร่ขนาดเล็กที่เรียกว่าแลงชุก (Lanchute) แสดงแผนผังการแต่งแร่ในรูปที่ 3.1 ดีบุกสามารถแยกออกได้โดยใช้แลงชุก เนื่องจากมีน้ำหนักมากกว่าแร่อื่นๆ ที่ปนมา เมื่อทำการล้างด้วยแลงชุกซ้ำหลายครั้ง ทำให้ได้หัวแร่ดีบุกที่มีความสะอาดมากขึ้นจนขายได้ คือมีปริมาณโลหะดีบุก (Sn) ในหัวแร่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 72 ส่วนหางแร่จากแลงชุกที่เรียกว่า อามัง (Amang) หรือมูลแร่ นั้นยังมีแร่หนัก (Heavy mineral) ที่มีค่าหรือแร่พลอยได้ (By-product mineral) ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ อิลเมนิต์ โคลัมไบต์ - แทนทาลิต์ สตรูเวไรต์ (Struverite) เซอร์คอน โมนาไซต์ ซีโนโทม์ การ์เนต (Garnet) ลูโคซีน (Lucoxene) และรูไทล์ (Rutile) เป็นต้น การแยกแร่พลอยได้เหล่านี้ ส่วนใหญ่ใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Separator) และเครื่องแยกแร่ไฟฟ้าแรงสูง ทำการแยกแร่พลอยได้แต่ละชนิดออกจากกัน (32,33) แสดงแผนผังการแต่งแร่พลอยได้ในรูปที่ 3.2 แต่โคลัมไบต์-แทนทาลิต์ วุลแฟรมิต์ และ อิลเมนิต์ (Ilmenite) จะอยู่ส่วนเดียวกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้เนื่องจากมีคุณสมบัติการติดแม่เหล็กใกล้เคียงกัน

จากการวิเคราะห์ขนาดของแร่ตัวอย่างด้วยตะแกรง (Sieve analysis) ตามตารางที่ 3.1 และกราฟรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าขนาดของเม็ดแร่ส่วนใหญ่ อยู่ในช่วง -100 +200 เมช และจากผลการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า ไนโอเบียมเพนตออกไซด์ (Nb_2O_5) แทนทาลัมเพนตออกไซด์ (Ta_2O_5) มีปริมาณมากอยู่ในช่วงขนาด -100 +200 เมช และทั้งสดีกออกไซด์ (WO_3) มีปริมาณมากในขนาดที่เล็กกว่า 100 เมช



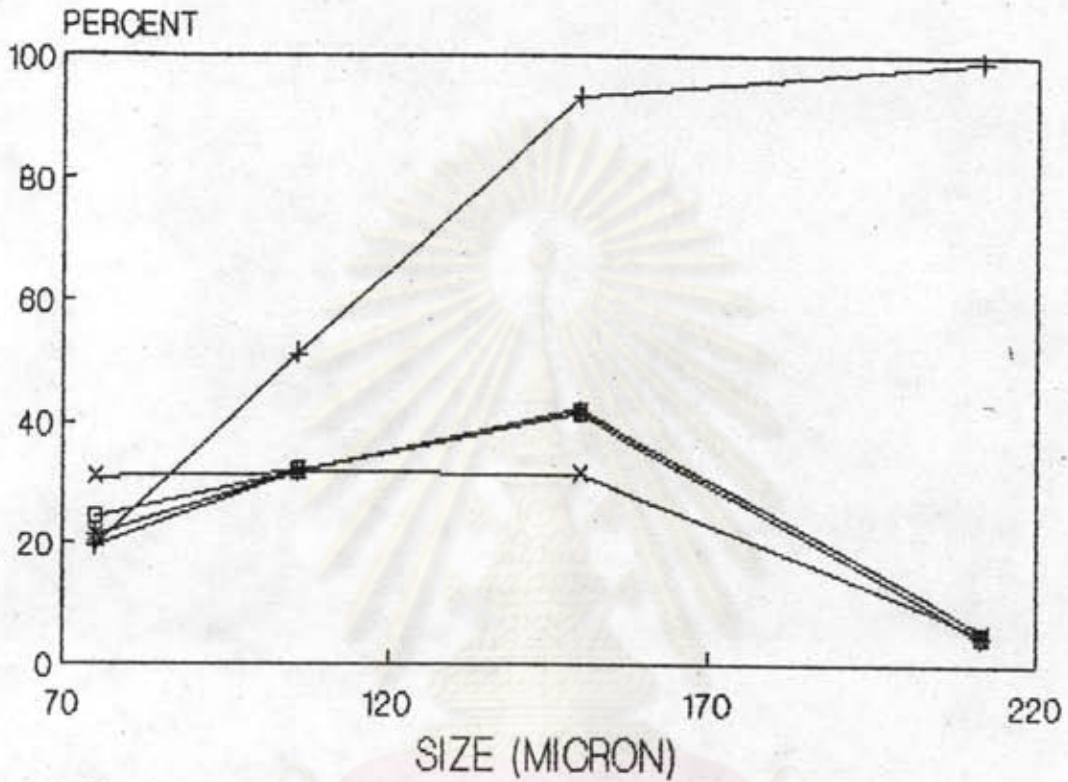
รูปที่ 3.1 แผนผังการแต่งแร่ดีบุกแบบทั่วไปในประเทศไทย (30)



รูปที่ 3.2 แผนผังการแต่งแร่พลอสได้แบบทั่วไป (30)

ตารางที่ 3.1 การกระจายตัวของขนาด และการกระจายตัวของปริมาณไนโอเบียมเพนทอกไซด์ (Nb_2O_5) แทนทาลัมเพนทอกไซด์ (Ta_2O_5) และทังสเตนออกไซด์ (WO_3) ของตัวอย่างที่ทำการวิจัย

ช่วงขนาดแร่		ขนาดเฉลี่ย (ไมครอน)	นน. ค้าง ตะแกรง (กรัม)	การกระจายตัวของขนาด (ร้อยละ)			ปริมาณ Nb_2O_5		ปริมาณ Ta_2O_5		ปริมาณ WO_3	
เมษ	ไมครอน			นน. ค้าง ตะแกรง	นน. สะสมค้าง ตะแกรง	นน. สะสมผ่าน ตะแกรง	Nb_2O_5 (ร้อยละ)	การกระจายตัว (ร้อยละ)	Ta_2O_5 (ร้อยละ)	การกระจายตัว (ร้อยละ)	WO_3 (ร้อยละ)	การกระจายตัว (ร้อยละ)
+ 70	+212		2.48	0.83	0.83	100.00	7.86	1.00	5.17	1.00	14.23	0.89
- 70 +100	-212 +150	150.0	17.34	5.78	6.61	99.17	5.10	4.51	3.35	4.51	11.98	5.25
-100 +140	-150 +106	106.0	126.78	42.25	48.86	93.39	6.42	41.53	4.21	41.44	9.81	31.46
-140 +200	-106 + 75	90.5	95.22	31.73	80.59	51.14	6.53	31.72	4.30	31.79	13.11	31.57
-200	- 75		58.25	19.41	100.00	19.41	7.15	21.25	4.70	21.26	20.92	30.82
รวม			300.07	100.00			6.61	100.00	4.35	100.00	14.01	100.00



- % Weight
- +— Cummulative % weight Passing
- *— % Distribution of Nb₂O₅
- % Distribution of Ta₂O₅
- x— % Distribution of WO₃

รูปที่ 3.3 การกระจายตัวของขนาด Nb₂O₅, Ta₂O₅ และ WO₃ ของตัวอย่าง หัวแร่โคลัมไบต์-แทนทาลัม ปนพลีฟรอมด์ ที่นำมาวิจัย

3.2 การศึกษาตัวอย่างเม็ดแร่ภายใต้กล้องขยายสองตา

การศึกษาตัวอย่างแร่เม็ดภายใต้กล้องขยายสองตา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิด ลักษณะ และปริมาณของแร่แต่ละชนิด โดยอาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ได้แก่ สี สีผง รูปผลึก ความวาว รอยแตก และแนวแตก เป็นต้น นอกจากนี้การบ่งบอกชนิดแร่ยังอาศัยการศึกษา โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และรังสีเอกซ์เลเซอร์เบน (XRD) ร่วมด้วย จากการศึกษา ตัวอย่างแร่ที่นำมาวิจัยประกอบด้วยแร่หลายชนิด ได้แก่ โคลัมไบต์-แทนทาลิต วุลแฟรมิต อิลเมไนต์ คอโรนาโดต์ (Coronadite) โมนาไซต์ ซีโนไทม์ และควอตซ์ (Quartz) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่แต่ละชนิด ที่ใช้ในการแยกชนิดแร่โดยทั่วไป แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

3.2.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแร่แต่ละชนิด ในตัวอย่างที่นำมาวิจัย

3.2.1.1 โคลัมไบต์-แทนทาลิต สีดำ สีผงสีเทาออกเหลือง วาว คล้ายโลหะ เปราะ แตกเป็นแผ่นบางได้ง่าย รูปร่างไม่แน่นอน รอยแตกกึ่งโค้งเว้ารูปก้นหอย ถึงแตกแบบไม่เรียบ แสดงในรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.6

3.2.1.2 วุลแฟรมิต สีน้ำตาลแดงออกดำ สีผงสีน้ำตาลแดง ความวาว กึ่งโลหะ เกิดเป็นแผ่นหนา หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน แสดงในรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6

3.2.1.3 อิลเมไนต์ สีดำ สีผงสีดำ ความวาวกึ่งโลหะถึงวาวคล้าย โลหะ รูปผลึกเป็นแผ่นหนาหรือมวลเมล็ดเนื้อแน่น แสดงในรูปที่ 3.7

3.2.1.4 คิบก สีน้ำตาล วาวคล้ายขางสน เกิดเป็นมวลเมล็ด แสดง ในรูปที่ 3.7

3.2.1.5 คอโรนาโดต์ สีดำออกน้ำตาล สีผงสีดำออกน้ำตาล วาว คล้ายโลหะหรือโลหะด้าน เกิดเป็นมวลเมล็ด ก้อนกลม ๆ หรือรูปหวงอู่น แสดงในรูปที่ 3.8

3.2.1.6 ควอตซ์ ไม่มีสี วาวคล้ายแก้ว เกิดเป็นเม็ดหิวขรุขระ แสดง ในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.10

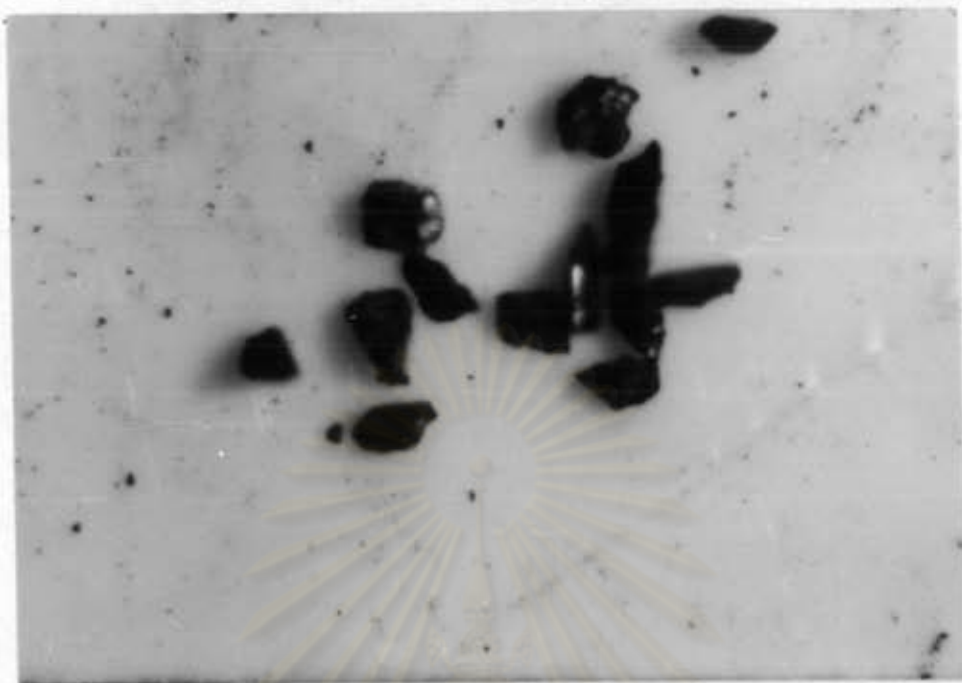
3.2.1.7 โมนาไซต์ สีเหลือง วาวคล้ายขางสนถึงวาวคล้ายแก้ว พบ เป็นแท่งปริซึมสั้นๆ หรือมวลเมล็ดลักษณะมน ๆ แสดงในรูปที่ 3.9

3.2.1.8 ซีโนไทม์ สีน้ำตาล วาวคล้ายยางจนถึงวาวคล้ายขี้ผึ้ง รูปผลึก เป็นรูปปิรามิดสองด้านประกบกัน แสดงในรูปที่ 3.9

3.2.1.9 เซอร์คอน ไม่มีสี วาวคล้ายแก้ว รูปผลึกแท่งปริซึมยาว มีรูป ปิรามิดปิดหัวท้าย แสดงในรูปที่ 3.10



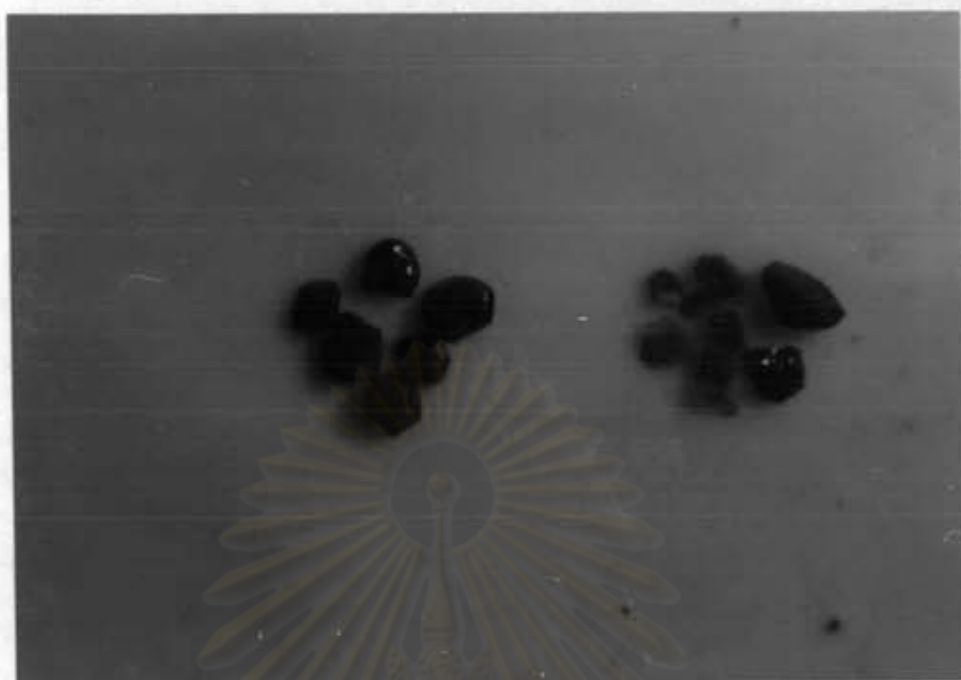
รูปที่ 3.4 โคลัมไบต์-แทนทาลอต์ (x 32)



รูปที่ 3.5 วุลแฟรไมด์ (x 32)



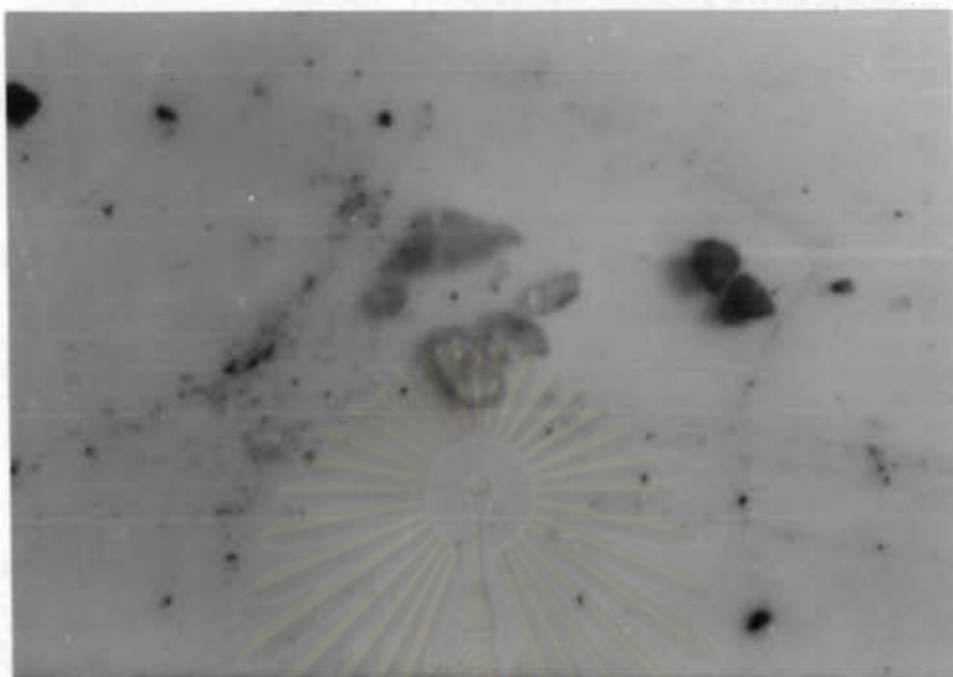
รูปที่ 3.6 โทคลัมโบต์-แทนทาลอ์ และวุลแฟรไมด์ (x 25)



รูปที่ 3.7 อีลเมไนด์ และคีนุก (x 25)



รูปที่ 3.8 คอโรนาโด และควออตซ์ (x 25)



รูปที่ 3.9 โทนาไรต์ และซีโนไทม์ (x 25)



รูปที่ 3.10 เซอร์คอน และควार्टซ์ (x 25)

3.2.2 ปริมาณของแร่แต่ละชนิด

จากการประเมินปริมาณของแร่แต่ละชนิด โดยวิธีการนับเม็ดในแต่ละช่วง
ขนาด (34) แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณแร่แต่ละชนิด ในแต่ละช่วงขนาด ของตัวอย่างที่นำมาวิจัย

แร่	เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก					รวม
	+70 เมช	+100 เมช	+140 เมช	+200 เมช	-200 เมช	
โคลัมไบต์- แทนทาลัม	0.2	1.0	12.7	8.4	4.0	26.3
วุลแฟรไมต์	0.2	1.1	13.0	9.2	4.5	28.0
อิลเมไนต์	0.1	1.0	8.1	6.5	4.7	20.4
คอโรนาโดต์	0.1	1.5	4.8	4.2	4.1	14.7
โมนาไซต์- ซีโนไทม์	-	-	0.1	0.3	0.5	0.9
ควอตซ์	0.1	0.6	1.3	1.0	0.9	3.9
ควอตซ์คาบ วุลแฟรไมต์	-	-	0.7	0.8	0.5	2.0
คิบุก	0.2	-	0.4	0.4	0.4	1.4
เซอร์คอน	-	-	0.1	0.1	0.2	0.4

3.3 การศึกษาตัวอย่างขัดมันภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง (Reflected light microscope)

การศึกษาตัวอย่างขัดมัน (Polished section) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิด และลักษณะของแร่ทึบแสง (Opaque minerals) โดยอาศัยลักษณะทางฟิสิกส์ และทางแสงที่สามารถมองเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง (35-39) คุณสมบัติบางประการที่ใช้ในการบ่งบอกชนิดของแร่โดยทั่วไป และวิธีการเตรียมตัวอย่างขัดมันจากแร่เม็ด อยู่ในภาคผนวก ข ในการศึกษาแร่ครั้งนี้ ได้ใช้วิธีการศึกษาดัวยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) และการศึกษาด้วยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (XRD) ร่วมด้วยในการบ่งบอกชนิดแร่

3.3.1 ผลการศึกษาลักษณะของแร่แต่ละชนิด ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสงของตัวอย่างที่นำมาวิจัย

3.3.1.1 โคลัมไบต์-แทนทาลิต สีเทาขาว พบเป็นแท่งยาวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเรียบ หรือเป็นรูพรุน แสดง Straight extinction แสดงในรูปที่ 3.11 รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13

3.3.1.2 วุลแฟรมิต สีเทาขาว (เทาขาวน้อยกว่าโคลัมไบต์-แทนทาลิต) Euhedral plate crystal แสดง Twin แสดงในรูปที่ 3.14 บางเม็ดแทรกอยู่กับควอตซ์

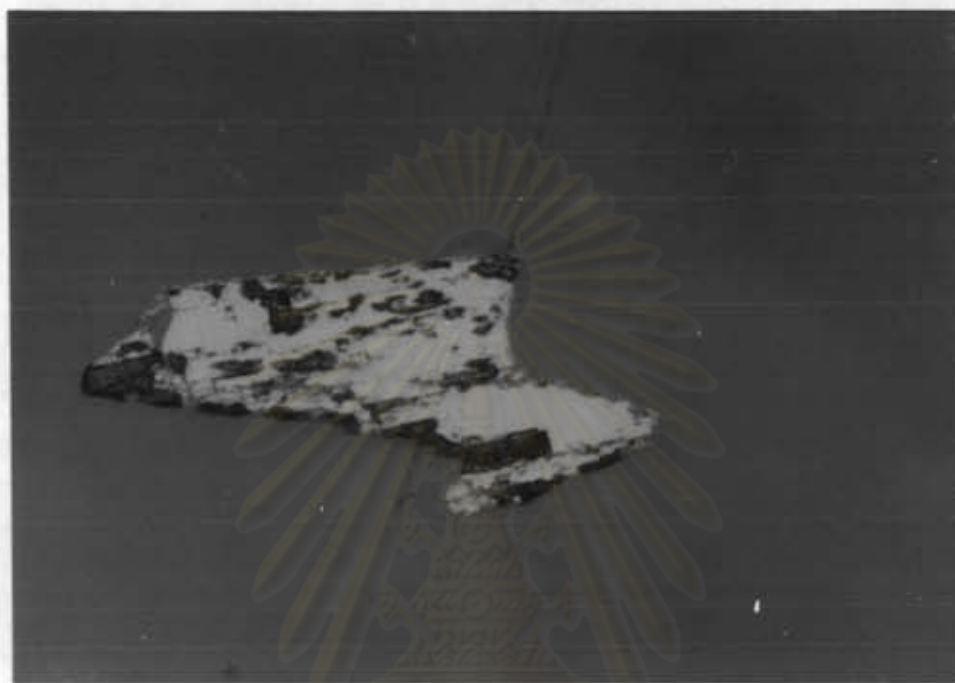
3.3.1.3 อิลเมนิต สีเทาออกน้ำตาล Strongly anisotropism ลักษณะผลึก Subhedral ถึง Anhedral แสดงลักษณะพูนรู ในรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16

3.3.1.4 คอโรนาโดต์ สีขาว Strongly anisotropism พบเป็นเม็ดกลม Concentric zone ผลึกรูปไต แสดงในรูปที่ 3.17 รูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19

3.3.1.5 รูไทล์ สีเทาออกขาว รูปผลึกเป็นแท่งยาว หรือรูปเข็มแทรกอยู่ในควอตซ์ ในรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.19

3.3.1.6 ไพไรต์ (Pyrite) สีขาว Anhedral crystal ถูกล้อมรอบด้วยคอโรนาโดต์ พบเป็นปริมาณที่น้อยมาก แสดงในรูปที่ 3.20

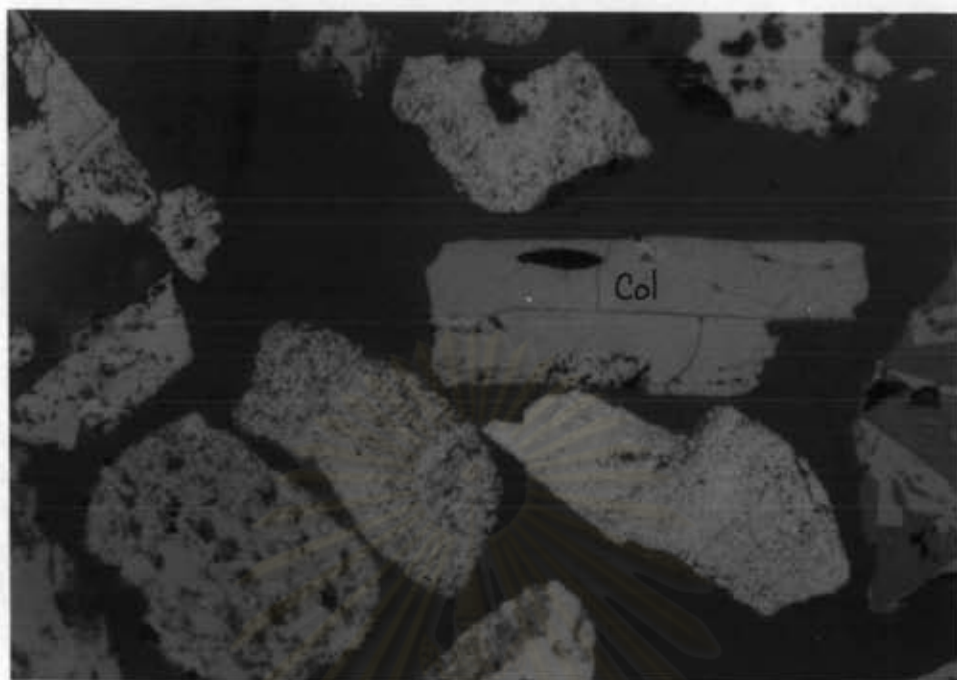
3.3.1.7 คืบ สีเทาออกน้ำตาล สีเทาเมื่อ Cross-nicol
Anhedral crystal แสดงในรูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22



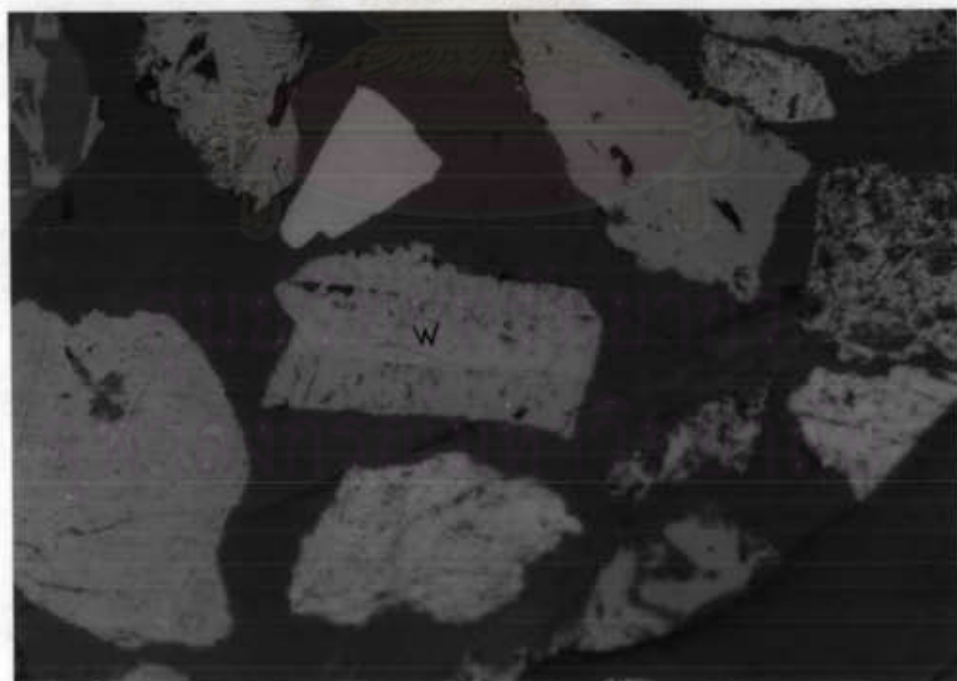
รูปที่ 3.11 โคลัมไบต์-แทนทาลไซด์ (x 32)



รูปที่ 3.12 โคลัมไบต์-แทนทาลไซด์ Cross-nicol (x 32)



รูปที่ 3.13 โคลัมโบค-แอนทาไลด์ (x 32)



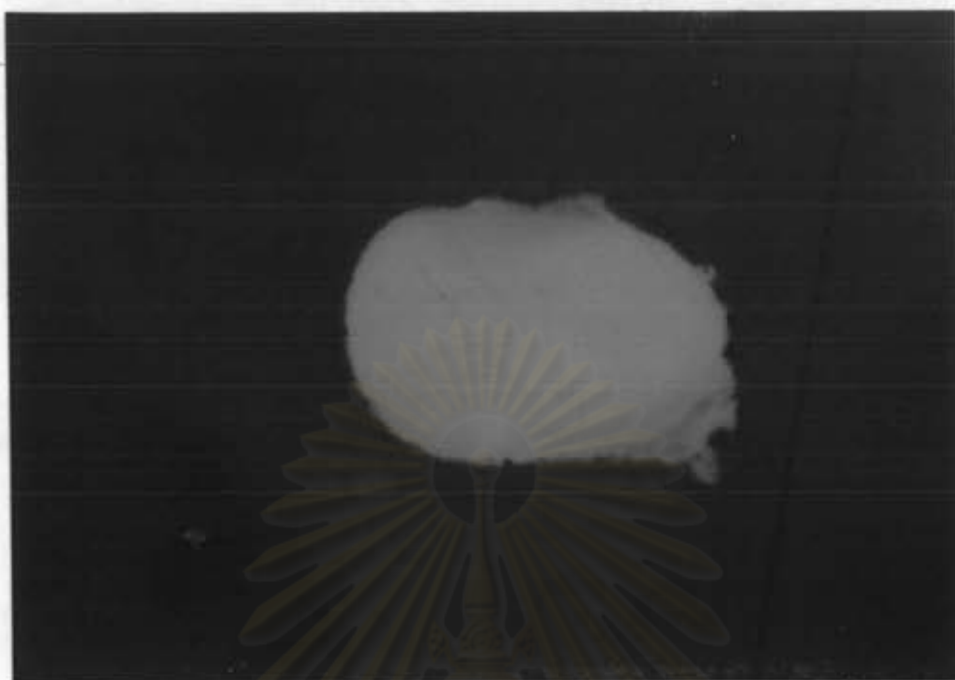
รูปที่ 3.14 วุลแฟรมิต์ (x 32)



รูปที่ 3.15 อิลเมนต์ (x 32)



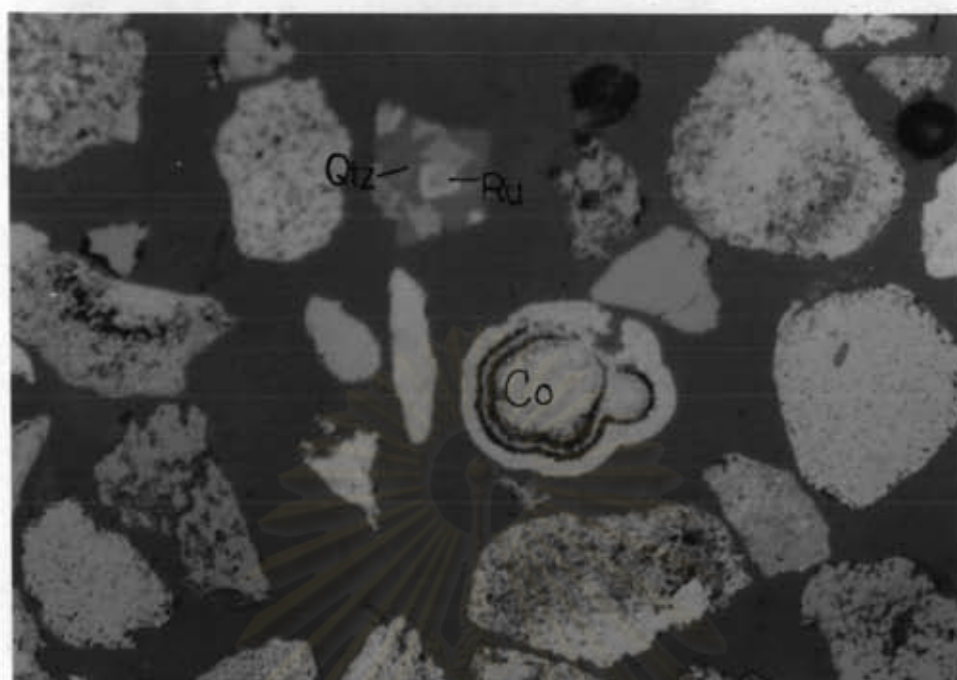
รูปที่ 3.16 อิลเมนต์ Cross-nicol (x 32)



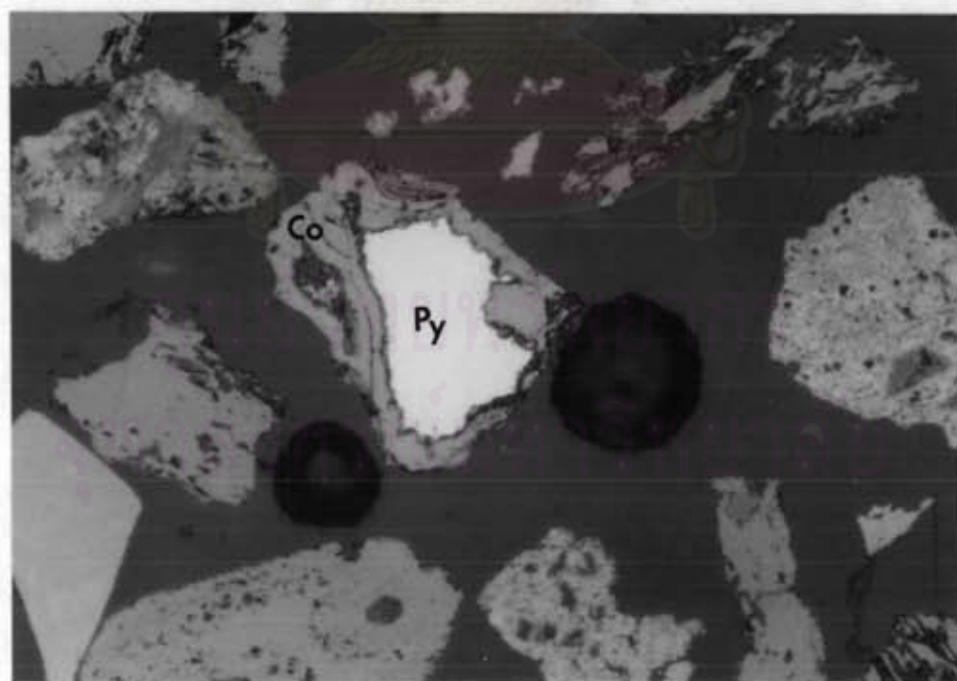
รูปที่ 3.17 คอโรนาไคด์ (x 32)



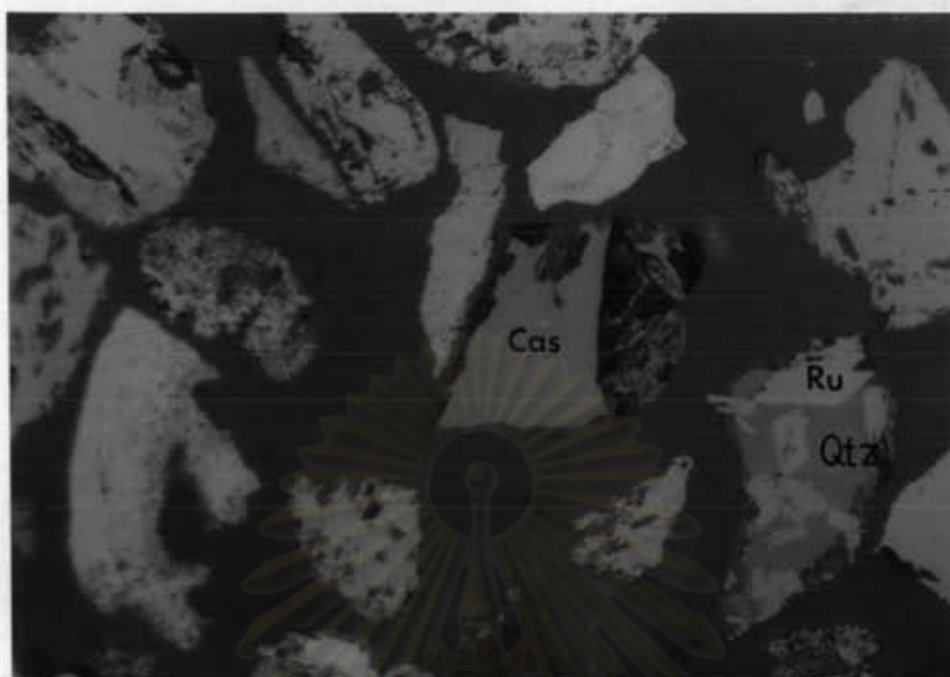
รูปที่ 3.18 คอโรนาไคด์ Cross-nicol (x 32)



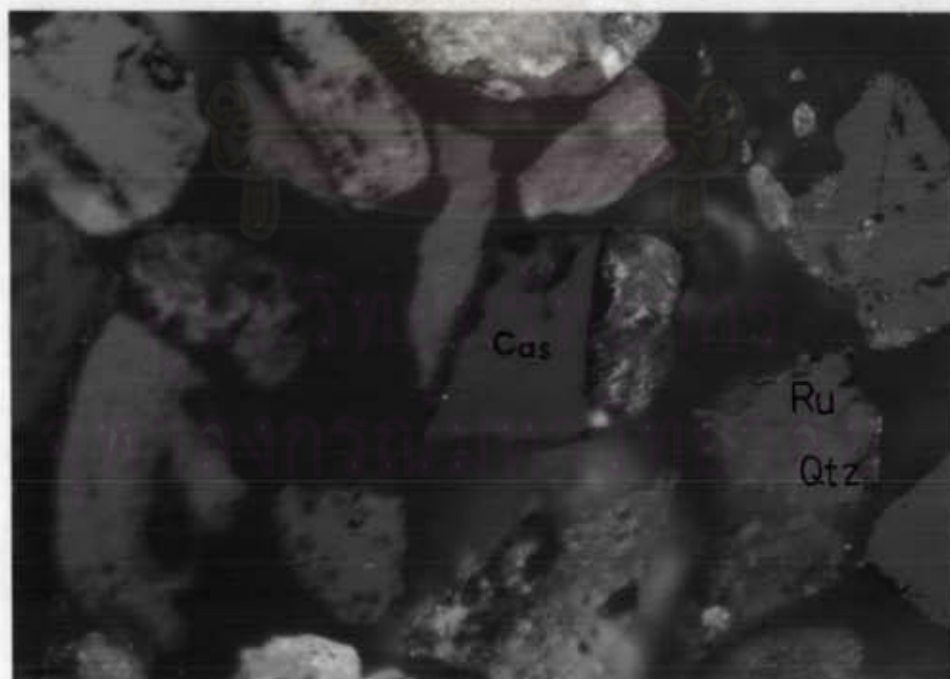
รูปที่ 3.19 คอโรนาइट (Co) รุไทล์ (Ru) ในควอตซ์ (Qtz) (x 20)



รูปที่ 3.20 ไพไรต์ (Py) ในคอโรนาइट (Co) (x 32)



รูปที่ 3.21 คัลไซต์ (Cas) รูไทล์ (Ru) ในควอตซ์ (Qtz) (x 32)



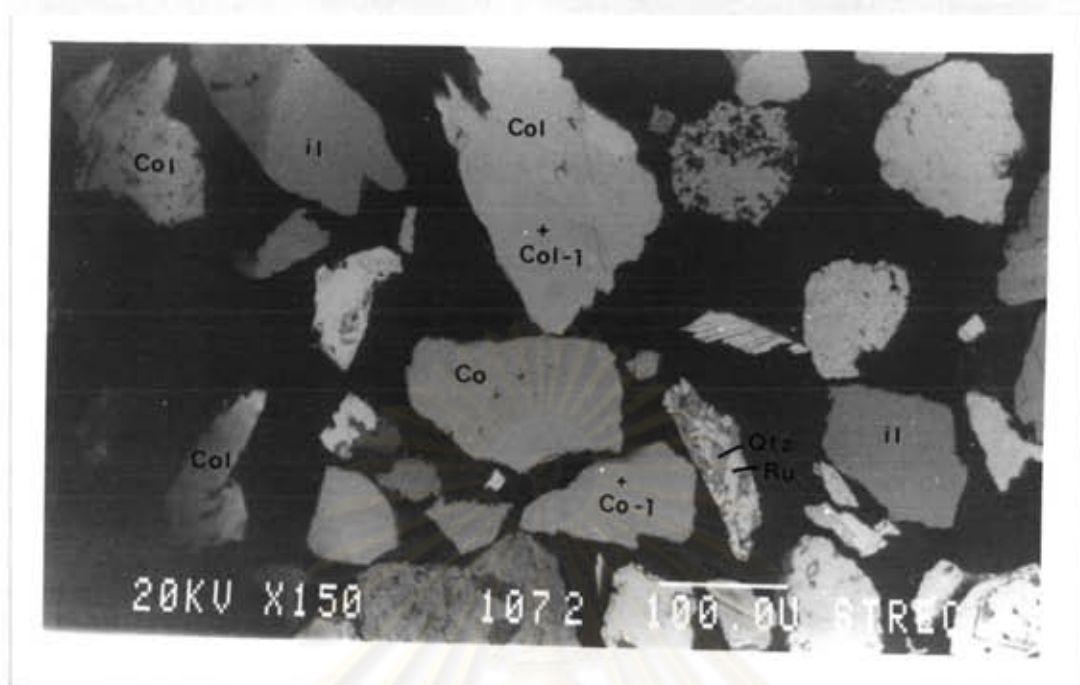
รูปที่ 3.22 คัลไซต์ (Cas) รูไทล์ (Ru) ในควอตซ์ (Qtz) Cross-nicol (x 32)

3.4 การศึกษาลักษณะ ชนิดและส่วนประกอบทางเคมีของแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning Electron Microscope) หรือ SEM ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอกซ์เรือง โดยวิธี EPMA (Electron Probe Micro-Analysis)

การศึกษาลักษณะ และชนิดของแร่โดย SEM จะใช้ตัวอย่างหัตถ์มัน เช่นเดียวกับที่ใช้ในการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง เนื่องจาก SEM มีกำลังขยายสูงมากจึงทำให้สามารถศึกษารูปร่าง ลักษณะผลึกของแร่ขนาดเล็กที่ไม่สามารถที่จะศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาได้ และเมื่อติดตั้งอุปกรณ์การวิเคราะห์ธาตุร่วมด้วย จะเรียกว่ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนวิเคราะห์ (Analytical Electron Microscope) ซึ่งการวิเคราะห์สามารถกระทำได้ทั้งในแบบวิเคราะห์เฉพาะจุด (Point analysis) และวิเคราะห์ในพื้นที่เล็ก ๆ (Area analysis) และเรียกวิธีการวิเคราะห์นี้ว่า Electron Prope Micro-Analysis (EPMA) (40-43) วิธีการวิเคราะห์อยู่ในภาคผนวก ค ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุ จะทำให้ทราบว่าตัวอย่างมีส่วนประกอบของธาตุอะไรบ้าง และแต่ละธาตุกระจายตัวอยู่อย่างไร เมื่อคำนวณจำนวนอะตอมของธาตุและเปรียบเทียบกับสูตรเคมีของแร่ ก็จะทำให้ทราบชนิดของแร่ได้ แต่ในการวิเคราะห์ธาตุด้วยวิธี EPMA ในครั้งนี้ การคำนวณปริมาณธาตุที่พบ ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ZAF 4 ช่วยในการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุโลหะที่เก็บไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง ดังนั้นข้อมูลที่ได้อาจใช้เป็นข้อมูลในแต่ละจุด ไม่อาจใช้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่แท้จริงได้

3.4.1 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาตัวอย่างที่นำมาวิจัยโดย SEM และ EPMA แร่ที่พบได้แก่ โคลัมไบต์ วุลแฟรมไมต์ คอโรนาโคต์ และฮิลเมไนต์ แสดงลักษณะพื้นผิวภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การกระจายตัวของธาตุไนโอเบียม แทนทาลัม ไทเทเนียม และ แมงกานีส แสดงในรูปที่ 3.23 ถึง รูปที่ 3.27 ตามลำดับ



รูปที่ 3.23 ลักษณะของโคลิมาไบต์ (Col) อิลไมไนต์ (Il) คอร์นาไดต์ (Co) รูไทล์ (Ru) แทรกในควอตซ์ (Qtz) ภายใต้อิเล็กตรอนจลกรรสน์อิเล็กตรอน และจุดที่ทำการวิเคราะห์โดยวิธี EPMA (Col-1 และ Co-1)



รูปที่ 3.24 การกระจายตัวของซิลิคอนของรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.25 การกระจายตัวของธาตุแทนทาลัม ของรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.26 การกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม ของรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.27 การกระจายตัวของธาตุแมงกานีส ของรูปที่ 3.23

จากภาพการกระจายตัวของธาตุไนโอเบียม และแทนทาลัม (รูปที่ 3.24, 3.25) จะพบในบริเวณเดียวกัน คือ บริเวณที่เป็นเม็ดแร่โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ และบริเวณที่มีการกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม (ในรูปที่ 3.26) จะไม่พบการกระจายตัวของธาตุไนโอเบียม และแทนทาลัม ดังนั้นบริเวณเหล่านี้ จึงเป็นเม็ดแร่โอลิเมนไนต์ ส่วนบริเวณที่มีการกระจายตัวของธาตุแมงกานีส (รูปที่ 3.27) นั้นจะเป็นคอโรนาโคไซด์

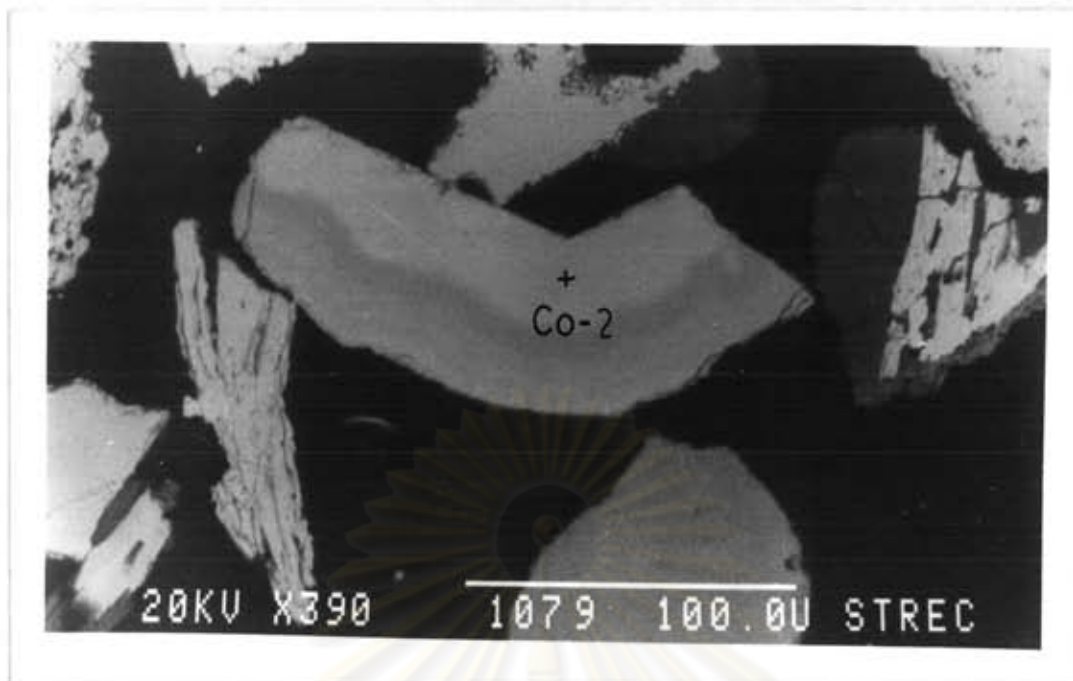
ผลการวิเคราะห์โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ ของจุด Col-1 (ในรูปที่ 3.23) เกี่ยวกับผลวิเคราะห์ของโคลัมไบต์ จากแหล่งต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 3.3 จะเห็นว่าโคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ ที่นำมาวิจัย เป็นโคลัมไบต์

ตารางที่ 3.3 ผลวิเคราะห์จุด Col-1 ในรูปที่ 3.23 ของโคลัมไบต์-แทนทาไลต์ ในตัวอย่างที่นำมาวิจัย เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โคลัมไบต์ จากแหล่งอื่น ๆ (15)

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

ออกไซด์	เซย์.คาโกต้า	ชุกันดา	ไนจีเรีย	จุด Col-1
Nb_2O_5	54.09	55.14	64.33	66.00
Ta_2O_5	18.20	12.90	5.24	12.78
FeO	11.21	10.59	19.14	4.85
MnO	7.07	8.31	2.18	14.83
TiO_2	-	11.67	3.85	2.24
SnO_2	0.10	0.20	3.85	-
รวม	90.67	98.63	98.59	99.98

ผลการวิเคราะห์ ที่จุด Co-1 ของคอโรนาไลต์ (รูปที่ 3.23) และจุด Co-2 (รูปที่ 3.28) เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์คอโรนาไลต์ จากแหล่งอื่นๆ (ตารางที่ 3.4) จะเห็นว่า คอโรนาไลต์ ในตัวอย่างที่นำมาวิจัย มีปริมาณของแมงกานีสออกไซด์ และปริมาณของตะกั่วออกไซด์ ใกล้เคียงกับคอโรนาไลต์ จากแหล่งอื่นๆ แต่มีปริมาณทังสติกออกไซด์ ประมาณ 4-5 %



รูปที่ 3.28 ลักษณะคอโรนาโดต์ และจุดที่ทำการวิเคราะห์ (Co-2) ภายใต้อิเล็กตรอน

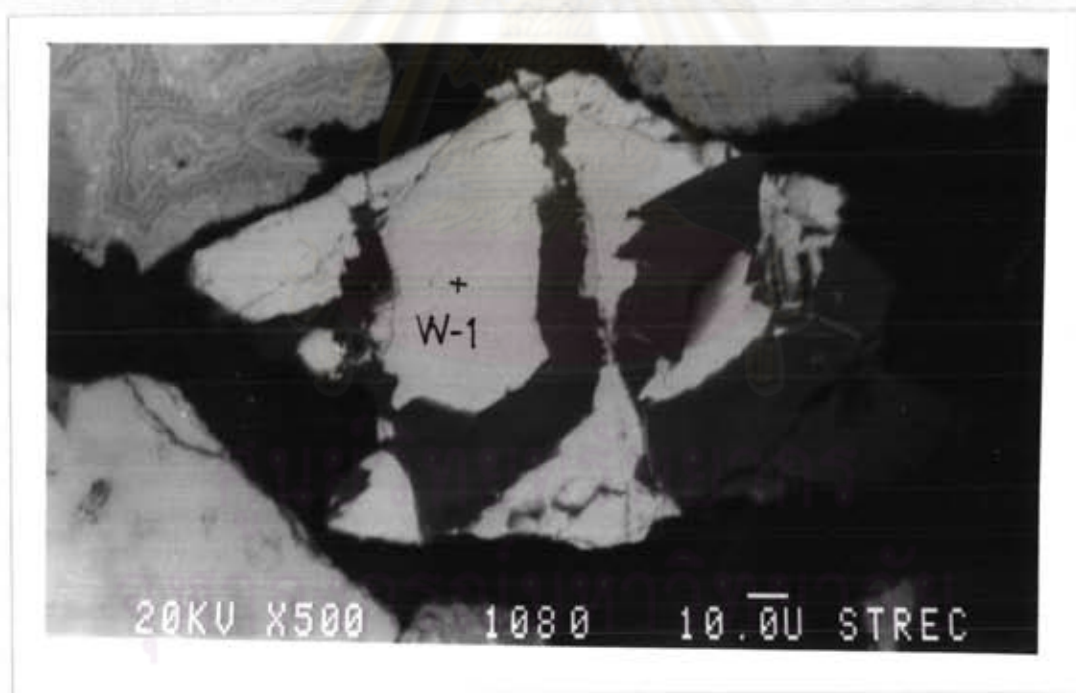
ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ของคอโรนาโดต์ ที่จุด Co-1 (รูปที่ 3.23) และ จุด Co-2 (รูปที่ 3.28) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ คอโรนาโดต์ จากแหล่งอื่นๆ (6)

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

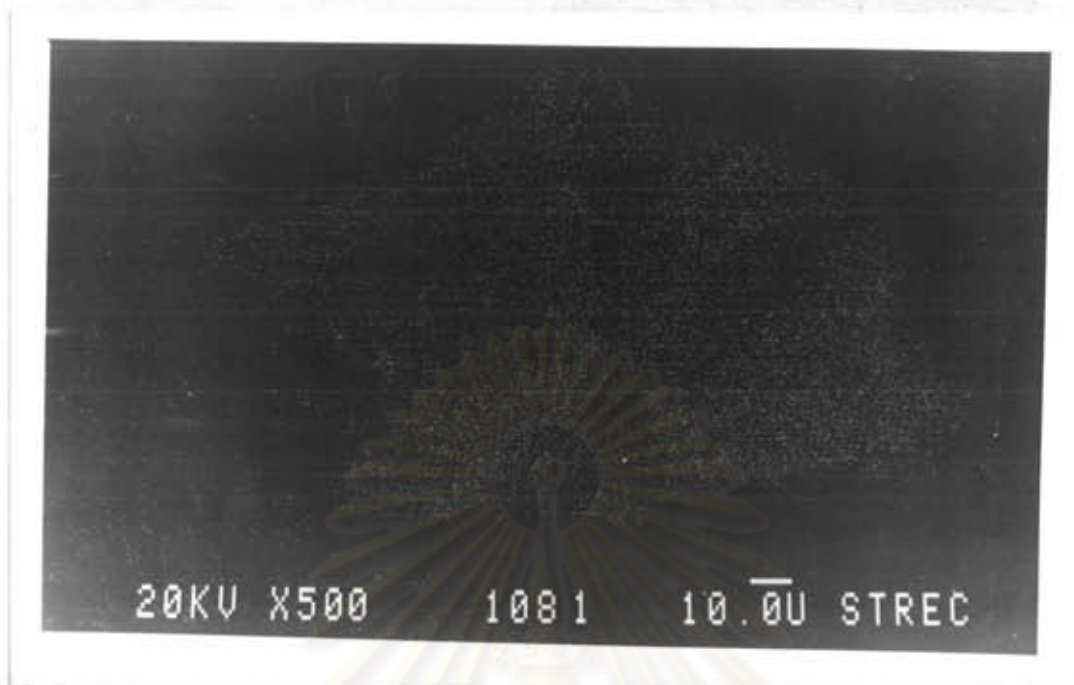
ออกไซด์	$MnPbMn_6O_{14}$	อริโซนา	โมร็อกโก	จุด Co-1	จุด Co-2
PbO	27.37	28.66	28.68	17.34	25.26
MnO	8.69	7.12	8.02	68.96	62.80
MnO_2	63.94	60.8	59.60	-	-
Fe_2O_3	-	1.10	0.60	4.68	3.75
Al_2O_3	-	0.68	0.10	-	-
CuO	-	0.05	0.14	-	-
WO_3	-	-	-	5.81	4.91
รวม	100.00	98.41	97.14	95.79	96.72

* ผลวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีส คำนวณอยู่ในรูปของ MnO ทั้งหมด

ลักษณะวุลแฟรมไนด์ คามควออร์คซ์ (รูปที่ 3.29) การกระจายตัวของธาตุ
ทังสเตน (รูปที่ 3.30) ผลการวิเคราะห์วุลแฟรมไนด์ ที่จุด W-1 ของรูปที่ 3.29 เปรียบเทียบ
กับผลวิเคราะห์ของวุลแฟรมไนด์จากแหล่งอื่นๆ ในตารางที่ 3.5 จะเห็นว่าวุลแฟรมไนด์ ใน
ตัวอย่างที่ทำการวิจัย มีปริมาณ WO_3 น้อยกว่า แหล่งอื่นๆ แต่มีปริมาณ Nb_2O_5 และ Ta_2O_5
มากกว่า



รูปที่ 3.29 ลักษณะวุลแฟรมไนด์ และจุดที่ทำการวิเคราะห์ (W-1) ภายใต้อิเล็กตรอน
จุลทรรศน์อิเล็กตรอน



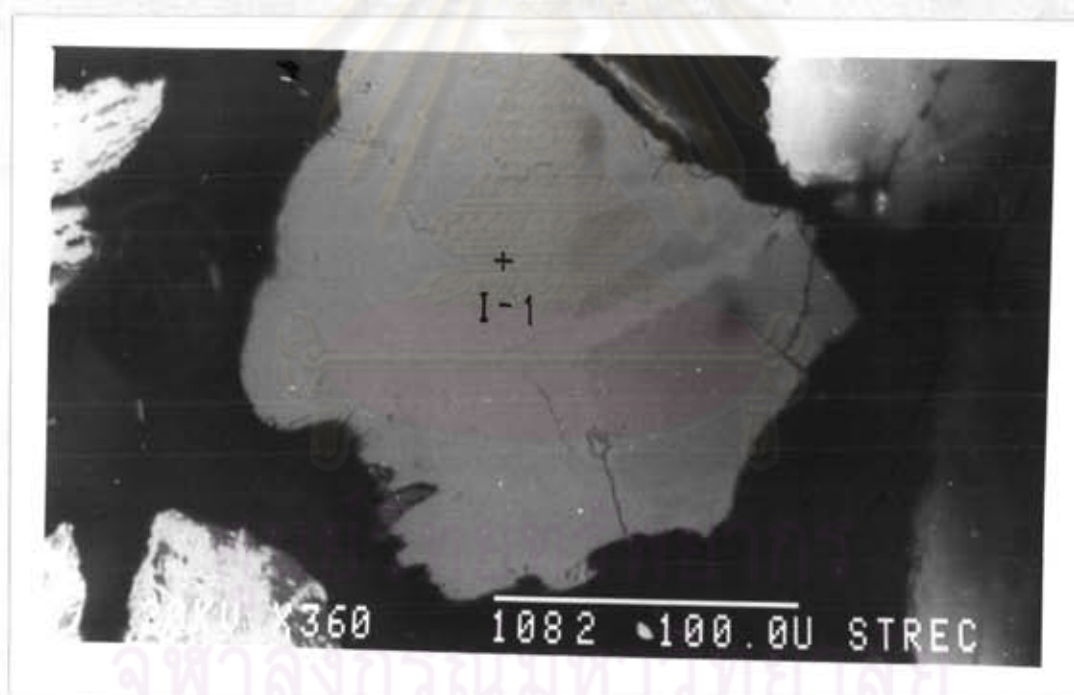
รูปที่ 3.30 การกระจายของคาร์บอนดำในรูปที่ 3.29

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์จุด W-1 ของวูลแฟรมไครต์ ในรูปที่ 3.29 เปรียบเทียบกับ
ผลการวิเคราะห์วูลแฟรมไครต์ จากแหล่งอื่น ๆ (29)

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

	โปรตุเกส	อังกฤษ	จุด W-1
Fe_2O_3	5.92	10.81	6.76
MnO	20.29	12.55	15.58
WO_3	74.78	74.84	64.10
TiO_2	-	-	0.04
Nb_2O_5	-	0.26	2.72
Ta_2O_5	-	0.26	8.62
รวม	100.79	100.72	97.82

ลักษณะของอิลเมนิต์ (รูปที่ 3.31) และการกระจายของฮาตุโทเทเนียม (รูปที่ 3.32) จากผลการวิเคราะห์ ของอิลเมนิต์ ที่จุด I-1 (รูปที่ 3.31) เปรียบเทียบกับผลวิเคราะห์ ของอิลเมนิต์จากแหล่งต่าง ๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.6 จะเห็นว่า อิลเมนิต์ ในตัวอย่างที่ทำการวิจัย มีปริมาณ TiO_2 ค่อนข้างสูง Fe_2O_3 ค่อนข้างต่ำ และผลรวมของออกไซด์ มีค่าต่ำ อาจเนื่องมาจากมีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโครงสร้างของอิลเมนิต์ แสดงว่าอิลเมนิต์ในตัวอย่างนี้ เป็น Altered ilmenite



รูปที่ 3.31 ลักษณะอิลเมนิต์ และจุดที่ทำการวิเคราะห์ (I-1) ภายใต้อิเล็กตรอนจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



รูปที่ 3.32 การกระจายตัวของธาตุไทเทเนียม ในรูปที่ 3.31

ตารางที่ 3.6 ผลการวิเคราะห์ ที่จุด I-1 ของอิลเมไนต์ (รูปที่ 3.31) เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของอิลเมไนต์ จากแหล่งอื่น ๆ (44)

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

	ภูเก็ต	จุด I-1
Fe_2O_3	43.53	34.92
MnO	3.73	2.74
WO_3	1.06	0.12
TiO_2	50.95	54.28
Nb_2O_5	0.32	0.91
Ta_2O_5	0.31	0.37
รวม	99.9	93.34

3.5 การศึกษานิตแร่โดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน (X-ray diffraction) หรือ XRD

การวิเคราะห์นิตแร่ โดยวิธี XRD (45,46) อาศัยคุณสมบัติทางผลึกของแร่ คือ หน้าผลึกของแร่จะมีลักษณะเป็นระนาบ (Plane) ที่มีขนาดเล็กและขนานกันเป็นจำนวนมาก และระยะห่างระหว่างระนาบ เรียกว่าค่า d-spacing ซึ่งค่า d-spacing ของแต่ละหน้าผลึกจะมีค่าคงที่ และเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของแร่แต่ละชนิด ดังนั้นเมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบบนระนาบเหล่านี้จะเกิดการเลี้ยวเบนของรังสี ซึ่งเป็นไปตามกฎของแบรกก (Bragg) คือ

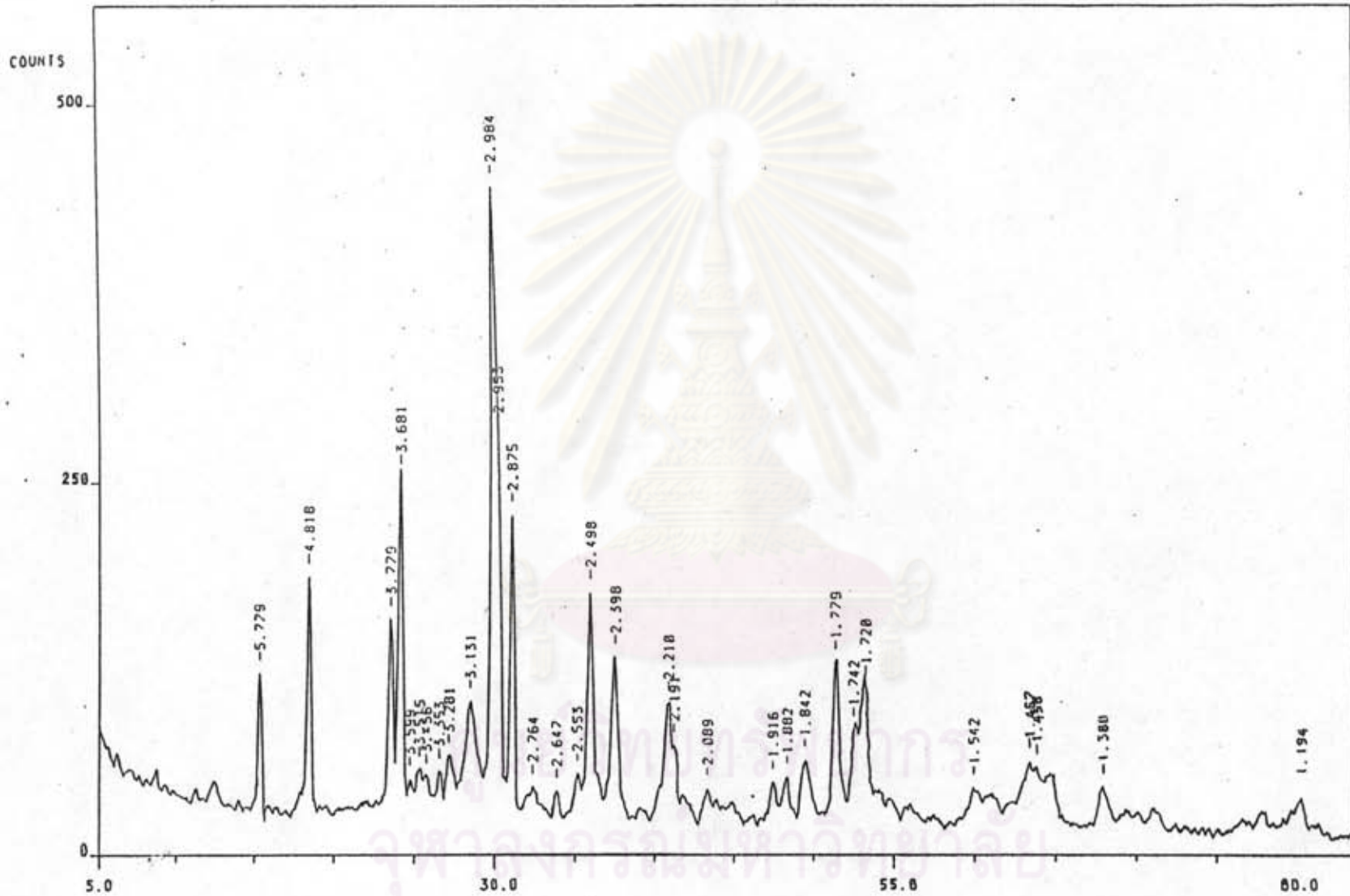
$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

โดยที่	λ	=	ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
	d	=	ค่า d-spacing
	θ	=	Refraction angle

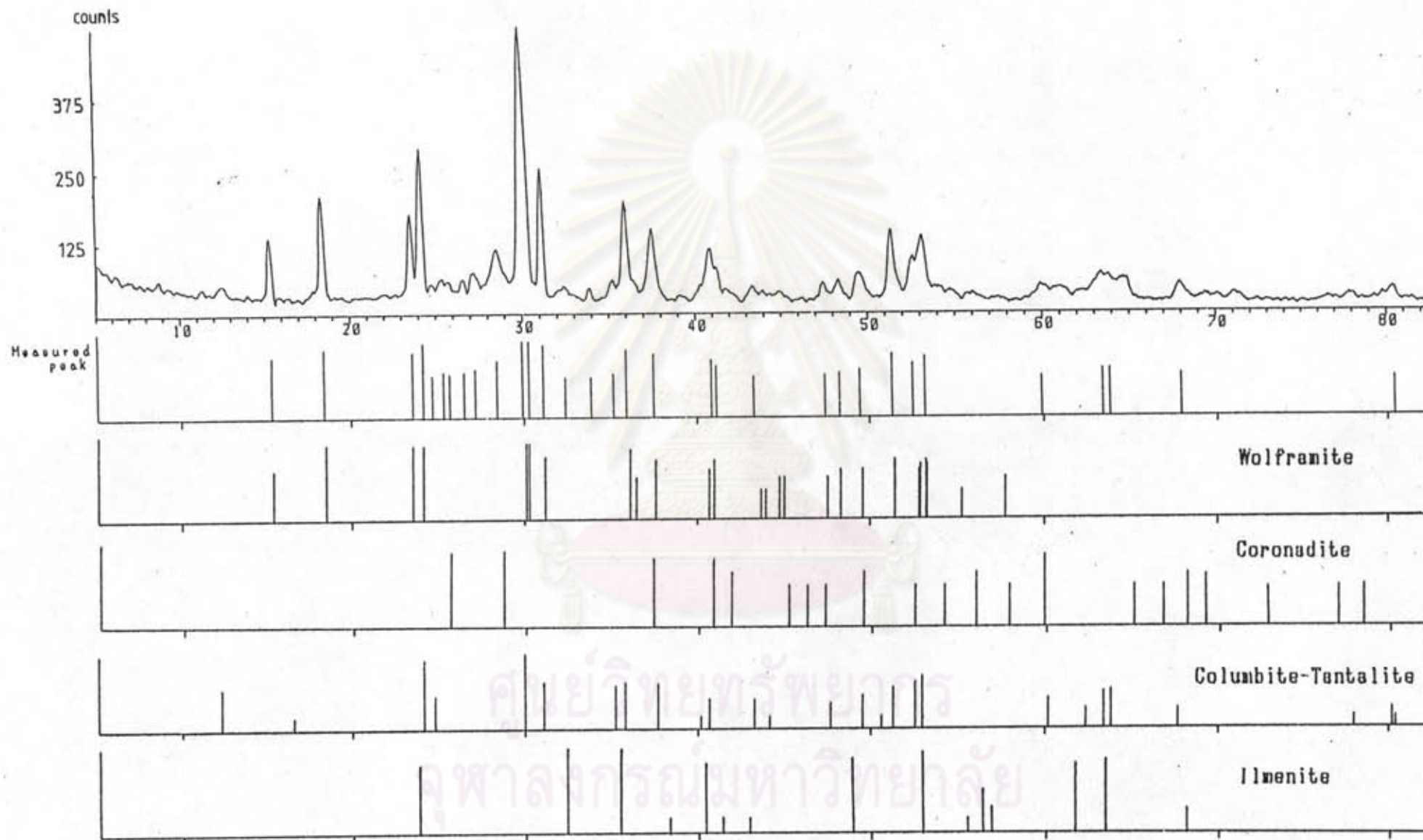
ในเครื่อง XRD จะใช้ตัววัดรังสี (Detector) รับรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนออกมา โดยแสดงผลออกมาเป็นความเข้มของการนับ (Count) หรือ นีค (Peak) การแปลความหมายของนีค มุม 2θ และค่า d-spacing สามารถกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าดังกล่าวจากตารางของ JCPDS หรือประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเปรียบเทียบเพื่อการจำแนกนิตแร่ (47,48) (วิธีการศึกษาแร่โดย XRD อยู่ในภาคผนวก ง)

3.5.1 ผลการศึกษาแร่ตัวอย่างโดย XRD

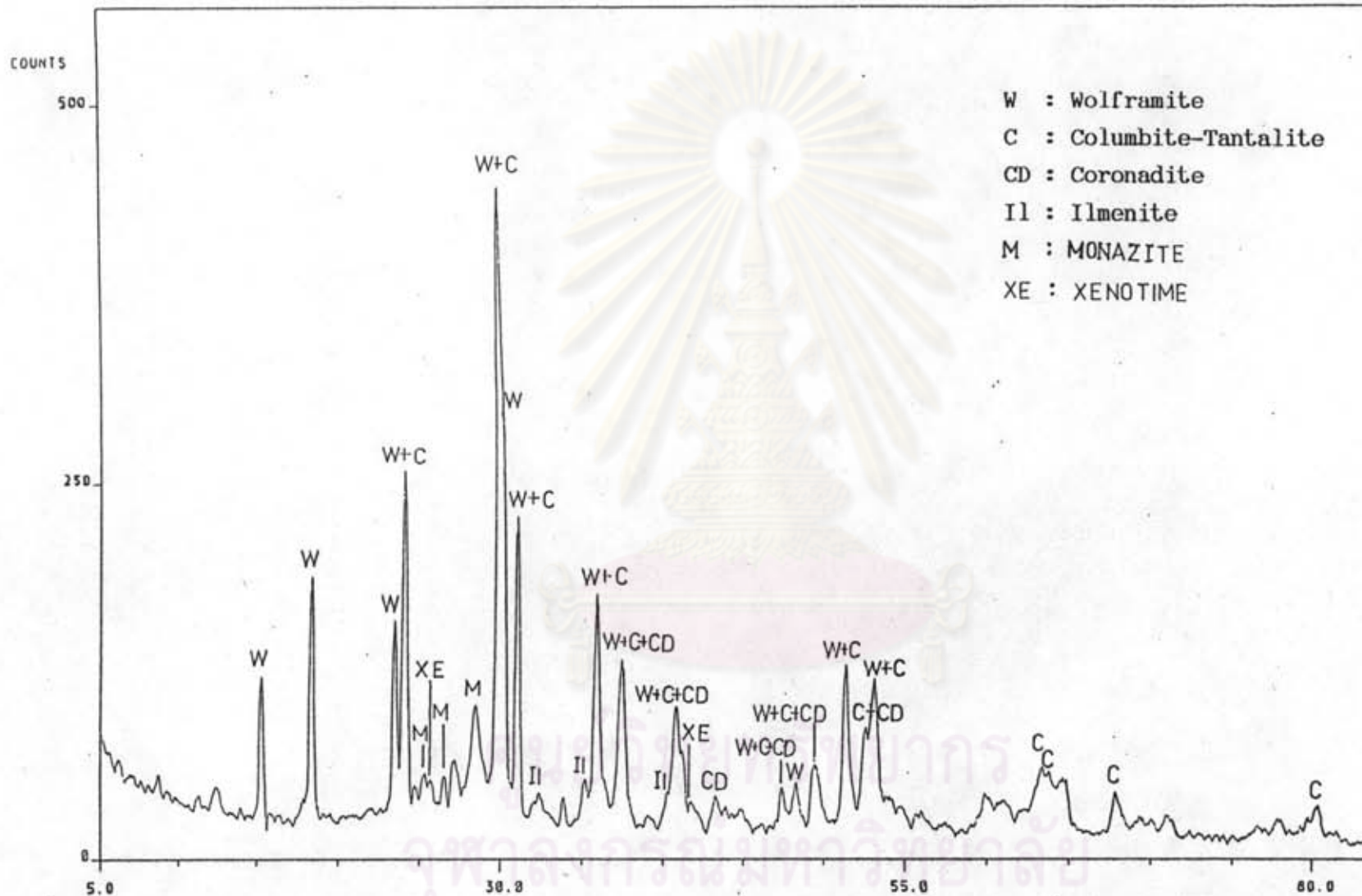
ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของนีค มุม 2θ และค่า d-spacing แสดงอยู่ในรูปที่ 3.33 การแปลความหมายโดยการเปรียบเทียบนีค (Search match) โดยวิธีทางคอมพิวเตอร์ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.34 และการตรวจสอบค่ามุม 2θ จากตาราง JCPDS แสดงในรูปที่ 3.35 ในการแปลความหมายครั้งนี้ได้อาศัยผลการศึกษานิตแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง และ SEM ร่วมด้วย จากผลการวิเคราะห์พบ ว่าตัวอย่างแร่ที่นำมาวิจัยประกอบด้วย วุลแฟรมไมต์ โคลัมไบต์ - แทนทาลไซด์ คอโรนาไซด์ อิลเมนไนต์ โมนาไซต์ และซีโนไทม์



รูปที่ 3.33 ผลการวัด (Measurement) และค่า d-spacing โดยรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน
ของตัวอย่างที่นำมาวิจัย



รูปที่ 3.34 ผลการจำแนกชนิดแร่ ของตัวอย่างที่นำมาวิจัย โดยวิธีเปรียบเทียบระบบของเม็ด
 (Search match) กับรูปแบบเม็ดในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ JDX



รูปที่ 3.35 ผลการจำแนกชนิดแร่ ของตัวอย่างที่นำมาวิจัยโดยการตรวจสอบค่ามุม 2θ จากตาราง JCPDS

3.6 ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่นำมาวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่า ตัวอย่างที่นำมาวิจัยประกอบด้วยธาตุอะไรบ้าง และมีผลต่อวิธีการชะละลายหรือไม่อย่างไร เพื่อจะได้วางแผนและปรับปรุงวิธีการชะละลายให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด ในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีครั้งนี้ ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

(Wet analysis) สำหรับส่วนประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , WO_3 , FeO , MnO , TiO_2 และ PbO (ภาคผนวก ง ถึงภาคผนวก ญ ตามลำดับ) สำหรับส่วนประกอบย่อย ได้แก่ SnO_2 , SiO_2 และ ZrO_2 ได้ทำการวิเคราะห์โดย XRF (ภาคผนวก ง)

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่นำมาวิจัยมีดังนี้

Nb_2O_5	6.60 %
Ta_2O_5	4.36 %
WO_3	14.02 %
Fe_2O_3	12.15 %
MnO	18.75 %
TiO_2	14.42 %
PbO	4.55 %
SnO_2	1.85 %
SiO_2	5.40 %
ZrO_2	0.18 %

3.7 สรุปผลและข้อคิดเห็นในการศึกษาแร่วิทชา

เนื่องจากตัวอย่างที่นำมาวิจัยนี้เป็นตัวอย่างที่ผ่านการแต่งแร่มาแล้ว จึงทำให้ไม่สามารถทราบส่วนประกอบทางแร่ทั้งหมด ดังนั้นในการศึกษาทางแร่วิทชา จะศึกษาเฉพาะ ชนิด ปริมาณ และลักษณะแร่ที่พบเท่านั้น ส่วนการเกิดของแร่จะกล่าวถึงนอสังเขป

จากการศึกษาการกระจายตัวของขนาดของแร่ แสดงในตารางที่ 3.1 และ ตารางที่ 3.2 พบว่า แร่มีขนาดเล็ก และการกระจายตัวของโคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ และ วุลแฟรมไต์ มีปริมาณมากอยู่ในช่วงขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 100 ไมครอน

จากการศึกษานิวตรอนของแร่ โดยอาศัยการศึกษาหลายวิธีร่วมกัน ได้แก่ การศึกษาภายใต้กล้องขยายสองตา ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบสะท้อนแสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ สแกนนิ่ง ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุแบบ EPMA ตลอดจนการศึกษาโดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน สรุปได้ว่า ตัวอย่างที่นำมาวิจัยประกอบด้วย โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ วุลแฟรมไต์ อิลเมนไต์ และคอโรนาโดต์ เป็นส่วนใหญ่ และส่วนน้อยได้แก่ ดีบุก ควออตซ์ เซอร์คอน รูไทล์ และ ไพไรต์

ปัญหาในการศึกษานิวตรอนแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าผลการวิเคราะห์ จากวิธี EPMA นั้น ได้ค่าผลการวิเคราะห์ยังไม่แน่นอน เนื่องจากว่าไม่มีตัวอย่างมาตรฐานที่จะให้ค่าปริมาณธาตุที่แน่นอน ดังนั้นจึงใช้ผลการวิเคราะห์ที่ได้เทียบเคียงกับผลการวิเคราะห์ ของแร่จากแหล่งอื่น ๆ ที่ทราบค่าผลการวิเคราะห์แน่นอนแล้ว ร่วมกับการศึกษาภาพการ กระจายตัวของธาตุต่าง ๆ ของเม็ดแร่ เพื่อช่วยในการบ่งบอกรูปแบบ

โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์ จากผลการวิเคราะห์โดยวิธี EPMA ในตารางที่ 3.3 เมื่อเทียบเคียงกับผลการวิเคราะห์ของโคลัมไบต์จากแหล่งอื่น ๆ แล้ว น่าจะเป็น โคลัมไบต์ แต่ในที่นี้จะเรียกเป็นโคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์

คอโรนาโดต์ เป็นแร่ตะกั่ว-แมงกานีส มีสูตรเคมี $PbMn_7O_{14}$ การบ่งบอกรูปแบบ แร่ได้อาศัยหลักฐานการศึกษาจากผลการศึกษาลักษณะทางนิสสิกส์ของแร่ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แบบสะท้อนแสง การศึกษาโดยวิธีรังสีเอกซ์เลี้ยวเบน จากผลการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน และการวิเคราะห์ธาตุแบบ EPMA โดยเทียบเคียงกับผลการวิเคราะห์ของ คอโรนาโดต์ ของแหล่งอื่น ๆ แสดงในตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของคอโรนาโดต์ นอก จากธาตุตะกั่ว และแมงกานีส แล้วยังมีธาตุเหล็ก และทังสแตนเกิดร่วมด้วย ซึ่งอาจเป็น

สาเหตุที่ทำให้แร่รัตนดีมแม่เหล็กปานกลางจึงอยู่ร่วมกับส่วนของวุลแฟรมไคต์ และโคลัมไบต์ - แทนทาลิต์

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ โดยวิธีการนับเม็ด (Grain counting) ภายใต้อุปกรณ์ขยายสองตา ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

โคลัมไบต์-แทนทาลิต์	26.3 %
วุลแฟรมไคต์	28.0 %
อิลเมไนต์	20.4 %
คอโรนาโดต์	14.7 %
โมนาไซต์-ซีโนไทม์	0.9 %
ควอตซ์	3.9 %
ควอตซ์คาบวุลแฟรมไคต์	2.0 %
คัลชิต	1.4 %
เซอร์คอน	0.4 %

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของตัวอย่างที่นำมาวิจัย โดยวิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และวิธีวิเคราะห์โดย XRF ผลการวิเคราะห์มีดังนี้

Nb_2O_5	6.60 %
Ta_2O_5	4.36 %
WO_3	14.02 %
Fe_2O_3	12.5 %
MnO	18.75 %
TiO_2	14.42 %
PbO	4.55 %
SnO_2	1.65 %
SiO_2	5.40 %
ZrO_2	0.18 %

จากการศึกษาพบว่าตัวอย่างที่นำมาวิจัยประกอบด้วยแร่ต่าง ๆ ได้แก่ ดิบุก
 วุลแฟรไมต์ ควออร์ตซ์ และแร่ที่มีส่วนประกอบเป็นแมงกานีส คือ คอโรนาโดต์ เกิดร่วมด้วย
 แสดงว่าการเกิดของแหล่งแร่ดิบุกปฐมภูมิ น่าจะเป็นแบบสายเพกมาไทต์ แบบ Late stage
 หรือเกิดอยู่ในสายควออร์ตซ์ เนื่องจากมีวุลแฟรไมต์เกิดร่วมด้วย และเป็นแหล่งแร่ที่มีแมงกานีส
 สูง ซึ่งเป็นแบบที่พบโดยทั่วไปของการเกิดแหล่งแร่ดิบุกทางภาคใต้
 (49, 50)

จากการศึกษาการแยกแร่ด้วยเครื่องแยกแม่เหล็กไฟฟ้า โดยปรับกระแสไฟฟ้าที่
 0.4, 0.5 และ 0.6 แอมแปร์ และตรวจสอบผลที่ได้โดยกล้องขยายส่องดูพบว่า มี ควออร์ตซ์
 เซอร์คอน และดิบุกปะปนมาในตัวอย่างทุกส่วนอาจเป็นไปได้ว่า เนื่องจากตัวอย่างแร่มีขนาด
 เล็ก ขบวนการแยกแร่โดยเครื่องแยกแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถแยกแร่ให้สะอาดได้ และ
 ควออร์ตซ์มักมีวุลแฟรไมต์แทรกอยู่ด้วย หรือมีคราบสินแร่เหล็กเกาะอยู่ตามผิวเม็ดแร่ทำให้
 สามารถดูดติดแม่เหล็กได้ ส่วนวุลแฟรไมต์ โคลัมโบต์-แทนทาลอต์ และอิลเมนไนต์ นั้นมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กใกล้เคียงกัน ไม่สามารถแยกออกจากกันได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย