บทที่ 4

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในการแต่งแร่แมงกานีส

การแต่งแร่แมงกานีสเพื่อกำจัดแร่มลทิน

จากการศึกษาทางแร่วิทยาของแหล่งแร่แมงกานีสที่ผ่านมา จะเห็นว่าแร่มลทินที่เกิดร่วมกับแมงกานีส จะเป็นดวอทซ์และแร่เหล็กประเภทแมกนีไทต์หรือจาคอบไซต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งกรรมวิธีขั้นตอนในการแต่งแร่แมงกานีสในประเทศไทย อาจแบ่งออกได้เป็น แบบแรกคือแร่ก้อนโดยมักพบเป็นแร่แมงกานีสก้อนขนาดใหญ่ (>5/8 นิ้ว) และมีมลทินเจือปนอยู่น้อย มักใช้การคัดเลือกด้วยมือเป็นหลัก โดยอาศัยการดูลักษณะทางกายภาพของแร่ คือเป็นแร่ก้อนเนื้อแน่นสีดำมีความแข็งพอสมควร มีน้ำหนัก และให้สีผงละเอียดเป็น สีน้ำตาล-ดำ ขั้นตอนแรกจะทำการล้างด้วยการขัดถูกันภายในเครื่องผสมปูน เพื่อให้เหล็กและดินที่เคลือบผิวแร่ หลุดออกไปกับน้ำ ซึ่งมีการใช้ครั้งแรกในแหล่งเทพนิธิของคุณทวน ดำรงมณี (4) และได้ใช้ในแหล่งอื่นๆต่อไปด้วย ส่วนแบบที่ 2 เป็นแร่ขนาดเล็ก หรือที่มีมลทินเจือปนอยู่มาก ในอดีตก็มักจะกองทิ้งไว้ แต่ต่อมาก็ได้มีการทดลองแต่งแร่แมงกานีสขนาดเล็กนี้ออกจากมลทิน โดยอาศัยการแต่งแร่ด้วยความถ่วงจำเพาะเช่น จิ๊ก โต๊ะสั่นแยกแร่(9)(12)(13)(14)(15)(16) และคุณสมบัติทางแม่เหล็ก(6)(7)(8)(10)(17)(18) ซึ่งจากการทดลองที่ผ่านมา อาจแยกแร่มลทินออกมาได้โดยใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบความเข้มต่ำแต่ไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร เนื่องจากขาดข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของแร่ในแหล่งว่า ควรใช้ความเข้มแม่เหล็กขนาดใดแยกแร่ประเภทใดออกมา แต่ก็ได้มีการหาความสัมพันธ์ของ คุณสมบัติทางแม่เหล็ก กับ ความถ่วงจำเพาะ และปริมาณ MnO_2 ในแร่(7) พบว่าแร่ที่ติดแม่เหล็กโดยใช้เครื่องแยกแร่แบบสายพานขวาง(Humbolt Cross Belt Type) จะมี $\%MnO_2$ อยู่สูง โดยมีปริมาณเหล็กต่ำ และมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงด้วย ประมาณ 3.88 นอกจากนี้ยังมีการทดลองในวิธีอื่นอีก เช่น การลอยแร่ (16)(17)(18)(101) และ การแต่งด้วยเครื่องแยกแร่แบบไฟฟ้าสถิตแรงสูง (19)

ในการศึกษาการแต่งแร่แมงกานีสที่ผ่านมานั้น มักจะเน้นที่การเพิ่ม %ของ MnO_2 ในแร่เช่นเดียวกับในแร่ชนิดอื่น โดยขาดการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเบื้องต้นที่สำคัญ คือลักษณะทางแร่วิทยา และคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉายควบคู่ไปด้วย จึงทำให้การทดลองมักไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจนัก เพราะแร่แมงกานีสเกรดแบตเตอรี่นั้น จะมีคุณสมบัติที่สำคัญ ซึ่งในการซื้อขายจะให้ความสนใจมากก็คือ คุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย ดังนั้น การแต่งแร่เพื่อให้ได้ผลดีขึ้นจึงควรทราบถึง ชนิดเฟสของแร่แมงกานีสที่เกิดอยู่ในแหล่งนั้นว่า มีเฟสที่จัดเป็นแร่เกรดแบตเตอรี่หรือ

ไม่จำนวนมากน้อยเพียงใดเพื่อการศึกษาทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการแต่งแร่ โดยเฉพาะการแต่งแร่ทางแม่เหล็ก การใช้ความเข้มแม่เหล็กที่เหมือนกันในแร่ต่างแหล่งอาจได้ผลต่างกัน เนื่องจากแร่แมงกานีสต่างเฟสก็อาจมีคุณสมบัติทางแม่เหล็กใกล้เคียงกัน

การศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็ก

ในการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพครั้งนี้ ใช้ตัวอย่างแร่จากแหล่ง HM, HT และ PK โดยนำแต่ละตัวอย่างมาศึกษา นำมาบดด้วย เครื่องบดแร่แบบจอว์ครัชเชอร์ (Jaw Crusher) ขนาดเล็ก แล้วทำการคัดขนาด แร่ในช่วงขนาดที่เหมาะสม จะนำมาศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็ก โดยการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า

การแต่งแร่แมงกานีสด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า มีการทดลองใช้กันอย่างได้ผลมาแล้ว เนื่องจากแร่มลทินที่เกิดร่วมส่วนใหญ่ เป็นพวกควอทซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ติดแม่เหล็ก และมลทินที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง ประเภทเหล็กออกไซด์ ในขณะที่แร่แมงกานีส จะมีคุณสมบัติติดแม่เหล็กอย่างอ่อน แต่เนื่องจากแร่แมงกานีสจะเกิดอยู่ในหลายรูปแบบ ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 4.1 โดยแต่ละเฟสจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติในการทำก่านไฟฉาย และส่วนประกอบทางเคมีของแร่แมงกานีสแต่ละชนิด ดังนั้น จุดประสงค์ของการทดลองแต่งแร่แมงกานีสครั้งนี้ก็เพื่อการศึกษาเฟสของแร่แมงกานีสที่ติดแม่เหล็กต่างกัน และแร่มลทินอื่นๆ

ตารางที่ 4.1 ค่าความซึมแม่เหล็ก (Magnetic Susceptibility) ของแร่แมงกานีสต่างๆ (96)(97)

แร่	หน่วย x 10 cgs
ไพโรลูไซด์	25-36
เอนซูไซด์	33
คริปโตมีเลน	34-59
โคโรนาไลด์	23
ไซโลมีเลน	13-65
ลิธิโอไฟไลด์	56-57
แมงกาไนไรด์	62-76
แมงกาไนด์	28-50
เกราไซด์	38
ไพโรครอยด์	151
เวอร์นาไลด์	34-47
ซิกซ์ซิไอด์	48
บราวไนด์	65-240
เฮาส์แมนไนด์	44-60
วาด	75-85
แฟรงคลิไนด์	197-400
ซาลโคฟาไนด์	32
โรโดโครไซด์	101-205
โรโดไนด์	10-24
เพฟฟรอยด์	98
ดาลูซี่	10

ในการทดลองแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้าอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การแยกแร่แบบความชันแม่เหล็กสูง (High Gradient Magnetic Separation) โดยใช้ตะแกรงลวด (Matrix) หรือแท่งเหล็ก ซึ่งถูกเหนี่ยวนำให้มีอำนาจแม่เหล็ก เป็นตัวจับแร่ติดแม่เหล็กเอาไว้ แยกออกมาจากส่วนที่ไม่ติดแม่เหล็ก และการแยกแบบความชันแม่เหล็กเปิด (Open Gradient Magnetic Separation) โดยแร่จะถูกเบี่ยงเบนการเคลื่อนที่ ในขณะที่ผ่านสนามแม่เหล็ก ทำให้สามารถแยกแร่ที่ติดแม่เหล็กและไม่ติดแม่เหล็กออกจากกันได้ ในการทดลองครั้งนี้ จะศึกษาการแยก ในแบบความชันแม่เหล็กเปิด โดยใช้เครื่องแยกแม่เหล็กแบบฟรานซ์ไอโซไดนามิค (Frantz Isodynamic Separation) ซึ่ง สามารถแยกตัวอย่างแร่ได้ละเอียด ที่อำนาจความเข้มแม่เหล็กต่างๆ กันไป เพื่อหาความเข้มของแม่เหล็กที่เหมาะสม จากนั้น จึงนำไปปรับใช้กับ เครื่องแยกแม่เหล็กแบบสายพานขวาง (Cross-Belt Magnetic Separation) เพื่อให้สามารถแยกแร่ออกมาได้มากเช่นเดียวกับในโรงแต่งแร่

ตัวอย่างแร่ที่ได้จากการบดทั้ง 3 แหล่งที่ช่วงขนาด -70+100 เมช นำมาทดลองแยกเป็นส่วนๆ เริ่มจากการใช้แม่เหล็กถาวร (Bar Magnet) ความเข้ม 500 เกาส์ ดูดเอาส่วนที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง แยกออกมาก่อน (HMag.) จากนั้นนำส่วนที่เหลือ ไปเข้าเครื่องฟรานซ์ไอโซไดนามิค เริ่มจากที่ความเข้มแม่เหล็กน้อย โดยใช้กระแสไฟต่ำ ที่ 0.3 แอมแปร์ แยกเอาส่วนที่ติดแม่เหล็กมาชั่งน้ำหนัก ส่วนที่เหลือก็นำมาผ่านเครื่องแยกซ้ำอีก โดยใช้กระแสไฟสูงขึ้น เป็น 0.5, 0.7, 0.9, 1.2 และ 1.5 แอมแปร์ ซ้ำกันไปตามลำดับ และได้ทดลองแยกตัวอย่างสารประกอบแมงกานีส จากเวนทรอน ได้แก่ β-MnO_2 และ γ-MnO_2 ว่า จะมี ความสามารถติดแม่เหล็กที่ความเข้มขนาดใด ผลการทดลองแสดงใน ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแต่งแร่แมงกานีสด้วยฟรานซ์ไอโซไดนามิค

กระแสไฟต่ำ (แอมแปร์)	% น้ำหนัก				
	HM	HT	PK	r-MnO2	B-MnO2
500 G แม่เหล็กถาวร	2.65	29.93	31.93	-	-
0.3	2.61	1.68	2.74	-	-
0.5	79.89	53.34	42.90	*	*
0.7	3.70	3.04	5.72	-	-
0.9	2.89	2.18	2.26	-	-
1.2	3.14	1.93	2.74	-	-
1.5	2.74	1.90	1.72	-	-
ไม่ติดแม่เหล็ก	2.37	6.01	9.99	-	-

หมายเหตุ : * ติดแม่เหล็กส่วนใหญ่ทั้งหมด

จากการทดลองแต่งแร่ด้วยเครื่องฟรานซ์ไอโซไดนามิค พบว่า แร่แมงกานีสส่วนใหญ่เริ่มดึดแม่เหล็กออกมาเป็นจำนวนมาก ที่ค่า 0.5 แอมแปร์ เมื่อเอาส่วนที่ไม่ดึดแม่เหล็กไปแยกต่อที่กำลังแม่เหล็กมากขึ้น ก็ดึดออกมาเล็กน้อย จึงแบ่งแมงกานีสออกเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. ดึดแม่เหล็กอย่างแรง (HMag.) จะดึดแม่เหล็กถาวร(Bar Magnet) ออกมา
2. ดึดแม่เหล็กปานกลาง (MMag.) จะดึดแม่เหล็กที่ 0.5 แอมแปร์ ของฟรานซ์ฯ
3. ดึดแม่เหล็กอ่อน (LMag.) จะดึดแม่เหล็กที่ 1.5 แอมแปร์ ของฟรานซ์ฯ
4. ไม่ดึดแม่เหล็ก (NonMag.) ไม่ดึดแม่เหล็กที่ 1.5 แอมแปร์ ของฟรานซ์ฯ

นำตัวอย่างที่ได้ในแต่ละส่วน ส่งไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุในเชิงเปรียบเทียบ ด้วย XRF ได้ผลวิเคราะห์ดังแสดงใน ตารางที่ 4.3 โดยเฉพาะตัวอย่างจากแหล่งห้วยเทียน เนื่องดูการกระจายตัวของธาตุทองแดงไปสู่แต่ละส่วน

ตารางที่ 4.3 ผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุในส่วนดึดแม่เหล็กต่างๆ ด้วย XRF

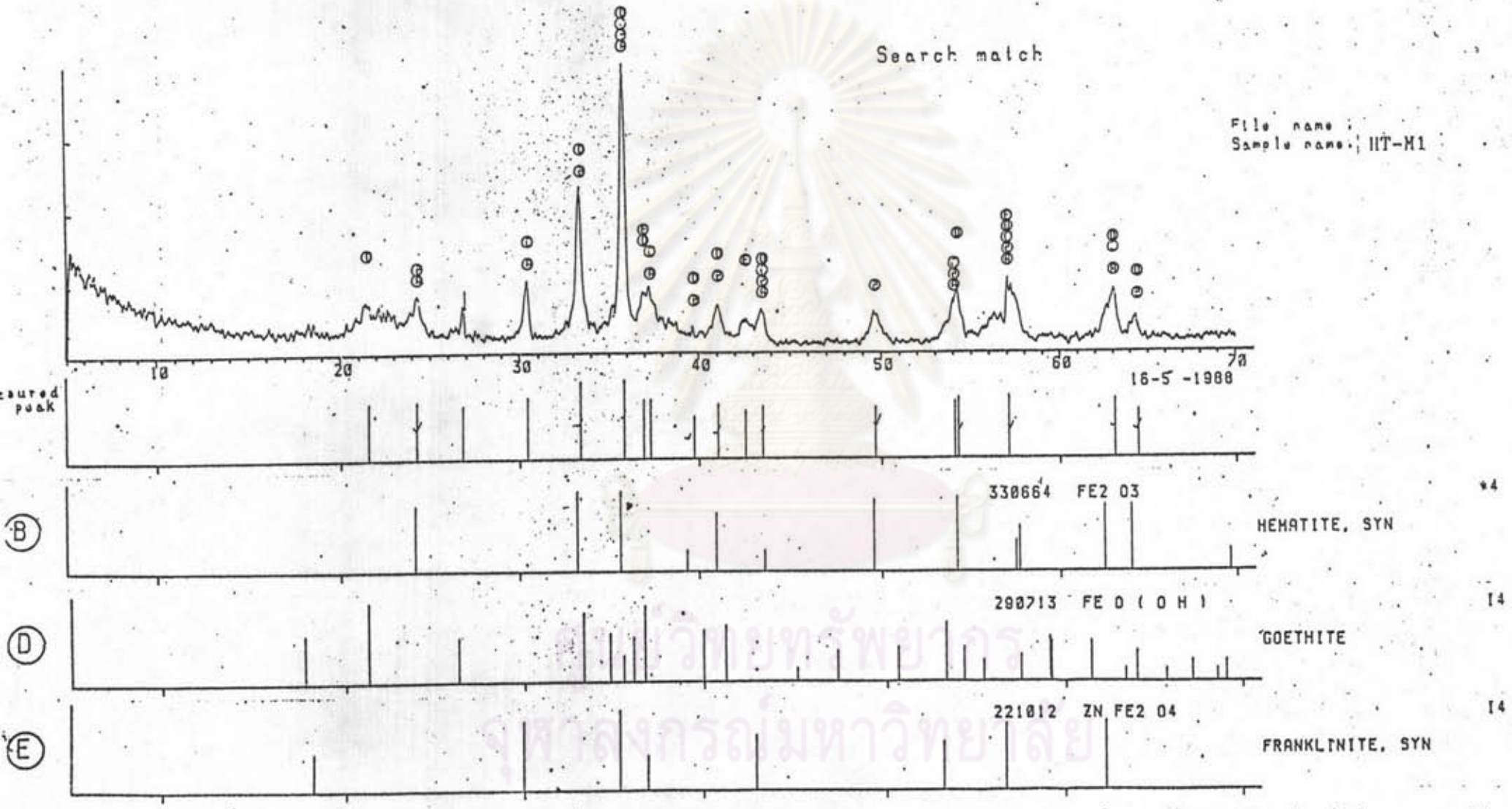
ตัวอย่าง	ธาตุโดยประมาณ		
	Mn	Fe	Cu
แหล่งห้วยม่าง (HM)			
แร่ป้อน (Feed)	58.4	1.0	<0.05
ดึดแม่เหล็กมือถือ (Hmag.)	51.7	10.5	<0.02
ดึดแม่เหล็กที่ 0.5 แอมแปร์	57.8	2.7	<0.03
ไม่ดึดแม่เหล็ก (Nonmag.)	7.6	2.1	<0.01
แหล่งห้วยเทียน (HT)			
แร่ป้อน (Feed)	48.2	13.1	0.18
ดึดแม่เหล็กมือถือ (Hmag.)	34.1	29.8	0.16
ดึดแม่เหล็กที่ 0.3 แอมแปร์	46.9	14.3	0.22
ดึดแม่เหล็กที่ 0.5 แอมแปร์	50.3	11.4	0.21
ดึดแม่เหล็กที่ 0.7 แอมแปร์	51.8	9.2	0.23
ดึดแม่เหล็กที่ 0.9 แอมแปร์	51.1	8.6	0.20
ดึดแม่เหล็กที่ 1.2 แอมแปร์	48.8	9.8	0.21
ดึดแม่เหล็กที่ 1.5 แอมแปร์	47.1	9.6	0.22
ไม่ดึดแม่เหล็ก (Nonmag.)	35.8	7.9	0.21

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในตารางที่ 4.3 พบว่าการกระจายตัวของทองแดงในแหล่งห้วยเทียน มีอยู่ในทุกส่วนของตัวอย่าง แสดงว่า ไม่อาจใช้การแต่งแร่ทางกายภาพเพื่อลดปริมาณทองแดงในแร่ได้ ส่วนการกระจายของแมงกานีสและเหล็ก ก็พบอยู่ในส่วนที่ติดแม่เหล็กทุกส่วน แสดงว่า ความสามารถในการติดแม่เหล็กปานกลางของแร่แมงกานีส ไม่ขึ้นกับปริมาณของธาตุเหล็กหรือแมงกานีสที่เปลี่ยนไป

ข้อมูลที่ได้จากการแต่งแร่ด้วยเครื่องฟรานซ์ฯ นำไปเตรียมตัวอย่างส่วนที่เป็นแร่แมงกานีส ส่วนใหญ่ โดยใช้เครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้าแบบสายพานขวาง เพื่อแยกออกมาเป็น 4 ส่วน ดังกล่าว ผลการแยกแสดงในตารางที่ 4.4 นำตัวอย่างส่วน HMag.และ WMag.ที่สนใจไปวิเคราะห์ด้วย XRD ได้ผลแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งสรุปได้ว่า ส่วนที่ติดแม่เหล็ก ประกอบด้วยแร่เหล็กออกไซด์จำพวกฮีมาไทต์ แฟรงคลีไนต์ จาคอบไซต์ และเกอไทต์เป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่ติดแม่เหล็กปานกลางพบว่า เป็นคริปโตมีเลน, ไนโรลูไซต์ และเอนซูไทต์เป็นส่วนใหญ่ และแร่ในส่วนนี้จะนำไปศึกษาการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีต่อไป

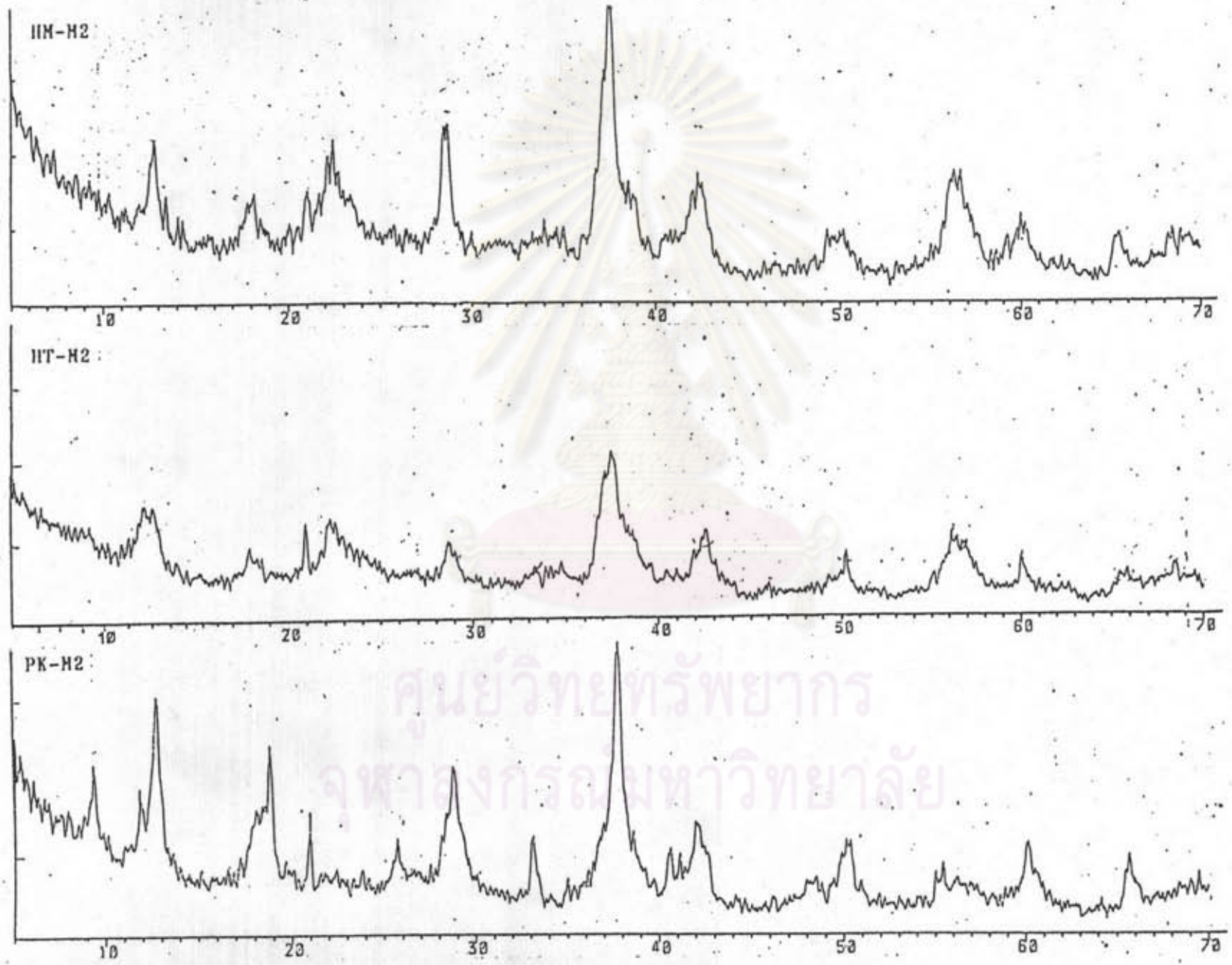
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองแต่งแร่แมงกานีสด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กแบบสายพานขวาง

กระแสไฟที่ใช้ (แอมแปร์)	น้ำหนัก		
	HM	HT	PX
HMag.	0.33	10.40	11.23
WMag.	92.85	86.71	86.98
LMag.	1.08	0.39	1.16
NonMag.	5.74	2.50	11.63



ภาพที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างแร่แมงกานีสที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (HMag.) ของตัวอย่างห้วยเทียน

ประกอบด้วย คริปโตมีเลน, เอนซูไทด์, อาคเทนสไกด์, เวอร์นาไดด์, ไพโรลูไซด์



ภาพที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างแร่แมงกานีสที่ติดแม่เหล็กปานกลาง (WMag.) ของตัวอย่างห้วยม่วง, ห้วยเทียน และผาขาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย