บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

แร่แมงกานีสเกรดแบตเตอรี่นั้นจัดเป็นแร่อุตสาหกรรมที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของไทย นับเป็นแร่ที่มีราคาสูงกว่าแร่แมงกานีสเกรดอื่น แต่ผลผลิตของแร่เกรดแบตเตอรี่นี้ ไม่พอกับความต้องการในประเทศ และที่พบก็มีปัญหาเกี่ยวกับ คุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานการซื้อขาย ทำให้การปรับปรุงคุณภาพของแร่เป็นสิ่งจำเป็นมากขึ้น แร่แมงกานีสนั้นแตกต่างจากแร่อุตสาหกรรมอื่นตรงที่ปริมาณส่วนประกอบทางเคมีของสารประกอบที่นำมาใช้ประโยชน์นั้นไม่ได้เป็นลักษณะสำคัญที่สุดในการนำไปใช้งาน แต่ลักษณะสำคัญที่นำมาพิจารณานั้นจะเป็น คุณสมบัติด้านความว่องไวในการใช้งานเป็นตัวดีโพลาไรเซอร์ในก้อนถ่านไฟฉายที่เรียกว่า แอคติวิตี ซึ่งสัมพันธ์กับชนิดเฟสของแร่แมงกานีสการที่จะปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีส ที่ค้นพบในแหล่งต่างๆในประเทศไทยนั้นควรจะได้ทราบเกี่ยวกับลักษณะเบื้องต้นต่างๆ เพื่อเป็นแนวทาง ในการหาวิธีการที่เหมาะสมกับธรรมชาติของแร่ในแหล่งนั้นๆ

วิทยานิพนธ์นี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับแร่แมงกานีส ในแหล่งต่างๆของไทย โดยเฉพาะเกี่ยวกับการวิเคราะห์เฟสของแร่แมงกานีส และการกระตุ้นผิวของแร่แมงกานีสในแบบ AMD โดยทำการศึกษาจากแหล่งแร่ห้วยม่วง ห้วยเทียน เทพนิธิ และผาขาว ซึ่งสรุปผลการทดสอบดัง ตารางที่ 6.1 โดยอาจแบ่งแร่แมงกานีสเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นแร่แมงกานีสเกรดแบตเตอรี่ที่ดีมาก สามารถจำหน่ายได้ทันที ได้แก่ แร่จากแหล่งห้วยม่วง และเทพนิธิ โดยมีแร่ส่วนใหญ่ในแกมม่าเฟสและเดลตาเฟส มีมลทินเจือปนน้อย เมื่อทดลองปรับปรุงคุณภาพด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า และขบวนการกระตุ้นผิวแร่ทางเคมีก็ให้ผลดีขึ้นมาอีกเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพสำหรับแร่ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว และกลุ่มที่ 2 เป็นแร่แมงกานีสที่จัดเป็นเกรดแบตเตอรี่รองลงไป ได้แก่ แร่จากแหล่งห้วยเทียน โดยมีแร่ส่วนใหญ่ในแกมมาเฟสเช่นเดียวกัน แต่มีมลทินพวกแร่เหล็กเจือปนอยู่ ซึ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนธาตุมลทินที่สำคัญคือ ทองแดงนั้น จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EPMA ในแบบจุด พบว่ามีทองแดงกระจายอยู่ในผลวิเคราะห์ที่จุดต่างๆของเนื้อแร่แมงกานีส แสดงว่าทองแดงเกิดเป็นธาตุร่วมอยู่ในโครงสร้างของแร่แมงกานีส ทำให้การแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า หรือ การละลายผิวแร่ทางเคมีนั้น มีผลน้อยมาก ไม่อาจกำจัดทองแดงออกไปได้ อาจต้องใช้วิธีผสมกับแร่จากกลุ่มแรกเพื่อจำหน่าย กลุ่มที่ 3 แร่แมงกานีสที่จัดเป็นเกรดโลหกรรมได้แก่ แร่จากแหล่งผาขาว และแร่จากแหล่งเทพนิธิ โดยมีแร่ส่วนใหญ่ในอัลฟาเฟส และ แร่มลทิน จำพวกแร่เหล็กเจือปนอยู่มาก ซึ่ง

ตารางที่ 6.1 สรุปผลการศึกษาลักษณะแร่แมงกานีสจากแหล่งต่างๆ

ชื่อตัวอย่าง	ลักษณะตัวอย่าง	B.A.	C.A.	% ส่วนประกอบทางเคมี					ส่วนประกอบหลักทางแร่วิทยา	มลทินที่สำคัญ
				MnO_2	Mn	Fe	Cu	Pb		
HM1	ก้อนเนื้อเรียบแน่นสีดำ	1.15	11.55	80.10	-	-	-	-	เอนซูไทต์, คริปโตมีเลนผลึกละเอียด, เวอร์นาไดต์, ไพโรลูไซต์, เฮาส์แมนไนต์	ดอลซ์, ไรโดไนต์
HM2	ก้อนสีดำมีรูพรุนต่ำไป	1.17	12.07	79.60	51.90	1.20	0.01	0.014	-	
HT	ก้อนสีน้ำตาลดำเนื้อแน่น	1.18	12.87	70.86	45.80	13.60	0.09	0.011	เอนซูไทต์, คริปโตมีเลนผลึกละเอียด, เวอร์นาไดต์, ไฮโดรไกต์, ไพโรลูไซต์, เกราไทต์และอาคเซนสไกต์	ดอลซ์, แมกนีไทต์, จาคอบไซต์
PK	ก้อนสีน้ำตาลดำเนื้อแน่น	0.98	6.77	57.14	37.50	19.60	0.07	0.010	เวอร์นาไดต์, คริปโตมีเลน, ซราวไนต์, บิกซ์บีไอต์, ไฮโดรไกต์, เกราไทต์ และไพโรครอยต์	ดอลซ์, แมกนีไทต์ จาคอบไซต์
LP1	ก้อนเนื้อเรียบแน่นสีดำ	1.13	11.13	88.33	56.50	1.40	0.007	0.008	เอนซูไทต์, คริปโตมีเลนผลึกละเอียด, อาคเซนสไกต์ และไพโรลูไซต์	ดอลซ์
LP2	ก้อนสีน้ำตาลดำเขา	1.01	8.95	53.40	35.80	19.80	0.02	0.015	คริปโตมีเลน, ไฮโดรไกต์, บิกซ์บีไอต์	ดอลซ์
β-MnO_2 *	ผงสีเงินวาว	0.82	14.57	99.81	-	-	-	-	-	-
γ-MnO_2 *	ผงละเอียดสีดำด้าน	1.30	0.57	92.07	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ * ตัวอย่างสารประกอบจากบริษัทเวนหรอน

ค่าต่ำสุดของ B.A.ที่ยอมรับ 1.00

ค่าต่ำสุดของ C.A.ที่ยอมรับ 8.5

%MnO_2 ไม่น้อยกว่า 68%

%Fe ไม่เกิน 3%

%Cu ไม่เกิน 0.02%

สามารถปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้นจึงนำไปกระตุ้นทางเคมี เพื่อเปลี่ยนเฟสที่ผิวแร่ และละลายธาตุมลทินบางส่วนออกไป ซึ่งก็ให้ผลดีขึ้นกว่าเดิม แต่ยังไม่อาจเป็นแร่แบตเตอรี่เกรดที่ดีได้ ส่วนกลุ่มที่ 4 เป็นแร่แมงกานีสที่จัดเป็นเกรดเคมี พบในตัวอย่างจากแหล่งเทพนิธิ แต่พบไม่มาก โดยมีแร่ส่วนใหญ่อยู่ในเบตาเฟส มีแร่มลทินเจือปนเล็กน้อย แร่เกรดนี้น่าจะทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการกระตุ้นผิวแร่ทางเคมี แบบ AMD จะทำให้แร่อยู่ในแบตเตอรี่เกรดที่ดีได้ จากผลการศึกษาทาง DTA พบว่าแร่แมงกานีสที่มีแบตเตอรี่แอคติวิตีดี จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 100°ซ, 600-700°ซ และ 1000°ซ

<u>ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป</u>

การปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีสในแต่ละแหล่งนั้น จะมีขั้นตอนแตกต่างกันไป ขึ้นกับธรรมชาติของเฟสของแร่ในแหล่งนั้นๆ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะได้แก่

<u>แบบที่ 1</u> แบบที่มีแอคติวิตีดี และมีส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน เป็นแร่เกรดแบตเตอรี่ที่ดีมาก จะมีเฟสของแร่ส่วนใหญ่เป็นอัลฟาหรือเดลตาเฟส โดยมีมลทินน้อย อาจใช้วิธีการคัดเลือกด้วยมือในการแต่งแร่

<u>แบบที่ 2</u> แบบที่มีแอคติวิตีดีแต่มีส่วนประกอบทางเคมีต่ำกว่ามาตรฐาน เป็นแร่เกรดแบตเตอรี่ชนิดรองลงไป จะมีเฟสของแร่ส่วนใหญ่เป็นอัลฟาหรือเดลตาเฟสเช่นกัน แต่มีมลทินเจือปนมาก ถ้าเป็นแร่เหล็กต้องทำการบดแร่ และแต่งด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กที่ความเข้มปานกลาง แต่หากเป็นธาตุมลทิน เช่น ทองแดง หากพบอยู่ในรูปของ Solid Solution กับเนื้อแร่แมงกานีสที่ต้องการ ก็ไม่อาจทำการละลายทางเคมี แต่หากอยู่ในรูปของแร่อิสระก็อาจทำการละลายในสภาวะที่เหมาะสมได้

<u>แบบที่ 3</u> แบบที่มีส่วนประกอบทางเคมีตามมาตรฐานแต่แอคติวิตีไม่ดี เป็นแร่เกรดเคมี จะมีเฟสของแร่ส่วนใหญ่เป็นเบตาเฟส และมีมลทินน้อย พบในตัวอย่างบางก้อนของแหล่งเทพนิธิ ซึ่งอาจจะใช้วิธีการกระตุ้นผิวเพื่อเปลี่ยนเฟสแร่ทางเคมีได้ โดยการทดลองหาระยะเวลาการเผาแร่ที่ ประมาณ 800°ซ รวมถึง ความเข้มข้นของกรดกำมะถันที่ใช้ในการละลาย และระยะเวลาที่ใช้ในการละลายผิวแร่

<u>แบบที่ 4</u> แบบที่มีแอคติวิตีไม่ดีและมีส่วนประกอบทางเคมีต่ำกว่ามาตรฐาน จัดเป็นแร่เกรดโลหกรรม จะมีเฟสของแร่ส่วนใหญ่เป็นอัลฟาเฟส และมีมลทินปนอยู่มาก ซึ่งในการนำมาใช้งานทางถ่านไฟฉายนั้น อาจต้องนำไปทำเป็น แมงกานีสออกไซด์สังเคราะห์ในแบบ EMD หรือ CMD ซึ่งค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายที่สูง หรืออาจใช้การแต่งแร่ทางกายภาพ เช่น

เครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อกำจัดแร่ที่มีเหล็กและซิลิกาสูงออกไป แล้วจึงทำการกระตุ้นผิวแร่ทางเคมีเช่นเดียวกับในแบบที่สาม หรือนำไปผลิตเป็นสารประกอบแมงกานีสประเภทอื่น เช่น แมงกานีสออกไซด์ แมงกานีสซัลเฟต เป็นต้น

การที่จะปรับปรุงคุณภาพของแร่ในแหล่งหนึ่งๆจึงควรทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของกรรมวิธีในแต่ละขั้น ตามธรรมชาติของเฟสแร่ในแหล่งนั้นๆ โดยอาจเริ่มจากการกำจัดแร่มลทินด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า ที่ความเข้มปานกลาง เพื่อให้ได้หัวแร่ที่มี %MnO_2 แล้วจึงนำมากระตุ้นผิวแร่ด้วยขบวนการ AMD เพื่อให้แร่นั้นมีแอคติวิตีขึ้นด้วย และในการศึกษารายละเอียด อาจทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพอื่นเพิ่มเติมอีก เช่น ขนาดของเม็ดแร่ และพื้นที่ผิว ซึ่งอาจวิเคราะห์โดย BET (Brunauer, Emmett and Teller)(41) ซึ่งมีข้อควรคำนึงดังนี้

1. ก่อนการศึกษาทดลองการแต่งแร่แมงกานีสแหล่งใดๆ ควรมีการศึกษาด้านแร่วิทยา เพื่อหาเฟสที่มีแอคติวิตีของแร่ในแหล่ง และลักษณะมลทินที่เกิดร่วม

2. การแต่งแร่ทางกายภาพโดยใช้เครื่องแต่งแร่แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะกำจัด แร่มลทินประเภทควอทซ์ และเหล็กออกไซด์

3. การกระตุ้นผิวแร่เพื่อเปลี่ยนเฟสให้อยู่ในรูปของแกมม่าเฟส อาจใช้กรรมวิธีในแบบ AMD ได้กับแร่ที่มีเฟสเริ่มต้นเป็น อัลฟา หรือเบตา โดยไม่มีผลให้แกมม่าเฟสเปลี่ยนแปลง

4. ธาตุมลทินที่เกิดร่วม หากเกิดอยู่ในองค์ประกอบของแร่จะใช้วิธีการละลายธาตุมลทินทางเคมี ไม่ได้ผล

<u>ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลวิจัยที่ได้</u>

ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการศึกษาแร่แมงกานีสในแหล่งแร่หนึ่งๆ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในรายละเอียด ของกรรมวิธีแต่ละขั้นตอน เช่น การปรับตั้งความเข้มของสนามแม่เหล็กในการแต่งแร่ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการเผาแร่เพื่อเปลี่ยนเฟส ระยะเวลาและความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการกระตุ้นผิวแร่ เป็นต้น เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากแร่ได้สูงสุด โดยการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญทั้งจากเอกสารและจากการทดลองเบื้องต้น โดยเฉพาะการวิเคราะห์เฟสของแร่ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ และการหาแอคติวิตีของแร่ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ให้ความสะดวกแก่การศึกษาแร่แมงกานีสจากแหล่งอื่นๆ ต่อไปในอนาคต