


การศึกษาลักษณะเนื่องการปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีส  
สำหรับอุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย



นาย วิจิศักดิ์ บุญปราโมทย์

ศูนย์วิทยพัธัทยาการ

วิทยานินนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรปริศญาวิศวกกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533


ISBN 974-577-265-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016605

I1031035b

A CHARACTERISTIC STUDY FOR PROCESSING OF MANGANESE ORES  
FOR DRY-CELL BATTERY INDUSTRY



Mr.Thitisak Boonpramote

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering

Department of Mining Engineering and Mining Geology

Graduate School


Chulalongkorn University

1990


ISBN 974-577-265-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาลักษณะเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีสสำหรับ  
อุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย  
โดย นาย ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์  
ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และธรณีวิทยาเหมืองแร่  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

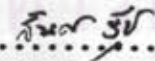
  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.กาวร วัชรากษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวัญชัย ลีเผ่าพันธ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

  
..... กรรมการ  
(ดร.สุนล ภู่วิจิตร)

  
..... กรรมการ  
(ดร.สินค์ รัชฎาวงศ์)

จุดคัดดี บุญปราโมทย์ : การศึกษาลักษณะเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีส สำหรับ  
อุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย (A CHARACTERISTIC STUDY FOR PROCESSING OF MANGANESE  
ORES FOR DRY-CELL BATTERY INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.วิญญู มีชานะ, 235 หน้า  
ISBN 974-577-265-8

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลและศึกษาวิจัยลักษณะต่าง ๆ ของแร่แมงกานีส เพื่อ  
ใช้เป็นแนวทางในการหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสมกับธรรมชาติของแร่ ในแหล่งนั้น ๆ ลักษณะที่สำคัญ  
นั้นได้แก่ "แอคติวิตี" โดยทำการหาค่าแอคติวิตี พบว่ามีความสัมพันธ์กับชนิดเฟลของแร่แมงกานีส ซึ่งหาได้  
โดยการวิเคราะห์ด้วยรังสีเอ็กซ์เลี้ยวเบนและการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ร่วมกับการ  
วิเคราะห์ธาตุในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนล้นวนประกอบทางเคมีของแร่ ทำการวิเคราะห์แบบเปียกในห้อง  
ปฏิบัติการเคมีและใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชัน และการเรืองรังสีเอ็กซ์ นอก  
จากนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟลของแร่ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อุณหภูมิแตกต่าง โดยทดลอง  
ศึกษาตัวอย่างจากแหล่งแร่ 4 แหล่ง ได้แก่ แหล่งห้วยม่วง (HM), ห้วยเทียน (HT), ผาขาว (PK) และ  
เทพนิริ (LP) การศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางแม่เหล็กของแร่ โดยการแยกด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า  
และการกระตุ้นผิวแร่ทางเคมีในแบบ AMD ของห้วยแร่ที่ได้ โดยทำการศึกษาตัวอย่างจากแหล่งแร่ 3 แหล่ง  
คือ HM, HT และ PK

ผลการศึกษาอาจจำแนกแร่แมงกานีสได้เป็น 4 แบบคือ แร่ที่จัดเป็นเกรดแบตเตอรี่ที่ดีมาก  
โดยมีแอคติวิตีและส่วนประกอบทางเคมีได้มาตรฐาน ได้แก่ ตัวอย่าง HM และ LP บางตัวอย่าง แบบที่ล่อง  
จัดเป็นแร่แบตเตอรี่เกรดรองลงไป โดยมีแอคติวิตีดี แต่ส่วนประกอบทางเคมีต่ำกว่ามาตรฐาน ได้แก่  
ตัวอย่าง HT พบแร่เหล็กออกไซด์เจือปนอยู่ ซึ่งสามารถกำจัดได้ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนธาตุ  
มลทินที่สำคัญ คือ ทองแดงนั้น พบอยู่ในโครงสร้างของแร่แมงกานีส ทำให้การปรับปรุงคุณภาพโดยการ  
ละลายผิวแร่ทางเคมีนั้นมียผลน้อยมาก แบบที่ล่ำมจัดเป็นแร่เกรดเคมี โดยมีแอคติวิตีไม่ด้นัก แต่มีส่วนประกอบ  
ทางเคมีที่ดี ได้แก่ แร่บางตัวอย่างจาก LP และแบบลุดท้ายเป็นแร่ที่จัดเป็นเกรดโลหกรรม โดยมีแอคติวิตี  
ไม่ดีและมีส่วนประกอบทางเคมีต่ำกว่ามาตรฐาน ได้แก่ ตัวอย่าง PK และบางตัวอย่างจาก LP การแต่งแร่  
ด้วยเครื่องแยกแร่แม่เหล็กไฟฟ้า แล้วนำไปกระตุ้นผิวแร่ทางเคมีในแบบ AMD จะทำให้ได้แร่ที่มีแอคติวิตีดีขึ้น  
กว่าเดิมในแร่ทุกตัวอย่าง โดยการเผาตัวอย่างแร่ที่ 600-800 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ  
 $Mn_2O_3$  แล้วทำการละลายผิวแร่ด้วยกรดกำมะถันร้อน

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่ .....  
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่ .....  
ปีการศึกษา 2532 .....

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

THITISAK BOONPRAMOTE : A CHARACTERISTIC STUDY FOR PROCESSING OF  
MANGANESE ORES FOR DRY-CELL BATTERY INDUSTRY. THESIS ADVISOR : ASST.  
PROF. PINYO MEECHUMNA, Ph.D. 231 PP.

The objective of this research is to compile data and to do research about characteristics of manganese ores which will lead to find suitable techniques to process the ores according to the nature of each ore. The important criterion, "Activity" of the manganese ore can be done by "Activity Test" and has been found to be related to their phase types which can be identified by X-Ray Diffractometer and Polarizing Microscope together with Electron Probe Micro Analyser. Chemical analysis of ores was done by Wet analysis and using the techniques of Atomic Absorption Spectrometry and X-Ray Fluorescence Spectrometry. Phase transformation of the samples at various temperature was also done using Differential Thermal Analyser on four samples namely "Huay Muang" (HM), "Huay Thein" (HT), "Pha Kaw" (PK) and "Thebnithi" (LP). The study of magnetic properties using Electro-Magnetic Separator before further treated by the techniques of "Activated Manganese Dioxide" (AMD) were done on the three samples of HM, HT and PK.

It can be concluded from the study that there are four types of manganese ores. Firstly, the manganese ores of good battery grade shown by good activity with standard chemical composition are those of HM and some from LP. Secondly, the medium battery grade manganese ores, shown by good activity with below-standard chemical composition is the HT sample. The sample contains more iron oxide which can be separated by Magnetic Separation. The trace impurity, copper, was found in the crystal lattice of HT sample and could not be reduced by Chemical Leaching. Thirdly, the chemical grade manganese ores shown by less activity with good chemical composition are some from LP sample. Magnetic separation followed by AMD techniques improve all sample to be about 600-800°C to transform the sample to  $Mn_2O_3$  followed by hot acid leaching with sulphuric acid.

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่ .....  
สาขาวิชา วิศวกรรมเหมืองแร่ .....  
ปีการศึกษา 2532 .....

ลายมือชื่อนิสิต  .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา  .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลงโดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำริเริ่ม ในการศึกษาในด้านต่างๆ เกี่ยวกับ แร่แมงกานีส ดร.สันต์ รัชฎาวงศ์ ผู้แนะนำด้านเอกสารเกี่ยวกับการหาค่าแบคเตอร์แอคติวิตี ผศ.ดร.ประพันธ์ คุณสกุล ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเคมี อ.มาละดี ทักษุปรัด ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ด้วย AAS อ.ดร.สุรพล ภู่วิจิตร และอ.ดร.วิสิทธิ์ นิสฺทธิอานนท์ ผู้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์และการถ่ายภาพตัวอย่าง ผศ.ดร.ขวัญชัย ลิเผ่าพันธ์ ผู้อนุมัติในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องมือต่างๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำนุผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ .....	ข
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฅ
บทที่	
1    บทนำ .....	1
ที่มาและความสำคัญของหัวข้อวิทยานิพนธ์ .....	1
วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ .....	3
ทฤษฎีและแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย .....	3
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เคยทำในประเทศไทย .....	8
ขอบเขตของการวิจัย .....	9
ระเบียบวิธีวิจัย .....	9
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย .....	12
2    ธรรมชาติและประโยชน์ของแมงกานีส .....	13
คุณสมบัติของธาตุแมงกานีส .....	14
1. การเตรียมธาตุแมงกานีส .....	14
2. สมบัติทางกายภาพของธาตุแมงกานีส .....	15
3. สมบัติทางเคมีของธาตุแมงกานีส .....	16
4. ความเป็นพิษของธาตุแมงกานีส .....	16
สารประกอบที่สำคัญของแมงกานีส .....	18
การกำเนิดของแร่แมงกานีส .....	22
1. แหล่งแร่แมงกานีสแบบน้ำแร่ร้อนใต้โลก .....	27
2. แหล่งแร่แมงกานีสแบบหินชั้น .....	28
3. แหล่งแร่แมงกานีสแบบผุพังละลายทางเคมี .....	30
แร่วิทยาของแมงกานีส .....	33
1. กลุ่มแร่แมงกานีสออกไซด์และไฮดรอกไซด์ .....	33
2. กลุ่มแร่แมงกานีสคาร์บอเนต .....	51
3. กลุ่มแร่แมงกานีสซิลิเกต .....	52

มาตรฐานการซื้อขายและการใช้งานของแร่แมงกานีส	55
1. เกลดโลหกรรม	56
2. เกลดเคมี	58
3. เกลดแบคเตอร์	67
แหล่งแร่และการผลิตแร่แมงกานีสในประเทศไทย	78
แมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์	84
1. แมงกานีสไดออกไซด์ที่ถุกกระตุ้นโดยวิธีเคมี (AMD)	85
2. แมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์โดยวิธีทางเคมี (CMD)	86
3. แมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (EMD)	101
3 การศึกษาลักษณะเบื้องต้นของแร่แมงกานีสของประเทศไทย	105
การทดสอบคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย (Activity Test)	109
1. การหาแบคเตอร์แอคทีวิตี (B.A.)	109
2. การหาเคมีคัลแอคทีวิตี (C.A.)	110
3. การหาอัตราการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	111
4. ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการทดสอบคุณสมบัติในการทำถ่านไฟฉาย	112
การวิเคราะห์ทางเคมี	114
1. การวิเคราะห์แบบเปียก (Wet Analysis)	114
1.1 การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสไดออกไซด์	115
1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสทั้งหมด	116
1.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก	117
2. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ (Instrumental Analysis)	119
2.1 การวิเคราะห์ธาตุในแร่แมงกานีสด้วย AAS	119
2.2 การวิเคราะห์ธาตุในแร่แมงกานีสด้วย XRF	121
3. ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการวิเคราะห์ทางเคมี	125
การศึกษาทางแร่วิทยา	129
1. การศึกษาค้นคว้าการวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์เลเซอร์เบน (XRD)	129
2. การศึกษาค้นคว้าตัวอย่างชิ้นผงภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบโพลาไรซ์ ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์ในกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอน (EPMA)	145
3. ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการศึกษาทางแร่วิทยา	159
การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเฟสของแร่ด้วย DTA	161



บทที่	หน้า
4	การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในการแต่งแร่แมงกานีส ..... 168
	การแต่งแร่แมงกานีสเพื่อกำจัดแร่มลทิน ..... 168
	การศึกษาคุณสมบัติทางแม่เหล็ก ..... 169
5	การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแร่แมงกานีสโดยวิธีทางเคมี ..... 175
	ข้อมูลการกำจัดธาตุมลทินโดยวิธีทางเคมี ..... 175
	การศึกษาขั้นตอนการกระตุ้นแร่แมงกานีสทางเคมี ..... 177
	1. การเผาแร่เพื่อเปลี่ยนเฟสของแร่แมงกานีส ..... 177
	2. การละลายผิวแร่ด้วยกรดกำมะถัน ..... 180
	3. ผลสรุปและข้อคิดเห็นในการทดลอง ..... 180
6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ..... 182
	ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการวิจัยในขั้นต่อไป ..... 184
	ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลวิจัยที่ได้ ..... 185
	เอกสารอ้างอิง ..... 186
	ภาคผนวก ..... 195
	ก. วิธีทดสอบหาเบคเตอร์แอคทีวี่ ..... 196
	ข. วิธีทดสอบหาเคมีคัลแอคทีวี่ ..... 203
	ค. วิธีทดสอบหาอัตราการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ..... 205
	ง. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสไดออกไซด์ ..... 206
	จ. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแมงกานีสทั้งหมด ..... 208
	ฉ. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กโดยวิธีสแตนนัสคลอไรด์ ..... 211
	ช. วิธีวิเคราะห์หาปริมาณแร่แมงกานีสด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชั่น ..... 213
	ซ. การเตรียมสภาวะของเครื่อง AAS รุ่น แวเวียส 1275 ..... 219
	ฅ. JCPDS-Card ของแร่แมงกานีสชนิดต่างๆ ..... 221
	ประวัติผู้เขียน ..... 235

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สมบัติทางกายภาพของแมงกานีสและรูปแบบต่างๆ ..... 15
2.2	การใช้งานหลักของแมงกานีสออกไซด์ต่างๆทางด้านโลหะ ..... 20
2.3	รัศมีไอออนของธาตุแมงกานีสและธาตุอื่นๆ ..... 22
2.4	ปริมาณสำรองของแหล่งแร่แมงกานีสของโลก ..... 25
2.5	แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของแร่แมงกานีสในแหล่งแร่แบบซูปเปอร์จิน ..... 32
2.6	โครงสร้างทางผลึกของกลุ่มแร่แมงกานีสออกไซด์สูง ..... 36
2.7	โครงสร้างทางผลึกของกลุ่มแร่แมงกานีสออกไซด์ต่ำและไฮดรอกไซด์ ..... 45
2.8	โครงสร้างทางผลึกของกลุ่มแร่แมงกานีสซิลิเกตที่พบในแหล่งแร่แมงกานีส ..... 53
2.9	การกำเนิดและลักษณะทางกายภาพของแร่แมงกานีสที่สำคัญ ..... 54
2.10	สินแร่แมงกานีสสามัญ เรียงลำดับตามปริมาณแมงกานีสที่มีอยู่ ..... 55
2.11	คุณลักษณะและส่วนประกอบทั่วไปของโลหะผสมแมงกานีส ..... 57
2.12	คุณลักษณะของแร่แมงกานีสชนิดใช้งานโลหะกรรมตามมาตรฐานคลังสะสมแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (U.S. National Stockpile Specification P-30-R2, August 31, 1971) ..... 57
2.13	คุณลักษณะแร่แมงกานีสสำหรับผลิตโลหะผสมแมงกานีสตามมาตรฐานอินเดีย ..... 57
2.14	คุณลักษณะแร่แมงกานีสเกรดโลหะกรรมที่ซื้อขายกันในประเทศไทย ..... 57
2.15	ผลวิเคราะห์ทั่วไปของแร่เกรดเคมีสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิค จาก Jan de Poorter's เนเธอร์แลนด์ ..... 59
2.16	คุณลักษณะทั่วไปของแมงกานีสที่ใช้ในอุตสาหกรรมแก้ว ..... 60
2.17	รายชื่อผู้ผลิตแร่แมงกานีสและผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการงานด้านโลหะที่สำคัญ ..... 62
2.18	สารประกอบของแมงกานีสที่สำคัญสำหรับงานอุตสาหกรรม ..... 63
2.19	คุณลักษณะของแร่แมงกานีสเกรดเคมี ..... 64
2.20	คุณลักษณะของแร่แมงกานีสเกรดเคมีสำหรับงานต่างๆ ..... 64
2.21	ผลวิเคราะห์ทั่วไปของแมงกานีสไดออกไซด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยูเรเนียม ..... 64
2.22	ผลวิเคราะห์ทั่วไปของแร่โอมินิ (Imini) เกรดต่างๆจากโมร็อกโค ..... 65
2.23	ผลวิเคราะห์ทั่วไปของแร่แมงกานีสเกรดเคมี และไฮโดรควินอน ของ บริษัท เอนทอเรส (Entores) อังกฤษ สำหรับอุตสาหกรรมอิฐ ..... 66
2.24	ถ่านไฟฉายชนิดต่างๆและส่วนประกอบที่สำคัญ ..... 68
2.25	ตัวอย่างคุณลักษณะของแร่แมงกานีสเกรดแบคเคอร์ที่ซื้อขายกันในประเทศไทย ... 72

ตารางที่	หน้า
2.26	คุณลักษณะของแรมเมงกานีสชนิดทำถ่านไฟฉายตามมาตรฐานคลังสะสมแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (U.S.National Stockpile Specification P-29-R, June 16, 1961) ..... 73
2.27	คุณลักษณะของแรมเมงกานีสที่นิยมใช้ทำถ่านไฟฉายในอังกฤษ ..... 73
2.28	ส่วนประกอบทั่วไปของแรมเมงกานีสจากแหล่งต่างๆที่สำคัญของโลก ..... 74
2.29	รายชื่อผู้ใช้แรมเมงกานีสเกรดแคบแคโรวในประเทศไทย ..... 75
2.30	คุณลักษณะของแรมเมงกานีสเกรดแคบแคโรวที่นำเข้า ..... 76
2.31	สถิติปริมาณและมูลค่านำเข้าแรมเมงกานีสจากปี พ.ศ.2514-2528 ..... 77
2.32	สถิติผลผลิตของแรมเมงกานีสในประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ.2499-2530 ..... 79
2.33	สถิติปริมาณและมูลค่าส่งออกแรมเมงกานีสจากปี พ.ศ.2514-2528 ..... 79
2.34	อัตราค่าภาคหลวงและราคาประกาศของแรมเมงกานีส ..... 84
2.35	ผลวิเคราะห์ทั่วไปของเมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์ ..... 85
2.36	ผู้ผลิตเมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์ในแบบ CMD ..... 86
2.37	คุณลักษณะของ CMD แบบ เฮอร์มานอกส์ ..... 87
2.38	คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์จาก บริษัท ซีดีมา ..... 91
2.39	คุณลักษณะของ CMD ที่ผลิตโดยกองโลหกรรม ..... 94
2.40	ผู้ผลิตเมงกานีสไดออกไซด์สังเคราะห์ในแบบ EMD ..... 101
2.41	คุณลักษณะทั่วไปของ EMD จากญี่ปุ่น ..... 102
3.1	ลักษณะทางกายภาพของสารประกอบบริสุทธิ์จาก บริษัทเวทรอน ..... 108
3.2	ผลการทดสอบหาค่าแคบแคโรวแคคิวิตี (B.A.) ..... 109
3.3	ผลการทดสอบหาค่าแคคิวิตีแคคิวิตี (C.A.) ..... 111
3.4	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณ MnO <sub>2</sub> ..... 115
3.5	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุในสารละลายด้วย AAS ..... 120
3.6	ผลการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุด้วย AAS ..... 120
3.7	ผลการคำนวณปริมาณเมงกานีสออกไซด์และค่าอื่นๆ ..... 128
3.8	ค่า d-spacing ของแรมเมงกานีสที่พบในตัวอย่างแรมที่วิเคราะห์ ..... 144
3.9	การเตรียมตัวอย่างแรมเมงกานีสอัดมัน ..... 145
3.10	ข้อมูลวิเคราะห์ด้วย DTA ของแรมเมงกานีสออกไซด์บางชนิด ..... 163
4.1	ค่าความชื้นแม่เหล็กของแรมเมงกานีสชนิดต่างๆ ..... 169
4.2	ผลการทดลองแ่งแรมเมงกานีสด้วยฟลักซ์ไอโซโทปไดนามิค ..... 170
4.3	ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุในส่วนคิดแม่เหล็กต่างๆด้วย XRF ..... 171
4.4	ผลการทดลองแ่งแรมเมงกานีสด้วยเครื่องแยกแรมแม่เหล็กแบบสายพานขวาง ... 172

ตารางที่	หน้า
5.1 ผลการทดสอบหาค่าแบรินแอกติวิตีของตัวอย่างภายหลังขบวนการแอกติเวต .	180
6.1 สรุปผลการศึกษาลักษณะแบรินแอกติวิตีจากแหล่งต่างๆ .....	183
ช-1 สภาวะของเครื่อง AAS ที่เตรียมสำหรับวิเคราะห์ธาตุในแบรินแอกติวิตี .....	220



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	แผนผังการทดลองศึกษาคุณสมบัติของแร่แมงกานีส .....	11
2.1	แผนที่แสดงแหล่งแร่แมงกานีสที่สำคัญของโลก .....	24
2.2	แผนผังการจำแนกประเภทของการกำเนิดของแร่แมงกานีส .....	26
2.3	ลักษณะโครงสร้างแบบออกตะฮีดรา .....	34
2.4	ลักษณะการต่อเชื่อมกันแบบต่างๆของออกตะฮีดรา .....	35
2.5	ลักษณะโครงสร้างของเบตาเฟส .....	38
2.6	ลักษณะโครงสร้างของแรมสเคลโดต์เฟส .....	38
2.7	ลักษณะโครงสร้างของแกมมาเฟส .....	39
2.8	ลักษณะโครงสร้างของแร่ฮอลแลนโดต์ .....	40
2.9	ลักษณะโครงสร้างของแร่ไซโลมีเลน .....	42
2.10	ลักษณะผลึกของแร่บราวไนต์ .....	48
2.11	ลักษณะผลึกของแร่เฮาส์แมนไนต์ .....	49
2.12	ไออะแกรมของระบบ $Fe_3O_4 - Mn_3O_4 - ZnMn_2O_4 - ZnFe_2O_4$ .....	50
2.13	ส่วนประกอบทั่วไปของถ่านไฟลายชนิดคาร์บอน-สังกะสี .....	69
2.14	กลไกการแลกเปลี่ยนไอออนที่ผิวของ $MnO_2$ ในถ่านไฟลาย .....	71
2.15	แผนที่แสดงแหล่งแร่แมงกานีสที่สำคัญของประเทศไทย .....	80
2.16	แผนผังขบวนการผลิต CMD ของบริษัทซีดีมา .....	88
2.17	แผนผังขบวนการผลิต CMD โดยการผลิตด้วยกรดกำมะถัน .....	89
2.18	แผนผังขบวนการผลิต CMD ของบริษัทแจแปนเมทัลแอนด์เคมีคัล .....	93
2.19	แผนผังขั้นตอนการทดลองผลิต CMD ของกองโลหกรรม .....	95
2.20	แผนผังขบวนการผลิต CMD ของบริษัทบีเฮ็นนี่ .....	97
2.21	แผนผังขบวนการผลิต EMD ทั่วไป .....	103
3.1	แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งแร่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ .....	106
3.2	แผนที่แสดงที่ตั้งของแหล่งแร่ภาคเหนือ .....	107
3.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง B.A. กับ C.A. ....	112
3.4	กราฟแสดงปริมาณก๊าซ $CO_2$ ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ .....	113
3.5	สเปกตรัมของผลวิเคราะห์ XRF ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยม่วง ..	123
3.6	สเปกตรัมของผลวิเคราะห์ XRF ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยเทียน .	124
3.7	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยม่วง (HM1) .	131
3.8	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์ (XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยม่วง (HM2) .	132

ภาพที่	หน้า
3.9	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งห้วยเทียน(HT) . 133
3.10	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งผาขาว(PK) ... 134
3.11	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งเทพนิธิ(LP1) .. 135
3.12	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งเทพนิธิ(LP2) .. 136
3.13	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งเทพนิธิ(LP3) .. 137
3.14	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของตัวอย่างแร่แมงกานีสจากแหล่งเทพนิธิ(LP4) .. 138
3.15	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD) ของสารประกอบ $MnO_2$ จากบริษัทเวทรอน..... 139
3.16	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD)ของสารประกอบ Activated- $MnO_2$ จากบริษัท เวทรอน ..... 140
3.17	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD)ของสารประกอบ $Mn_2O_3$ จากบริษัทเวทรอน .... 141
3.18	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD)ของสารประกอบ $Mn_3O_4$ จากบริษัทเวทรอน ..... 142
3.19	รูปแบบทางรังสีเอ็กซ์(XRD)ของสารประกอบ $MnO$ จากบริษัทเวทรอน ..... 143
3.20	ลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างแร่ที่ทำ Mapping ภาษาใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน . 147
3.21	การกระจายตัวของแมงกานีส(Mn-Mapping)ภาษาใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน 147
3.22	การกระจายตัวของซิลิกา(Si-Mapping)ภาษาใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ... 147
3.23	ลักษณะผลึกรูปเข็มของแร่ไนโรลูไซต์ ..... 149
3.24	ลักษณะผลึกรูปเข็มของแร่ไนโรลูไซต์ หลังการ Cross-Nicol ..... 149
3.25	ลักษณะผลึกแท่งของแร่ไนโรลูไซต์ ..... 150
3.26	ลักษณะผลึกแท่งของแร่ไนโรลูไซต์ หลังการ Cross-Nicol ..... 150
3.27	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด ..... 151
3.28	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด หลังการ Cross-Nicol ..... 151
3.29	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด ..... 152
3.30	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด หลังการ Cross-Nicol ..... 152
3.31	ลักษณะการเกิดร่วมของแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียดกับผลึกแท่งของ แร่ไนโรลูไซต์ ..... 153
3.32	ลักษณะการเกิดร่วมของแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียดกับผลึกแท่งของ แร่ไนโรลูไซต์ หลังการ Cross-Nicol ..... 153
3.33	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด ..... 154
3.34	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด หลังการ Cross-Nicol ..... 154
3.35	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด ..... 155
3.36	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนเนียนันละเอียด หลังการ Cross-Nicol ..... 155
3.37	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนแบบผลึกหยาบ ..... 156
3.38	ลักษณะแร่คริปโตมัลเลนแบบผลึกหยาบ หลังการ Cross-Nicol ..... 156

ภาพที่	หน้า
3.39	ลักษณะการเกิดร่วมของแร่ควิปีโตมีเลนแบบผลึกหยาบแทรกกันในแร่เนอละเอ็ชด .. 157
3.40	ลักษณะแร่ควิปีโตมีเลนแบบผลึกหยาบแทรกกันในแร่เนอละเอ็ชด หลังการ Cross-Nicol ..... 157
3.41	ลักษณะคอลโลฟอร์มของแร่แมงกานีส ..... 158
3.42	ลักษณะคอลโลฟอร์มของแร่แมงกานีส หลังการ Cross-Nicol ..... 158
3.43	การเปลี่ยนรูปของแร่แมงกานีสออกไซด์และคาร์บอนเนตที่อุณหภูมิสูงขึ้น ..... 161
3.44	ลักษณะของกราฟ DTA ของแร่แมงกานีสชนิดต่างๆที่เผยแพร่ ..... 162
3.45	ผลวิเคราะห์ DTA ของตัวอย่างกลุ่มที่มีแอกควิวิตี ..... 165
3.46	ผลวิเคราะห์ DTA ของตัวอย่างที่มีแอกควิวิตีไม่เด่น ..... 166
3.47	ผลวิเคราะห์ DTA ของสารประกอบ $\beta$ -MnO <sub>2</sub> ..... 166
3.48	ผลวิเคราะห์ DTA ของสารประกอบแมงกานีสจาก บริษัท เวนทรอน ..... 167
4.1	ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างแร่แมงกานีสที่ติดแม่เหล็กอย่างแรง (HMag.) ของตัวอย่างห้วยเทียน ..... 173
4.2	ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างแร่แมงกานีสที่ติดแม่เหล็กปานกลาง (WMag.) ของตัวอย่างห้วยม่วง, ห้วยเทียน และ ผาขาว ..... 174
5.1	ขบวนการเปลี่ยนผลึกของ MnO <sub>2</sub> ..... 178
5.2	ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างแร่แมงกานีสหลังการเผาที่ 600-700 °C ..... 179
5.3	ผลวิเคราะห์ XRD ของตัวอย่างแร่แมงกานีสหลังผ่านขบวนการ AMD ..... 181
ก-1	ชุดแท่งทรงกระบอกทองเหลืองสำหรับอัดส่วนผสมสีดำ ..... 197
ก-2	ชุดแท่งเหล็กสำหรับดันก้อนส่วนผสมสีดำออกมา ..... 198
ก-3	แสดงการนำก้อนส่วนผสมสีดำออกมาจากแท่งทองเหลืองโดยใช้ชุดแท่งเหล็ก ดันออกมาด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค ..... 199
ก-4	แสดงลักษณะของแท่งตัวอย่างสีดำ (Bobbin) ที่อัดได้ ..... 200
ก-5	แสดงวงจรวัดความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบ ..... 200
ก-6	แสดงการจัดอุปกรณ์การทดสอบ ..... 201
ก-7	แสดงแผนผังการทดสอบ ..... 202
ค-1	การเตรียมอุปกรณ์วัดอัตราการเกิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ..... 205
ช-1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการดูดกลืนแสงของธาตุ Mn ..... 216
ช-2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการดูดกลืนแสงของธาตุ Fe ..... 217
ช-3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการดูดกลืนแสงของธาตุ Cu ..... 217
ช-4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการดูดกลืนแสงของธาตุ Pb ..... 218

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

EMD	=	Electrolytic Manganese Dioxide
CMD	=	Chemical Manganese Dioxide
AMD	=	Activated Manganese Dioxide
B.A.	=	Battery Activity
C.A.	=	Chemical Activity
PM	=	Polarized Microscope Study
SEM	=	Scanning Electron Microscope
EPMA	=	Electron Probe Micro-Analysis
XRD	=	X-ray Diffraction
XRF	=	X-ray Fluorescence
AAS	=	Atomic Absorption Spectroscopy
DTA	=	Differential Thermal Analysis
HM	=	ตัวอย่างแร่จากแหล่งห้วยม่วง
HT	=	ตัวอย่างแร่จากแหล่งห้วยเทียน
PK	=	ตัวอย่างแร่จากแหล่งผาขาว
LP	=	ตัวอย่างแร่จากแหล่งเทพนิธิ ลำนูน

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย