การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมที่สำคัญจากแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย

นางสาว สายจิตต์ อาภาวีระ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2530

ISBN 974-568-448-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

013046

I 10299580

PREPARATION OF SOME IMPORTANT MAGNESIUM COMPOUNDS FROM DOLOMITE ORES IN THAILAND

Miss Saichit Apavira

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Chemistry

Graduate School

Chulalongkorn University

1987

ISBN 974-568-448-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมที่สำคัญจากแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย
โดย	นางสาว สายจิตต์ อาภาวีระ
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.เผด็จ สิทธิสุนทร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ)

..... กรรมการ

(ดร. สิทธิชัย ลีพิพัฒน์ไพบูลย์)

..... กรรมการ

(คุณประเสริฐ กุมารจันทร์)

ลายลิตต์ อาภาวีระ : การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมที่สำคัญจากแร่โดโลไมต์ใน.
ประเทศไทย (PREPARATION OF SOME IMPORTANT MAGNESIUM COMPOUNDS FROM
DOLOMITE ORES IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษา : รศ.แมน อมรสิทธิ์,
ศ.ดร.สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, 150 หน้า

การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมที่สำคัญจากแร่โดโลไมต์ ซึ่งนำมาจากเหมืองแร่ในจังหวัดกาญจนบุรี ได้ดำเนินการโดยทำการวิเคราะห์คุณภาพของแร่โดโลไมต์ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ใช้การวิเคราะห์ด้วยปริมาตร, XRFS, AAS, TGA, DTA เป็นต้น พร้อมทั้งได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการเผาให้เป็นเถ้า (calcination) ทั้งในเตาเผาแบบธรรมดาและเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน ปรากฏว่าได้ผลต่างกัน กล่าวคือ การเผาในเตาเผาธรรมดามีประสิทธิภาพในการเผาให้เป็นเถ้าได้สูงสุด 96% ที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนการเผาในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันนั้นมีประสิทธิภาพในการเผาให้เป็นเถ้าต่ำกว่ามาก แต่ภายหลังจากได้มีการปรับปรุงโดยใส่ preheater, pack bed และเพิ่มความสูงของเบดขึ้นตลอดจนใช้ความเร็วลมที่เหมาะสม ทำให้เตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันมีประสิทธิภาพในการเผาให้เป็นเถ้าสูงขึ้นเป็น 94.93% ที่อุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แร่โดโลไมต์ที่เผาเป็นเถ้าแล้วได้นำไปใช้เตรียมสารประกอบต่าง ๆ ของแมกนีเซียมต่อไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีวิเคราะห์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2530

SAICHIT APAVIRA : PREPARATION OF SOME IMPORTANT MAGNESIUM COMPOUNDS FROM DOLOMITE ORES IN THAILAND. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MAEN AMORASIT, PROF. SOMSAK DAMRONGLERD. 150 pp.

The samples of dolomite ores from Kanchanaburi mine were analyzed by various techniques, eg., volumetric analysis, XRFS, AAS, TGA, DTA, etc. for the chemical composition prior to use in the preparation of magnesium compounds. The optimum conditions for the calcination in the typical electric furnace and in the fluidized bed reactor were investigated. The maximum calcination obtained in the typical furnace was 96% at the temperature of 800°C within 2 hrs. However the efficiency of the calcination with the fluidized bed reactor was much lower. After modifications of the fluidized bed reactor, i.e., the addition of preheater, pack bed, increasing the height of bed and also optimized air velocity, the percentage of the calcination was improved to 94.93 at the temperature of 1000°C within 1 hr. The calcined dolomite was further used for the preparation of the magnesium compounds.

ภาควิชา เคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา เคมีวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2530 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ แม้น อมรสิทธิ์ และ ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ คำรงค์เลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่ดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณประเสริฐ เขียวพิมพา ภาควิชาธรณีวิทยา ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง X-ray diffraction คุณสังข์ ชมชื่น ภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้ความช่วยเหลือในการซ่อมและปรับปรุงเตาเผาแบบ Fluidization คุณไกรธีระ กิตติ-ศรีไสว จากบริษัทโชบุ ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือด้านตัวอย่างแร่โดโลไมต์

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยฟลูอิไดเซชัน และบัณฑิต-วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนผู้ช่วยวิจัยและทุนวิจัยแก่ผู้เขียน ในการศึกษาระดับปริญญาโท

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ ตลอดจนนิสิตปริญญาโท ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือ และคอยเป็นกำลังใจให้แก่ผู้เขียนด้วยดีตลอดมา.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ณ

บทที่

1. บทนำ 1
   1.1 สาเหตุและที่มาของปัญหา 1
   1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัยและขอบเขต 3
   1.3 ประวัติการค้นพบธาตุแมกนีเซียม 4
   1.4 แหล่งกำเนิดของแมกนีเซียม 4
   1.5 การกำเนิดของแร่โดโลไมต์ 5
2. ทฤษฎี 14
   2.1 การศึกษาคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ของแร่โดโลไมต์ 14
      2.1.1 อะตอมมิกแอพซอพชันสเปกโทรโฟโตเมตรี 14
      2.1.2 เฟลมโฟโตเมตรี 17
      2.1.3 ไอ ซี พี อะตอมมิก อีมิสชัน สเปกโทรเมตรี 17
      2.1.4 X-ray Fluorescence Spectrometry 20
      2.1.5 Thermal Analysis 24
   2.2 ฟลูอิไดเซชัน 26
   2.3 กระบวนการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคาร์บอเนต 32
   2.4 กระบวนการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ 34
   2.5 กระบวนการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์ 35

บทที่ หน้า

2.6 กระบวนการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต 37
2.7 กระบวนการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 37
3. การดำเนินการทดลอง เครื่องมือ และผลการทดลอง 40
3.1 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 40
3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 40
3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 43
3.1.3 สารละลายมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง 44
3.2 สารตัวอย่างและการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อนำไปศึกษา 44
3.3 การทดลองหาสมบัติของแร่โดโลไมต์ 44
3.3.1 การหาสมบัติทางกายภาพของแร่โดโลไมต์ 44
3.3.1.1 การหาปริมาณความชื้น 44
3.3.1.2 การหาความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ 45
3.3.1.3 การหาองค์ประกอบทางธรณีของแร่โดโลไมต์ โดยใช้เทคนิคทาง X-ray diffraction spectrometry 46
3.3.2 การหาสมบัติทางเคมีของแร่โดโลไมต์ 47
3.3.2.1 การหาน้ำหนักที่หายไปเมื่อเผาที่อุณภูมิสูง 47
3.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงของแร่โดโลไมต์ในขณะเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน 49
3.4 การศึกษาองค์ประกอบในแร่โดโลไมต์ 52
3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่โดโลไมต์โดยใช้เทคนิคทาง X-ray fluorescence spectrometry (XRFS) 52
3.4.1.1 การทำคุณภาพวิเคราะห์ 52
3.4.1.2 การทำปริมาณวิเคราะห์ 55
3.4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณขององค์ประกอบของแร่โดโลไมต์ โดยใช้เทคนิคทาง Atomic absorption spectrometry (AAS) และ Flame photometry 56

บทที่ หน้า

3.4.3 การวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ โดยใช้เทคนิค ICPS 58
3.4.4 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโดโลไมต์ตามวิธีมาตรฐาน 61
3.4.4.1 การหาปริมาณของซิลิกาหรือสารที่ไม่ละลายในกรด 61
3.4.4.2 การหาปริมาณของออกไซด์รวม 62
3.4.4.3 การหาปริมาณแคลเซียมออกไซด์ 62
3.4.4.4 การหาปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ 63
3.4.4.5 การหาปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในแร่โดโลไมต์ โดยวิธีไทเทรชัน 64
3.4.4.6 การหาปริมาณ CO_2 โดยใช้วิธีหาน้ำหนักที่หายไป (Loss of weight methods) 66
3.5 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ calcination ของแร่โดโลไมต์ 67
3.5.1 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการ calcination ในเตาเผาแบบธรรมดา 67
3.5.1.1 ศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ calcination 67
3.5.1.2 ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการ calcination 75
3.5.2 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการ calcination ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 83
3.5.2.1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ของความเร็วอากาศและความดันตกที่วัดจากแมนอมิเตอร์ 83
3.5.2.2 ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิไดเซชัน 83
3.5.2.3 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการ calcination 87

บทที่ หน้า

3.5.2.4 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการ calcination 92
3.5.2.5 การหาความเร็วลมที่เหมาะสมในการ calcination 105
3.6 การเตรียมสารประกอบที่สำคัญของแมกนีเซียม 110
3.6.1 การเตรียมสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนต 110
3.6.1.1 โดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ calcined dolomite ต่อน้ำที่ใช้ในการ suspension 110
3.6.1.2 โดยการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 111
3.6.2 การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ 112
3.6.2.1 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์จากสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนต 112
3.6.2.2 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์จากสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ... 114
3.6.3 การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) 116
3.6.3.1 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟตจากสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตกับกรดซัลฟุริก 116
3.6.3.2 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟตจากสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์กับกรดซัลฟุริก 118
3.6.4 การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2.6H_2O$) 118
3.6.4.1 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์จากเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตกับกรดไฮโดร-คลอริก 118

บทที่ หน้า

3.6.4.2 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์จากแมกนีเซียมออกไซด์กับกรดไฮโดรคลอริก 120
3.6.5 การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 122
3.6.5.1 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์จากแมกนีเซียมซัลเฟตกับสารละลาย-แอมโมเนียเข้มข้น 122
3.6.6 การเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซิลิเกต 124
3.6.6.1 เตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซิลิเกตจากแมกนีเซียมซัลเฟตกับสารละลายโซเดียม-ซิลิเกต 124
3.7 การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารประกอบแมกนีเซียมต่าง ๆ 129
3.7.1 วิธีการตรวจสอบเปอร์เซนต์ของเบสิกแมกนีเซียม-คาร์บอเนตในสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่เตรียมได้ 129
3.7.2 วิธีการตรวจสอบเปอร์เซนต์ของแมกนีเซียมออกไซด์ในสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ที่เตรียมได้ 129
3.7.3 วิธีการตรวจสอบเปอร์เซนต์ของแมกนีเซียมซัลเฟตในสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟตที่เตรียมได้ 129
3.7.4 วิธีการตรวจสอบเปอร์เซนต์ของแมกนีเซียมคลอไรด์ในสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์ที่เตรียมได้ 130
3.7.5 วิธีการตรวจสอบเปอร์เซนต์ของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้ .. 130
4. สรุปผลการทดลอง วิจารณ์ และข้อเสนอแนะ 132
เอกสารอ้างอิง 143
ภาคผนวก 148
ประวัติผู้เขียน 150

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงปริมาณผลผลิตแร่โดโลไมต์ในประเทศ	1
1.2	แสดงมูลค่าการนำเข้าของสารประกอบแมกนีเซียมในแต่ละปี	2
1.3	แสดงแหล่งที่พบของแร่แมกนีเซียมชนิดต่าง ๆ	7
1.4	การเรียกชื่อหินคาร์บอเนต (Limestone & Dolomite)	9
1.5	ผลวิเคราะห์ทางเคมีของแร่โดโลไมต์ จากกองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี	10
3.1	แสดงความชื้นในแร่โดโลไมต์	45
3.2	แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์	46
3.3	แสดงผลการหาน้ำหนักที่หายไปเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ (1000 องศาเซลเซียส)	49
3.4	แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญของแร่โดโลไมต์ โดยเทคนิค X-ray fluorescence spectrometry	55
3.5	แสดงค่าต่าง ๆ ที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โดยใช้เทคนิคทาง AAS	58
3.6	แสดงผลวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักในแร่โดโลไมต์ตัวอย่าง โดยเทคนิคทาง AAS และ ICPS	60
3.7	แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอยย่อยในแร่โดโลไมต์ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิคทาง AAS, Flame photometry และ ICPS	60
3.8	แสดงผลการหาซิลิกาหรือสารที่ไม่ละลายในกรด ออกไซด์รวม แคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์	64
3.9	แสดงผลการหาปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในแร่โดโลไมต์โดยการไทเทรชัน	67
3.10	แสดงผลการหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในแร่โดโลไมต์	68
3.11	แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์	

ตารางที่ หน้า

ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบธรรมดา 69
3.12 แสดงน้ำหนักที่หายไปของส่วนที่ยังเหลืออยู่ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบธรรมดา 71
3.13 แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์จากส่วนที่ถูก calcined โดยใช้ TGA 74
3.14 แสดงความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบธรรมดา 75
3.15 แสดงน้ำหนักที่หายไป และร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จากเตาเผาแบบธรรมดา 78
3.16 แสดงน้ำหนักที่หายไปของแร่โดโลไมต์ส่วนที่ยังเหลืออยู่ หลังจากถูก calcined ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ จากเตาเผาแบบธรรมดา 78
3.17 แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination แร่โดโลไมต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จากเตาเผาแบบธรรมดา 79
3.18 แสดงความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จากเตาเผาแบบธรรมดา .. 79
3.19 แสดงค่า ΔP, $\sqrt{\Delta P_1}$, u ที่วัดได้ 84
3.20 แสดงค่า u, ΔP_2, log u, log ΔP_2 84
3.21 แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 87
3.22 แสดงน้ำหนักที่หายไปของส่วนที่ยังเหลืออยู่ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันโดยเทคนิคทาง TGA 88
3.23 แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์ในส่วนที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 88

ตารางที่ หน้า

3.24 แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 92
3.25 แสดงน้ำหนักที่หายไปของส่วนที่ยังเหลืออยู่ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน โดยเทคนิคทาง TGA 93
3.26 แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์จากส่วนที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 93
3.27 แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันเมื่อมีการปรับปรุงแล้ว 101
3.28 แสดงน้ำหนักที่หายไปของส่วนที่เหลืออยู่ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันเมื่อมีการปรับปรุงแล้ว 102
3.29 แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันเมื่อมีการปรับปรุงแล้ว .. 102
3.30 แสดงผลการหาความถ่วงจำเพาะของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลมต่าง ๆ กัน 105
3.31 แสดงน้ำหนักที่หายไปของส่วนที่เหลืออยู่ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลมต่าง ๆ กัน 106
3.32 แสดงน้ำหนักที่หายไปและร้อยละของการ calcination ของแร่โดโลไมต์ที่ถูก calcined ที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ความเร็วลมต่าง ๆ กัน 106
3.33 แสดงผลการเตรียมสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ calcined dolomite ต่อน้ำ 110
3.34 แสดงผลการเตรียมสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงในสารละลาย 111

ตารางที่ หน้า

3.35 แสดงผลการเตรียมสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตจาก calcined dolomite ที่ suspend ในน้ำ ในอัตราส่วน 1 : 60 และผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นเวลา 75 นาที 112

3.36 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์จากสารประกอบเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนต 114

3.37 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์จากสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ 114

3.38 แสดงค่า d ของสารมาตรฐานแมกนีเซียมออกไซด์ โดยเทคนิคทาง X-ray diffraction 115

3.39 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟตจากเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตกับกรดซัลฟุริก 116

3.40 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟตจากแมกนีเซียมออกไซด์กับกรดซัลฟุริก 118

3.41 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์จากเบสิกแมกนีเซียม-คาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริก 120

3.42 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมคลอไรด์จากแมกนีเซียมออกไซด์กับกรดไฮโดรคลอริก 122

3.43 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์จากแมกนีเซียม-ซัลเฟตกับสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 124

3.44 แสดงค่า d ของสารมาตรฐานแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ โดยเทคนิคทาง X-ray diffraction 125

3.45 แสดงผลการเตรียมสารประกอบแมกนีเซียมซิลิเกตจากแมกนีเซียมซัลเฟตกับสารละลายโซเดียมซิลิเกต 126

3.46 แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบในแมกนีเซียมซิลิเกตที่เตรียมได้ และใน Florisil โดยเทคนิคทาง X-ray fluorescence spectrometry 126

3.47 แสดงผลการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของสารประกอบแมกนีเซียม 131

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS	15
2.2	แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐานโดยวิธี Standard addition	16
2.3	แสดงส่วนประกอบของเครื่องเฟลมโฟโตมิเตอร์	17
2.4	แสดงรูปตัดของ ICP torch	19
2.5	แสดงลักษณะของเครื่องมือ ICPS	20
2.6	แสดงลักษณะของเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer แบบ wavelength dispersive system	22
2.7	แสดงส่วนประกอบของ Energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer โดยมีแหล่งที่ทำให้เกิดการกระตุ้นจาก (a) หลอด X-ray (b) เรดิโอไอโซโทป	23
2.8	Principle of Shimadzu Micro-Thermobalance	24
2.9	แสดง Thermogram จากการสลายตัวของ $CaC_2O_4.H_2O$	25
2.10	Principle of Micro-DTA	25
2.11	แสดง Differential thermogram การสลายตัวของ $CaC_2O_4.H_2O$ ในบรรยากาศของแก๊สออกซิเจน	26
2.12	แสดงเตาที่ใช้ในการถลุงแร่สังกะสี	29
2.13	แสดงการถลุงแร่ไพโรต์สำหรับผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์	30
2.14	แสดงเตาที่ใช้ในการถลุงแร่เหล็ก	31
3.1	แสดงลักษณะเตาเผาฟลูอิไดเซชันที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2	แสดง X-ray diffraction pattern ของแร่โดโลไมต์ที่ใช้	48
3.3	แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักใน TGA และน้ำหนักที่แตกต่างกัน (Δwt) ในระหว่างการเผาของแร่โดโลไมต์ตัวอย่าง	50
3.4	แสดงการสลายตัวของแร่โดโลไมต์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน ด้วยเทคนิค DTA และ TGA	51

รูปที่		หน้า
3.5ก	แสดง X-ray fluorescence spectrum ของ Dolomite Sample #9h จาก Bureau of Analyzed Sample Ltd.	53
3.5ข	แสดง X-ray fluorescence spectrum ของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ใช้	54
3.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า absorbance กับค่าความเข้มข้นของแมกนีเซียม	57
3.7	Schroetter Alkalimeter	67
3.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการ calcination แร่โดโลไมต์จากเตาเผาธรรมดากับน้ำหนักที่หายไป	70
3.9	TGA ของ calcined dolomite จากเตาเผาแบบธรรมดาที่อุณหภูมิต่าง ๆ	72
3.10	DTA ของ calcined dolomite ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบธรรมดา	73
3.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการ calcination แร่โดโลไมต์จากเตาเผาแบบธรรมดากับความถ่วงจำเพาะ	76
3.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการ calcination แร่โดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบธรรมดากับน้ำหนักที่หายไป	77
3.13	TGA ของ calcined dolomite ที่ 800 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบธรรมดาในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน	80
3.14	DTA ของ calcined dolomite ที่ 800 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบธรรมดาในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน	81
3.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการ calcination แร่-โดโลไมต์ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบธรรมดากับความถ่วงจำเพาะ	82
3.16ก	แสดงลักษณะเครื่องมือที่ใช้ในการปรับความเร็วลมเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน	85

รูปที่ หน้า

3.16ข หอทดลองที่ทำด้วยพลาสติกใสในการหาความเร็วต่ำสุด 85

3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับ $\sqrt{\Delta P_1}$ จากแอนนิโมมิเตอร์ 86

3.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง log P_2 กับ log u 86

3.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการ calcination แร่-โดโลไมต์ จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันกับความถ่วงจำเพาะ 89

3.20 TGA ของ calcined dolomite จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน 90

3.21 DTA ของ calcined dolomite ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 91

3.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการ calcination แร่-โดโลไมต์ที่ 1000 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันกับความถ่วงจำเพาะ 94

3.23 TGA ของ calcined dolomite ที่ 1000 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน 95

3.24 DTA ของ calcined dolomite ที่ 1000 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน 96

3.25 แสดงเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่เพิ่ม Preheater 97

3.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับ $\sqrt{\Delta P_1}$ เมื่อมี Preheater 98

3.27 แสดงการเพิ่มความสูงของเบดในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 99

3.28 แสดงการเพิ่มดินทนไฟใต้แผ่นกระจายความเร็วลมในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน 100

3.29 TGA ของ calcined dolomite จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่มีการปรับปรุง 103

3.30 DTA ของ calcined dolomite จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่มีการปรับปรุง 104

3.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมที่ใช้ในการ calcination แร่โดโลไมต์ที่ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กับความถ่วงจำเพาะ 107

รูปที่ หน้า

3.32 TGA ของ calcined dolomite ที่ 1000 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่มีความเร็วลมต่าง ๆ กัน 108

3.33 DTA ของ calcined dolomite ที่ 1000 องศาเซลเซียส จากเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่มีความเร็วลมต่าง ๆ กัน 109

3.34 แสดงค่า d จาก X-ray diffraction pattern ของเบสิก-แมกนีเซียมคาร์บอเนตจาก calcined dolomite 113

3.35 แสดงค่า d จาก X-ray diffraction pattern ของแมกนีเซียมออกไซด์ 115

3.36 แสดงค่า d จาก X-ray diffraction pattern ของแมกนีเซียมซัลเฟตจากเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตกับกรดซัลฟุริก 117

3.37 แสดงค่า d จาก X-ray diffraction pattern ของแมกนีเซียมซัลเฟตจากแมกนีเซียมออกไซด์กับกรดซัลฟุริก 119

3.38 TGA และ DTG ของแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($MgCl_2.6H_2O$) จากเบสิกแมกนีเซียมคาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริก 121

3.39 TGA และ DTG ของแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($MgCl_2.6H_2O$) จากแมกนีเซียมออกไซด์กับกรดไฮโดรคลอริก 123

3.40 แสดงค่า d จาก X-ray diffraction pattern ของแมกนีเซียม-ไฮดรอกไซด์ 125

3.41 แสดง X-ray diffraction pattern ของแมกนีเซียมซิลิเกต ... 127

3.42 แสดง X-ray Fluorescence spectrum ของแมกนีเซียมซิลิเกต . 128