

การเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชั่น กรณีศึกษาเหมืองศิลาชัย ประเทศไทย



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Value added of dolomite by calcination method: A case study of Silachai Mine,
Thailand.

Miss Thidarat Meekoch



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering
Department of Mining and Petroleum Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชัน กรณีศึกษา เหมืองศิลาชัย ประเทศไทย
โดย	นางสาวธิดารัตน์ มีคช
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรณนะเดช)
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

ธิดารัตน์ มีคช : การเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชัน กรณีศึกษาเหมืองศิลาชัย ประเทศไทย (Value added of dolomite by calcination method: A case study of Silachai Mine, Thailand.) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ, 147 หน้า.

แร่โดโลไมต์เป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากอย่างหนึ่งที่มีประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการเกษตร อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมเซรามิก แต่ส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งมีมูลค่าไม่สูงมากนัก แต่สำหรับอุตสาหกรรมบางประเภทได้มีการนำแมกนีเซียมออกไซด์ที่อยู่ในแร่โดโลไมต์ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญมากมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากว่าแร่โดโลไมต์นั้นจะมีค่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่ร้อยละ 45.65 แต่ในธรรมชาติแร่โดโลไมต์ที่พบมักมีค่าแมกนีเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่านี้เสมอ การวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ การศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และอุณหภูมิที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ นำมาจากบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย ในการทดลองจะนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และพื้นที่บีขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร มาผ่านกระบวนการแคลซิเนชันที่อุณหภูมิ 1,000 1,100 และ 1,200 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด จากนั้นจะนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าองค์ประกอบทางเคมี และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ จากผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างแร่โดโลไมต์ก่อนเผาจะมีค่าแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 37 ค่าแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 14 และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้อยู่ที่ร้อยละ 47 และเมื่อเผาเสร็จแล้วตัวอย่างแร่โดโลไมต์หลังเผาจะมีค่าแคลเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 54 ค่าแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 26 และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้น้อยกว่าร้อยละ 19 และยังพบว่าตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีหลังเผาที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง มีค่าแคลเซียมออกไซด์สูงสุดร้อยละ 60.22 ค่าแมกนีเซียมออกไซด์สูงสุดร้อยละ 37.64 และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้น้อยสุดร้อยละ 1.82 ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากค่าแมกนีเซียมออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีของแร่โดโลไมต์มีค่าสูงกว่าร้อยละ 35 และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้น้อยกว่าร้อยละ 6 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีแคลซิเนชันสามารถเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ได้จริงเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการลงทุน และเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของแหล่งแร่โดโลไมต์อื่นๆ ในประเทศไทยต่อไป

ภาควิชา วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรธรณี ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558 ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาร่วม

5670227621 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: DOLOMITE / CALCINATION / CALCINED DOLOMITE / BURNT DOLOMITE / MAGNESIUM OXIDE / VALUE ADDED / DISCOUNTED CASH FLOW

THIDARAT MEEKOCH: Value added of dolomite by calcination method: A case study of Silachai Mine, Thailand.. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMSAK SAISINCHAI, M.Eng, CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHARON, Ph.D., 147 pp.

Dolomite is useful economical resource in many industries such as agricultural, steel, ceramics industries. Some industries use magnesium oxide which is the important component in dolomite. Naturally, dolomite has magnesium carbonate less than 45.65 percent thus this research focus on improvement of dolomite values. The objective of this research is to find an optimum condition for calcination process by varying the dolomite diameter and temperature. Dolomite sample using in this research obtained from Silachai Surat Co., Ltd., Surat thani province, Thailand. The experiment was carry out by using dolomite (25, 50 and 75 mm. diameter) obtained from area A and B. Samples were taken to calcination process at temperature of 1,000, 1,100 and 1,200 degree Celsius. After calcine, the dolomite was analyzed of it is chemical compositions and loss on ignition by x-ray fluorescent. The results indicated that pre-calcination of dolomite sample had 37, 14 and 47 percent of calcium oxide, magnesium oxide and loss on ignition, respectively. Post-calcination dolomite sample had calcium oxide and magnesium oxide composition higher than 54 and 26 percent and loss on ignition less than 19 percent. Moreover, the post-calcination dolomite sample (75 mm. diameter) of area B at the calcination temperature of 1,200 degree Celsius and at duration of 2 hours had maximum calcium oxide composition of 60.22 percent, maximum magnesium oxide composition of 37.64 percent and minimum loss on ignition of 1.82 percent. The aforementioned condition was suitable for calcination process in this research because magnesium oxide composition of dolomite was exceed the value of 35 percent and loss of ignition less than 6. These results indicated that calcination at high temperature was able to increase dolomite values. Economic analysis by discounted cash flow was executed for investigation feasibility of dolomite values improvement, investment decision and guideline of other dolomite sources of Thailand.

Department: Mining and Petroleum Student's Signature

Engineering Advisor's Signature

Field of Study: Georesources Engineering Co-Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์จากองค์กร บุคลากร และผู้มีพระคุณหลายท่าน อาทิ รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมเป็นอย่างยิ่งในการให้คำปรึกษาแนวคิด และแนะนำแนวทางในการแก้ไข ปรับปรุง เพิ่มเติมการวิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาการวิจัย พร้อมทั้งสนับสนุนเงินทุนการวิจัย และตรวจทานวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งให้กำลังใจในการก้าวผ่านอุปสรรคต่างๆ จนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปรามโหมทย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวลัย วิวรรณะเดช และรองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็น ตลอดจนแนะนำแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ บุคลากรทุกฝ่าย ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลทั้งหลายที่เกี่ยวข้อง และให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างแร่โดโลไมต์เพื่อมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ บุคลากรทุกฝ่าย ของบริษัท ผาตูป จำกัด และคุณยุทธนา แก้วตาบุตร และเจ้าหน้าที่ บุคลากร ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลทั้งหลายที่เกี่ยวข้อง และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง รวมทั้งการให้การช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณจิระประภา เนียมปาน และเจ้าหน้าที่ บุคลากร ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณสมบูรณ์ เจริญภูมิการกิจ และเจ้าหน้าที่ บุคลากร ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลผลการวิเคราะห์ต่างๆ และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ในการวิเคราะห์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ บุคลากร รุ่นพี่ รุ่นน้อง มิตรสหาย ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การช่วยเหลือเกื้อกูล อำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนคอยเป็นกำลังใจ ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนเงินทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ครั้งที่ 1 ภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2558 ปีงบประมาณ 2559 ในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่คอยสนับสนุนปัจจัยในการส่งเสริมการเรียน และคอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาในทุกๆ เรื่อง รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มา และความสำคัญของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 คำจำกัดความ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้อมูลเบื้องต้น.....	4
2.1.1 แรโดโลไมต์ (Dolomite).....	4
2.1.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ	4
2.1.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี.....	4
2.1.1.3 ลักษณะเด่น และวิธีตรวจ.....	5
2.1.1.4 การกำเนิดของแรโดโลไมต์	5
2.1.1.5 การใช้ประโยชน์	7
2.1.1.6 การจำแนกชนิดของหินปูน และแรโดโลไมต์.....	10
2.1.1.7 ลักษณะสมบัติของแรโดโลไมต์ที่ซื้อขายในประเทศไทย	11

2.1.1.8 ปริมาณแร่สำรองในประเทศไทย	12
2.1.1.9 การผลิต และการใช้งานแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย.....	12
2.1.1.10 การส่งออกแร่โดโลไมต์ไปต่างประเทศ และการนำเข้าแร่โดโลไมต์มาใน ประเทศไทย.....	13
2.1.1.11 ราคาประกาศ และค่าภาคหลวงแร่.....	14
2.1.1.12 ลักษณะของแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในต่างประเทศ	16
2.1.1.13 แหล่งแร่โดโลไมต์ในประเทศ และต่างประเทศ	17
2.1.2 แคลไซต์โดโลไมต์ (Calcine dolomite).....	18
2.1.2.1 กระบวนการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกระบวนการเผา....	18
2.1.2.2 กระบวนการสลายตัวของโครงสร้างทางเคมี	19
2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของหินปูน และแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย	20
2.2.1 หินปูนยุคออร์โดวิเซียน (Ordovician).....	21
2.2.2 หินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian).....	23
2.2.3 หินปูนยุคไทรแอสสิก และจูแรสสิก (Triassic and Jurassic).....	27
2.3 เตาเผาอุณหภูมิสูง	29
2.3.1 เตาเผาอนุภาค	29
2.4 เทคโนโลยีเตापูนขาว	31
2.4.1 เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln)	31
2.4.2 เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous Kiln)	32
2.4.2.1 เตาตั้ง (Vertical Shaft Kiln).....	32
2.4.2.2 เตาแบบหมุน (Rotary Kiln).....	36
2.5 การเปรียบเทียบด้านเทคนิคของเทคโนโลยีเตापูนขาวแต่ละประเภท	37
2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์	38

2.6.1 การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis).....	38
2.6.1.1 การคาดคะเนกระแสไหลเวียนของเงินสดของโครงการ (Cash Flow).....	38
2.6.1.2 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)	38
2.6.1.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio, B/C Ratio)	39
2.6.1.4 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)	40
2.6.1.5 การวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ (Sensitive Analysis)	42
2.6.1.6 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	42
2.6.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน (Investment Decision).....	44
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	56
3.1 กรรมวิธีการแต่งแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด.....	56
3.2 การศึกษาการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชันของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด.....	58
3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	58
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	58
3.2.3 พื้นที่ตัวอย่างแร่โดโลไมต์	59
3.2.4 การเตรียมตัวอย่างแร่โดโลไมต์.....	59
3.2.4.1 การศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์	60
3.2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการลงทุน	62
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	64
4.1 การศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์	64
4.1.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา	64

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา.....	66
บทที่ 5 การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของโครงการ และการตัดสินใจลงทุน.....	72
5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางการเงิน	72
5.2 การประมาณค่าใช้จ่ายในการประเมินโครงการ	72
5.2.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital costs).....	72
5.2.2 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Operating costs).....	73
5.3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน.....	75
5.3.1 กรรมวิธีการผลิตแร่โดโลไมต์โดยกระบวนการแคลซิเนชัน.....	75
5.3.2 สมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ	76
5.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์.....	78
5.4.1 กรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก.....	78
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	80
6.1 อภิปรายสรุปผลการวิจัย	80
6.2 ข้อเสนอแนะ	81
รายการอ้างอิง	83
ภาคผนวก.....	84
ภาคผนวก ก	85
ภาคผนวก ข	123
ภาคผนวก ค	130
ภาคผนวก ง.....	135
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	147

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การเรียกชื่อหินคาร์บอนेटโดยพิจารณาจากร้อยละของแร่โดโลไมต์ แมกนีเซียม ออกไซด์ และแมกนีเซียมคาร์บอนेट 10

ตารางที่ 2.2 คุณภาพแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป 11

ตารางที่ 2.3 คุณภาพแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก 12

ตารางที่ 2.4 คุณภาพแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และผลิตหินเกล็ด 12

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลสถิติการผลิต และการใช้แร่โดโลไมต์ในประเทศ..... 13

ตารางที่ 2.6 ข้อมูลสถิติการส่งออกแร่ไปต่างประเทศ และการนำเข้าแร่มาในประเทศไทย 14

ตารางที่ 2.7 ราคาแร่ และพิกัดค่าภาคหลวงแร่ตามประกาศราคาแร่แต่ละชนิด ณ วัน นั้นๆ 15

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศต่างๆ 17

ตารางที่ 2.9 การสลายตัวของโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบ 19

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลทางเทคนิคของเทคโนโลยีเตาปูนขาวแต่ละประเภท 37

ตารางที่ 2.11 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ 52

ตารางที่ 3.1 ผลผลิตแร่โดโลไมต์ที่ผ่านกรรมวิธีการแต่งแร่โดโลไมต์ด้วยวิธีทางกายภาพ 58

ตารางที่ 3.2 ขนาดของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา . 61

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอก่อนเผา..... 65

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีก่อนเผา..... 65

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอหลังเผา 68

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีหลังเผา 69

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติทั่วไป และความต้องการองค์ประกอบทางเคมีของผู้ซื้อใน ต่างประเทศ..... 71

ตารางที่ 5.1 แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น..... 73

ตารางที่ 5.2 แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายในการทำงาน..... 75

ตารางที่ 5.3 การสมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ 77

ตารางที่ 5.4 การสมมติฐานของกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก	78
ตารางที่ 5.5 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก	79



สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 แสดงการจำแนกหินปูน (ก) กับหินโดโลไมต์ (ข) จากองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3)	11
ภาพที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิที่สลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแร่โดโลไมต์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอล (Differential Thermal Analysis, DTA).....	18
ภาพที่ 2.3 กระบวนการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแร่โดโลไมต์ภายในกระบวนการเผา	19
ภาพที่ 2.4 แผนที่การกระจายตัวของหินปูน หินอ่อน และหินโดโลไมต์ในประเทศไทย	20
ภาพที่ 2.5 แผนที่การกระจายตัวของหินปูนยุคออร์โดวิเซียนในประเทศไทย และประเทศมาเลเซีย	21
ภาพที่ 2.6 การแบ่งลำดับหน่วยหินในหินปูนยุคออร์โดวิเซียนหรือหมู่หินทุ่งสง	22
ภาพที่ 2.7 แผนที่การกระจายตัวของหินปูนยุคเพอร์เมียน	23
ภาพที่ 2.8 ลำดับชั้นหินปูนบริเวณอำเภอลำน้ำราษายณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์	24
ภาพที่ 2.9 ลักษณะชั้นหินปูนของหมู่หินราชบุรีบริเวณภาคใต้	25
ภาพที่ 2.10 การกระจายตัว และลักษณะของหินปูนยุคเพอร์เมียนหรือหมู่หินสระบุรีบริเวณด้านตะวันตก	26
ภาพที่ 2.11 การกระจายตัว และลักษณะของหินปูนยุคเพอร์เมียนหรือหมู่หินสระบุรีบริเวณตอนกลาง และด้านตะวันออก	27
ภาพที่ 2.12 การกระจายตัวของหินปูนยุคไทรแอสสิก และยูแรลสิกหรือหมู่หินลำปาง	28
ภาพที่ 2.13 การแบ่งลำดับชั้นหินปูนในยุคไทรแอสสิก และยูแรลสิกหรือหมู่หินลำปาง	29
ภาพที่ 2.14 เตาเผาสารในสภาวะก๊าซไหล	30
ภาพที่ 2.15 เตาเผาสารในอากาศนิ่งปกติ	30
ภาพที่ 2.16 เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln)	32
ภาพที่ 2.17 เตาตั้ง (Vertical Shaft Kiln)	33
ภาพที่ 2.18 เตาตั้งแบบ Mixed Feed	34

ภาพที่ 2.19	เตาแบบหมุน (Rotary Kiln).....	36
ภาพที่ 2.20	ปริมาณ และมูลค่าของหินปูน และแร่โดโลไมต์ที่ขายในปี 1959 ตามการใช้งาน.....	45
ภาพที่ 2.21	ผลการวิเคราะห์หินปูน และแร่โดโลไมต์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF).....	46
ภาพที่ 2.22	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเผากับขนาด และอุณหภูมิของหินปูนที่มีแคลเซียมสูงทรงกลม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (a) 150 มิลลิเมตร (b) 125 มิลลิเมตร (c) 100 มิลลิเมตร (d) 75 มิลลิเมตร (e) 50 มิลลิเมตร และ (f) 25 มิลลิเมตร	47
ภาพที่ 2.23	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเผากับขนาด และอุณหภูมิของหินปูนที่มีแคลเซียมสูงทรงกลมตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ	48
ภาพที่ 2.24	การวิเคราะห์ทางความร้อนของแร่โดโลไมต์ (ก) กราฟของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) (ข) กราฟของเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) และ (ค) กราฟของเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลเทอร์มอล (DTA)	51
ภาพที่ 3.1	แผนผังขั้นตอนการแต่งแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด.....	57
ภาพที่ 3.2	(ก) ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และ (ข) ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี.....	59
ภาพที่ 3.3	(ก) การจัดเรียงตะแกรงมาตรฐาน (ข) ตะแกรงขนาด 25 มิลลิเมตร (ค) ตะแกรงขนาด 50 มิลลิเมตร และ (ง) ตะแกรงขนาด 75 มิลลิเมตร.....	60
ภาพที่ 3.4	เตาเผาอุณหภูมิสูง ของ Carbolite รุ่น CWF 1300 ประเทศอังกฤษ ที่ใช้ในการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	61
ภาพที่ 3.5	เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ของ Bruker AXS รุ่น S4 Pioneer (WDXRF) ประเทศเยอรมนี ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	62
ภาพที่ 4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาของตัวอย่างแร่โดโลไมต์พื้นที่เอ และพื้นที่บีหลังเผา โดย (●) ค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้มากกว่า 5 และ (■) ค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้น้อยกว่า 5.....	70
ภาพที่ 5.1	แผนผังขั้นตอนการผลิตแร่โดโลไมต์โดยกระบวนการแคลซิเนชันของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของการวิจัย

แร่โดโลไมต์เป็นทรัพยากรที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจมากอย่างหนึ่งที่มีประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ หลายประเภท เช่น งานก่อสร้าง งานเกษตรกรรม งานอุตสาหกรรม งานสิ่งแวดล้อม เป็นต้น เพราะเป็นแร่โลหะหรือแร่อุตสาหกรรมที่เกิดจากการตกผลึกจากน้ำทะเลของธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของแหล่งวัตถุดิบ รวมถึงพื้นที่ตั้งของอุตสาหกรรมที่ใช้ประโยชน์นั้น ส่วนใหญ่แร่โดโลไมต์จะถูกนำไปใช้งานมากที่สุดในประเภทงานก่อสร้างหรือหินประดับซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าไม่สูงมากนัก แต่สำหรับงานบางประเภทได้มีการนำแมกนีเซียมออกไซด์ที่อยู่ในแร่โดโลไมต์ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำปูนซีเมนต์บางชนิด ใช้ทำแมกนีเซียมซึ่งเป็นวัสดุทนไฟใช้สำหรับการบุเตาถลุงเหล็กโดยเป็นเตาคอนเวอร์เตอร์ในการผลิตเหล็กกล้าขั้นต้น ใช้ในอุตสาหกรรมทำแก้วบางชนิด เช่น พวงแก้วแผ่น (Special glass) (อายุวัฒน์ สว่างผล, 2543) ใช้ในอุตสาหกรรมเคมีต่างๆ เช่น กรองน้ำให้บริสุทธิ์ ใช้เตรียมเกลือแมกนีเซียม (Magnesium salt) ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษ ใช้ทำโลหะผสมแมกนีเซียม (Magnesium Alloy) เช่น ล้อแม็กในอุตสาหกรรมรถยนต์ ใช้เป็นสารปรับปรุงสภาพบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำ และเป็นสารปรับปรุงสภาพดิน เป็นต้น (รักษา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

ในประเทศไทยสามารถพบแหล่งแร่โดโลไมต์ได้ในหลายจังหวัด เช่น แหล่งแร่โดโลไมต์จังหวัดกาญจนบุรี ตรัง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช แพร่ เพชรบูรณ์ เป็นต้น ซึ่งบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นหนึ่งในประเทศไทยที่มีแหล่งแร่โดโลไมต์ มีผลผลิตแร่โดโลไมต์ประมาณ 75,000 – 80,000 ตันต่อเดือน ผลผลิตแร่โดโลไมต์ที่ได้มาจากการแต่งแร่ด้วยวิธีการกายภาพ คือ การนำแร่โดโลไมต์ที่มีขนาดใหญ่ที่ได้จากการระเบิดหน้าเหมือง ไปลดขนาดด้วยวิธีการบดหรือย่อยเพื่อให้ได้ขนาดเล็กลงๆ ตามที่ต้องการซึ่งจะไม่ผ่านกระบวนการเผาใดๆ ทั้งสิ้นแล้วจึงนำไปจำหน่ายในราคาถูกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์สำหรับในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องการ ซึ่งกรรมวิธีนี้เป็นแบบทั่วไปที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีมูลค่าไม่สูงมากนัก

จากเหตุผล และความสำคัญของการวิจัยดังกล่าวนี้จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชัน (Calcination) ส่วนตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้นำมาจากบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย ซึ่งตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่นำมาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี โดยวิธีแคลซิเนชันนั้นเป็นวิธีทางเคมี คือ การนำแร่โดโลไมต์มาทำการเผาในเตาเผาที่มี

อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้ขนาด และองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ที่ต้องการ และนำแร่โดโลไมต์ที่ผ่านกระบวนการแคลซิเนชันนั้นไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องการต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการลงทุน และเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของแหล่งแร่โดโลไมต์อื่นๆ ในประเทศไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย โดยวิธีแคลซิเนชัน และเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของแหล่งแร่โดโลไมต์อื่นๆ ในประเทศไทยต่อไป

1.2.2 เพื่อศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์

1.2.3 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการลงทุนของผู้ผลิตในการดำเนินโครงการ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษากการวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย ซึ่งตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่นำมาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี มาทำการทดลองโดยวิธีแคลซิเนชัน ซึ่งจะกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาแตกต่างกันออกไป จากนั้นทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ก่อนเผา และหลังเผา ประเมินค่าความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มค่า และค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการเพื่อเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์

1.4 คำจำกัดความ

แร่โดโลไมต์ แคลซิเนชัน แร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก แมกนีเซียมออกไซด์ การเพิ่มมูลค่าแบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 1.5.1 สามารถเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชันจากวิธีเดิม คือ วิธีทางกายภาพ
- 1.5.2 สามารถทราบความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มค่า และค่าใช้จ่ายเพื่อดัดสนใจการลงทุนในการดำเนินโครงการ
- 1.5.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของแหล่งแร่โดโลไมต์อื่นๆ ในประเทศไทยต่อไป



บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 แร่โดโลไมต์ (Dolomite)

แร่โดโลไมต์เป็นชื่อแร่ ซึ่งตั้งชื่อให้เป็นเกียรติแก่นักเคมีชาวฝรั่งเศส Déodat Gratet de Dolomieu (พ.ศ. 2293 – 2344) แร่โดโลไมต์เป็นแร่ที่เกิดจากการตกผลึกจากน้ำทะเลของธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียม แร่โดโลไมต์ที่ถือว่ามีคุณค่าทางความบริสุทธิ์มาก มีสารประกอบคาร์บอนตรวมกันมากกว่าร้อยละ 97 (อำไพ ทองภิญโญชัย, 2542)

2.1.1.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ

แร่โดโลไมต์เป็นแร่โลหะหรือแร่อุตสาหกรรม รูปผลึกแบบระบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal) หรือรูปผลึกแบบหกเหลี่ยม มีลักษณะคล้ายหินปูนบางครั้งผลึกของแร่มักจะพบในรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน ผิวหน้าผลึกมักจะโค้ง บางครั้งจะโค้งเป็นรูปคล้ายอานม้า ผลึกในแบบอื่นมีพบได้บ้างแต่น้อย ซึ่งอาจพบเป็นเม็ดหยาบๆ ไปจนกระทั่งเม็ดเล็กเกาะกันแน่น หรือมีลักษณะเป็นเนื้อแน่นไม่แสดงรูปผลึก ค่าความแข็ง 3.5 – 4.0 ค่าความถ่วงจำเพาะ 2.85 ค่าความพูน 8.6 มีความแวววาวคล้ายแก้ว บางชนิดมีความแวววาวคล้ายมุก (Pearl Spar) มีหลายสี สีปกติมักจะมีสีออกชมพู สีเนื้อ อาจไม่มีสี หรือพบสีขาว เทา เขียว น้ำตาล หรือดำ เนื้อแร่มีทั้งโปร่งใส และโปร่งแสงจนถึงทึบแสง (สำนักพัฒนาและส่งเสริมสำนักวิชาการแร่ ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)

2.1.1.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี

สูตรทางเคมี คือ แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) มีส่วนประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ร้อยละ 54.35 แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) ร้อยละ 45.65 หรือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 30.4 แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 21.7 และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 47.9 แต่ในธรรมชาติแร่โดโลไมต์ที่พบมักมีค่าแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) น้อยกว่านี้เสมอ และมักมีเหล็ก แมงกานีส ซิลิกา และอื่นๆ ปะปนอยู่ (สำนักพัฒนาและส่งเสริมสำนักวิชาการแร่ ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550) โดยปกติแร่โดโลไมต์มีสัดส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อแมกนีเซียมคาร์บอเนตประมาณ 1 ต่อ 1 ถ้า

มีเหล็กเฟอร์รัส (Ferrous iron, Fe^{2+}) เข้ามาแทนที่แมกนีเซียม และมีปริมาณมากกว่าแมกนีเซียมจะเรียกว่าแองเคอไรต์ (Ankerite)

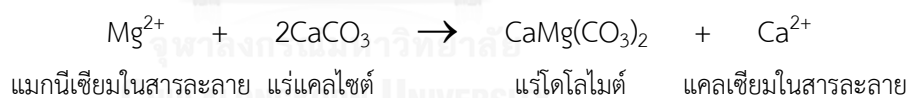
2.1.1.3 ลักษณะเด่น และวิธีตรวจ

ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดเกลือจะเกิดเป็นฟอง แต่เข้ามาในอุณหภูมิธรรมดา นอกจากจะบดเนื้อแร่ให้เป็นก้อนเล็กๆ ละเอียด แล้วนำไปละลายในกรดจะเกิดเป็นฟองฟู หากไม่บดต้องใช้กรดไฮโดรคลอริกร้อนๆ จึงจะทำปฏิกิริยาเป็นฟองฟู รูปผลึกเหลี่ยมขนมเปียกปูนมักจะโค้ง และมีสีออกสีเนื้อๆ เนื้อปกติมักจะดำน (อรกุล โภคาการวิจารณ์, 2543) มีกำเนิดเช่นเดียวกับแร่แคลไซต์ พบในหินปูนโดโลมิติก (Dolomitic limestone) หรือในหินอ่อนโดโลมิติก (Dolomitic marble) แร่โดโลไมต์ที่พบมีมวลขนาดใหญ่เข้าใจกันว่าเป็นการกำเนิดแบบทุติยภูมิ ซึ่งเกิดจากหินปูนที่มีอยู่เดิมถูกแทนที่ด้วยธาตุแมกนีเซียมหรือมักเกิดเป็นเพื่อนแร่ในสายตะกั่วหรือสังกะสีซึ่งตัดผ่านหินปูน (อิทธิพันธ์ ศรีรงค์, 2556)

2.1.1.4 การกำเนิดของแร่โดโลไมต์

อาจเกิดได้ 2 วิธี (เขาวลิตร ทองประดับ, 2542)

1. เกิดแบบทุติยภูมิ (Secondary Occurrence) คือ เกิดจากหินปูนที่มีอยู่เดิมโดยธาตุแคลเซียมที่มีในหินปูนถูกแทนที่ด้วยธาตุแมกนีเซียม (Diagenetic Replacement) ดังสมการ



2. เกิดจากแมกนีเซียม (Mg) เข้าแทรกในชั้นอีแวพอไรต์ (Evaporites) โดยเป็นตัวเชื่อมระหว่างเม็ดตะกอนน้ำทะเลที่มีความเข้มข้นของแมกนีเซียมจะซึมผ่าน (Diffuse) เข้าไปในชั้นของหินปูนที่มีอยู่เดิม โดยเฉพาะน้ำทะเลในเขตโซนร้อน กระบวนการอีแวพอไรต์ (Evaporites Process) จะเกิดได้ดีมาก

จากสูตรทางเคมีของแร่โดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) และการเกิดของแร่โดโลไมต์ จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กับแร่แคลไซต์ (CaCO_3) มาก แมกนีเซียมในแร่โดโลไมต์จะอยู่ในโครงสร้างผลึกแร่แคลไซต์ (Lattice of calcite crystal) แบบสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ปริมาณแมกนีเซียมในโครงสร้างผลึกแร่แคลไซต์จะมีอยู่เล็กน้อยแตกต่างกันไปซึ่งจะพอแยกได้เป็น

– High – Mg Calcite จะเป็นแร่แคลไซต์ที่มีปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 8 โมล

– Low – Mg Calcite จะเป็นแร่แคลไซต์ที่มีปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 8 โมล

แมกนีเซียมคาร์บอเนตเหล่านี้จะอยู่ในโครงสร้างของผลึกแร่แคลไซต์ การหาปริมาณแมกนีเซียมที่แทนที่แคลเซียมในโครงสร้างของแร่แคลไซต์หาได้จากการวัดหน้าผลึกในตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปจากเดิมโดยวิธีเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-Ray Diffraction, XRD) แร่โดโลไมต์เกิดร่วมกับตะกอนคาร์บอเนตในบริเวณใกล้ๆ กับระดับน้ำทะเลหรืออยู่ในช่วงระดับน้ำสูงสุด และต่ำสุดของน้ำทะเล (Intertidal and Supertidal Environment) ตะกอนส่วนใหญ่ต้องเป็นพวกแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งทำให้แมกนีเซียมในน้ำทะเลได้มีโอกาสเข้าไปแทนที่แคลเซียมในโครงสร้างของผลึกแร่แคลไซต์ได้มากจนกลายเป็นแร่โดโลไมต์ขึ้น จากหลักฐานทางศิลาศาสตร์ (Petrography) พอจะบอกได้ว่าแร่โดโลไมต์เกิดขึ้นได้สองวิธีด้วยกัน คือ

1. แร่โดโลไมต์เกิดจากผลึกเล็กๆ ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่อยู่รูปของไมโครคริสตัลไลน์แคลไซต์ (Microcrystalline Calcite) ที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างโดยขบวนการกลายสภาพเป็นหิน (Diagenetic Replacement) ทำให้ผลึกเล็กๆ เหล่านี้กลายเป็นผลึกของแร่โดโลไมต์

2. แร่โดโลไมต์เกิดในสภาพเป็นตัวเชื่อมระหว่างเม็ดตะกอน (Fringe Cement) แหล่งที่มาของแมกนีเซียมที่เข้าไปแทนที่ในแร่แคลไซต์

- 2.1 การที่ High – Mg Calcite เปลี่ยนสภาพกลายเป็น Low – Mg Calcite ทำให้ได้แมกนีเซียมออกมา และมันยังคงค้างอยู่ในช่องว่างระหว่างผลึก และตะกอนเหล่านั้นซึ่งแมกนีเซียมจำนวนนี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดกระบวนการโดโลมิไตเซชัน (Dolomitization) ในเวลาต่อมา

- 2.2 แมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำทะเลอยู่แล้ว และซึมผ่าน (Diffuse) ลงไปตามช่องว่างระหว่างตะกอนที่สะสมตัวอยู่

แมกนีเซียมที่ค้างค้างอยู่ในช่องว่างตะกอนเหล่านี้เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกล่าว คือ อุณหภูมิประมาณ 34 – 35 °C และอัตราส่วนน้ำหนักของแมกนีเซียมต่อแคลเซียม (Mg/Ca) มีค่าประมาณ 3 แมกนีเซียมจะเกิดปฏิกิริยาแทนที่แคลเซียมในตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต และเกิดเป็นสายแร่โดโลไมต์ขึ้น

ในทะเลทั่วไปโดยเฉพาะในเขตร้อนกระบวนการระเหย (Evaporation) จะเกิดได้ดีมากเป็นเหตุให้น้ำทะเลบางส่วนมีความเข้มข้นของแร่ธาตุต่างๆ มากขึ้น และจมดิ่งลงสู่พื้นทะเล แมกนีเซียมก็เป็นหนึ่งในแร่ธาตุเหล่านั้นที่ซึมผ่านลงไปในช่วงว่างระหว่างตะกอนเองความลึกที่แมกนีเซียมจะแพร่กระจายหรือซึมผ่านลงไปนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำทะเลเอง ในแง่อุทกศาสตร์ และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการซึมผ่านของตะกอนด้วย

องค์ประกอบที่ควบคุมหรือมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดแร่โดโลไมต์ได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

- ความเข้มข้นของแมกนีเซียมในช่องว่างตะกอน
- ความพรุน และความสามารถในการซึมผ่านชั้นตะกอนของน้ำทะเลใต้
- ปริมาณไมโครคริสตัลลายอราโกไนท์ (Microcrystalline Aragonite) และแร่แคลไซต์ (Calcite)

ถ้าหากว่าองค์ประกอบเหล่านี้มีอยู่ปริมาณที่เหมาะสม และสภาพแวดล้อมอำนวยแล้วแมกนีเซียมจะสามารถแทรกซึมลงไป และแทนที่แร่แคลไซต์กลายเป็นแร่โดโลไมต์ นอกจากนี้แล้วแมกนีเซียมบางส่วนยังมีผลให้เกิดการเชื่อมประสาน (Cementation) ของพวก High - Mg Calcite อีกด้วย

ดังนั้นอัตราส่วนของแคลเซียมกับแมกนีเซียมในโครงสร้างผลึกของแร่โดโลไมต์จะมีอย่างน้อยแตกต่างกันไป รวมทั้งอาจมีอะตอมของธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น เหล็ก (Fe) แมกกาเนส (Mn) สังกะสี (Zn) โคบอลต์ (Co) และกำมะถัน (S) การที่องค์ประกอบของแร่โดโลไมต์ต่างกันไปทำให้ลักษณะการใช้งานแตกต่างกันไปด้วย

2.1.1.5 การใช้ประโยชน์

การนำแร่โดโลไมต์มาใช้ในการก่อสร้าง (ภักดี ทรงเจริญ และคณะ, 2547)

- นำมาใช้ทำถนน : แร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้เป็นหินในการก่อสร้าง มักผสมอยู่กับหินปูน ในประเทศสหรัฐอเมริกา เยอรมัน ออสเตรเลีย และรัสเซีย ได้นำหินปูนมาใช้ในการทำถนน โดยใช้ในชั้น Subbase และ Roadbase ซึ่งเป็นชั้นที่ต้องรับแรงกดจึงต้องการความแข็งแรงในขณะเดียวกันก็ต้องเรียบด้วย หินปูน และแร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้นี้ไม่ได้มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อการขูดขีด และขัดถูจึงไม่ถูกใช้เป็นวัสดุดีบ สำหรับผิวถนนซึ่งต้องการความคงทนแต่คุณสมบัติพิเศษของแร่ตัวนี้ในการทำถนน คือ การมีเนื้อแน่นร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำ รุพุนน้อย และเนื้อไม่แข็งเกินไปสามารถอัดรองพื้นถนนให้แน่น และเรียบได้ดี

- นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในซีเมนต์ : หินปูน และแร่โดโลไมต์ถูกนำมาเป็นส่วนผสมในการทำปูนซีเมนต์ซึ่งก่อนหน้านี้การทำซีเมนต์จะใช้หินปูนอย่างเดียวถึงร้อยละ 75 ผสมกับดินอีกร้อยละ 25 เพื่อให้เกิดเนื้อของแคลเซียมซิลิเกต ภายหลังมีการนำแร่โดโลไมต์เข้ามาผสม แต่เนื่องจากแร่โดโลไมต์มีองค์ประกอบของแมกนีเซียมคาร์บอเนต เมื่อทำการเผาแล้วจะเกิดสารประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ซึ่งสามารถเกิดการรวมตัวกับน้ำ (Rehydration) เกิดเป็น $Mg(OH)_2$ ขยายตัวเป็นผลให้เกิดการแตกร้าวหลังนำมาใช้งาน ดังนั้นจึงมีการกำหนดปริมาณของ MgO ใน

ปูนซีเมนต์ไม่ให้เกินร้อยละ 6 การนำหินปูนมาใช้เพียงอย่างเดียวก็ประสบปัญหาเพราะในบางแหล่งหินปูนก็มีแร่โดโลไมต์ผสมอยู่ทำให้แร่โดโลไมต์ต้องถูกนำมาใช้ด้วยจึงมีการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต มีการเติมสารบางตัวเข้าไปเพื่อป้องกันการรวมตัวกับน้ำของแมกนีเซียมออกไซด์ และเรียกซีเมนต์ที่ได้ว่า Soral cement นอกจากนี้แร่โดโลไมต์ยังสามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการทำปูนทนไฟ (Mortar) ใช้เป็นปูนเชื่อมระหว่างอิฐทนไฟในเตาหลอมโลหะ และเตาหลอมแก้ว

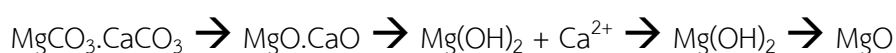
นำมาใช้ทำอิฐทนไฟสำหรับบุผนังเตา

แร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้ทำอิฐทนไฟจะต้องผ่านการเผาจนกระทั่งได้ Dead – burned dolomite หรือ doloma (CaO.MgO) ก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกับน้ำ และเกิดการขยายตัวขณะใช้งานเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียได้ ในการทำอิฐทนไฟชนิดโดโลมา (Doloma refractory) นี้ จะใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของแร่โดโลไมต์แต่ละแหล่ง สำหรับแร่โดโลไมต์ที่มีความบริสุทธิ์สูงจะใช้อุณหภูมิในการเผาอิฐลดลงอยู่ในช่วงประมาณ 1,400 – 1,600 °ซ หลังจากนั้นจะมีการเคลือบอิฐด้วย Tar หรือ Pitch เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับน้ำ และในบางครั้งอาจมีการเติมซิลิกาเข้าไปเพื่อช่วยยึดให้อิฐคงรูปอยู่ได้ อิฐดังกล่าวนี้จะใช้ในการบุผนังภายในเตาหลอมโลหะ และเตาหลอมแก้ว

ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตแมกนีเซียม (MgO)

นำแร่โดโลไมต์มาผ่านการเผาที่ 1,400 – 1,500 °ซ จากนั้นให้ทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิด Mg(OH)₂ (Slaked doloma) ตกตะกอนในสารละลาย นำไปผ่านการไล่น้ำออกก็จะได้แมกนีเซียม (MgO) แร่โดโลไมต์ที่นำมาผลิตแมกนีเซียม ต้องมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง

ขั้นตอนการแยก MgO ออกจากแร่โดโลไมต์



ใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมเหล็ก และอุตสาหกรรมแก้ว

แร่โดโลไมต์จะทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) ในการช่วยหลอมแยกเหล็กออกจากสินแร่เหล็ก โดยจะทำปฏิกิริยากับซิลิกา และอะลูมินาในสินแร่ และเกิดอยู่ในรูปของ Slag ซึ่งลอยไปรวมอยู่บริเวณผิวหน้าเหล็กหลอม แร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้นี้จะต้องมีปริมาณของซิลเฟอร์ และฟอสฟอรัสต่ำ และมีคุณสมบัติที่แน่นอน

ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า (Steel Industry) แร่โดโลไมต์จะถูกใช้ในการแยกซิลิกา และฟอสฟอรัสออกจากเหล็กถลุง (Pig iron) โดยแร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้จะผ่านการ Calcined ก่อน และต้องมีความบริสุทธิ์สูง นั่น คือ มีปริมาณของซิลิกา และซิลเฟอร์ต่ำ (ซิลิกาน้อยกว่าร้อยละ 5.2

และซัลเฟอร์น้อยกว่าร้อยละ 1) การนำแร่โดโลไมต์มาใช้ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้านี้ สิ่งสำคัญที่ต้องทำการควบคุม คือ ขนาดอนุภาค พื้นที่ผิวสัมผัส และความหนาแน่น

สำหรับอุตสาหกรรมแก้ว การทำเนื้อแก้วนั้นแร่โดโลไมต์จะถูกเติมเข้าไปในการหลอมแก้ว เพื่อช่วยในการเกิดเนื้อแก้วที่อุณหภูมิต่ำ แร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้ในการหลอมแก้วจะมีการกำหนดปริมาณของสิ่งเจือปนซึ่งมีผลต่อสีของแก้ว เช่น เหล็ก (อยู่ในช่วงร้อยละ 0.05 – 0.02 ขึ้นอยู่กับชนิดของแก้ว) และสารที่ให้ตัวอื่น เช่น โครเมียม โคบอลต์ หรือนิกเกิล ควรมีปริมาณต่ำมากๆ ผลิตภัณฑ์แก้วที่ใช้แร่โดโลไมต์เป็นส่วนผสม เช่น ผลิตภัณฑ์กระจกแผ่น และการหลอดไฟฟ้า

ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

แร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น จะใช้เป็นส่วนผสมในเนื้อดินปั้น และในน้ำเคลือบโดยเนื้อดินปั้นแร่โดโลไมต์จะนำมาใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา และในส่วนของน้ำเคลือบนั้นจะถูกนำมาใช้เป็นตัวช่วยหลอมประมาณร้อยละ 5 – 10

ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร

สำหรับประเทศไทย แร่โดโลไมต์จำนวนมากถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด – ด่างของดิน และน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน ช่วยตกตะกอนสารอินทรีย์ในน้ำทำให้น้ำใสขึ้น นอกจากนี้แร่โดโลไมต์ยังเป็นแหล่งแร่ธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียมที่สำคัญ และเป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช และสัตว์

ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมพลาสติก และอุตสาหกรรมสี

ในอุตสาหกรรมเหล่านี้แร่โดโลไมต์ถูกเติมเข้าไปเพื่อเป็นตัวช่วยกระจายอนุภาคภายในให้สม่ำเสมอ เพราะแร่โดโลไมต์มีสมบัติการกระจายตัวที่ดี โดยแร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้ต้องมีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูงเพื่อไม่ให้มีผลต่อการเกิดสีในผลิตภัณฑ์ ไม่มีพิษ เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี และในอุตสาหกรรมบางครั้งก็อาศัยคุณสมบัติด้านความทึบแสงของแร่โดโลไมต์มาใช้ แร่โดโลไมต์ที่ใช้ต้องทำการควบคุมคุณสมบัติดังนี้

- มีการกระจายตัวของอนุภาคที่สม่ำเสมอ
- High brightness values
- มีการไหลตัวที่ดี
- ดูดซึมน้ำมันน้อย

Brightness values เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากโดยเฉพาะการใช้เป็น Filler สำหรับการทำกระดาษ และพลาสติกได้กำหนดค่า Brightness values ไว้ระหว่างร้อยละ 80 – 82

(ในมาตรฐาน ISO กำหนดค่า Brightness values สำหรับสารเคลือบกระดาดขาวอยู่ในช่วงร้อยละ 85 – 93)

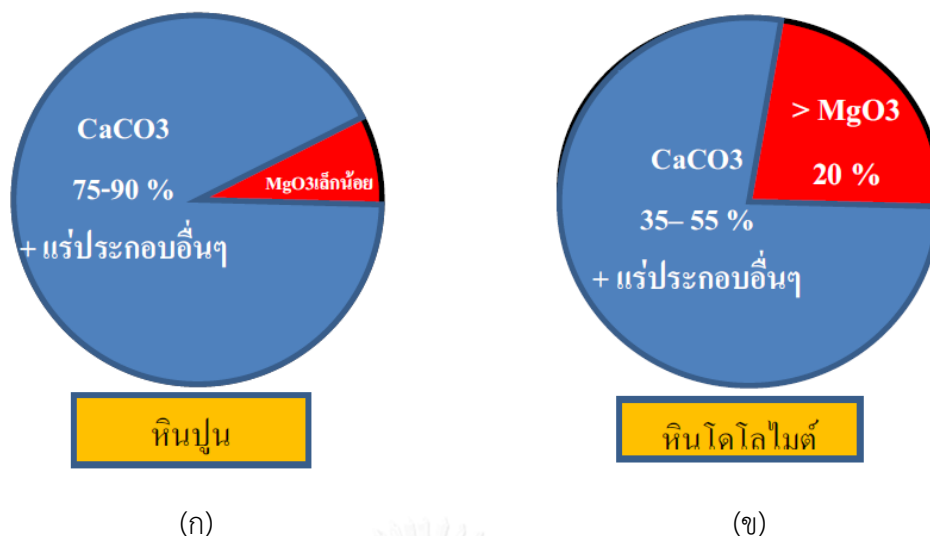
2.1.1.6 การจำแนกชนิดของหินปูน และแร่โดโลไมต์

เนื่องจากหินปูน และแร่โดโลไมต์ มีแร่แคลไซต์ และแร่โดโลไมต์เป็นส่วนประกอบ เช่น ในหินปูนที่มีความบริสุทธิ์มาก มีแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 97 หรือหินปูนเกรดต่ำลงมาอาจมีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่ในช่วงร้อยละ 75 – 90 และมีแมกนีเซียมคาร์บอเนตปะปนเล็กน้อย ส่วนในแร่โดโลไมต์ประกอบด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตสูงสุดร้อยละ 45.65 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 54.35 แต่ในธรรมชาติพบว่ามีแมกนีเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่านี้เสมอ ดังนั้นจึงมีการจำแนกชนิดหินคาร์บอเนตโดยพิจารณาร้อยละของแมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเรียกชื่อได้ดังนี้ แสดงดังตารางที่ 2.1 (อิทธิพันธ์ ศรียงค์, 2556)

ตารางที่ 2.1 การเรียกชื่อหินคาร์บอเนตโดยพิจารณาจากร้อยละของแร่โดโลไมต์ แมกนีเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมคาร์บอเนต

ชนิดหินคาร์บอเนต	ร้อยละ		
	แร่โดโลไมต์	แมกนีเซียมออกไซด์	แมกนีเซียมคาร์บอเนต
หินปูนที่มีแคลเซียมสูง (High calcium limestone)	0 – 10	0 – 1.1	0 – 2.3
แมกนีเซีย (Magnesia)	0 – 10	1.1 – 2.1	2.3 – 4.4
โดโลมิติกไลม์สโตน (Dolomitic limestone)	10 – 50	2.1 – 10.8	4.4 – 22.7
แคลซิติกโดโลไมต์ (Calcitic dolomite)	50 – 90	10.8 – 19.5	22.7 – 41.0
แร่โดโลไมต์ (Dolomite)	90 – 100	19.5 – 21.6	41.0 – 45.4

ที่มา : อิทธิพันธ์ ศรียงค์ (2556)



ภาพที่ 2.1 แสดงการจำแนกหินปูน (ก) กับหินโดโลไมต์ (ข) จากองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) และแมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) (อิทธิพันธ์ ศรียงค์, 2556)

2.1.1.7 ลักษณะสมบัติของแร่โดโลไมต์ที่ซื้อขายในประเทศไทย

ตารางที่ 2.2 คุณภาพแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ
ชื่อ	สัญลักษณ์	
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	≥ 20.11
แคลเซียมออกไซด์	CaO	≤ 32.11
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe_2O_3	≤ 0.8
อะลูมิเนียมออกไซด์	Al_2O_3	≤ 0.45
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO_2	≤ 0.5
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้	LOI*	≤ 47.51

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition

ที่มา : ภัคดี ทรงเจริญ และคณะ (2547)

ตารางที่ 2.3 คุณภาพแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ
ชื่อ	สัญลักษณ์	
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	20.67
แคลเซียมออกไซด์	CaO	30.63
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe ₂ O ₃	0.08
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO ₂	0.43
ออกไซด์ของแร่หายาก	R ₂ O ₃	0.2
น้ำ	H ₂ O	0.25
กำมะถัน	S	0.003
ฟอสฟอรัส	P	0.004

ที่มา : ภัคดี ทรงเจริญ และคณะ (2547)

ตารางที่ 2.4 คุณภาพแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตร และผลิตหินเกล็ด

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ
ชื่อ	สัญลักษณ์	
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	21
แคลเซียมออกไซด์	CaO	31
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe ₂ O ₃	0.1
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO ₂	0.2

ที่มา : ภัคดี ทรงเจริญ และคณะ (2547)

2.1.1.8 ปริมาณแร่สำรองในประเทศไทย

ปริมาณแร่สำรองในประเทศไทยจากการสำรวจครั้งสุดท้ายเมื่อเดือนเมษายน 2547 โดยรายงานการสำรวจปริมาณแหล่งแร่โดโลไมต์จากประทานบัตรสำนักเหมืองแร่ และสัมปทาน พบว่ามีปริมาณแร่โดโลไมต์สำรอง 153,849,000 เมตริกตัน (ภัคดี ทรงเจริญ และคณะ, 2547)

2.1.1.9 การผลิต และการใช้งานแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย

ปริมาณการผลิต และการใช้งานแร่โดโลไมต์ในประเทศไทยในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา มีปริมาณการผลิตแร่โดโลไมต์ในประเทศไทยโดยรวม 12,576,373 เมตริกตัน โดยในปี 2555 ผลิตได้มากที่สุด 2,608,997 เมตริกตัน และมีปริมาณการใช้งานแร่โดโลไมต์ในประเทศไทยโดยรวม

5,379,693 เมตริกตัน โดยในปี 2554 มีการใช้งานมากที่สุด 1,194,362 เมตริกตัน แสดงดังตารางที่ 2.5 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์], 2552a), (Statistics Group, 2015)

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลสถิติการผลิต และการใช้แร่โดโลไมต์ในประเทศ

แร่โดโลไมต์	ปี	2553	2554	2555	2556	2557
ปริมาณการผลิต (เมตริกตัน)						
ภาคเหนือ						
เพชรบูรณ์		9,700	9,710	12,680	13,510	14,190
แพร่		4,800	2,380	3,873	4,653	4,792
ภาคกลาง						
กาญจนบุรี		330,750	588,047	150,400	95,400	59,368
ภาคใต้						
กระบี่		80,000	102,000	120,000	120,000	153,514
พังงา		121,679	98,593	123,898	141,341	150,615
สงขลา		-	-	25,724	114,699	285,800
สุราษฎร์ธานี		1,838,467	1,752,370	1,938,937	1,613,533	1,608,207
ตรัง		66,594	3,665	233,485	384,000	195,000
ปริมาณการผลิตรวม (เมตริกตัน)		2,451,990	2,556,765	2,608,997	2,487,135	2,471,486
มูลค่า (ล้านบาท)		858.2	894.9	913.1	870.5	865.0
การใช้ในประเทศ (เมตริกตัน)		722,216	1,194,362	970,750	1,163,580	1,328,785
มูลค่า (ล้านบาท)		252.8	418.0	339.8	407.3	465.1

ที่มา : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2552a : ออนไลน์), Statistics Group (2015)

2.1.1.10 การส่งออกแร่โดโลไมต์ไปต่างประเทศ และการนำเข้าแร่โดโลไมต์มาในประเทศไทย

ปริมาณการส่งออกแร่โดโลไมต์ไปต่างประเทศ และการนำเข้าแร่โดโลไมต์มาในประเทศไทยในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา การส่งออกแร่โดโลไมต์ไปต่างประเทศแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ 1) การส่งออกของเหมืองบนดิน และ 2) การส่งออกของเหมืองใต้ดิน โดยปริมาณการส่งออกแร่โดโลไมต์ไปต่างประเทศโดยรวมของเหมืองบนดิน 7,919 เมตริกตัน โดยในปี 2557 ส่งออกได้มากที่สุด 4,434 เมตริกตัน ส่วนปริมาณการส่งออกแร่โดโลไมต์ไปต่างประเทศโดยรวมของเหมืองใต้ดิน 5,667,098 เมตริกตัน โดยในปี 2553 ส่งออกได้มากที่สุด 1,368,198 เมตริกตัน และมีปริมาณการนำเข้าแร่โดโลไมต์มาในประเทศไทยโดยรวม 7,131 เมตริกตัน โดยในปี 2557 มีการนำเข้ามากที่สุด

3,137 เมตริกตัน แสดงดังตารางที่ 2.6 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์], 2552a), (Statistics Group, 2015)

ตารางที่ 2.6 ข้อมูลสถิติการส่งออกแร่ไปต่างประเทศ และการนำเข้าแร่มาในประเทศไทย

แร่โดโลไมต์	ปี	2553	2554	2555	2556	2557
การส่งออกแร่						
บนดิน (เอเชีย)						
บังกลาเทศ		6	30	30	616	1,354
ลาว		6	-	-	-	-
มาเลเซีย		-	-	-	20	-
พม่า		-	-	-	-	1,500
ฟิลิปปินส์		90	59	135	2,493	1,580
ปริมาณการส่งออก (เมตริกตัน)		102	89	165	3,129	4,434
มูลค่า (ล้านบาท)		0.5	0.4	0.7	0.8	1.1
ใต้ดิน (เอเชีย)						
อินเดีย		572,130	452,620	167,110	347,480	588,415
อินโดนีเซีย		-	-	-	-	8,300
ญี่ปุ่น		789,140	728,640	836,050	519,150	553,750
มาเลเซีย		128	-	-	-	7,385
ไต้หวัน		-	-	-	-	90,000
เวียดนาม		6,800	-	-	-	-
ปริมาณการส่งออก (เมตริกตัน)		1,368,198	1,181,260	1,003,160	866,630	1,247,850
มูลค่า (ล้านบาท)		410.9	343.8	313.0	292.5	469.9
ปริมาณการนำเข้า (เมตริกตัน)						
มูลค่า (ล้านบาท)		11.6	12.2	10.5	9.5	59.9

ที่มา : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2552a : ออนไลน์), Statistics Group (2015)

2.1.1.11 ราคาประกาศ และค่าภาคหลวงแร่

ราคาประกาศแร่โดโลไมต์เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ประเมินสำหรับเรียกเก็บค่าภาคหลวงแร่ โดยคิดตามราคาประกาศแต่วันที่ 6 กรกฎาคม 2558 เป็นเมตริกตันละ 550 บาท โดยคิดค่าภาคหลวงแร่ในอัตราร้อยละ 4 ของราคาประกาศคิดเป็นค่าภาคหลวงเมตริกตันละ 22 บาท แสดงดังตารางที่ 2.7 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์], 2552b)

ตารางที่ 2.7 ราคาแร่ และพิกัดค่าภาคหลวงแร่ตามประกาศราคาแร่แต่ละชนิด ณ วัน นั้นๆ

ชนิดแร่	ชื่อแร่	วันที่ประกาศ	ราคาประกาศ (บาท/เมตริกตัน)	พิกัดค่าภาคหลวงแร่	
				ร้อยละ	เป็นเงิน (บาท/หน่วย)
แร่หินอุตสาหกรรม	หินปูน เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง	21 มี.ค. 2539	70.00		
		7 ก.ค. 2551	105.00	4.00	4.20
		13 พ.ย. 2558	180.00	4.00	7.20
	หินปูน เพื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	21 มี.ค. 2539	85.00		
7 ก.ค. 2551		120.00	7.00	8.40	
13 พ.ย. 2558	250.00	7.00	17.50		
หินปูน เพื่ออุตสาหกรรมอื่นๆ	21 มี.ค. 2539	85.00			
	7 ก.ค. 2551	120.00	4.00	4.80	
13 พ.ย. 2558	250.00	4.00	10.00		
โดโลไมต์กไลม์สโตน	17 ต.ค. 2537	70.00	4.00	2.80	
แร่อุตสาหกรรมทั่วไป	แร่แคลไซต์	9 ก.ค. 2523	197.00		
		6 ก.ค. 2558	750.00	4.00	30.00
	แมกนีไซต์	24 ก.ค. 2527	1,000.00	7.00	70.00
	แร่โดโลไมต์	1 ธ.ค. 2541	405.00		
		1 ต.ค. 2542	440.00		
		3 ก.ย. 2544	405.00		
		2 ก.ย. 2545	300.00		
2 ม.ค. 2546		350.00	4.00	14.00	
6 ก.ค. 2558	550.00	4.00	22.00		
แร่หินอุตสาหกรรม	หินปูน	1 ต.ค. 2528	2,000.00	4.00	80.00
	หินอ่อน ที่ไม่สามารถทำเป็นแผ่น หรือรูปทรงอื่นใด เพื่อการ ประดับหรือตกแต่งในเชิง พาณิชย์ได้ (หินอ่อน คุณภาพต่ำ)		(บาท/ลูกบาศก์เมตร)		
		19 พ.ค. 2540	225.00		
25 ม.ค. 2553		325.00			
30 ธ.ค. 2558	468.00	4.00	18.72		

ตารางที่ 2.7 ราคาแร่ และพิกัดค่าภาคหลวงแร่ตามประกาศราคาแร่แต่ละชนิด ณ วัน นั้นๆ (ต่อ)

ชนิดแร่	ชื่อแร่	วันที่ประกาศ	ราคาประกาศ (บาท/เมตริกตัน)	พิกัดค่าภาคหลวงแร่	
				ร้อยละ	เป็นเงิน (บาท/หน่วย)
แร่หินอุตสาหกรรม	หินอ่อน		(บาท/ลูกบาศก์เมตร)		
		30 ธ.ค. 2541	3,500.00		
		30 ธ.ค. 2542	3,500.00		
		28 ธ.ค. 2543	3,500.00		
		28 ธ.ค. 2544	3,500.00		
		8 ม.ค. 2546	3,500.00		
		8 ม.ค. 2547	3,570.00		
		10 ม.ค. 2548	3,570.00		
		10 ม.ค. 2549	3,600.00		
		9 ม.ค. 2550	3,670.00		
		14 ม.ค. 2551	3,700.00		
		20 ม.ค. 2552	3,700.00		
		25 ม.ค. 2553	3,700.00		
		26 ธ.ค. 2554	3,700.00		
		28 ธ.ค. 2555	3,900.00		
		26 ธ.ค. 2556	3,900.00		
30 ธ.ค. 2557	7,940.00				
30 ธ.ค. 2558	4,100.00	4.00	164.00		

ที่มา : กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์] (2552b)

2.1.1.12 ลักษณะของแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในต่างประเทศ

องค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในต่างประเทศ จะแสดงส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) อะลูมินา (Al₂O₃) ซิลิกา (SiO₂) และการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss On Ignition, LOI) แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมในประเทศต่างๆ

ประเทศ องค์ประกอบ	ร้อยละ									
	อเมริกา	อังกฤษ	สเปน	ฝรั่งเศส	ไอร์แลนด์	เบลเยียม	เยอรมัน	เดนมาร์ก	นอร์เวย์	กรีซ
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ต่ำสุด	21.6	20.8	21.7	21.11	20.75	21.8	20.2	21.71	20.11	21.15
แคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงสุด	30.5	30.1	31.1	31.21	30.8	30.1	31.5	30.31	32.11	30.2
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃) สูงสุด	0.05	0.5	0.1	0.01	0.8	0.35	0.4	0.04	0.16	0.65
อะลูมินา (Al ₂ O ₃) สูงสุด	0.1	0.2	0.02	0.02	0.15	0.45	0.4	0.03	0.08	0.45
ซิลิกา (SiO ₂) สูงสุด	0.2	0.5	0.05	-	1.5	0.4	0.5	-	0.3	1.3
การสูญเสียน้ำหนัก ในการเผาไหม้ (Loss On Ignition) สูงสุด	47.0	47.2	47.0	47.42	46.0	47.0	47.0	47.51	46.9	46.03

ที่มา : สำนักพัฒนาและส่งเสริมสำนักวิชาการแร่ ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2550)

2.1.1.13 แหล่งแร่โดโลไมต์ในประเทศ และต่างประเทศ

ในประเทศไทย พบอยู่ทั่วไปในทุกๆ ภาค ดังนี้

ภาคกลาง : พบที่ เขาแรด อ.ท่าม่วง เขาถ้ำ อ.เมือง เขาพุร้อน อ.เมือง ต.วังดั่ง
อ.เมือง จังหวัดกาญจนบุรี เขาช่องพราน เขาขวาง เขาค่าง อ.โพธาราม จังหวัดราชบุรี เขามิ่ง เขาคับ
หอก เขาล้าน เขาทะลุ อ.จอมบึง จังหวัดราชบุรี

ภาคตะวันออก : พบที่ อ.เกาะสีชัง จังหวัดชลบุรี

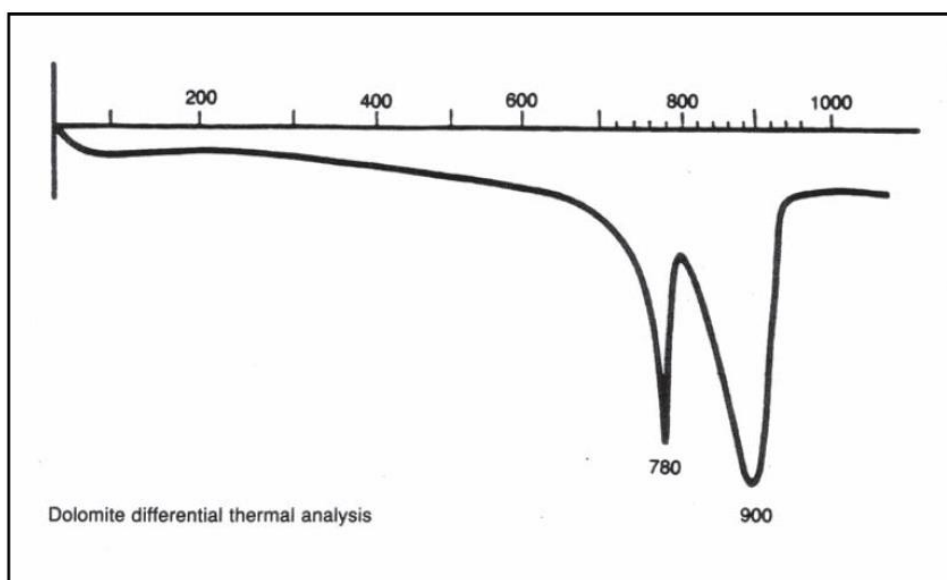
ภาคเหนือ : พบที่ อ.ร้องกวาง จังหวัดแพร่ อ.อุ้มผาง จังหวัดตาก

ภาคใต้ : พบที่ อ.ดอนสัก จังหวัดสุราษฎร์ธานี อ.ขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช
อ.ย่านตาขาว จังหวัดตรัง เขารักเกียรติ อ.รัตภูมิ จังหวัดสงขลา

ในต่างประเทศ พบที่ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ สเปน ฝรั่งเศส ไอร์แลนด์ นอร์เวย์
กรีซ สวิตเซอร์แลนด์ และอินเดีย

2.1.2 แคลไซน์โดโลไมต์ (Calcine dolomite)

ณัฐพร สุขพลอย (2554) แคลไซน์โดโลไมต์ (Calcine dolomite) คือ แร่โดโลไมต์ที่ผ่านกระบวนการแคลไซน์ชั้นหรือเผาแล้ว โดยการนำเอาแร่โดโลไมต์มาทำการเผา (Calcine) ที่อุณหภูมิ 750 – 950 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (Decomposition stage) ในแร่โดโลไมต์ในเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) ผลิตภัณฑ์แร่โดโลไมต์ที่ได้ เรียกว่า Dead – burned dolomite โดยแร่โดโลไมต์ที่ผ่านการเผาจะนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ โดยใช้เป็นอิฐทนไฟสำหรับเตาหลอมเหล็ก และเตาเผาซีเมนต์ ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่สลายตัวนี้เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดรูพรุน รูเข็มบนผิวหน้าเคลือบได้



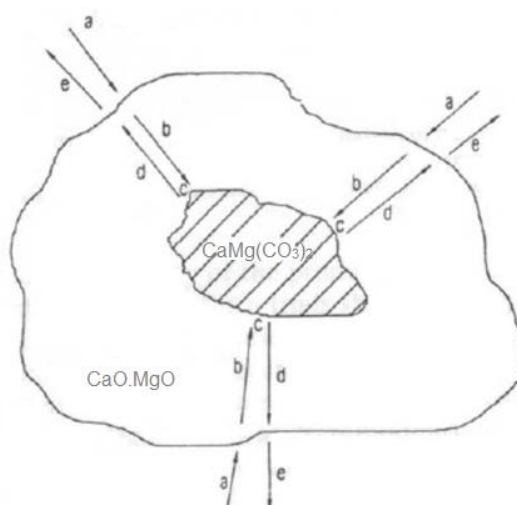
ภาพที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิที่สลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแร่โดโลไมต์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แบบดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอล (Differential Thermal Analysis, DTA) (ณัฐพร สุขพลอย , 2554)

2.1.2.1 กระบวนการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกระบวนการเผา

กระบวนการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในกระบวนการเผาสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้ (แสดงดังภาพที่ 2.3)

1. ความร้อนจะถ่ายเทจากก๊าซของเตาสู่ผิวหน้าของอนุภาค
2. ความร้อนจะถูกนำจากผิวหน้าสู่เนื้อภายในผ่านชั้นของช่องว่างเล็กๆ ของแร่

3. เมื่อความร้อนเข้ามาสู่ส่วนเกิดปฏิกิริยาภายในเนื้อของแร่ จะทำให้เกิดการแยกตัวของแร่โดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) กลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
4. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากปฏิกิริยา จะลอยผ่านชั้นของแร่สู่ผิวหน้าของอนุภาค และจะถูกทำให้ร้อนขึ้นจากอุณหภูมิของส่วนที่เกิดปฏิกิริยาสู่อุณหภูมิที่ผิวหน้า
5. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะลอยออกจากผิวหน้าสู่ก๊าซที่ออกจากเตา



ภาพที่ 2.3 กระบวนการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแร่โดโลไมต์ภายในกระบวนการเผา (ศุภโชค แสงสว่าง, 2546)

2.1.2.2 กระบวนการสลายตัวของโครงสร้างทางเคมี

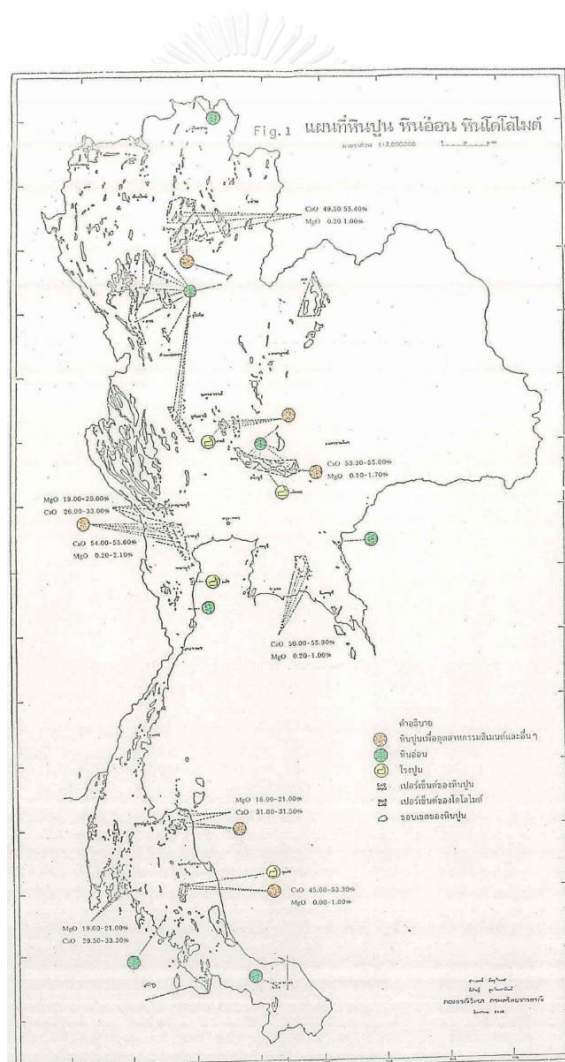
ตารางที่ 2.9 การสลายตัวของโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบ

อุณหภูมิที่สลายตัว (°ซ)	ปฏิกิริยาของการสลายตัว
350 – 450	$\text{FeS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{SO}_2$
500 – 800	$4\text{FeS} + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2$
560 – 775	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_3$
ตั้งแต่ 350	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
250 – 920	$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
600 – 1,050	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
400 – 900	$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
ตั้งแต่ 800	$\text{FeCO}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{CO}_2$
1,250 – 1,300	$\text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaO} + \text{SO}_3$

2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของหินปูน และแร่โดโลไมต์ในประเทศไทย

สุชาติ ศรีไพโรจน์กุล (2539) หินปูนในประเทศไทยโดยทั่วไป หมายถึง หินตกตะกอนทุกชนิดที่ประกอบด้วยสารแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตหรือที่ผสมด้วยสารคาร์บอเนตทั้งสองชนิด

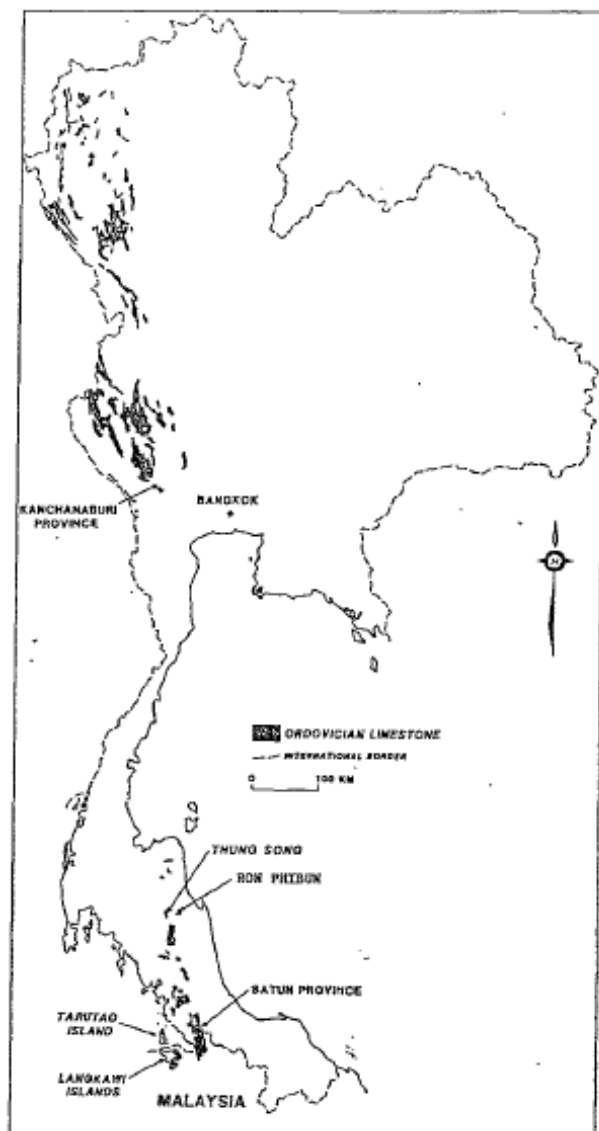
ประเทศไทยมีพื้นที่ที่มีหินปูน และแร่โดโลไมต์รวมทั้งหมดประมาณ 27,193,984 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 5.24 ของพื้นที่ประเทศ (แสดงดังภาพที่ 2.4) แต่ศักยภาพทางเศรษฐกิจของทรัพยากรธรณีหินปูนถูกจำกัดลงเนื่องด้วยบางแหล่งตั้งอยู่ในเขตหวงห้ามของหน่วยราชการอื่น และข้อจำกัดที่เกิดจากคุณภาพของหินปูนเอง อย่างไรก็ตามหินปูนที่มีอยู่ในประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามอายุได้ 3 ยุคใหญ่ ได้แก่



ภาพที่ 2.4 แผนที่การกระจายตัวของหินปูน หินอ่อน และหินโดโลไมต์ในประเทศไทย (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

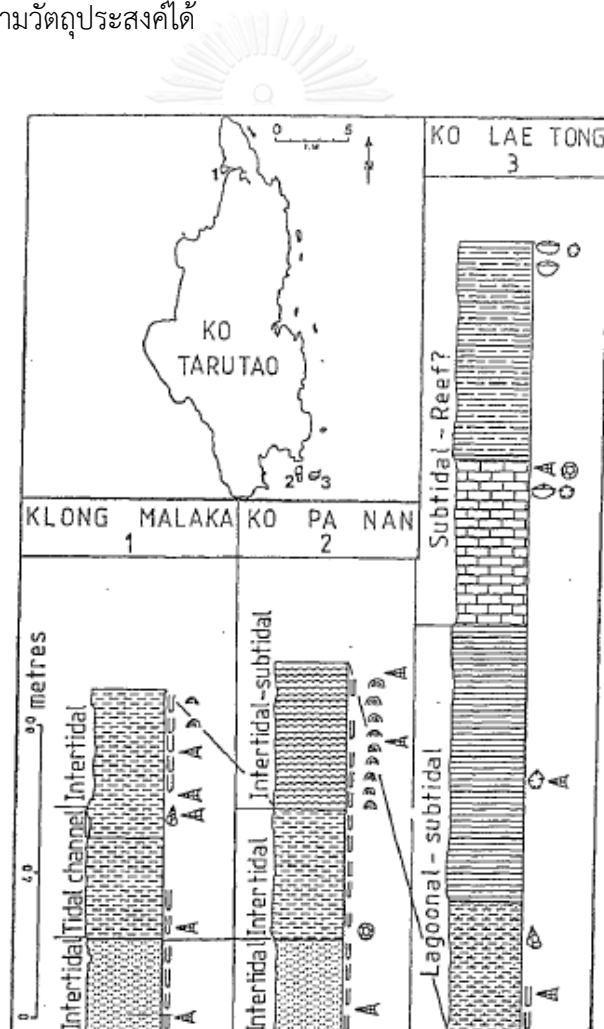
2.2.1 หินปูนยุคออร์โดวิเซียน (Ordovician)

หินปูนยุคออร์โดวิเซียนมีชื่อเรียกอีกว่าหมู่หินทุ่งสงประกอบด้วยชั้นหินปูนสีเทาถึงดำบางตอนเป็นชั้นหินปูนไม่หนา เป็นเนื้อหินปูนปนดิน และมีชั้นหินดินดานแทรกสลับเป็นกลุ่มหินปูนที่เกิดในสภาพแวดล้อมในบริเวณที่ลาดของทะเลตื้นลึกไปถึงทะเลลึก หินปูนยุคนี้จะพบตามภูเขาบริเวณภาคใต้ตอนล่างภาคตะวันตก และภาคเหนือด้านตะวันตก (แสดงดังภาพที่ 2.5) ความหนาทั้งหมดประมาณ 1,600 เมตร



ภาพที่ 2.5 แผนที่การกระจายตัวของหินปูนยุคออร์โดวิเซียนในประเทศไทย และประเทศมาเลเซีย (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

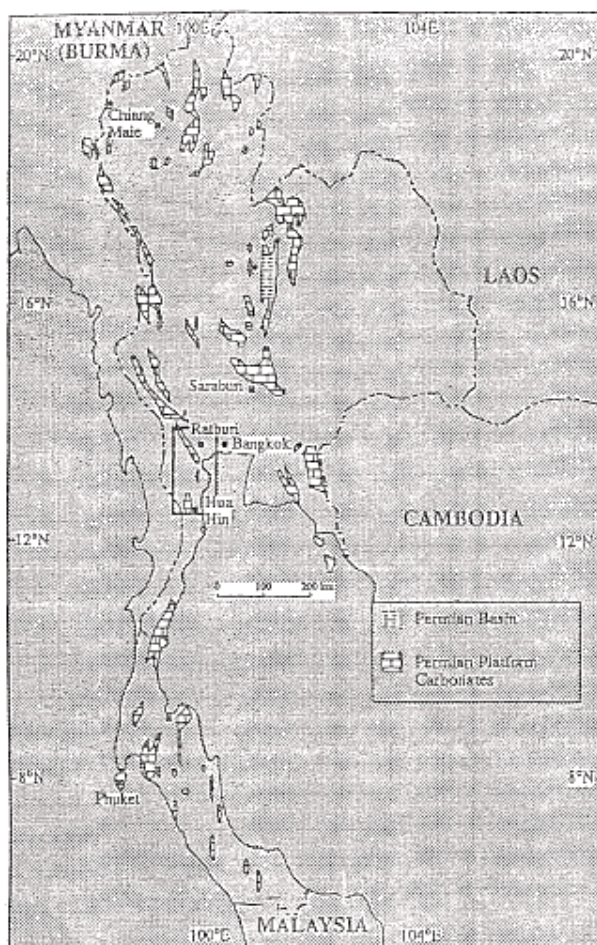
หินปูนยุคออร์โดวิเซียนนี้แบ่งการลำดับหน่วยหิน (Lithostratigraphic unit) โดยทั่วไป ออกได้เป็น 6 หน่วย จากหน่วยที่ 1 ขึ้นไปข้างบนถึงหน่วยที่ 6 (แสดงดังภาพที่ 2.6) หากพิจารณาศักยภาพของหินปูนยุคนี้ในเชิงเศรษฐกิจจะพบว่าเป็นกลุ่มหินปูนที่มีคุณภาพแตกต่างกันมาก หินปูนที่มีคุณภาพดีมีจำกัดจะพบอยู่ในช่วงบนของลำดับชั้นหิน ได้แก่ หน่วยหินที่ 5 มีลักษณะเป็นชั้นหนาถึงหนามากสีเทาเนื้อหินตกลึกมีชั้นเนื้อดินเป็นรูปเลนซ์เล็กน้อย สำหรับหน่วยหินที่ 2 ซึ่งอยู่ในลำดับล่างจะมีส่วนประกอบของแร่โดโลไมต์ส่วนหน่วยหินที่ 1 2 3 4 และ 6 จะประกอบด้วยชั้นหินดินดาน และชั้นหินปูนเนื้อดินซึ่งเป็นหินปูนคุณภาพต่ำเพราะมีส่วนประกอบของซิลิกาปนอยู่สูง ดังนั้นหากพิจารณาคูณภาพรวมของหมู่หินปูนยุคนี้ทั้งหมดอาจกล่าวได้ว่ามีศักยภาพในเชิงเศรษฐกิจค่อนข้างต่ำจำเป็นต้องสำรวจ และคัดเลือกใช้เฉพาะหน่วยหินที่มีคุณภาพดีเท่านั้นจึงจะสามารถใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ได้



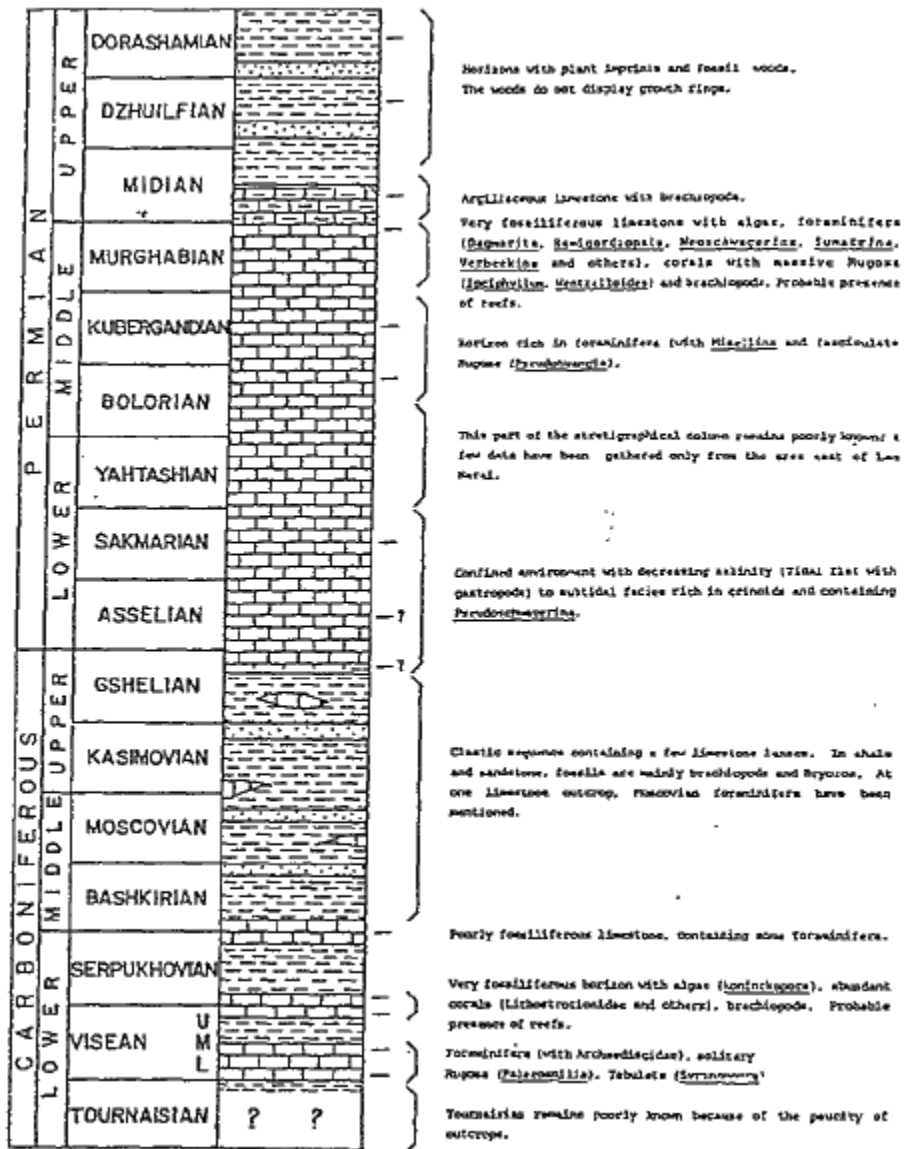
ภาพที่ 2.6 การแบ่งลำดับหน่วยหินในหินปูนยุคออร์โดวิเซียนหรือหมู่หินทุ่งสูง (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

2.2.2 หินปูนยุคเพอร์เมียน (Permian)

หินปูนยุคเพอร์เมียนเป็นหินปูนที่พบกระจายตัวอย่างกว้างขวางเกือบทั่วทั้งประเทศมากกว่าหินปูนยุคอื่นๆ (แสดงดังภาพที่ 2.7) เช่น บริเวณภาคตะวันตก ภาคเหนือ ตลอดจนถึง ภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออก และบริเวณขอบที่ราบสูงจากบริเวณจังหวัดเลยลงมา เพชรบูรณ์ สระบุรี ด้านตะวันตกของนครราชสีมาไปถึงปราจีนบุรี จันทบุรี และตราด มีอายุในยุคเพอร์เมียน ช่วงล่างถึงช่วงกลางโดยทั่วไปจะประกอบด้วยชั้นหินปูนเกือบตลอดลำดับชั้นหิน (แสดงดังภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.7 แผนที่การกระจายตัวของหินปูนยุคเพอร์เมียน (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

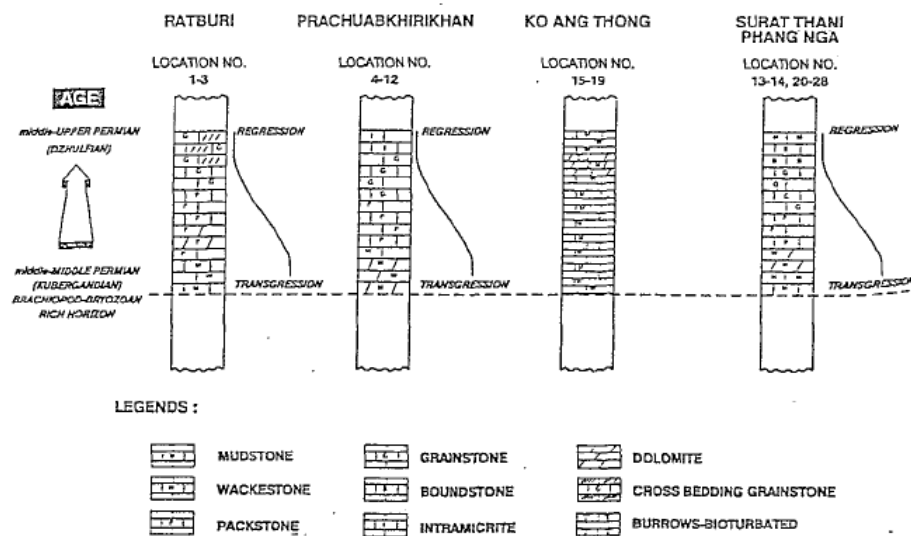


ภาพที่ 2.8 ลำดับชั้นหินปูนบริเวณอำเภอลำนาทรายณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ (รัฐภา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

หินปูนยุคเพอร์เมียนนี้มีชื่อเรียกทั่วไปว่าหมู่หินราชบุรีโดยมากใช้เรียกหินปูนที่พบทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนหินปูนที่ปรากฏตามบริเวณขอบที่ราบสูงโคราชโดยมากนิยมเรียกว่าหมู่หินสระบุรี ส่วนที่ปรากฏอยู่ทางภาคเหนือมีชื่อเรียกอื่นๆ อีกหลายชื่อ

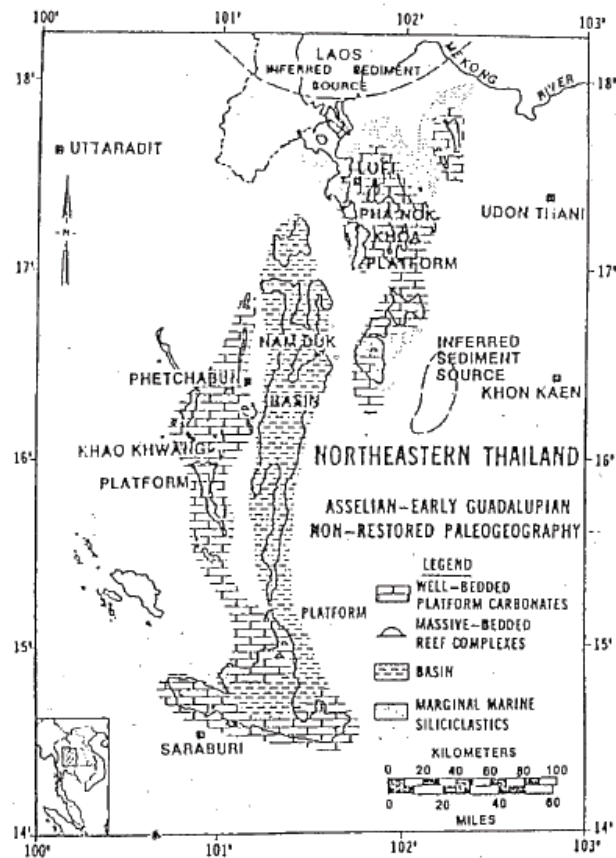
หมู่หินราชบุรีเกิดในสภาพแวดล้อมบริเวณที่ราบขานซาของทะเลตื้นตั้งแต่ส่วนที่เป็นทะเลเปิดถึงบริเวณที่เป็นทะเลสาบโดยมีการรุกร้ำ และถดถอยของน้ำทะเลอยู่เสมอ โดยสภาพเช่นนี้จึงเกิดหินปูนเป็นชั้นๆ ถึงชั้นหนามาก และมีชั้นหินดินดาน และหินทรายอยู่ตอนล่าง

ลักษณะของการลำดับชั้นหินของหมู่หินราชบุรี (แสดงดังภาพที่ 2.9) ช่วงล่างที่อยู่ติดกับชั้นหินทรายนี้บางแห่งจะพบเป็นเนื้อหินโดโลไมติกถึงแร่โดโลไมต์ ช่วงกลางจะเป็นหินปูนเป็นชั้นหนา มากซึ่งเป็นหินปูนคุณภาพดี ส่วนช่วงบนจะพบชั้นหินปูนที่มีเนื้อโดโลไมต์อีก



ภาพที่ 2.9 ลักษณะชั้นหินปูนของหมู่หินราชบุรีบริเวณภาคใต้ (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

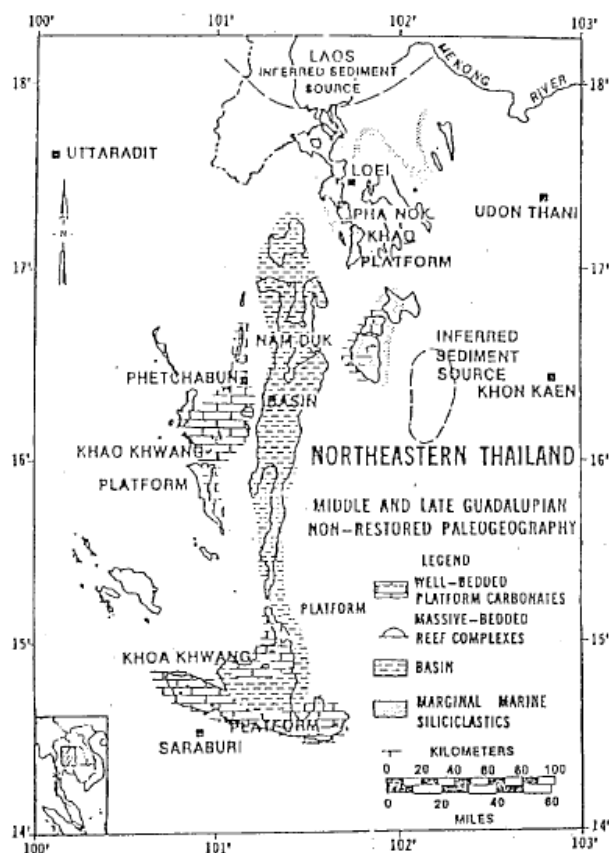
หมู่หินสระบุรีเป็นกลุ่มหินปูนที่เกิดในสภาพแวดล้อมหลายแบบ เช่น แอ่งที่ราบ Basin plain Basin margin Outer platform Platform inner Restrict platform และ Marginal marine เป็นต้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ที่เป็นเนื้อหินปูน (Carbonate facies) จะพบอยู่ด้านตะวันตก ส่วนพื้นที่ที่เป็นเนื้อทรายซิลิกาสลับเนื้อปูน (Siliciclastic carbonate facies) จะพบอยู่ในบริเวณตอนกลาง และพื้นที่ที่เป็นเนื้อหินปูนสลับเนื้อทรายซิลิกา (Carbonate clastic facies) จะพบบริเวณด้านตะวันออกสุดของ Phetchabun fold belt (แสดงดังภาพที่ 2.10 และภาพที่ 2.11) และเมื่อพิจารณาถึงการลำดับชั้นหินตามแนวตั้งจะพบว่าส่วนที่เป็นเนื้อหินปูนเป็นชั้นถึงหนาจะพบอยู่ในช่วงล่างถัดขึ้นมาช่วงกลางส่วนใหญ่จะเป็นชั้นหินเนื้อทรายซิลิกาสลับชั้นหินปูนบางๆ สำหรับช่วงบนสุดจะเป็นชั้นเนื้อหินปูนมีชั้นหินทรายหรือเนื้อซิลิกาเป็นกระเปาะแทรกสลับอยู่



ภาพที่ 2.10 การกระจายตัว และลักษณะของหินปูนยุคเพอร์เมียนหรือหมู่หินสระบุรีบริเวณด้านตะวันตก (สุชาติ ศรีไพโรจน์ธิกุล, 2539)

หินปูนยุคเพอร์เมียนในบางพื้นที่จะพบเป็นเนื้อแร่โดโลไมต์คัลไมด์และแร่โดโลไมต์ สาเหตุจากการแปรสภาพของส่วนประกอบที่เรียกว่า Diagenesis จากการทับถมตัว และจากการเคลื่อนไหวของเปลือกโลกโดยเฉพาะอย่างยิ่งตามบริเวณตะวันตกเป็นแถบการเคลื่อนไหวตัวของเปลือกโลก (Tectonic) หรือบริเวณที่เป็นแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ เช่น แนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (กาญจนบุรี - ราชบุรี) แนวรอยเลื่อนระนอง - ชุมพร แนวรอยเลื่อนคลองมหารุย (กระบี่ - สุราษฎร์ธานี) เป็นต้น นอกจากนี้ตามบริเวณที่มีหินอัคนีจำพวกหินแกรนิตแทรกขึ้นมาสัมผัสกับหินปูนยุคนี้ จะทำให้เกิดการแปรสภาพเป็นหินอ่อนกลายเป็นหินอุตสาหกรรมมีค่าอีกด้วย

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของหมู่หินปูนยุคเพอร์เมียนนี้ทั้งหมดกล่าวได้ว่าเป็นหมู่หินที่มีศักยภาพเชิงเศรษฐกิจสูงที่สุด ทั้งนี้เพราะมีช่วงที่เป็นเนื้อหินปูนที่เป็นชั้นหนาซึ่งเป็นหินปูนคุณภาพดี อยู่เป็นจำนวนมากเป็นประการแรก ประการที่สองเนื่องจากหมู่หินปูนยุคนี้มีการกระจายตัวพบอยู่ในพื้นที่ต่างๆ เกือบทั่วประเทศจึงเป็นทรัพยากรที่มีค่าในทางเศรษฐกิจไม่ต้องขนส่งในระยะทางไกลซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างแพร่หลาย



ภาพที่ 2.11 การกระจายตัว และลักษณะของหินปูนยุคเพอร์เมียนหรือหมู่หินสระบุรีบริเวณตอนกลาง และด้านตะวันออก (สุชาติ ศรีไพโรจน์ธิกุล, 2539)

2.2.3 หินปูนยุคไทรแอสสิก และยูแรลิก (Triassic and Jurassic)

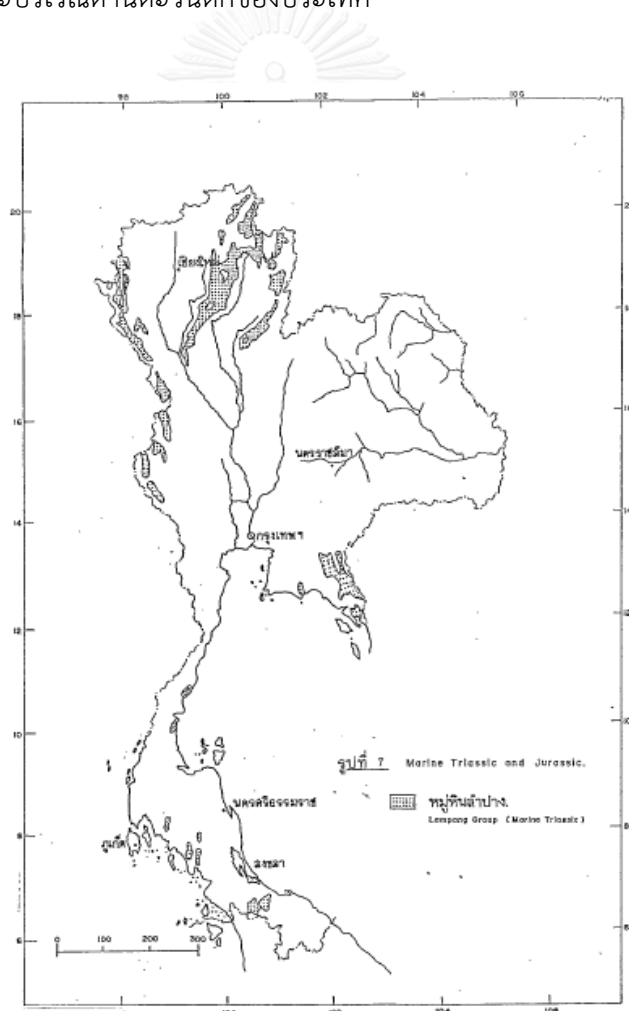
หินปูนยุคไทรแอสสิก และยูแรลิกเกิดในทะเลในสภาพแวดล้อมบริเวณที่ราบขานซาลา และบริเวณที่มีกระแสน้ำทะเลปั่นป่วน หินปูนยุคไทรแอสสิกพบกระจายตัวตามพื้นที่ต่างๆ มากกว่าหินปูนยุคยูแรลิก

หินปูนไทรแอสสิกเป็นที่รู้จักในชื่อหมู่หินลำปางพบบริเวณจังหวัดลำปาง แพร่ เชียงราย น่าน และสุโขทัย ส่วนบริเวณด้านตะวันตกของจังหวัดตากเรียกหมู่หินแม่เมยตอนล่าง (แสดงดังภาพที่ 2.12) หมู่หินลำปางโดยทั่วไปแบ่งลำดับชั้นหินออกเป็น 5 หน่วย ต่อมา มีการแบ่งละเอียดเพิ่มขึ้นอีก 7 หน่วย ตามลำดับจากหน่วยล่างขึ้นมา ได้แก่ หน่วยหินพระธาตุ หน่วยหินผาก้าน หน่วยหินฮ่องหอย หน่วยหินดอยลอง หน่วยหินผาแดง หน่วยหินก้างปลา และหน่วยหินวังซิ่น อย่างไรก็ตามหน่วยหินซึ่งมีเนื้อหินปูนอยู่ 3 หน่วย ได้แก่ หน่วยหินผาก้าน หน่วยหินดอยลอง และหน่วยหินก้างปลา (แสดงดังภาพที่ 2.13) ในจำนวนนี้หน่วยหินดอยลองมีศักยภาพที่เป็นหินคุณภาพดีมากกว่าหน่วยหินอื่นๆ

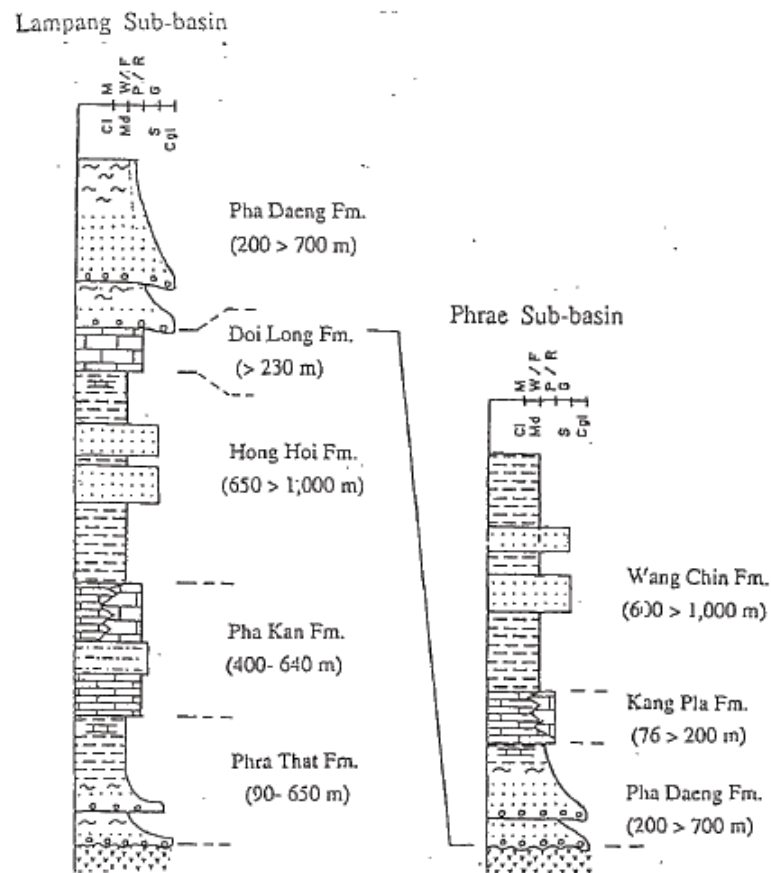
เนื่องจากประกอบขึ้นด้วยหินปูนชั้นหนาถึงหนามากอยู่ในช่วงกลาง ส่วนที่เป็นชั้นบางจะอยู่ตอนล่าง และตอนบนของหน่วยหินดอยลอง

สำหรับหมู่หินแม่เมยตอนล่างซึ่งพบกระจายอยู่ที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เรียกว่า หินปูนกะโม่กะลามีนี้อีกที่เป็นหินปูนตกผลึกใหม่ และเนื้อแร่โดโลไมต์ และมีชั้นหินดินดาน และหินทรายบางๆ แทรกสลับบริเวณอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ก็พบเช่นเดียวกัน ส่วนบริเวณภาคใต้ มีหินปูนยุคไทรแอสสิกที่อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา

สำหรับหินปูนยุคยูเรลิกพบที่บริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดชุมพร เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นชั้นหินปูนที่มีชั้นหินดินดานแทรกสลับ และเป็นเนื้อหินปูนปนเนื้อดิน เมื่อพิจารณาคูณภาพรวมแล้วเป็นหินปูนคุณภาพต่ำ และยังพบว่าบางแห่งเป็นแร่โดโลไมต์โดยเฉพาะบริเวณด้านตะวันตกของประเทศ



ภาพที่ 2.12 การกระจายตัวของหินปูนยุคไทรแอสสิก และยูเรลิกหรือหมู่หินลำปาง (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)



ภาพที่ 2.13 การแบ่งลำดับชั้นหินปูนในยุคไทรแอสสิก และยูแรสสิกหรือหมู่หินลำปาง (รัชฎา รุจิพัฒน์พงศ์, 2540)

2.3 เตาเผาอุณหภูมิต่ำ

2.3.1 เตาเผาอนุภาค

สภาพร คำหอม (2558) โดยทั่วไปแคลซิเนชัน (Calcination) คือ กระบวนการนำอนุภาคหรือสารบางอย่างไปเผาภายใต้อุณหภูมิต่ำ ในระดับที่ยังไม่ถึงอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของอนุภาคหรือสารนั้น กระบวนการนี้ถูกใช้ในหลายวัตถุประสงค์ เช่น ใช้ในการกำจัดความชื้น สารอินทรีย์ และก๊าซต่างๆ หรืออาจใช้เพื่อการเติมออกซิเจน (การออกซิไดซ์) ลงในสาร นอกจากนี้ยังอาจถูกใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น คือ ใช้ในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพ และทางเคมีของสารได้ด้วย คำว่า แคลซิเนชัน (Calcination) มีความหมายแตกต่างจาก คำว่า ซินเตอร์ (Sinter) ที่ซึ่งเป็นการเผาจนถึงจุดที่มีการเชื่อมติดกันของอนุภาค เรียกว่า เดนซิฟิเคชัน (Densification) การเผาในลักษณะนี้กับสารอนุภาคเล็ก จะส่งผลให้รูพรุนภายในมีจำนวนลดลงหรือแทบหมดไป สำหรับลักษณะ

ของเตาเผาสารหรือเตาแคลซิเนชัน (Calcination) อาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ 1) เตาเผาสารในสภาวะก๊าซไหล และ 2) เตาเผาสารในอากาศนิ่งปกติ แสดงดังภาพที่ 2.14 และภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.14 เตาเผาสารในสภาวะก๊าซไหล (สถาพร คำหอม, 2558)



ภาพที่ 2.15 เตาเผาสารในอากาศนิ่งปกติ (สถาพร คำหอม, 2558)

การเผาอนุภาคหรือสารโดยใช้เตาเผาสภาวะก๊าซไหล ถูกใช้ทำงานได้หลายลักษณะ โดยเปลี่ยนชนิดของก๊าซที่บังคับไหลผ่านอนุภาคหรือสารให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ที่ต้องการจากการเผา ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเตาเผาอนุภาคหรือสารที่ใช้อากาศเป็นสภาวะก๊าซไหลซึ่งถูกใช้อย่างแพร่หลาย ในการวิจัยทางด้านตัวเร่งปฏิกิริยาโดยอยู่ในขั้นตอนของการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนใหญ่ ขั้นตอนการทำงาน คือ เริ่มจากการนำอนุภาคหรือสารที่จะเผาซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นผงใส่ในถาด เซรามิก จากนั้นนำไปวางในท่อควอทซ์หรือท่อเซรามิก ใช้ก๊าซเฉื่อยไหลผ่านท่อพร้อมๆ กับเพิ่ม อุณหภูมิในอัตราที่ต้องการ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าที่ต้องการ ให้ทำการสับเปลี่ยนก๊าซ จาก ก๊าซเฉื่อยเป็นอากาศ แล้วควบคุมสภาวะนั้นตามเวลาที่ต้องการเผา เมื่อครบเวลาแล้วจึงสับเปลี่ยน

จากอากาศเป็นก๊าซเฉื่อย และลดอุณหภูมิลง เป็นอันเสร็จสิ้นการแคลซิเนชัน (Calcination) การเผาในการเตรียมตัวแร่ปฏิกิริยาโดยมีจุดประสงค์หลัก คือ การกำจัดความชื้น และสารอินทรีย์ที่มาจากรีเอเจนต์เตรียมตัวแร่ปฏิกิริยาในขั้นตอนก่อนหน้านี้ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการเผาแล้ว ตัวแร่ปฏิกิริยาที่ส่วนใหญ่จะเป็นโลหะจะอยู่ในลักษณะโลหะออกไซด์ การจะนำไปใช้ศึกษาต่อในการทดลองหาความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยา ตัวแร่ปฏิกิริยาจะต้องกำจัดออกซิเจน (การรีดิวซ์) ออกไปก่อน เพื่อให้ออกไซด์ของโลหะถูกกำจัดออกไปก่อนที่จะศึกษาความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาต่อไป

2.4 เทคโนโลยีเตापูนขาว

นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์ (2546) เทคโนโลยีเตापูนขาวสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานของเตापูนขาวออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln) และเตาแบบเผาต่อเนื่อง (Continuous Kiln) ซึ่งเตาแบบเผาต่อเนื่องยังสามารถแบ่งตามรูปร่างของเตापูนขาวออกเป็นเตาตั้ง (Vertical Shaft Kiln) และเตาแบบหมุน (Rotary Kiln)

2.4.1 เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln)

อาจเรียกว่าเตาเผาแบบหม้อ (Pot Kiln) หรือเตาเผาแบบเผาก๊าซทิ้ง (Flare Kiln) เป็นเตापูนขาวขนาดเล็กสำหรับเผาหินปูนเป็นครั้งๆ ไม่ได้เผาแบบต่อเนื่อง การเผาเริ่มต้นด้วยนำหินปูนที่ต้องการเผาใส่เข้าทางด้านบนของเตापูนขาวโดยใช้แรงงานคนหรือในกรณีมีกำลังการผลิตสูงจะใช้รถยก และสายพานลำเลียงในการยกหินปูนใส่ลงในเตापูนขาวมีช่องว่างด้านล่างสำหรับใส่เชื้อเพลิงแล้วจุดไฟ การเผาเริ่มต้นอาจจะใช้ไม้เศษยางหรือน้ำมันดีเซลก่อน จากนั้นจึงใช้ถ่านหินใส่ในช่องเชื้อเพลิงโดยค่อยทำการเริ่มเผาอย่างช้าๆ ซึ่งถ่านหินที่ใช้ต้องเติมตลอดเวลา อากาศที่ใช้ในการเผาจะถูกส่งผ่านจากช่องด้านล่างของเตापูนขาว อาจใช้พัดลม (Blower) ช่วยในการส่งอากาศผ่านเข้าไปในเตापูนขาวอย่างช้าๆ แล้วจึงปรับเปลี่ยนความเร็วซึ่งเริ่มต้นควรใช้แรงลมต่ำก่อน หลังจากนั้นพอหินปูนเริ่มดูดซับความร้อนไว้ และเริ่มส่งผ่านความร้อนขึ้นไปสู่ชั้นบนแล้วจึงเร่งอากาศที่เป่าโดยพัดลม (Blower) เข้าไปในเตापูนขาวให้แรงขึ้น โดยไฟจะลุกไหม้จากด้านล่างสู่ด้านบน ทำให้เกิดความร้อนทั่วทั้งเตापูนขาวจนหินปูนกลายเป็นปูนสุก (Quicklime) จนหมดแล้วจึงปล่อยให้เย็นตัวลง เตาปูนขาวประเภทนี้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำใช้แรงงานน้อย การเผาทำได้ง่ายไม่ซับซ้อนแต่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ไม่ดีและสิ้นเปลืองปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมาก และคุณภาพของปูนสุกที่ได้ไม่ดี



ภาพที่ 2.16 เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln) (นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์, 2546)

2.4.2 เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous Kiln)

2.4.2.1 เตาตั้ง (Vertical Shaft Kiln)

เป็นเตापูนขาวแบบเผาต่อเนื่องรูปร่างเป็นทรงกระบอกตั้งตรงมีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางต้องมีอย่างน้อย 6 ต่อ 1 มีช่องสำหรับใส่หินปูนที่ต้องการเผาอยู่ทางด้านบนของเตापูนขาวโดยหินปูนจะถูกปล่อยลงมาตามแรงโน้มถ่วง อากาศไหลเข้าสู่เตापูนขาวอาจจะเข้าช่องทางด้านล่างไหลทิศทางสวนกับหินปูนที่ตกลงมา (Counter Flow) หรืออาจจะเข้าช่องทางด้านบนไหลทิศทางเดียวกับหินปูนที่ตกลงมา (Parallel Flow) การให้เชื้อเพลิงเข้าไปในช่องตอนล่างเหนือช่องอากาศ ดังนั้นหินปูนที่ถูกปล่อยลงมาจะได้ความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิจากนั้นผ่านช่องของการให้เชื้อเพลิงที่เป็นช่องของการเผาหลังจากนั้นหินปูนจะตกลงมา และมีอุณหภูมิลดลงเป็นผลให้ความร้อนจากหินปูนจะถูกถ่ายเทให้กับอากาศที่เข้ามาทำให้อากาศร้อนขึ้นช่วยรักษาระดับอุณหภูมิและประหยัดพลังงาน

เนื่องจากความต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาตั้ง (Vertical Shaft Kiln) ในการผลิตปูนขาว จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเตापูนขาวเพื่อให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ทำให้มีการออกแบบ และพัฒนาเตาตั้งแบบต่างๆ เช่น เตาตั้งแบบ Mixed Feed เตาตั้งแบบ Annular เตาตั้งแบบ Double – Inclined และเตาตั้งแบบ Parallel Flow เป็นต้น



ภาพที่ 2.17 เตาตั้ง (Vertical Shaft Kiln) (นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์, 2546)

เตาตั้งแบบ Mixed Feed

เป็นเตาตั้งที่ได้รับการออกแบบ และพัฒนาเทคโนโลยีเตาปูนขาวให้มีลักษณะการทำงานโดยการป้อนหินปูน และถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเป็นชั้นสลับกัน (Mixed Feed) ที่ด้านบนของเตาปูนขาวตกลงมาโดยแรงโน้มถ่วงลงสู่ด้านล่างผ่านกระบวนการอุ่นหินปูนให้ร้อน (Preheating) การเผา (Calcining) และปล่อยให้เย็นตัวลง (Cooling) ตามลำดับ โดยอากาศที่เผาไหม้จะไหลสวนทาง (Counter Flow) กับหินปูนที่ใส่ลงในช่องบนสุดของเตาปูนขาวโดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะถูกส่งเข้าไปทางด้านล่างสุดของเตาปูนขาว และลอยขึ้นด้านบนสุดของเตาปูนขาวดังนั้นอากาศเสียก็จะเกิดที่ด้านบนสุดของเตาปูนขาว จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนใน 2 อย่าง คือ หินปูนที่อยู่ด้านบนสุดของเตาปูนขาวจะถูกอุ่นให้ร้อนโดยความร้อนที่ได้จากอากาศที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิต และอากาศที่เข้าสู่ด้านล่างของเตาปูนขาวได้รับความร้อนจาก Cooling Zone ก่อนเข้าสู่ Calcining Zone



ภาพที่ 2.18 เตาตั้งแบบ Mixed Feed (นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์, 2546)

เตาตั้งแบบ Annular

เป็นเตาตั้งที่ใช้น้ำมันเตาหรืออาจจะใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ลักษณะของเตาปูนขาวจะมีปล่องเป็นวงแหวนติดตั้งไว้ที่ภายในของกระบอกที่อยู่กึ่งกลาง โดยปล่องวงแหวนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงแหวนด้านบน และส่วนของวงแหวนด้านล่าง ตรงส่วนที่ว่างระหว่างวงแหวนทั้งสองเป็นเส้นทางไหลของอากาศภายในเตาปูนขาว โดยแต่ละส่วนจะมีห้องเผาไหม้อย่างน้อย 3 ห้อง (หรืออาจจะมากกว่าขึ้นอยู่กับกำลังการผลิต) ติดตั้งตามแนวรัศมีของปล่องวงแหวนด้านใน ห้องเผาไหม้จะวางเหลื่อมกันกับในช่วงของ Calcining Zone ด้านบนจะมีที่ว่างให้อากาศไหลถ่ายเทความร้อนได้ดีเพื่อให้หินปูนได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง โดยติดตั้งหัวฉีดเชื้อเพลิงไว้ 2 ระดับ คือ ช่วงบน และล่างของ Calcining Zone ส่วนการเผาไหม้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่วงบนของ Calcining Zone อากาศที่เผาไหม้จะไหลสวนทาง (Counter Flow) กับการเคลื่อนที่ของหินปูนและช่วงล่างของ Calcining Zone อากาศจะไหลทิศทางเดียว (Parallel Flow) กับหินปูนที่เคลื่อนที่ลงมา

การป้อนหินปูนเข้าสู่ Preheating Zone อากาศที่เผาไหม้จะไหลสวนทาง (Counter Flow) กับหินปูนที่ตกลงมา จากนั้นหินปูนจะเคลื่อนเข้าสู่ช่วงบนของ Calcining Zone จะได้รับความร้อนจากการสันดาปของเชื้อเพลิงจากหัวฉีด และเมื่อเข้าสู่ช่วงล่างของ Calcining Zone อากาศจะไหลทิศทางเดียว (Parallel Flow) กับหินปูนที่ตกลงมา และจะมีหัวฉีดให้ความร้อนในส่วนนี้ เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะเข้าสู่ Cooling Zone ในโซนนี้อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะรวมตัวกันส่งผ่านไปยังกระบอกภายในเตาปูนขาว จากนั้นอากาศจะถูกโดยผ่าน Recuperator นำอากาศมาใช้ในช่วงของ Preheating Zone อีกทีหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งจะปล่อยออกทางปล่องด้านบน

เตาตั้งแบบ Double – Inclined

เป็นเตาตั้งที่มีกำลังการผลิต 100 – 150 ตันต่อวัน มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าประกอบไปด้วยปล่องมีที่ด้านเอียง 2 ด้านในทิศทางที่ตรงกันข้าม ด้านเอียงแต่ละด้านทำมุม 45 องศากับแนวระดับ โดยจะทำการออกแบบให้มีช่องว่างเหนือด้านเอียงซึ่งช่องว่างของด้านเอียงทั้งสองด้านนี้จะติดตั้งหัวฉีดเพื่อใช้ในการเผาหินปูน ซึ่งที่ฝั่งตรงข้ามของด้านเอียงจะมีห้องเผาใหม่ 3 ห้อง และเหนือห้องเผาใหม่แต่ละห้องจะติดตั้งหลังคาโค้ง เพื่อช่วยรักษาระดับของอุณหภูมิในช่วง Calcining Zone

ที่ด้านบนของเตापูนขาวจะติดตั้งระบบการป้อนอัตโนมัติ เพื่อป้อนหินปูนเข้าสู่ช่วง Preheating Zone เพื่อทำการอุ่นให้ร้อน จากนั้นหินปูนจะถูกลำเลียงผ่านระบบการเผาใหม่ที่ด้านเอียงทั้งสองด้าน โดยจะมีหัวฉีดที่ด้านเอียงแต่ละด้านให้ความร้อนแก่หินปูน เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะเข้าสู่ Cooling Zone ในโซนนี้จะมีพัดลมเป่าอากาศเย็น (Cooling Air) เข้าสู่เตापูนขาวเพื่อเป่าให้ปูนสุกเย็นตัวลงก่อนที่จะลำเลียงไปเก็บที่ไซโลโดยใช้สายพานลำเลียง

เตาตั้งแบบ Parallel Flow

เป็นเตาตั้งที่มีกำลังการผลิต 100 – 600 ตันต่อวัน จะประกอบด้วยปล่อง 2 ปล่อง (บางครั้งอาจจะมี 3 ปล่องขึ้นกำลังการผลิตที่ตั้งไว้) โดยระหว่างปล่อง 2 ปล่องนี้จะมีท่อเชื่อมที่ความสูง 1 ใน 3 ของความสูงของเตापูนขาว และที่ความสูง 2 ใน 3 ของความสูงของเตापูนขาวจะติดตั้งระบบการเผาใหม่โดยมีหัวฉีดเชื้อเพลิงติดตั้งอยู่รอบๆ ปล่อง

ลักษณะการเผาจะเป็นแบบ Parallel Flow คือ หินปูน และอากาศที่ใช้ในการเผาใหม่เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันจากด้านบนสู่ด้านล่างของเตापูนขาว ที่ด้านล่างของเตापูนขาวจะมีพัดลม (Blower) สำหรับเป่าอากาศเย็น (Cooling Air) เพื่อเป่าให้ปูนสุกเย็นตัวลงก่อนที่จะลำเลียงไปเก็บที่ไซโลโดยใช้สายพานลำเลียง โดยหลักการทำงานของเตापูนขาวนั้นจะทำการเผาที่ปล่องอากาศที่ใช้ในการเผาใหม่จะปล่อยออกมาจากด้านบนของแต่ละปล่อง โดยขณะที่ปล่องแรกอยู่ในช่วง Calcining Zone ปล่องที่สองจะอยู่ในช่วง Preheating Zone โดยรับอากาศร้อนจากการเผาในปล่องแรกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเผาใหม่ เมื่อผ่านช่วง Preheating Zone แล้วอากาศที่ใช้ในการเผาใหม่จะถูกปล่อยมาจากทางด้านบนของปล่องที่สอง จากนั้นจะมีการกลับกระบวนการเผาไปที่ปล่องที่สอง ซึ่งในขณะเดียวกันก็จะทำการลำเลียงปูนสุกออกจากด้านล่างพร้อมกับใส่หินปูนใหม่ที่ด้านบนของปล่องแรกทำเช่นนี้สลับกันไป

2.4.2.2 เตาแบบหมุน (Rotary Kiln)

เป็นเตาปูนขาวแบบเผาต่อเนื่อง ลักษณะรูปร่างท่อยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 3 เมตร ความยาวของท่อมีตั้งแต่ 20 – 200 เมตร โดยปกติอัตราส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความยาวของท่อมีค่าประมาณ 1 ต่อ 30 ถึง 1 ต่อ 40 วางนอนเอียงขึ้นเล็กน้อย (ทำมุมประมาณ 4 องศากับแนวระดับ) และมีการหมุนตลอดเวลา โดยจะหมุนอยู่ระหว่าง 35 – 80 รอบต่อชั่วโมง กำลังการผลิตสามารถผลิตได้ถึง 1,000 ตันต่อวัน

หินปูนจะถูกป้อนทางด้านหัว ซึ่งอยู่สูงกว่าทางด้านปลาย หินปูนจะค่อยๆ ไกลไปตามท่อยาวภายใต้แรงโน้มถ่วง และแรงเหวี่ยงของท่อยาว ตรงส่วนปลายสุดของท่อยาวจะมีอุปกรณ์ติดตั้ง คือ หัวเผา (Burner) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เตาปูนขาว และพัดลม (Blower) ทำหน้าที่เป่าอากาศร้อนเข้าสู่ห่ออุ่นวัตถุดิบ (Preheater) และอากาศร้อนจะเคลื่อนตัวสวนกับทิศทางการเคลื่อนที่ของหินปูน (Counter Flow) เมื่อหินปูนเกิด Calcination แล้ว จะถูกลำเลียงเข้าสู่หม้อเย็น (Cooler) และมีพัดลมอีกตัวคอยเป่า เพื่อให้หินปูนสุกเย็นตัวลง แล้วอากาศร้อนนี้จะพัดเข้าสู่เครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator, EP) เพื่อแยกฝุ่นออก โดยอากาศร้อนแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งจะนำเข้าสู่เตาปูนขาวเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน อีกส่วนจะปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งมีโครงการทำงานที่คล้ายกับเตาดั้ง (Vertical Shaft Kiln) จะเห็นได้ว่าเนื่องจากมีการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หัวเผา (Burner) ห่ออุ่นวัตถุดิบ (Preheater) หม้อเย็น (Cooler) เครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator, EP) เป็นต้น ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเตาแบบหมุนมีค่าสูง แต่มีผลทำให้เงินลงทุนในการก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเตาปูนขาวมีค่าสูงจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมปูนขาวที่มีขนาดเล็ก



ภาพที่ 2.19 เตาแบบหมุน (Rotary Kiln) (นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์, 2546)

2.5 การเปรียบเทียบด้านเทคนิคของเทคโนโลยีเตาปูนขาวแต่ละประเภท

ข้อมูลทางเทคนิคของเทคโนโลยีเตาปูนขาวแต่ละประเภท (แสดงดังตารางที่ 2.10) แสดงข้อมูลที่น่ามาพิจารณาเลือกเทคโนโลยีเตาปูนขาวให้เหมาะสมกับการผลิต คือ กำลังการผลิตปูนขาว ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ อัตราการใช้พลังงาน เงินลงทุนในการก่อสร้างเตาปูนขาว และการควบคุมเตาปูนขาวแต่ยังมีสิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาอีก คือ ชนิด และขนาดของหินปูนที่ใช้เป็นวัตถุดิบ คุณภาพของปูนขาวที่ได้ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งเทคโนโลยีเตาปูนขาวจะมีข้อจำกัด และข้อได้เปรียบทางเทคนิคแตกต่างกันไป เช่น เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln) จะมีข้อได้เปรียบ คือ เงินลงทุนในการก่อสร้างอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมาก แต่เนื่องจากมีค่าประสิทธิภาพของเตาปูนขาวต่ำ จึงมีผลทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมาก อีกทั้งคุณภาพของปูนสุกที่ได้ไม่ดี และทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเนื่องจากการเปิดระบบเปิดไม่มีการควบคุมก๊าซที่เกิดขึ้นในการเผาหินปูนออกสู่บรรยากาศ (นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์, 2546)

ตารางที่ 2.10 ข้อมูลทางเทคนิคของเทคโนโลยีเตาปูนขาวแต่ละประเภท

ประเภทของเตาปูนขาว	กำลังการผลิต (ตันต่อวัน)	ประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้	อัตราการใช้พลังงาน (kcal/kg Quicklime)	เงินลงทุนในการสร้างเตาปูนขาว	การควบคุมเตาปูนขาว
เตาแบบเผาทีละครั้ง (Batch Kiln)	1 – 3	ไม้/ถ่านหิน	2,380.95	ต่ำมาก	ต่ำ
เตาดิ่ง (Vertical Shaft Kiln)					
– Mixed Feed Shaft Kiln	4 – 250	ถ่านหิน	1,345.23	ต่ำ	ปานกลาง
– Annular Shaft Kiln	100 – 350	น้ำมันเตา	1,085.71	สูง	สูง
– Double – Inclined Kiln	100 – 150	ถ่านหิน	1,080.95	สูง	สูง
– Parallel Flow Kiln	100 – 600	น้ำมันเตา	897.62	สูง	สูง
เตาแบบหมุน (Rotary Kiln)	400 – 1,000	หลายชนิด	1,395.24	สูงมาก	สูง

ที่มา : นนนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์ (2546)

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2.6.1 การวิเคราะห์ทางการเงิน (Financial Analysis)

จิราวรรณ คำวังพฤกษ์ (2554) การวิเคราะห์ทางการเงินเป็นการวิเคราะห์เงินลงทุน และผลตอบแทนหรือผลกำไรทางการเงินของโครงการ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน กล่าวคือ ผลตอบแทนที่ได้รับคุ้มค่างบเงินลงทุนหรือไม่ โดยคำนึงถึงค่าเสียโอกาสที่อยู่ในรูปของอัตราส่วนลด (Discount Rate) การวิเคราะห์ทางการเงินมีมิติต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. การคาดคะเนกระแสไหลเวียนของเงินสดของโครงการ (Cash Flow)
2. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)
3. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio, B/C Ratio)
4. อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)
5. การวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ (Sensitive Analysis)
6. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

การวิเคราะห์ และการประเมินโครงการนั้น โดยทั่วไปจะใช้วิธีการต่างๆ ต่อไปนี้

2.6.1.1 การคาดคะเนกระแสไหลเวียนของเงินสดของโครงการ (Cash Flow)

เป็นการวิเคราะห์กระแสเงินสดต่างๆ ของโครงการ (Cash Flow) ประกอบด้วย กระแสเงินสดรับ และกระแสเงินสดจ่าย และกระแสเงินสดสุทธิ โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{กระแสเงินสดสุทธิ} = \text{กระแสเงินสดรับ} - \text{กระแสเงินสดจ่าย}$$

ซึ่งการคาดคะเนทำให้ทราบการประมาณเงินทุนหมุนเวียน และกำไร – ขาดทุนในแต่ละปี

2.6.1.2 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ ได้จากการนำกระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปีมาเทียบให้เป็นมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ โดยให้อัตราส่วนลดมีค่าเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของลูกค้าของธนาคารพาณิชย์ในปัจจุบัน โดยคำนวณสูตรต่อไปนี้

$$\text{NPV} = \text{PVB} - \text{PVC}$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

PVB คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนโครงการ

PVC คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

ค่าปัจจุบันของผลได้กรณีที่ใช้อัตราส่วนลดเดียวกันหาได้จาก

$$PVB = B_0 + \frac{B_1}{(1+i)} + \frac{B_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{B_n}{(1+i)^n}$$

หรือ

$$PVB = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t}$$

ค่าปัจจุบันของต้นทุนกรณีที่ใช้อัตราส่วนลดเดียวกันหาได้จาก

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \left[\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0 \right]$$

หรือ

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

โดยที่ B_t คือ ผลตอบแทนปีที่ t ($t = 0, 1, 2, \dots, n$)

C_0 คือ ค่าลงทุนในปีปัจจุบัน

C_t คือ ต้นทุนที่เสียไปในปีที่ t ($t = 0, 1, 2, \dots, n$)

i คือ อัตราส่วนลด (Discount Rate)

n คือ อายุของโครงการ (ปี)

การตัดสินใจในการลงทุน (Investment Decision) มีหลักการในการพิจารณาในการเลือกโครงการที่ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่า 0

2.6.1.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio, B/C Ratio)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน หมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ต่อมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งอัตราส่วนรายได้ต่อต้นทุน (B/C Ratio) ของโครงการที่เหมาะสมต่อการลงทุนต้องมากกว่า 1 หรืออย่างน้อยที่สุดควรเท่ากับ 1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{B}{C} \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} + |C_0|}$$

โดยที่ B/C	คือ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน
B_t	คือ ผลตอบแทนในปีที่ t ($t = 0, 1, 2, \dots, n$)
C_0	คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก
C_t	คือ ต้นทุนที่เสียไปในปีที่ t ($t = 0, 1, 2, \dots, n$)
R	คือ อัตราดอกเบี้ย

โดยถ้า

$B/C = 1$ แสดงว่าโครงการนั้นเท่าทุน

$B/C > 1$ แสดงว่าโครงการนั้นได้กำไร

$B/C < 1$ แสดงว่าโครงการนั้นมีแนวโน้มจะขาดทุน

2.6.1.4 อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return, IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้รายได้เท่ากับมูลค่ารายจ่ายของโครงการหรืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน เท่ากับ 0 หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราคิดลดที่ทำให้ค่าปัจจุบันของผลตอบแทนเท่ากับค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายพอดีโดยมีสูตรของการคำนวณ คือ

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \left[\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} + C_0 \right] = 0$$

โดยที่ B_t	คือ มูลค่าของผลตอบแทนของโครงการในปีที่ t
C_0	คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก
C_t	คือ ต้นทุนที่เสียไปในปีที่ t ($t = 0, 1, 2, \dots, n$)
i	คือ อัตราส่วนลด (Discount Rate)
t	คือ ปีของโครงการ คือ ปีที่ t ($t = 0, 1, 2, \dots, n$)
n	คือ อายุของโครงการ (ปี)

2.6.1.5 การวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ (Sensitive Analysis)

การวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการ เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบต่อผลตอบแทนสุทธิของโครงการจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ โดยที่การวิเคราะห์ ต้นทุน – ผลตอบแทน สามารถแยกวิเคราะห์ได้ดังนี้

ต้นทุนรวม (Total Cost, TC) = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Investment Cost) + ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Cost)

ผลตอบแทน (Benefit) หรือรายได้รวม (Total Revenue, TR) = ราคา (P) x ปริมาณ (Q)

การวิเคราะห์ความไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการจะวิเคราะห์จากตัวแปรสำคัญในการวิเคราะห์ต้นทุนรวม คือ การแปรผันของด้านราคา ความแปรผันด้านปริมาณผลผลิตว่ามีผลกระทบต่อผลตอบแทนของโครงการอย่างไร ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความไหวตัวของโครงการช่วยให้ผู้ประเมินทราบว่าหากตัวแปรไม่เป็นไปตามการที่ประมาณไว้จะมีผลทำให้ผลตอบแทนของโครงการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ซึ่งจะช่วยให้การประเมินโครงการมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยจะทำการศึกษาถึงการไหวตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของรายการต้นทุนผลตอบแทนว่ามีผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรต่ออัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) เพื่อให้เกิดความมั่นใจยิ่งขึ้นว่าโครงการที่จะลงทุนนั้นเป็นโครงการที่ดี และมีความแข็งแกร่ง โดยกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลง คือ เมื่อต้นทุนเพิ่มขึ้นจากเดิมปีละร้อยละ 1 ร้อยละ 2 และร้อยละ 3 โดยที่รายรับเท่าเดิม และให้รายรับลดลงปีละร้อยละ 1 ร้อยละ 2 และร้อยละ 3

2.6.1.6 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) หมายถึง ระยะเวลาการดำเนินงานที่ได้รับผลตอบแทนในรูปของกระแสเงินสดเข้าเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายลงทุนหรือกล่าวได้ว่าระยะเวลาคืนทุน คือ จำนวนปีในการดำเนินการซึ่งทำให้ผลกำไรที่ได้รับในแต่ละปีรวมกันแล้วมีค่าเท่ากับจำนวนเงินลงทุนเริ่มแรก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน/ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}$$

2.6.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน (Investment Decision)

การตัดสินใจทางการลงทุน หมายถึง การตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกโครงการลงทุนว่าควรลงทุนในโครงการใดจึงจะให้ผลตอบแทนตามต้องการ โดยใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจทางการลงทุนที่คำนึงถึงค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) ได้แก่ การคำนวณหาค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) การคำนวณอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)

เกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจในการลงทุน จะทำให้ผู้วิเคราะห์โครงการลงทุนตัดสินใจได้ว่าควรลงทุนในโครงการนั้นๆ หรือไม่ โดยปกติโครงการที่ให้ค่าต่างๆ ดังนี้ ถือเป็นโครงการที่ควรลงทุน

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่ามากกว่า 0
- อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) มีค่ามากกว่า 1
- อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) มีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำหรือสูงกว่าต้นทุนของเงินทุน
- ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ (Payback Period) โดยจะเลือกเอาระยะเวลาที่สั้นที่สุด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lamar (1965) ได้อธิบายโดยสังเขปของการใช้ประโยชน์หินปูน และแร่โดโลไมต์ รายละเอียดทางเคมีและ/หรือกายภาพของแต่ละการใช้งานที่ควรรู้ พร้อมทั้งยังบอกแหล่งข้อมูลที่มาของที่ศึกษาอีกด้วย ส่วนข้อมูลที่จะช่วยบอกประโยชน์ของหินปูน และแร่โดโลไมต์ของแหล่งอลิโนยส์ (แสดงดังภาพที่ 2.20) ในการศึกษาครั้งนี้คำว่าหินปูนจะเป็นหินที่ประกอบด้วยแร่แคลไซต์ (แคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นหลัก ในขณะที่แร่โดโลไมต์มีกำเนิดเช่นเดียวกับแร่แคลไซต์ เป็นหินที่ประกอบด้วยแร่โดโลไมต์ (แคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต) เป็นหลัก และยังมีสองคำที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ หินปูนที่มีแคลเซียมสูง (High - calcium limestone) และแร่โดโลไมต์ที่มีแมกนีเซียมสูง (High - magnesium dolomite) เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมโดยที่ไม่มีคำจำกัดความอย่างชัดเจน หินปูนที่มีแคลเซียมสูงโดยทั่วไปจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 95 แต่ส่วนใหญ่ในทางการค้าหินปูนที่มีแคลเซียมสูงนั้นจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 97 หรือ 98 ส่วนแร่โดโลไมต์ที่มีแมกนีเซียมสูงโดยทั่วไปจะมีแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 20 หรือแมกนีเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 42 และคำว่าแร่โดโลไมต์ความบริสุทธิ์สูง ได้ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายในทำนองเดียวกัน คือ แร่โดโลไมต์ที่ประกอบไปด้วยแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 20 แมกนีเซียมคาร์บอเนตมากกว่าร้อยละ 97 และแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยเช่นกัน

Use	Thousands of short tons	Value thousands of dollars	Average price per ton
Agriculture	20,503	\$ 35,665	\$ 1.74
Alkali manufacture	3,483	3,954	1.14
Building (dimension) stone			
Rough construction	67	248	3.70
Rough architectural	223	3,150	14.13
Dressed (cut and sawed)	454	16,563	36.48
Rubble	172	518	3.01
Calcium carbide manufacture	834	827†	.99
Cement - portland and natural	84,354	89,947	1.07
Coal mine dusting	526	1,899	3.61
Concrete and road stone	251,787	325,411	1.29
Curbing and flagging	36	214	5.94
Fill material	581	560	.96
Filler (not whitening substitute)			
Asphalt	2,829	6,905	2.44
Fertilizer	464	1,046	2.25
Other	326	1,645	5.05
Filtration	255	445	1.75
Fluxing stone	28,206	40,422	1.43
Glass manufacture	1,317	3,979	3.02
Lime and dead-burned dolomite	19,286	30,034	1.56
Limestone sand	2,293	3,818	1.67
Limestone whitening	698	7,184	10.29
Magnesia (dolomite)*	18	22	1.22
Mineral food	654	3,578	5.47
Mineral (rock) wool	2	4	2.00
Paper manufacture	434	1,190	2.74
Poultry grit	146	1,096	7.50
Railroad ballast	4,589	5,693	1.24
Refractory dolomite	242	441	1.82
Riprap	5,449	6,561	1.20
Sugar refining	856	2,098	2.45
Other and unspecified uses	2,871	6,011	2.09

* Includes stone for refractory magnesia
† Cotter, Perry G., U. S. Bur. Mines, pers. comm., 1961.

ภาพที่ 2.20 ปริมาณ และมูลค่าของหินปูน และแร่โดโลไมต์ที่ขายในปี 1959 ตามการใช้งาน (Lamar, 1965)

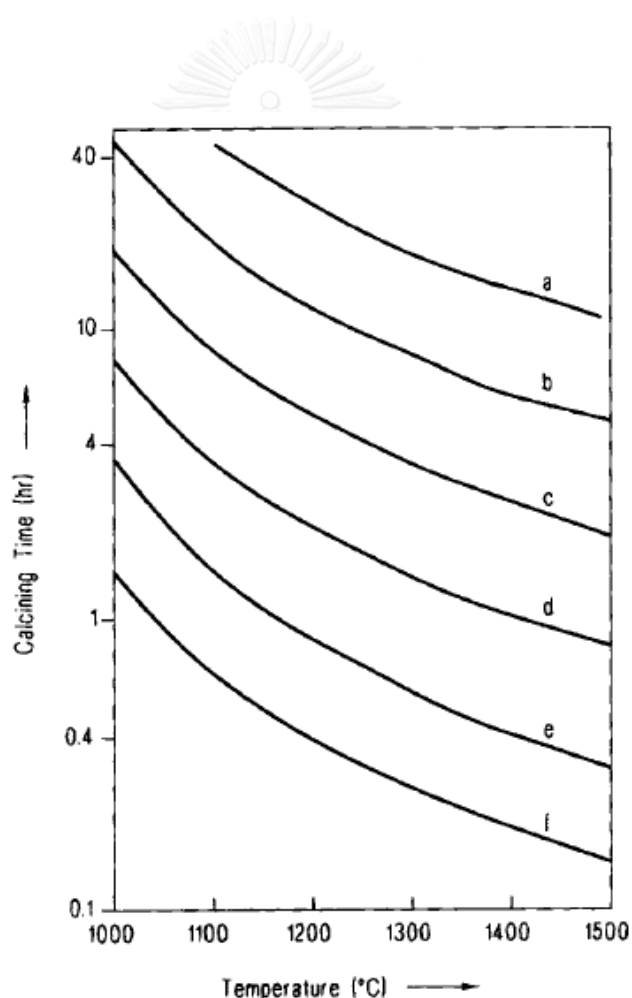
สุชาติ ศรีโพธิ์เจริญกุล (2539) ได้ตรวจสอบคุณภาพหินปูน และแร่โดโลไมต์ในบางจังหวัดของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ โดยการสุ่มตัวอย่างจำนวน 220 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ พบว่าตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นหินปูนจำนวน 183 ตัวอย่าง มีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 40.54 – 55.77 ตัวอย่างโดโลไมต์พบมากทางภาคใต้จำนวน 37 ตัวอย่าง มีแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ 11.22 – 21.05 โดยในการวิเคราะห์จะใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ซึ่งใช้ตัวอย่างหินคาร์บอนที่บดละเอียดมากกว่า 200 เมช จำนวน 1 กรัม ไปเผาเพื่อไล่สารอินทรีย์ (Organic matter) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) นำส่วนที่เหลือไปหลอมกับสารช่วยหลอมไดลิเทียมเตทราโบเรต (di-Lithium tetraborate) 7 กรัม ที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 20 นาทีก่อนที่จะนำไปวัดด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ปริมาณต่ำสุดของการวิเคราะห์ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 0.10 แมกนีเซียมออกไซด์

(MgO) ร้อยละ 0.10 อะลูมินาหรืออะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 0.01 ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 0.01 เพอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 0.01 โซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 0.10 โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ร้อยละ 0.01 – 1.65 ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 0.01 – 0.21 แมงกานีสออกไซด์ (MnO) ร้อยละ 0.01 – 0.16 ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P_2O_5) ร้อยละ 0.01 – 0.17 ค่าความชื้น (Moisture, H_2O) ร้อยละ 0.11 – 0.37 และการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss On Ignition, LOI) ร้อยละ 33.85 – 47.21 แสดงดังภาพที่ 2.21

จังหวัด	CaO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
แม่ฮ่องสอน	42.44-55.59	0.10-2.99	<0.01-13.90	0.01-3.70	0.05-1.33
ลำปาง	51.28-55.58	<0.10-2.89	<0.01-5.81	0.01-2.57	0.08-0.81
เชียงใหม่	31.55-55.50	0.18-20.44	<0.01	<0.01-0.30	0.05-0.14
สุราษฎร์ธานี	48.55-55.77	<0.10-5.24	<0.01-7.29	0.18-0.87	0.09-0.39
เพชรบูรณ์	42.68-51.71	0.15-0.46	5.12-15.93	0.89-3.87	0.49-1.97
เลย	32.80-55.61	<0.10-19.73	<0.01-2.01	<0.01-0.29	0.03-0.32
หนองบัวลำภู	53.80-55.72	<0.10-0.40	<0.01-2.84	0.11-0.30	0.11-0.29
อุดรธานี	54.41-55.68	<0.10-0.24	<0.01-0.96	0.18-0.40	0.11-0.34
ขอนแก่น	50.16-55.07	0.27-0.61	0.01-8.53	0.11-0.56	0.11-0.25
ชัยภูมิ	37.54-55.51	<0.10-15.24	<0.01-3.11	0.08-0.55	0.10-1.26
นครราชสีมา	51.29-55.66	<0.10-1.21	<0.01-5.41	<0.01-0.95	0.04-0.34
สระบุรี	45.17-55.58	<0.10-2.27	<0.01-16.47	<0.01-1.18	0.04-0.61
ชัยนาท	54.07-55.30	0.37-1.22	<0.01-1.20	0.18-0.38	0.12-0.20
ลพบุรี	40.54-55.80	0.10-8.40	<0.01-19.81	<0.01-1.42	0.14-1.76
อุทัยธานี	42.02-55.56	<0.10-8.28	<0.01-13.23	<0.01-4.33	0.04-1.60
กาญจนบุรี	32.25-55.42	<0.10-19.20	<0.01-11.00	0.35-2.29	0.13-1.38
ระยอง	50.34-55.32	<0.10-0.26	0.41-5.59	0.25-2.01	0.27-0.90
ประจวบฯ	31.29-55.52	0.10-20.05	<0.01-1.28	0.08-0.62	0.06-0.15
ชุมพร	31.49-55.47	<0.10-20.36	<0.01-1.93	0.13-1.65	0.13-0.26
กระบี่	31.97-55.46	0.13-20.72	<0.01-12.11	<0.01-1.40	0.10-0.21
ตรัง	31.10-53.22	0.70-20.60	<0.01-6.49	0.17-2.41	0.14-1.09
สุราษฎร์ธานี	31.10-54.82	0.42-21.05	<0.01-9.59	0.17-1.05	0.13-0.19
นครศรีธรรมฯ	45.60-53.13	0.27-5.34	1.03-10.71	0.64-3.88	0.35-0.97
สตูล	44.63-53.04	0.33-2.48	0.23-10.75	0.43-3.81	0.30-1.46

ภาพที่ 2.21 ผลการวิเคราะห์หินปูน และแร่โดโลไมต์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) (สุชาติ ศรีไพโรจน์ธิกุล, 2539)

Oates (1998) ได้ศึกษาการเผาของหินปูน เช่น การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเกิดกระบวนการแคลซิเนชัน (Calcination) เป็นต้น ดังนั้นจึงได้มีการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเผากับขนาด และอุณหภูมิของหินปูนแคลเซียมสูงทรงกลมตามขนาดต่างๆ (แสดงดังภาพที่ 2.22 และภาพที่ 2.23) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการทดลองทั้งหมด พบว่าที่ขนาดเดียวกันระยะเวลาในการเกิดกระบวนการจะแปรผันตรงกับความหนาของกำแพงสอง (ความหนาหาได้โดยขนาดที่น้อยที่สุดที่วัดผ่านจุดศูนย์กลางของวัตถุ) และสามารถหาสูตรสำหรับระยะเวลาในการเผาของรูปร่างแต่ละชนิด พบว่าระยะเวลาในการเผาของปริซึมทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าเป็น 2 เท่าของค่าระยะเวลาในการเผาของทรงลูกบาศก์ที่มีความหนาเท่ากันซึ่งมีความสัมพันธ์กับเวลาในการเผาของความหนาเท่ากัน สำหรับทรงกลมมีค่าเท่ากับ 1 สำหรับทรงลูกบาศก์มีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ 1.7 และสำหรับทรงแผ่นมีค่าเท่ากับ 3



ภาพที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเผากับขนาด และอุณหภูมิของหินปูนที่มีแคลเซียมสูงทรงกลม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (a) 150 มิลลิเมตร (b) 125 มิลลิเมตร (c) 100 มิลลิเมตร (d) 75 มิลลิเมตร (e) 50 มิลลิเมตร และ (f) 25 มิลลิเมตร (Oates, 1998)

Diameter of sphere (mm)	Dissociation time (h) ^{a)}					
	Temperature (°C)					
	1000	1100	1200	1300	1400	1500
12	0.8	0.3	0.2	–	–	–
19	1.1	0.5	0.3	0.2	–	–
25	1.5	0.6	0.4	0.25	0.2	–
37	2.3	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2
50	3.5	1.5	0.8	0.6	0.4	0.3
75	7.9	3.8	2.0	1.4	1.0	0.8
100	19	8.5	4.8	3.5	2.6	1.9
125	43	19	11	8.3	6.3	4.6
150	–	45	26	19	15	11

^{a)} For a dense, high calcium limestone.

ภาพที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเผากับขนาด และอุณหภูมิของหินปูนที่มีแคลเซียมสูงทรงกลมตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ (Oates, 1998)

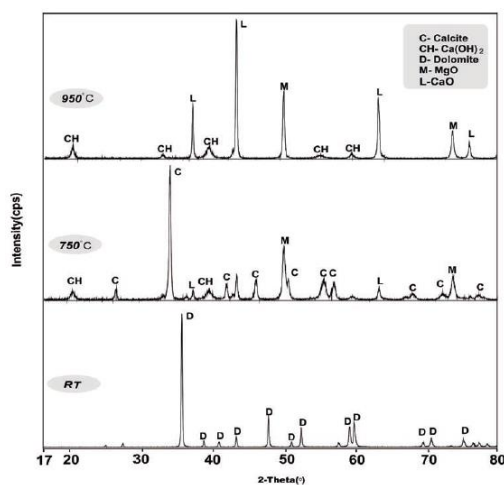
บริษัท แอล.เอส.เอ็ม.(1999) จำกัด (1999) ได้มีการผลิตแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกขนาด 10 – 100 มิลลิเมตร และ 0 – 10 มิลลิเมตร ซึ่งแร่โดโลไมต์ก่อนเผาจะมีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 30.4 แมกนีเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 21.7 และคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 47.9 และหลังเผามีค่าแมกนีเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 30 และค่าแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 50 เหมาะในการถลุงเหล็ก และค่าแมกนีเซียมออกไซด์จะช่วยให้เหล็กมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่วนแคลเซียมออกไซด์ช่วยให้เหล็กมีการยึดติดตัวกันมากขึ้น และค่าเคมีทั้งสองตัวนี้จะช่วยในการรักษาผนังเตาหลอมเหล็กได้เป็นอย่างดีจึงได้มีชื่อสินค้าว่า Burnt Dolomite หรือโดโลไมต์ชนิดเผาสุก มีลักษณะเป็นก้อนสีขาว ถ้ามองด้วยตาเปล่าจะเหมือนปูนขาว ส่วนขั้นตอนการผลิตแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก คือ การนำแร่โดโลไมต์มาเผาด้วยความร้อนประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการเผาประมาณ 2 ชั่วโมงต่อน้ำหนักสินค้า 1 ตัน การผลิตสินค้าจะใช้เตาเผาทรงสี่เหลี่ยม ขนาดกว้าง ยาว สูง ด้านละประมาณ 6 เมตร แร่โดโลไมต์ที่นำมาเผามีอยู่ด้วยกัน 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ (8 – 12 นิ้ว) ขนาดกลาง (6 – 8 นิ้ว) และขนาดเล็ก (3 – 5 นิ้ว) โดยวางขนาดใหญ่ไว้ด้านล่างวางเรียงกันในเตาเผา ต่อจากนั้นวางขนาดกลาง และขนาดเล็กจะวางชั้นบนสุดต้องทำเป็นลักษณะของภูเขาสูงกว่าเตาเผาประมาณ 1.5 เมตร เพื่อการถ่ายเทอากาศได้ดีเมื่อทำการเผา โดยการเผาจะประมาณ 8 – 9 วัน จะมีเชื้อเพลิง 3 ชนิด คือ ฟืน 25 ตัน ถ่านหินลิกไนต์ 45 ตัน ถ่านหินบิทูมินัส 45 ตัน หลังจากเผาเสร็จจะนำแร่โดโลไมต์ที่ได้มาผ่านเครื่องคัดขนาด โดยจะมีการนำมาไม่ให้มีขนาด 10 – 100 มิลลิเมตร และ 0 – 10 มิลลิเมตร และบรรจุถุงรอจำหน่าย

ศุภโชค แสงสว่าง (2546) ได้ศึกษาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการเผาปูนขาวของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง พบว่าโรงงานนี้ทำการผลิตปูนขาวโดยใช้เตาเผาแบบโบราณที่สร้างขึ้นเองเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้อิฐมอญ และใช้ถ่านหินลิกซ์ไนต์เป็นตัวให้พลังงานความร้อนในการเผาไหม้ซึ่งต้องใช้เวลาการผลิตประมาณ 7 วันต่อการเผา 1 ครั้ง ได้ผลผลิตประมาณ 100 ตัน ทำให้ต้องมีคนงานเฝ้าดูแลตลอดระยะซึ่งเปลืองแรงงานมาก และไม่มีการป้องกันการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ถ่านหินลิกซ์ไนต์เป็นปริมาณมากจึงทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาการเผาของปูนขาว ออกแบบ และสร้างเตาเผาต้นแบบที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตั้งสามารถลดระยะเวลาในการเผาไหม้ลง และเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ใช้จากถ่านหินลิกซ์ไนต์มาเป็นก๊าซหุงต้มหรือก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas, LPG) เพื่อลดมลภาวะในอากาศอันเกิดจากการเผาไหม้ จากการวิจัยครั้งนี้สามารถประหยัดเวลาเหลือ 19 ชั่วโมง และสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงได้เท่ากับร้อยละ 25.89 เมื่อเทียบกับเตาเผาแบบโบราณ และมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 4.37 บาทต่อกิโลกรัม และสามารถนำไปเป็นต้นแบบเพื่อพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

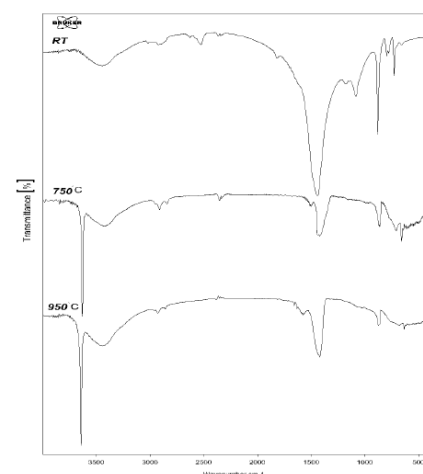
British Geological Survey. [Online] (2006) แร่โดโลไมต์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าโดโลสโตนเป็นหินชั้นหรือหินตะกอนคาร์บอนเนต หินส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่โดโลไมต์ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). ซึ่งหินที่มีเพียงร้อยละ 10 - 50 ของแร่โดโลไมต์จะเรียกว่า โดโลมิติก ส่วนใหญ่การเกิดของแร่โดโลไมต์เป็นการแทนที่ของหินปูนที่มีอยู่ก่อน และขั้นตอนการแทนที่นี้เรียกว่า กระบวนการโดโลมิไตเซชัน (Dolomitization) กระบวนการมักจะเกิดไม่สมบูรณ์ และแร่โดโลไมต์โดยปกติจะรวมตัวกันของโดโลไมต์ หินปูนโดโลมิติก และหินปูน ดังนั้นแหล่งแร่โดโลไมต์ที่พบมักมีความเกี่ยวข้องกับหินปูน ในความเป็นจริงอาจพบอะตอมของธาตุอื่นๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น ซิลิกา กำมะถัน เหล็กออกไซด์ และอะลูมินา ซึ่งมีความสำคัญมากการที่องค์ประกอบของแร่โดโลไมต์ต่างกันไปทำให้ลักษณะการใช้งานแตกต่างกันไปด้วย แร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้งานส่วนใหญ่มีความสำคัญในงานก่อสร้างซึ่งสามารถใช้ทดแทนหินปูนได้ แต่สำหรับงานบางประเภทจะใช้เฉพาะแร่โดโลไมต์ที่มีองค์ประกอบของแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และองค์ประกอบทางเคมีเป็นสิ่งสำคัญ อุตสาหกรรมแร่โดโลไมต์ในทางการค้าของแร่โดโลไมต์จะใช้สำหรับประเภทงานที่ไม่ใช้งานก่อสร้างเนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญ องค์ประกอบแมกนีเซียมออกไซด์ของแร่โดโลไมต์โดยทั่วไปจะเห็นได้ชัดหลังจากการแคลซิเนชัน (การใช้ความร้อนกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์) แร่โดโลไมต์ที่มีความบริสุทธิ์จะมีแมกนีเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 40 แต่ในอุตสาหกรรมแก้วโดยทั่วไปจะใช้แมกนีเซียมออกไซด์ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเผาประมาณร้อยละ 21.8 เติมนลงไปเพื่อเป็นตัวช่วยหลอมที่อุณหภูมิสูง แร่โดโลไมต์เพื่อการอุตสาหกรรมคิดเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างเล็ก และยังมีสัดส่วนลดลงของการส่งออกแร่โดโลไมต์ทั้งหมดเช่นเดียวกับหินปูน แร่โดโลไมต์

ที่ใช้ในงานก่อสร้างเป็นสินค้าที่มีมูลค่าต่ำซึ่งไม่สมควรกับระยะทางขนส่งนาน แม้ว่าเรื่องนี้อาจจะไม่เป็นจริงสำหรับอุตสาหกรรมแร่โดโลไมต์ที่มีคุณภาพสูง

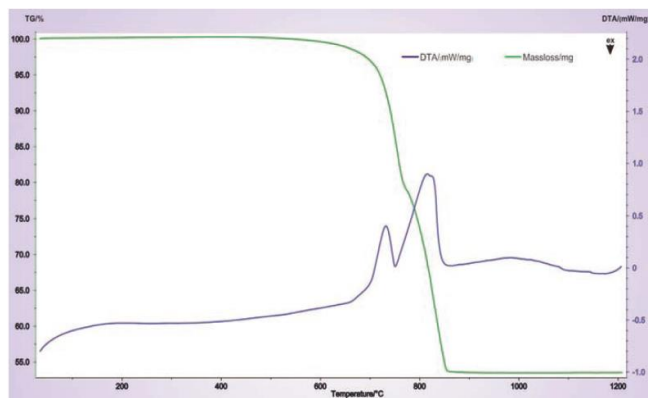
Shahraki และคณะ (2009) โดโลไมต์จะมีแมกนีเซียมออกไซด์อยู่เป็นจำนวนมาก และแมกนีเซียมออกไซด์ยังเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในงานอุตสาหกรรมโลหะ เหล็ก และวัสดุทนไฟ ในการวิจัยนี้จะศึกษาพฤติกรรมความร้อนของแร่โดโลไมต์ของเหมืองซีเฟซ (Zefreh dolomite mine) ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์โมล (DTA) เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก (TGA) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) และเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) จากกราฟของ DTA จะแสดงค่าการดูดความร้อน 2 พีค ที่อุณหภูมิ 772 °ซ และ 834 °ซ โดยพีคแรกจะเกี่ยวข้องกับแมกนีเซียมออกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนพีคสองจะแสดงการสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปของแคลเซียมออกไซด์ และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 772 °ซ จากการวิเคราะห์ XRD ที่สภาวะบรรยากาศปกติพบค่าแคลเซียมออกไซด์ประมาณร้อยละ 2 ซึ่งอยู่ในรูปเดียวกันหรือซ้ำกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จากกราฟของ TGA จะแสดงค่าผลรวมของน้ำหนักที่หายไปของการสลายตัวในแร่โดโลไมต์ร้อยละ 46.2 โดยในการเพิ่มเวลาในการเผาของเตาเผาแร่โดโลไมต์จะสลายตัวในอุณหภูมิต่ำลง ค่า XRD ของการเผาตัวอย่างจะค่อยเพิ่มถึงอุณหภูมิ 750 °ซ แสดงให้เห็นโครงสร้างของแร่โดโลไมต์ที่เปลี่ยนไปเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต และเมื่อเพิ่มองค์ประกอบของควอร์ซเข้าไปเพื่อดูรูปแบบกลไกของแร่โดโลไมต์ที่อุณหภูมิมากกว่า 1,000 °ซ จะทำในรูปแบบเปลี่ยนไปเป็น $\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$ และ CaSiO_4 XRD และ FT-IR สามารถยืนยันปฏิกิริยาการสลายตัวของแร่โดโลไมต์ได้



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2.24 การวิเคราะห์ทางความร้อนของแร่โดโลไมต์ (ก) กราฟของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) (ข) กราฟของเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (FT-IR) และ (ค) กราฟของเครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลเทอร์มอล (DTA)

Yildirim และ Akarsu (2010) ได้ศึกษาการเตรียมแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) จากแร่โดโลไมต์ โดยวิธีการชะละลาย (Leach) การตกตะกอน (Precipitation) และกระบวนการไพโรไฮโดรไลซิส (Pyrohydrolysis Process) แมกนีเซียมออกไซด์เหมาะสำหรับใช้ในวัสดุทนไฟพื้นฐานซึ่งได้จากแร่โดโลไมต์ ($CaMg(CO_3)_2$) โดยการชะละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริก การตกตะกอนด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และการไฮโดรไลซิสที่สภาวะความร้อน (Thermal hydrolysis) ซึ่งในการชะละลายของแร่โดโลไมต์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจะขึ้นอยู่กับผลของเวลาที่ใช้ในการละลายของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ โดยแร่โดโลไมต์ที่ใช้ในการทดลองมาจากประเทศตุรกี และมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ (แสดงดังตารางที่ 2.11) ในการเกิดอัตราการละลายของพีเอช (pH) กำหนดให้ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ในการทดลองคาร์บอเนชัน (Carbonation) ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และแมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) กับเวลาที่ใช้ในการปล่อยสารละลาย เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการตกตะกอนของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ในสถานะของแข็ง และในการทดลองได้ไปสู่การกำหนดกลไกของการสลายตัวทางความร้อน (Thermal decomposition) ของแมกนีเซียมคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) ในระหว่างเกิดกระบวนการไพโรไฮโดรไลซิส จากน้ำเกลือที่มีแมกนีเซียมคลอไรด์ความบริสุทธิ์สูงจะมีแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 98.86 แมกนีเซียมออกไซด์ที่เก็บกลับคืนได้จากการสลายตัวทางความร้อนร้อยละ 98.10

ตารางที่ 2.11 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ
ชื่อ	สัญลักษณ์	
แคลเซียมออกไซด์	CaO	31.70
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	20.60
อะลูมิเนียมออกไซด์	Al ₂ O ₃	0.06
โซเดียมออกไซด์	Na ₂ O	< 0.002
โพแทสเซียมออกไซด์	K ₂ O	< 0.002
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO ₂	0.03
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe ₂ O ₃	0.04
คาร์บอนไดออกไซด์	CO ₂	47.30
ซัลเฟต	SO ₄	0.13
สตรอนเชียม	Sr	0.06
ลิเทียม	Li	< 0.002
โบรอน	B	0.006
ไทเทเนียม	Ti	< 0.002

ที่มา : Yildirim และ Akarsu (2010)

Satyendra (2014) หินปูน และแร่โดโลไมต์เป็นหินตะกอนที่ประกอบด้วยคาร์บอเนต หินปูนจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่มาก และมีแมกนีเซียมคาร์บอเนตปะปนเล็กน้อย ส่วนในแร่โดโลไมต์ประกอบด้วยแมกนีเซียมคาร์บอเนตสูงสุดร้อยละ 45.65 และแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 54.35 แต่ในธรรมชาติพบว่ามีแมกนีเซียมคาร์บอเนตน้อยกว่านี้เสมอ และมักมีเหล็ก แมงกานีส ซิลิกา และอื่นๆ ปะปนอยู่ ดังนั้นจึงมีการจำแนกชนิดหินคาร์บอเนตโดยพิจารณาร้อยละของแมกนีเซียมคาร์บอเนต ส่วนในการนำหินปูน และแร่โดโลไมต์ไปใช้ประโยชน์ในการถลุงเหล็กกล้าเพื่อใช้เป็นสารลดอุณหภูมิ และเป็นตัวกำจัดมลทิน ซึ่งในการถลุงเหล็กกล้าจะมีเตาผลิตเหล็กกล้ามีอยู่ 3 ชนิดได้แก่ 1) เตาออกซิเจนพื้นฐาน (Basic oxygen furnace, BOF) 2) เตาอาร์คไฟฟ้า (Electric arc furnace, EAF) และ 3) เตาโอเพนฮาร์ท (Open-hearth furnace, OHF) ในขั้นตอนการผลิตจะนำแร่เหล็กที่ได้จากเหมืองใต้พื้นโลก และในน้ำ ลำเลียงนำไปสู่เตาถลุงเหล็กกล้า จากนั้นแร่เหล็กจะผสมกับถ่านโค้ก (Coke) เป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการถลุงเหล็ก นอกจากนั้นยังเป็นสารที่ทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีภายในเตาเป็นไปอย่างสมบูรณ์ขณะทำการถลุง กับหินปูน และ/หรือแร่โดโลไมต์เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งในการผลิตเหล็กกล้าที่ต้องใส่ลงไปเพื่อให้ทำหน้าที่เป็นฟลักซ์ (Flux) แยกสารเจือปนในสินแร่เหล็กออกแล้วโดนแก๊สร้อนภายในเตาบลาสต์ซึ่งเป็นลมร้อนเป่าจากด้านล่างของ

เตาเพื่อช่วยในการเผาไหม้ และหินปูน และ/หรือแร่โดโลไมต์จะรวมตัวกับสารมลทิน และสิ่งสกปรกต่างๆ เกิดเป็นฟองซีตระกัรันลอยอยู่ด้านบน ส่วนเนื้อเหล็กจะรวมตัวกับคาร์บอนในถ่านโค้กแล้วจมลงด้านล่าง ผลที่ได้ออกมาก็คือ เหล็กดิบ ซีแร่ หรือสแล็ก (Slag) และแก๊สร้อน แ่งเหล็กดิบที่ได้นี้เอง จะถูกนำไปทำเหล็กกล้า หรือเหล็กหล่อตามความต้องการ

Kosowska และคณะ (2015) ในการศึกษาลักษณะของแร่โดโลไมต์แบบผงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม หลังจากการใช้แร่โดโลไมต์ชนิดหินคลุกแล้วจะเหลือแร่โดโลไมต์แบบผงที่เป็นมลทิน จึงได้นำแร่โดโลไมต์ดิบ และแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกแบบผงมาทดลองศึกษาเรื่องโครงสร้างผลึก และสมบัติของแร่ และทางเคมีโดยการชะละลายด้วยสารเคมี พบว่าแร่โดโลไมต์ดิบส่วนใหญ่จะมีคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่แร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกจะมีแร่ออกไซด์เป็นองค์ประกอบหลัก องค์ประกอบหลักทางเคมีของแร่โดโลไมต์จะมีแคลเซียม แมกนีเซียม และซิลิกา และมักมีเหล็ก อลูมิเนียม และซัลเฟอร์ ปะปนอยู่ ในการทดลองทางเคมีโดยการชะละลายด้วยสารเคมี พบว่าแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกมีค่าความเข้มข้นของโลหะที่ปล่อยออกมาอยู่ในระดับซึ่งไม่เป็นอันตราย และยังมีค่าความเข้มข้นของโลหะไม่เกินมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมที่ได้รับอนุญาตของกฎหมายโปลิช (Polish Law) อีกด้วย และยังพบว่าความมีรูพรุนน้อย แต่ก็ไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารเติมแต่งในซีเมนต์ได้เนื่องจากมีองค์ประกอบของแร่แคลไซต์สูง (มากกว่าร้อยละ 45) ดังนั้นในการศึกษาขั้นต้นอาจจะนำแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักจากน้ำเสียหรือกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาก๊าซ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Waewsak และคณะ (2015) จุดประสงค์ของการศึกษาคั้งนี้เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยนำแร่โดโลไมต์ในธรรมชาติมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพราะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในการทำปฏิกิริยาของน้ำมันสบู่ดำ (Jatropha Curcas oil) กับเมทานอลภายใต้การเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) คือ การเปลี่ยนโครงสร้างของน้ำมันจากไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ให้เป็นโมโนอัลคิลเอสเตอร์ (Mono alkyl ester) เพื่อผลิตไบโอดีเซล ซึ่งแร่โดโลไมต์นั้นเป็นแหล่งของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) คุณสมบัติหลักของแร่นี้เป็นมีองค์ประกอบของแคลเซียมแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) และเมื่อทำการเผาแร่โดโลไมต์จะกลายเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ที่มีออกไซด์ผสมอยู่ในวิธีแอกทิเวเต็ด (Activation method) จะใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา ความเป็นอย่างต่าง และทราบความเสถียรของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลอง พบว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ในการศึกษาลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาจะทราบผลจากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และวิธีการดูดซับไนโตรเจน/การคายสารดูดซับ (BET)

ผลของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร เช่น เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อค่าการเก็บกลับคืน (Yield) ของไบโอดีเซลที่ได้จากการทดลอง พบว่าค่าการเก็บกลับคืน (Yield) ถึงร้อยละ 95 ของการใช้แร่โดโลไมต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา 4 นาที อัตราส่วนระหว่างเมทานอลกับน้ำมัน 18 ต่อ 1 และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อค่าการเก็บกลับคืน (Yield) ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่าในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ถึงสามรอบติดต่อกัน สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้นทุนต่ำในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) และยังพบว่าองค์ประกอบทางกายภาพ และทางเคมีของไบโอดีเซลเป็นไปตามมาตรฐาน

Sadik และคณะ (2016) จะกล่าวถึงรายละเอียด และลักษณะของเซรามิก วัสดุทนไฟ ที่ใช้แมกนีเซียมคาร์บอเนต และแร่โดโลไมต์ ซึ่งเป็นแร่โดโลไมต์เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสำหรับอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟชนิดที่เป็นต่าง (Basic refractory) แร่โดโลไมต์จะให้องค์ประกอบหลัก คือ แร่โดโลไมต์ และมีซิลิกา - อะลูมินา และเหล็กออกไซด์ปะปนอยู่บ้างแต่ปริมาณไม่มากนัก เมื่อนำแร่โดโลไมต์ที่ได้ไปทำการเผาที่ Dead - burning temperature (ประมาณ 1,600 - 1,800 °ซ) จะได้ออกของ MgO - CaO ซึ่งจะเป็น Semi - stable dolomite ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการเก็บโดยต้องเก็บในที่ปราศจากความชื้นเพื่อป้องกันการรวมตัวกับน้ำ (Rehydration) แร่โดโลไมต์ที่ผ่านการเผาที่ Dead - burning temperature นี้จะนำมาใช้ผลิต Carbon - bearing dolomite bricks สำหรับทำอิฐบุเตาหลอมเหล็ก (Lining basic oxygen steel furnace) ก่อนหน้านั้นการทำอิฐโดโลไมต์จะมีเติมเหล็กออกไซด์ และซิลิกาเข้าไปประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เพื่อเป็นตัวช่วยในการเกิด Liquid phase formation เชื่อมระหว่างอนุภาคของแร่โดโลไมต์ ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อแน่นขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ต่อมาได้มีการพัฒนาคุณภาพของอิฐโดโลไมต์โดยให้มีปริมาณสิ่งเจือปนน้อยที่สุด มีปริมาณซิลิกา และสารประกอบกลุ่ม R_2O_3 ประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จะทำให้เนื้ออิฐโดโลไมต์แน่นขึ้น และทนไฟมากขึ้น นอกจากนี้แล้วอาจมีเทคนิคอื่นที่ทำให้อิฐมีเนื้อแน่นขึ้น เช่น การทดลองโดยการเติมร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของเซอร์คอนหรือแลนทานา เข้าไปในเนื้อของอิฐโดโลไมต์พบว่าเซอร์คอน และแลนทานาสามารถช่วยให้เนื้ออิฐโดโลไมต์แน่นขึ้น เป็นต้น วัสดุทนไฟ (Refractory) เป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อนได้สูงกว่า 1,500 °ซ วัสดุทนไฟส่วนใหญ่นำมาใช้ผลิตอิฐสำหรับบุผนังเตา (lining) ปูนทนไฟหรือเป็นโครงสร้างในงานที่ต้องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง เช่น เตาเผาเซรามิก (Ceramic kiln) และเตาหลอมโลหะ เป็นต้น ในการเลือกวัสดุทนไฟมาใช้เป็นชิ้นส่วนสำหรับเตาเผา ควรคำนึง 2 จุดสำคัญประกอบการพิจารณา คือ การลดปริมาณเชื้อเพลิงในการเผา และการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างการเผา ซึ่งมีปัจจัยเกี่ยวข้อง คือ วัสดุที่นำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติการกระจายความร้อนที่ดีเพื่อให้ความร้อนภายในเตาสม่ำเสมอ และมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่

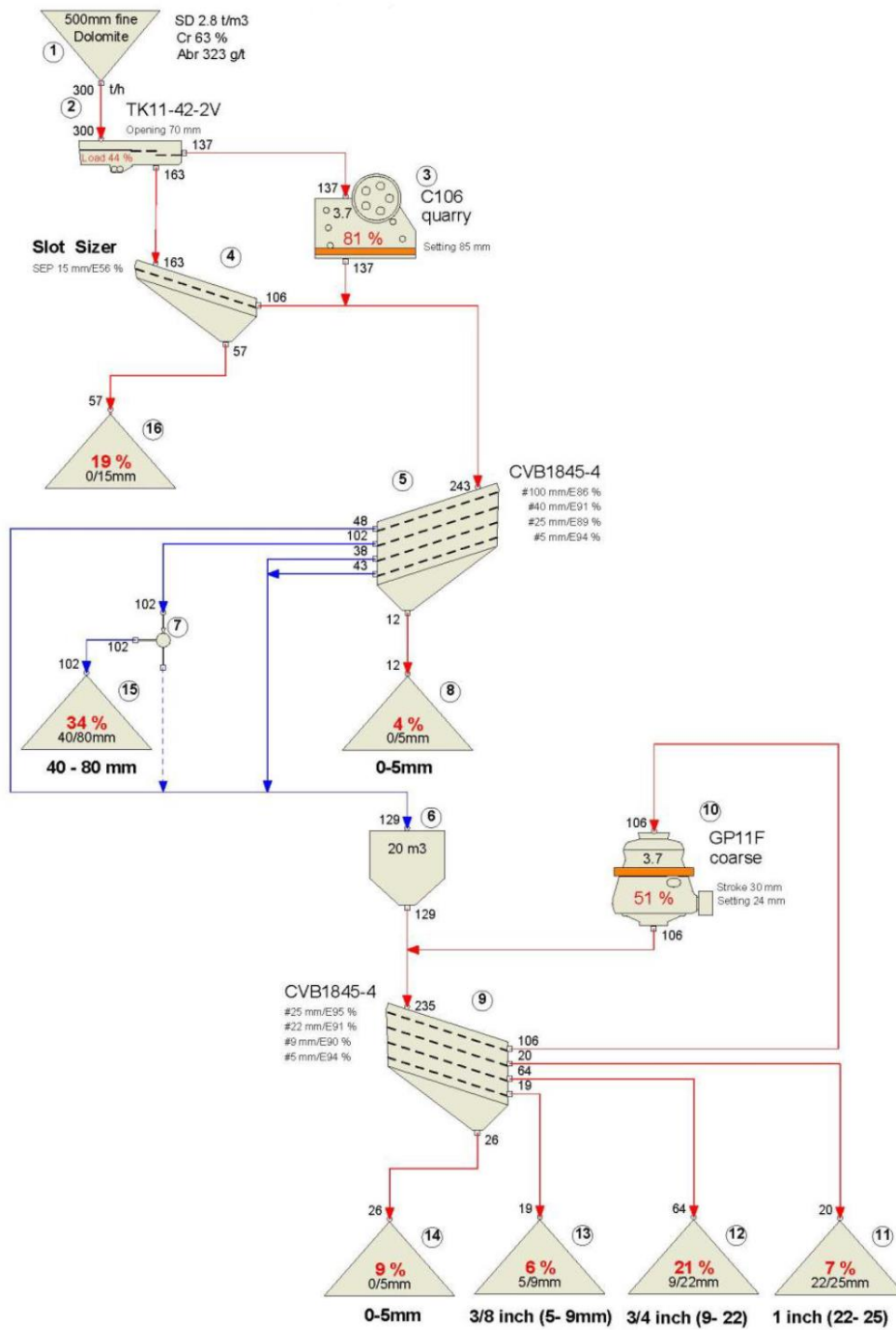
ดีทั้งนี้เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนออกจากเตา นอกจากจะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงแล้ว ถ้าวัดอุณหภูมิที่นำมาใช้งานเป็นฉนวนความร้อนที่ดีจะทำให้สามารถลดความหนาของผนังเตาได้ ทำให้เตามีความจุมากขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ที่จะเผาในแต่ละครั้งได้มากขึ้น Doloma refractory เป็นวัสดุทนไฟชนิด Basic refractory ที่ได้จากการนำแร่โดโลไมต์ ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) มาเผาที่อุณหภูมิห้องประมาณ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ เพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในสารประกอบให้หมด จะได้ $MgO \cdot CaO$ (Doloma) ซึ่งประกอบด้วย แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 41.63 และแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 58.37 สำหรับ Doloma refractory คุณสมบัติ และคุณสมบัติทั่วไปของ Doloma refractory คือ ความทนต่อการถูที่เป็นด่าง (Basic slag resistance) ความสามารถในการคงรูป (Volume stability) ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหัน (Thermal shock resistance) การหด - ขยายตัวต่ำ (Low linear change) สภาพซึมผ่านความร้อนต่ำ (Low permeability)



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรรมวิธีการแต่งแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด

บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย มีผลผลิตแร่โดโลไมต์ประมาณ 75,000 – 80,000 ตันต่อเดือน ซึ่งผลผลิตแร่โดโลไมต์ที่ได้มาจากการแต่งแร่ด้วยวิธีทางกายภาพ โดยเริ่มจากการนำแร่โดโลไมต์ที่ได้จากการระเบิดหน้าเหมืองซึ่งมีขนาดใหญ่ประมาณ 500 มิลลิเมตร ถูกขนลำเลียงมากองไว้ที่ลานแร่ของโรงแต่งแร่โดยรถดักล้อยาง (Wheel loader) จะทำการป้อนเข้าสู่ (1) ยุ้งป้อนแร่ (Hopper) จากนั้นทำการคัดขนาดพร้อมป้อนแร่ด้วย (2) เครื่องป้อนแร่แบบแท่งตะแกรง (Vibrating grizzly feeder) เพื่อทำการคัดขนาดพร้อมป้อนแร่ด้วย โดยแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 70 มิลลิเมตร จะถูกส่งไปยัง (3) เครื่องย่อยจอร์ (Jaw crusher) เพื่อทำการบดย่อยโดยตั้งค่าปากทางออกไว้ 85 มิลลิเมตร และจะถูกส่งไปยัง (5) ตะแกรงสั่น 4 ชั้น (Vibrating screen) เพื่อทำการคัดขนาด ส่วนแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 70 มิลลิเมตร จะส่งเข้าสู่ (4) ตะแกรงสั่น 1 ชั้น (Vibrating screen) เพื่อทำการคัดขนาด โดยแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 15 มิลลิเมตร จะลงสู่ (16) กองแร่ขนาด 0 – 15 มิลลิเมตร ส่วนแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 มิลลิเมตร จะถูกส่งไปยัง (5) ตะแกรงสั่น 4 ชั้น (Vibrating screen) เพื่อทำการคัดขนาด ซึ่งไปรวมกับแร่ที่มาจากเครื่องย่อยจอร์ (Jaw crusher) โดยแร่ที่มีขนาดประมาณ 40 – 80 มิลลิเมตร จะลงสู่ (15) กองแร่ขนาด 40 – 80 มิลลิเมตร และแร่ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตร จะลงสู่ (8) กองแร่ขนาด 0 – 5 มิลลิเมตร ส่วนแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 85 และ 5 มิลลิเมตร จะส่งลงสู่ (6) ยุ้งเก็บแร่ (Ore bin) ซึ่งมีความจุ 20 ลูกบาศก์เมตร หลังจากนั้นจะป้อนเข้า (9) ตะแกรงสั่น 4 ชั้น (Vibrating screen) เพื่อทำการคัดขนาด โดยแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตร จะถูกส่งไปยัง (10) เครื่องย่อยโคน (Cone crusher) เพื่อทำการบดย่อยโดยตั้งค่าปากทางออกไว้ 24 มิลลิเมตร และจะวนไปเข้า (9) ตะแกรงสั่น 4 ชั้น (Vibrating screen) เพื่อทำการคัดขนาด หลังจากนั้นแร่จะลอดผ่านตะแกรง และลงสู่ (11) กองแร่ขนาด 22 – 25 มิลลิเมตร (12) กองแร่ขนาด 9 – 22 มิลลิเมตร (13) กองแร่ขนาด 5 – 9 มิลลิเมตร และ (14) กองแร่ขนาด 0 – 5 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งชนิดหิน ขนาด และร้อยละปริมาณของแร่โดโลไมต์ที่ผ่านกรรมวิธีการแต่งแร่โดโลไมต์ด้วยวิธีทางกายภาพ แสดงดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการแต่งแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด

ตารางที่ 3.1 ผลผลิตแร่โดโลไมต์ที่ผ่านกรรมวิธีการแต่งแร่โดโลไมต์ด้วยวิธีทางกายภาพ

ลำดับตามแผนผัง	ชนิดหิน	ขนาด	ร้อยละ
(16)	หินคลุก 2	0 – 15 มิลลิเมตร	19
(15)	หิน 40 – 80 มิลลิเมตร	40 – 80 มิลลิเมตร	34
(8)	หินคลุก 2	0 – 5 มิลลิเมตร	4
(11)	หิน 1 นิ้ว	22 – 25 มิลลิเมตร	7
(12)	หิน 3/4 นิ้ว	9 – 22 มิลลิเมตร	21
(13)	หิน 3/8 นิ้ว	5 – 9 มิลลิเมตร	6
(14)	หินฝุ่น	0 – 5 มิลลิเมตร	9

3.2 การศึกษาการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชันของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด

การวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชันเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์จากการวิจัยนี้ โดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature Furnace) ของ Carbolite รุ่น CWF 1300 ประเทศอังกฤษ ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการแคลซิเนชันตัวอย่างแร่โดโลไมต์ และใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ของ Bruker AXS รุ่น S4 Pioneer (WDXRF) ประเทศเยอรมนี ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งมีรายละเอียดของสารเคมี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1.1 ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.2.1 ตะแกรงมาตรฐานหรือตะแกรงคัดขนาด (Sieve)

3.2.2.2 เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง ของ Mettler Toledo รุ่น GB6001-S ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

3.2.2.3 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ของ Ohaus รุ่น Item PA214 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.2.4 ถ้วยเผาสาร (Alumina Crucible)

3.2.2.5 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.2.6 เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature Furnace) ของ Carbolite รุ่น CWF 1300 ประเทศอังกฤษ

3.2.2.7 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ของ Bruker AXS รุ่น S4 Pioneer (WDXRF) ประเทศเยอรมนี

3.2.3 พื้นที่ตัวอย่างแร่โดโลไมต์

การวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย ซึ่งตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่นำมาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่างคือ ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี แสดงดังภาพที่ 3.2

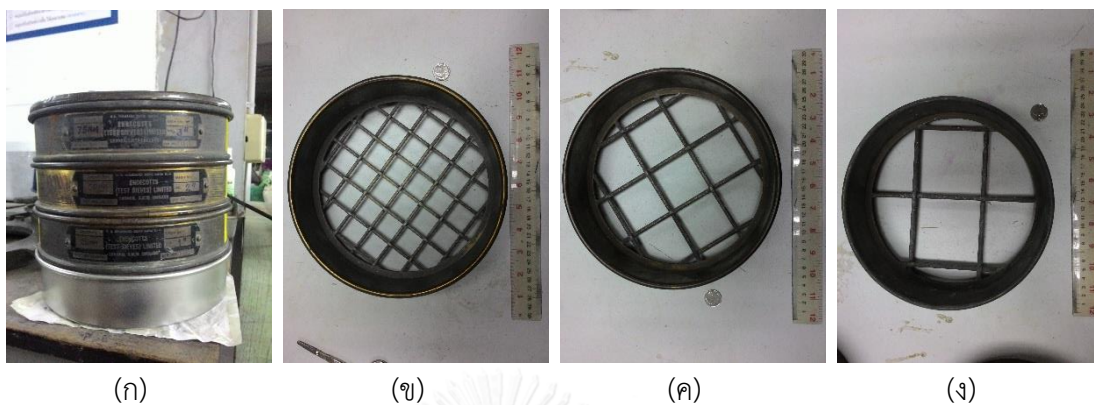


ภาพที่ 3.2 (ก) ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และ (ข) ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี

3.2.4 การเตรียมตัวอย่างแร่โดโลไมต์

การวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ทั้งสองตัวอย่าง คือ ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี โดยตัวอย่างแร่โดโลไมต์ทั้งสองตัวอย่างจะใช้วิธีการทดลองเดียวกันคือ การคัดขนาดด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis) ซึ่งจะทำการคัดขนาดโดยการใช้มือ (Hand Sieving) วิธีการ คือ นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ต้องการหาขนาดใส่ลงป้อนผ่านตะแกรง สำหรับขนาดตะแกรงที่ใช้คือขนาด 25 50 75 และ 100 มิลลิเมตร โดยจัดให้ตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ข้างบน และขนาดเล็กสุดอยู่ข้างล่าง ซึ่งชั้นข้างบนสุดจะมีฝาปิดครอบตะแกรงชั้นข้าง

บนสุด และชั้นข้างล่างสุดจะมีแพน (Pan) รองรับ เมื่อทำการร่อนผ่านตะแกรงเสร็จ จะได้ขนาดตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของตะแกรงแต่ละชั้น



ภาพที่ 3.3 (ก) การจัดเรียงตะแกรงมาตรฐาน (ข) ตะแกรงขนาด 25 มิลลิเมตร (ค) ตะแกรงขนาด 50 มิลลิเมตร และ (ง) ตะแกรงขนาด 75 มิลลิเมตร

3.2.4.1 การศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์

1. เตรียมตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี ขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร มาทำการทดลอง โดยในแต่ละขนาดนั้นจะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนแบบรูปกรวยแบ่งสี่ (Cone and Quartering method) และสุ่มหยิบในแต่ละขนาดมาอย่างละ 1 ส่วน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ส่วนแร่โดโลไมต์ที่เหลือจากการสุ่มหยิบในแต่ละขนาดนั้นนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป

2. ชั่งตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของแต่ละขนาดที่จะนำมาทำการทดลอง บันทึกผลน้ำหนักของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา

3. ทำการเผาด้วยวิธีแคลซิเนชัน โดยจะทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 – 1,200 °ซ ซึ่งสามารถแบ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา คือ 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ โดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง (แสดงดังภาพที่ 3.4) ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (แสดงดังตารางที่ 3.2) เพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สารอินทรีย์ และความชื้น



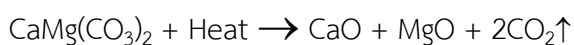
ภาพที่ 3.4 เตาเผาอุณหภูมิสูง ของ Carbolite รุ่น CWF 1300 ประเทศอังกฤษ ที่ใช้ในการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ขนาดของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา

เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)		
	อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°ซ)		
	1,000	1,100	1,200
25	1.5	0.6	0.4
50	3.5	1.5	0.8
75	7.9	3.8	2.0

ที่มา : Oates (1998)

โดยกระบวนการการเผาโดโลไมต์นั้นคือการนำแร่โดโลไมต์ไปเผาที่อุณหภูมิ 750 °ซ ขึ้นไป ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แสดงได้ดังสมการ



ซึ่งนอกจากการเผาโดโลไมต์จะทำให้เกิดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แล้วยังทำให้เกิดแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โมเลกุลอิสระหลังจากการเผาอีกด้วย

4. เมื่อเผาเสร็จจะเก็บตัวอย่างแร่โดโลไมต์หลังเผาไว้ที่อุณหภูมิความชื้น หลังจากนั้นนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของแต่ละขนาดมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลน้ำหนักของแร่โดโลไมต์หลังเผา นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของแต่ละขนาดไปวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) (แสดงดังภาพที่ 3.5)



ภาพที่ 3.5 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ของ Bruker AXS รุ่น S4 Pioneer (WDXRF) ประเทศเยอรมนี ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในการลงทุน

การนำผลที่ได้จากการทดลองในสถานะที่เหมาะสมที่ให้ค่าแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 35 และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้น้อยกว่าร้อยละ 6 ในกระบวนการแคลซิเนชัน มาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มค่า และค่าใช้จ่าย เพื่อประกอบการตัดสินใจในการลงทุน การดำเนินการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชันของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด ได้ดังนี้

3.2.5.1 การคาดคะเนกระแสไหลเวียนเงินสดของโครงการ (Cash flow)

เป็นตัวคาดการณ์กระแสเงินสดรับ กระแสเงินสดจ่ายของโครงการ ทำให้ทราบเงินสดหมุนเวียนในโครงการ และทราบจำนวนเงินหมุนเวียนที่ใช้ในโครงการว่ามีมากน้อยเพียงใด เพียงพอหรือไม่

3.2.5.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

เป็นตัวกำหนดการตัดสินใจโดยคำนึงถึงค่าเงินสดตามกาลเวลา โดย NPV ต้องมีค่ามากกว่า 0 จึงจะคุ้มค่าที่จะลงทุน

3.2.5.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)

เป็นมูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดโครงการ ที่มีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก โดย IRR ต้องมีค่ามากกว่า 0 จึงจะมีความคุ้มค่าในการลงทุน

3.2.5.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PP)

เป็นตัวกำหนดการตัดสินใจแบบไม่คำนึงถึงค่าเงินสดตามงวดกาลเวลาโดยเลือกโครงการที่มีระยะคืนทุนสั้นที่สุด

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์

จากงานวิจัยของ Oates (1998) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของหินปูน อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (แสดงดังภาพที่ 2.22 – 2.23, บทที่ 2) พบว่าเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น หินปูนที่มีขนาดใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการเผาเนื่องจากสุกตัวช้า ส่วนหินปูนที่มีขนาดเล็กจะใช้ระยะเวลาในการเผาเนื่องจากหินปูนสุกตัวเร็ว ดังนั้นจึงได้นำการวิจัยดังกล่าวมาศึกษาต่อเพื่อศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ หลังจากนั้นจะนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

4.1.1 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา

จากผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีก่อนเผาขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.1 การนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีก่อนเผา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) พบว่าในตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 37.94 37.58 และ 37.50 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 14.41 14.53 และ 14.49 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 47.02, 46.86 และ 46.79 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.2 การนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีก่อนเผา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) พบว่าในตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 39.08 37.78 และ 37.59 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 13.61 14.52 และ 14.63 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 47.03 47.12 และ 46.96 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอก่อนเผา

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ		
		ขนาดตัวอย่าง	25 มิลลิเมตร	50 มิลลิเมตร
ชื่อ	สัญลักษณ์			
แคลเซียมออกไซด์	CaO	37.94	37.58	37.50
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	14.41	14.53	14.49
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe ₂ O ₃	0.22	0.22	0.10
อะลูมิเนียมออกไซด์	Al ₂ O ₃	0.06	0.14	0.26
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO ₂	0.16	0.37	0.63
โซเดียมออกไซด์	Na ₂ O	0.04	0.07	0.05
โพแทสเซียมออกไซด์	K ₂ O	N/D	0.01	0.03
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₃	0.02	0.10	0.04
ไทเทเนียมไดออกไซด์	TiO ₂	< 0.001	< 0.001	< 0.001
แมงกานีสออกไซด์	MnO	0.03	N/D	N/D
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้	LOI*	47.02	46.86	46.79

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition, N/D : Not Detected (ตรวจไม่พบค่า)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีก่อนเผา

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ		
		ขนาดตัวอย่าง	25 มิลลิเมตร	50 มิลลิเมตร
ชื่อ	สัญลักษณ์			
แคลเซียมออกไซด์	CaO	39.08	37.78	37.59
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	13.61	14.52	14.63
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe ₂ O ₃	0.03	0.11	0.05
อะลูมิเนียมออกไซด์	Al ₂ O ₃	0.02	0.09	0.16
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO ₂	0.04	0.20	0.39
โซเดียมออกไซด์	Na ₂ O	0.03	0.04	0.06
โพแทสเซียมออกไซด์	K ₂ O	N/D	0.01	0.01
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₃	0.02	0.03	0.03
ไทเทเนียมไดออกไซด์	TiO ₂	< 0.001	< 0.001	< 0.001
แมงกานีสออกไซด์	MnO	< 0.002	N/D	N/D
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้	LOI*	47.03	47.12	46.96

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition, N/D : Not Detected (ตรวจไม่พบค่า)

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ทั้งสองพื้นที่ที่มีค่าแคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ใกล้เคียงกันทั้งสามขนาด สำหรับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ มีค่าโดยเฉลี่ยของทั้งสามขนาดคิดเป็นร้อยละดังนี้ เพอร์ริกออกไซด์ร้อยละ 0.03 – 0.22 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 0.02 – 0.26 ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.04 – 0.63 โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 0.03 – 0.07 โพแทสเซียมออกไซด์ร้อยละ N/D – 0.03 ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร้อยละ 0.02 – 0.10 ไทเทเนียมไดออกไซด์ร้อยละ < 0.001 แมงกานีสออกไซด์ร้อยละ N/D – 0.03 ซึ่งผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ทั้งหมดนี้มีค่าเป็นไปตามลักษณะสมบัติทางเคมีของแร่โดโลไมต์ และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้

4.1.2 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา

จากผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีหลังเผาขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

จากตารางที่ 4.3 การนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีหลังเผา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) พบว่าในตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ **ที่ขนาด 25 มิลลิเมตร** อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 1.5 0.6 และ 0.4 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 62.91 54.26 และ 57.53 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 32.03 26.17 และ 27.40 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 4.78 19.22 และ 14.79 ตามลำดับ **ที่ขนาด 50 มิลลิเมตร** อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 3.5 1.5 และ 0.8 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 58.95 64.68 และ 60.95 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 29.95 31.64 และ 30.85 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 10.95 3.41 และ 8.04 ตามลำดับ **ที่ขนาด 75 มิลลิเมตร** อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 7.9 3.8 และ 2.0 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 62.00 63.95 และ 63.53 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 32.52 33.43 และ 33.49 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 5.27 2.20 และ 2.89 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.4 การนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่ป่าวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบทางเคมีหลังเผา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) พบว่าในตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่ป่า **ที่ขนาด 25 มิลลิเมตร** อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 1.5 0.6 และ 0.4 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 62.90 54.27 และ 57.79 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 32.12 26.51 และ 27.26 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 4.70 18.67 และ 14.62 ตามลำดับ **ที่ขนาด 50 มิลลิเมตร** อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 3.5 1.5 และ 0.8 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 59.25 64.52 และ 63.49 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 28.12 32.26 และ 32.29 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 12.45 2.99 และ 3.95 ตามลำดับ **ที่ขนาด 75 มิลลิเมตร** อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 7.9 3.8 และ 2.0 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 60.69 62.62 และ 60.22 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 29.68 32.92 และ 37.64 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 9.39 4.24 และ 1.82 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์หาล่องค์ประกอบทางเคมีของพื้นที่ทั้งสอง ถ้าเลือกพิจารณาแต่ค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้จากภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.5 จะทำให้สามารถเลือกค่าการสูญเสีย น้ำหนักในการเผาไหม้ที่ไม่เกินร้อยละ 5 จากตารางที่ 4.3 ได้ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง คือ 1) ที่ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 1.5 ชั่วโมง 2) ที่ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,100 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 1.5 ชั่วโมง 3) ที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,100 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 3.8 ชั่วโมง และ 4) ที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 2 ชั่วโมง ส่วนตารางที่ 4.4 ได้ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง คือ 1) ที่ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,000 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 1.5 ชั่วโมง 2) ที่ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,100 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 1.5 ชั่วโมง 3) ที่ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 0.8 ชั่วโมง 4) ที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,100 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 3.8 ชั่วโมง และ 5) ที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอหลังเผา

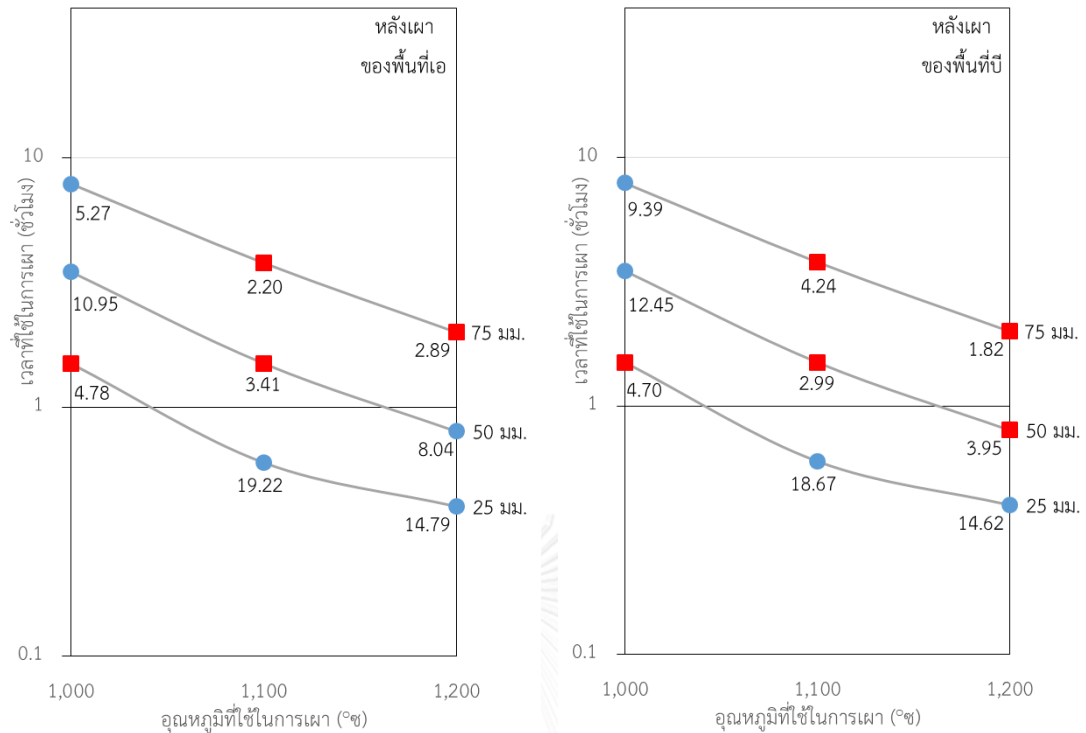
องค์ประกอบทางเคมี	ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละ											
		25 มิลลิเมตร				50 มิลลิเมตร				75 มิลลิเมตร			
		อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°C)		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)		อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°C)		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)		อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°C)		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	
ชื่อ	สัญลักษณ์	1,000	1,100	1,200	1,000	1,100	1,200	1,000	1,100	1,200	1,000	1,100	1,200
		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)
		1.5	0.6	0.4	3.5	1.5	0.8	7.9	3.8	2.0			
แคลเซียมออกไซด์	CaO	62.91	54.26	57.53	58.95	64.68	60.95	62.00	63.95	63.53			
แมกนีเซียมออกไซด์	MgO	32.03	26.17	27.40	29.95	31.64	30.85	32.52	33.43	33.39			
เฟอร์ริกออกไซด์	Fe ₂ O ₃	0.01	0.04	< 0.006	< 0.016	0.002	< 0.006	< 0.010	0.07	< 0.004			
อะลูมิเนียมออกไซด์	Al ₂ O ₃	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.07	0.01			
ซิลิกอนไดออกไซด์	SiO ₂	< 0.01	0.02	< 0.001	< 0.018	0.003	< 0.015	< 0.012	0.05	< 0.018			
โซเดียมออกไซด์	Na ₂ O	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06			
โพแทสเซียมออกไซด์	K ₂ O	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D			
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₃	0.04	0.05	0.06	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.02			
ไทเทเนียมไดออกไซด์	TiO ₂	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001			
แมงกานีสออกไซด์	MnO	< 0.003	N/D	N/D	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0.003	0.01	< 0.003			
การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้	LOI*	4.78	19.22	14.79	10.95	3.41	8.04	5.27	2.20	2.89			

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition, N/D : Not Detected (ตรวจไม่พบค่า)

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บ่หลังเผา

องค์ประกอบทางเคมี	ขนาดตัวอย่าง	ร้อยละ											
		25 มิลลิเมตร				50 มิลลิเมตร				75 มิลลิเมตร			
		อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°ซ)		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)		อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°ซ)		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)		อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา (°ซ)		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	
ชื่อ	สัญลักษณ์	1,000	1,100	1,200	1,000	1,100	1,200	1,000	1,100	1,200	1,000	1,100	1,200
		ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา (ชั่วโมง)
		1.5	0.6	0.4	3.5	1.5	0.8	7.9	3.8	2.0			
	แคลเซียมออกไซด์	62.90	54.27	57.79	59.25	64.52	63.49	60.69	62.62	60.22			
	แมกนีเซียมออกไซด์	32.12	26.51	27.26	28.12	32.26	32.29	29.68	32.92	37.64			
	เฟอร์ริกออกไซด์	< 0.001	0.06	0.03	< 0.005	< 0.012	0.01	0.01	0.01	0.05			
	อะลูมิเนียมออกไซด์	0.02	0.11	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01			
	ซิลิกอนไดออกไซด์	< 0.01	0.12	0.01	< 0.015	< 0.016	< 0.002	< 0.007	< 0.013	0.01			
	โซเดียมออกไซด์	0.07	0.05	0.05	0.05	0.07	0.06	0.05	0.07	0.07			
	โพแทสเซียมออกไซด์	N/D	0.01	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D			
	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.04	0.06	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04			
	ไทเทเนียมไดออกไซด์	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	N/D	N/D	N/D	N/D	< 0.001			
	แมงกานีสออกไซด์	< 0.003	N/D	< 0.003	< 0.003	N/D	N/D	N/D	< 0.029	< 0.029			
	การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้	4.70	18.67	14.62	12.45	2.99	3.95	9.39	4.24	1.82			

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition, N/D : Not Detected (ตรวจไม่พบค่า)



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาด อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาของตัวอย่างแร่โดโลไมต์พื้นที่เอ และพื้นที่บีหลังเผา โดย (●) ค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้มากกว่า 5 และ (■) ค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้น้อยกว่า 5

จากภาพที่ 4.1 การพิจารณาจากค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ เห็นได้ว่าแร่โดโลไมต์ทุกตัวอย่างที่ทำการวิจัยมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ลดลงจากร้อยละ 47 เนื่องจากกระบวนการแคลซิเนชันเป็นการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่อุณหภูมิสูง เมื่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สลายตัวออกจากแร่โดโลไมต์จะทำให้ค่าแคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์เพิ่มขึ้น และถ้าพิจารณาเรื่องอุณหภูมิจะเห็นว่าอุณหภูมิที่ 1,000 °C ของขนาด 50 และ 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ 1,100 °C ของขนาด 25 มิลลิเมตร และอุณหภูมิที่ 1,200 °C ของขนาด 25 และ 50 มิลลิเมตร ถ้าใช้ระยะเวลาในการเผามากขึ้นกว่านี้อาจจะทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ลดลงน้อยกว่าร้อยละ 5 ทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 4.5 ลักษณะสมบัติทั่วไป และความต้องการองค์ประกอบทางเคมีของผู้ซื้อในต่างประเทศ

(ผู้ซื้อ) ต่างประเทศ			
องค์ประกอบทางเคมี	ญี่ปุ่น	บังกลาเทศ	อินเดีย
	Shokozan Mining	Abu Khaio Steel	Kemtech
CaO	> 50	58	≥ 55
MgO	> 35	35	≥ 35
SiO ₂	< 2	2.4	≤ 2
Al ₂ O ₃	-	0.5	-
Fe ₂ O ₃	-	1.5	-
CO ₂	-	2	-
S	-	-	-
LOI	< 6	-	≤ 5
ขนาด	5 – 40 มิลลิเมตร	25 – 50 มิลลิเมตร	10 – 100 มิลลิเมตร

ที่มา: บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)

ถ้าพิจารณาโดยเลือกจากลักษณะสมบัติทั่วไป และความต้องการของผู้ซื้อจากตารางที่ 4.5 จะสามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ในการวิจัยนี้ได้ คือ จากตารางที่ 4.4 ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่ปีที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 2.0 ชั่วโมง มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 60.22 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 37.64 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 1.82 ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสด เพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มค่า และค่าใช้จ่ายเพื่อประกอบการตัดสินใจการลงทุนในการดำเนินโครงการต่อไปในบทที่ 5

ส่วนในการเลือกแร่โดโลไมต์ที่จะนำไปทำการแคลซิเนชันนั้นต้องพิจารณาถึงลักษณะสมบัติแร่โดโลไมต์จะต้องมีคุณภาพดี แข็งเป็นก้อน ไม่เปราะ เมื่อทำการเผาแล้วจะต้องไม่แตกเป็นผงหรือแตกเป็นขนาดเล็กๆ เพราะในอุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมเหล็กส่วนใหญ่จะนิยมใช้แบบเป็นก้อนมากกว่าไม่นิยมแบบเป็นผง ถ้าเป็นผงจะนำไปใช้ทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ควบคุมค่าความเป็นกรด – ด่างของดิน เป็นแหล่งแร่ธาตุในการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น ซึ่งในอุตสาหกรรมเกษตรไม่จำเป็นต้องใช้แร่โดโลไมต์แบบเผาแล้วเป็นผงสามารถใช้แบบไม่ผ่านการเผาได้เลย

บทที่ 5

การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของโครงการ และการตัดสินใจลงทุน

5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางการเงิน

จิราวรรณ คำวังพฤกษ์ (2554) การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางการเงินของการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ของบริษัทซึ่งข้อมูลงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

- มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value, NPV)
- อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return, IRR)
- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)
- การวิเคราะห์ความไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

5.2 การประมาณค่าใช้จ่ายในการประเมินโครงการ

ในการลงทุนลงทุนทำโรงงานแต่งแร่ข้อมูลที่สำคัญเบื้องต้นสำหรับการประเมินโครงการ คือ ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุน และค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยมีการแสดงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายดังนี้ (ขวัญชัย ลิเฝ้าพันธ์, 2553)

5.2.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital costs)

การประมาณค่าใช้จ่ายลงทุนในเบื้องต้นอาจมีความไม่แน่นอนสูง เนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่ตั้ง การออกแบบ มาตรฐานการทำงาน การก่อสร้าง และวิธีการประมาณการ วิธีการที่ปฏิบัติโดยทั่วไปควรประมาณจากราคาเครื่องจักรอุปกรณ์หลัก โครงสร้าง ค่าใช้จ่ายของระบบสาธารณูปโภค และไฟฟ้าเครื่องจักรกลที่คิดจากสัดส่วนของค่าลงทุนเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้น ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนครั้งแรก เช่น ค่าที่ปรึกษาออกแบบกระบวนการ และโรงงาน ค่าควบคุมงานก่อสร้าง ค่าศึกษาความเหมาะสม และผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินระบบ และเงินทุนหมุนเวียนถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายลงทุน โดยสรุปค่าใช้จ่ายลงทุนสามารถจำแนกได้ดังนี้

การประมาณค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้นอาจใช้สัดส่วนจากราคาเครื่องจักรอุปกรณ์เพื่อประมาณค่าใช้จ่ายส่วนอื่นๆ ตามแนวทาง แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น

(1)	ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์หลัก (รวม)	
(2)	ค่าติดตั้ง	ร้อยละ 17 – 25 ของ (1)
(3)	ระบบท่อรวมติดตั้ง	ร้อยละ 17 – 25 ของ (1)
(4)	ระบบไฟฟ้ารวมติดตั้ง (ไม่รวมระบบไฟฟ้าในสำนักงาน)	ร้อยละ 13 – 25 ของ (1)
(5)	ระบบวัดคุม	ร้อยละ 3 – 12 ของ (1)
(6)	อาคารโรงงานรวมระบบไฟฟ้าเครื่องกล	ร้อยละ 33 – 50 ของ (1)
(7)	อาคารอื่นๆ (โรงซ่อม สำนักงาน ฯลฯ)	ร้อยละ 7 – 15 ของ (1)
(8)	ระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการสนับสนุน	ร้อยละ 7 – 15 ของ (1)
(9)	ค่าปรับพื้นที่และองค์ประกอบ (เช่น รั้ว ถนน)	ร้อยละ 3 – 18 ของ (1)
(10)	ค่าบริหารจัดการการก่อสร้าง	ร้อยละ 10 – 12 ของ (1)
(11)	ค่าบริหารโครงการรวมค่าวิศวกรรม	ร้อยละ 5 – 10 ของ (1)
(12)	ค่าเผื่อขาด	ร้อยละ 10 – 15 ของ (1)
(13)	ค่าใช้จ่ายลงทุนคงที่	รวม (1) ถึง (12)
(14)	ค่าที่ดิน	
(15)	ค่าดอกเบี้ยระหว่างการก่อสร้าง	
(16)	เงินทุนหมุนเวียน (ประมาณเท่ากับค่าใช้จ่ายทำงาน 3 เดือน)	
(17)	ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินระบบ	
(18)	ค่าใช้จ่ายลงทุนทั้งหมด	รวม (13) ถึง (17)

ที่มา : ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ (2553)

5.2.2 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Operating costs)

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของโรงงานโดยทั่วไปมักจะประมาณการเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี และค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิตหรือวัสดุป้อน ค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ประมาณการจะต้องปรับจากราคาปัจจุบันที่ประเมินให้เป็นราคาที่เวลาเริ่มเดินระบบของโรงงาน และคงที่ตลอดช่วงเวลาที่เหลือของอายุโครงการ เนื่องจากอัตราเพิ่มของมูลค่าเงินในด้านรายจ่ายในการทำงาน และรายได้ถือว่าเท่ากัน และหักล้างกัน การประมาณค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้นสามารถพิจารณาจากรายการค่าใช้จ่ายแปรผันที่รู้ราคาได้ และประมาณค่าใช้จ่ายรายการอื่นที่ไม่รู้ราคาเป็นสัดส่วนตามความเหมาะสม ค่าใช้จ่ายในการทำงานแบ่งออกได้เป็น

5.2.2.1 ค่าใช้จ่ายตรง (direct costs) ได้แก่

- ค่าวัตถุดิบ และค่าน้ำใช้
 - ค่าพลังงาน (ไฟฟ้า เชื้อเพลิง)
 - ค่าจ้างแรงงาน
 - ค่าบำรุงรักษา
 - ค่าวัสดุสิ้นเปลือง และสารเคมี
 - ค่าเผื่อขาด
- เป็นต้น

5.2.2.2 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยอ้อม (indirect costs) ได้แก่

- ค่าเงินเดือน และค่าจ้างในส่วนอื่น เช่น ฝ่ายบริหาร ฝ่ายสนับสนุนด้านเทคนิค ห้องวิเคราะห์ และฝ่ายบุคลากร เป็นต้น
 - ค่าใช้จ่ายสำนักงาน
 - ค่าติดต่อสื่อสาร และยานพาหนะ
 - ค่าภาษี และค่าประกันภัย
 - ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ
 - ค่าวิจัย และพัฒนา
 - ค่าใช้จ่ายโฆษณาประชาสัมพันธ์
 - ค่าการตลาด และค่าจัดการของเสียเหลือทิ้ง
- เป็นต้น

ค่าใช้จ่ายในการทำงานจะประมาณการจากจำนวนวันทำงานใน 1 ปีตามที่ได้กำหนดในเกณฑ์การออกแบบ ค่าใช้จ่ายทำงานจะแสดงเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี และค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลผลิต ซึ่งเมื่อรวมค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี จะได้เป็นค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตต่อหน่วยผลผลิตที่ได้ แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายทำงาน แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แนวทางการประมาณการค่าใช้จ่ายในการทำงาน

ค่าใช้จ่ายตรงในการผลิต (ต่อปี)	
(1) ค่าวัตถุดิบ	จากราคาวัตถุดิบต่อหน่วย และอัตราการใช้ต่อปี
วัตถุดิบในการผลิต	จากราคาวัตถุดิบต่อหน่วย และอัตราที่ได้ต่อปี
วัสดุพลอยได้และซาก	จากราคาวัสดุต่อหน่วย และอัตราที่ได้ต่อปี
(2) ค่าพลังงานและน้ำใช้	จากมวลสมมูลกระบวนการ
(3) ค่าจ้างแรงงาน	จากแผนกำลังคน
(4) ค่าควบคุมงานหรือหัวหน้างาน	ร้อยละ 10 – 15 ของ (3)
(5) ค่าใช้จ่ายสวัสดิการ	ร้อยละ 30 – 50 ของ (3) และ (4)
(6) ค่าบำรุงรักษา	ร้อยละ 2 – 10 ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
(7) ค่าวัสดุสิ้นเปลือง	ร้อยละ 0.5 – 1.0 ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
(8) ค่าวิเคราะห์ทดสอบ	ร้อยละ 10 – 20 ของ (3)
(9) ค่ากำจัดของเสีย	จากปริมาณของเสีย และค่ากำจัดต่อหน่วย
(10) ค่าธรรมเนียมต่างๆ	ร้อยละ 1 – 5 ของรายได้จากการขาย
(11) ค่าเผื่อขาด	ร้อยละ 1 – 5 ของ (1) ถึง (10)
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	
(1) ภาษี	ร้อยละ 3 ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
(2) ค่าประกันภัย	ร้อยละ 0.5 – 1 ของค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี
(3) ค่าบริหารจัดการ	ร้อยละ 50 – 70 ของ (3) (4) และ (6)
(4) ค่าการตลาดและการขาย	ร้อยละ 10 ของรายได้จากการขาย

ที่มา : ขวัญชัย ลิเผ่าพันธ์ (2553)

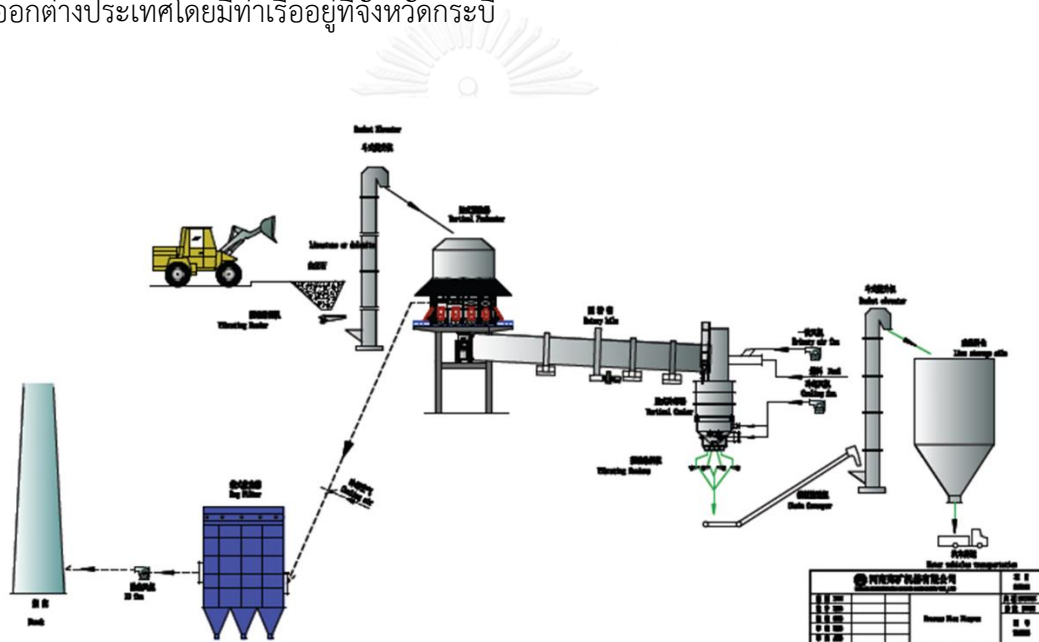
5.3 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน

แนวทางการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุนในการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด เป็นเพียงการวิเคราะห์เบื้องต้น เนื่องจากอ้างอิงจากผลการวิจัยที่ได้จากเครื่องมือในห้องปฏิบัติการที่สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการแคลซิเนชัน ซึ่งข้อมูลอาจผิดพลาดได้เมื่อนำไปใช้ในการลงทุนในโรงงานจริง ดังนั้นการศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนเพียงเบื้องต้นเท่านั้น

5.3.1 กรรมวิธีการผลิตแร่โดโลไมต์โดยกระบวนการแคลซิเนชัน

การผลิตแร่โดโลไมต์ด้วยวิธีทางกายภาพของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด มีมูลค่าไม่สูงมากนัก จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชัน ซึ่งกรรมวิธีการผลิตแร่โดโลไมต์โดยกระบวนการแคลซิเนชันมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

หลังจากที่รถบรรทุกเท้าย (Dump truck) ขนแร่โดโลไมต์มากองไว้ที่ลานแร่ของโรงแต่งแร่โดยรถตักล้อยาง (Wheel loader) จะทำการป้อนเข้าสู่ตู้ขังป้อนแร่ (Hopper) จากนั้นทำการป้อนแร่เข้ากะพ้อลำเลียงแร่ (Bucket Elevator) เพื่อส่งไปที่เตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) ขนาดเตาเผาที่ใช้กว้าง 2.8 เมตร ยาว 44 เมตร กำลังการผลิต 12.5 ตันต่อชั่วโมง โดยจะมีเครื่องอุ่นความร้อน (Preheater) ทำหน้าที่ให้ความร้อนในการเผาครั้งที่ และมีระบบกำจัดฝุ่น (Scrubber) เพื่อป้องกันการระเบิดจากฝุ่นในโรงแต่งแร่ เมื่อทำการเผาเสร็จแล้วแร่ที่เผาจะถูกลำเลียงด้วยสายพานลำเลียง (Belt conveyor) ผ่านเครื่องทำความร้อน (Cooler) เพื่อให้อุณหภูมิของแร่เย็นตัวลง จากนั้นทำการป้อนแร่เข้ากะพ้อลำเลียงแร่ (Bucket Elevator) เพื่อนำเข้าถังบรรจุขนาดใหญ่หรือไซโล (Silo) รอการจัดจำหน่ายต่อไป (แสดงดังภาพที่ 5.1) ส่วนใหญ่การจำหน่ายแร่ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จะส่งออกต่างประเทศโดยมีท่าเรืออยู่ที่จังหวัดกระบี่



ภาพที่ 5.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตแร่โดโลไมต์โดยกระบวนการแคลซิเนชันของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด

5.3.2 สมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ

การประมาณค่าใช้จ่าย รายได้ ปริมาณแร่ และหลักเกณฑ์ต่างๆ ในการลงทุนเริ่มต้น และในการดำเนินการของการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ จะมีสมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ กรณีศึกษาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่ปีขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 2.0 ชั่วโมง กำหนดให้ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่นำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ มีคุณภาพดี แข็งเป็นก้อน ไม่เป็นผงหรือแตกเป็นขนาดเล็กๆ แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การสมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ

ตัวแปร	สมมติฐาน	ที่มาของสมมติฐาน
ราคาแบริดโลไมต์ (หน้าโรงงาน)	120 บาทต่อตัน	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ราคาแบริดโลไมต์ (ท่าเรือ)	350 บาทต่อตัน	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ราคาแบริดโลไมต์ชนิดเผาสุก (ท่าเรือ)	3,500 บาทต่อตัน	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ปริมาณแบริดโลไมต์ (แร่ป้อน)	90,000 ตันต่อปี	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ปริมาณแบริดโลไมต์ชนิดเผาสุก	47,481 ตันต่อปี	จากการประมาณค่า
ค่าใช้จ่ายลงทุน	66,800,000 บาทต่อปี	จากการประมาณค่า
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	95,049,543 บาทต่อปี	จากการประมาณค่า
อัตราคิดลด	ร้อยละ 12	กำหนดเป็นค่าสูญเสียโอกาสของเงินทุน
อัตรารภาษี	ร้อยละ 30 ต่อปี	กรมสรรพากร. [ออนไลน์] (2556)
เงินเพื่อ	ร้อยละ 5 ต่อปี	ธนาคารแห่งประเทศไทย (2558)
ระยะเวลาโครงการ	10 ปี	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์] (2543)
ค่าภาคหลวงแบริดโลไมต์	22 บาทต่อตัน	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์] (2552b)
ค่าเสื่อมราคา	10 ปี	พิจารณาตามอายุเครื่องจักร และอุปกรณ์

จากการประมาณกระแสเงินสดของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการ 132.69 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) ร้อยละ 54

เมื่อพิจารณาค่าต่างๆ ที่ได้จากเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินการตัดสินใจในการลงทุน แสดงให้เห็นว่าโครงการสมควรยอมรับโครงการ และนำตัดสินใจลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการมีค่ามากกว่าศูนย์ รวมทั้งอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) มีค่ามากกว่าอัตราคิดลดของโครงการ ซึ่งมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ของโครงการนี้ คือ 1 ปี 8 เดือน

5.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการการเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) คือ การศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ ที่อาจเกิดจากความเสี่ยง และความไม่แน่นอน และทำให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุน และผลตอบแทนของโครงการ โดยจะทำการศึกษาในกรณีต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.4.1 กรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก

จากกรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกซึ่งกำหนดให้ราคาของแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกลดลงร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 แสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การสมมติฐานของกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก

ตัวแปร	สมมติฐาน	ที่มาของสมมติฐาน
ราคาแร่โดโลไมต์ (หน้าโรงงาน)	120 บาทต่อตัน	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ราคาแร่โดโลไมต์ (ท่าเรือ)	350 บาทต่อตัน	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก (ท่าเรือ)	ลดลงร้อยละ 5 ลดลงร้อยละ 10 ลดลงร้อยละ 15 3,500 บาทต่อตัน	จากการประมาณค่า จากการประมาณค่า จากการประมาณค่า บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ปริมาณแร่โดโลไมต์ (แร่ป้อน)	90,000 ตันต่อปี	บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)
ปริมาณแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก	47,481 ตันต่อปี	จากการประมาณค่า
ค่าใช้จ่ายลงทุน	66,800,000 บาทต่อปี	จากการประมาณค่า
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	95,049,543 บาทต่อปี	จากการประมาณค่า
อัตราคิดลด	ร้อยละ 12	กำหนดเป็นค่าสูญเสียโอกาสของเงินทุน
อัตรารักษา	ร้อยละ 30 ต่อปี	กรมสรรพากร. [ออนไลน์] (2556)
เงินเพื่อ	ร้อยละ 5 ต่อปี	ธนาคารแห่งประเทศไทย (2558)
ระยะเวลาโครงการ	10 ปี	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์] (2543)
ค่าภาคหลวงแร่โดโลไมต์	22 บาทต่อตัน	กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์] (2552b)
ค่าเสื่อมราคา	10 ปี	พิจารณาตามอายุเครื่องจักร และอุปกรณ์

ตารางที่ 5.5 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ของกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก

กรณี	ราคาลดลง ร้อยละ 15	ราคาลดลง ร้อยละ 10	ราคาลดลง ร้อยละ 5	กรณีศึกษาพื้นฐาน
ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก (บาทต่อตัน)	2,450	2,800	3,150	3,500
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) (บาท)	(44,774,534)	14,380,839	73,536,212	132,691,584
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	-10%	17%	36%	54%
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	7 ปี 9 เดือน	3 ปี 6 เดือน	2 ปี 3 เดือน	1 ปี 7 เดือน

เมื่อพิจารณาจากการศึกษากรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก พบว่าเมื่อราคาลดลงร้อยละ 15 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการนี้น้อยกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ต่ำกว่าอัตราคิดลดปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกของกรณีศึกษาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ ระยะเวลาดำเนินการเผา 2.0 ชั่วโมง โครงการนี้จะขาดทุน ดังนั้นราคาที่ลดลงร้อยละ 5 และราคาที่ลดลงร้อยละ 10 เป็นราคาที่เหมาะสม โครงการนี้น่าจะลงทุนได้ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการนี้มากกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มากกว่าอัตราคิดลดปกติ โดยกำหนดให้ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่นำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ต้องมีคุณภาพดี แข็งเป็นก้อน ไม่เป็นผงหรือแตกเป็นขนาดเล็กๆ แต่ในความเป็นจริงตัวอย่างแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร แตกเป็นผงหรือแตกเป็นขนาดเล็กๆ (แสดงดังภาคผนวก ก.5) ซึ่งในทางอุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมเหล็กส่วนใหญ่ไม่ค่อยนิยมนำมาใช้กัน ดังนั้นจึงควรพิจารณาทางเลือกอื่นๆ เพื่อแก้ปัญหา เช่น หาราคาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกที่เป็นผงหรือแตกเป็นขนาดเล็กๆ ตามความต้องการของตลาดผู้ซื้อ - ขายเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (แสดงดังตารางที่ ง.15, ภาคผนวก ง) หรือหาความต้องการของตลาดผู้ซื้อที่ต้องการนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกที่เป็นผงหรือแตกเป็นขนาดเล็กๆ ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกษตรเพื่อใช้เป็นปุ๋ยให้กับพืชในการเจริญเติบโต ปรับปรุงสภาพดินความเป็นกรด - ด่าง เป็นต้น สุดท้ายพิจารณหาแหล่งโดโลไมต์ใหม่ในจังหวัดอื่นๆ เช่น กาญจนบุรี ตรัง นครศรีธรรมราช แพร่ เพชรบูรณ์ เป็นต้น มาทำการทดลองแบบเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพในแต่ละแหล่ง

บทที่ 6

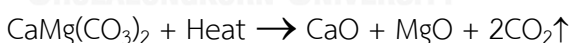
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

6.1 อภิปรายสรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ การเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์โดยวิธีแคลซิเนชัน กรณีศึกษาเหมืองศิลาชัย ประเทศไทย โดยทำการพิจารณาจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสด เพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มทุน และค่าใช้จ่ายเพื่อตัดสินใจการลงทุนในการดำเนินโครงการ

จากผลการวิจัยพบว่าตัวอย่างแร่โดโลไมต์ก่อนเผาจะมีค่าแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 37 ค่าแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 14 และค่าการสูญเสียน้ำหนักของการเผาไหม้ร้อยละ 47 และเมื่อเผาเสร็จแล้วตัวอย่างแร่โดโลไมต์หลังเผาจะมีค่าแคลเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 54 ค่าแมกนีเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 26 และค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้น้อยกว่าร้อยละ 19 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีแคลซิเนชันสามารถเพิ่มมูลค่าแร่โดโลไมต์ได้จริงเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูง

จากการวิจัยยังพบว่าเมื่อค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้มีค่าลดลง จะทำให้แคลเซียมออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์มีค่าเพิ่มมากขึ้น หลังจากเผาเสร็จ เนื่องจากว่าในการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์จะเป็นการเผาเพื่อให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สลายตัวออกไป ซึ่งเป็นไปตามสมการการเผาแร่โดโลไมต์



จากการวิจัยการศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ พบว่าตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่ปีทีขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 2.0 ชั่วโมง มีค่าแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 60.22 ค่าแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 37.64 และค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 1.82 ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากว่าสามารถเพิ่มค่าแมกนีเซียมออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักทางเคมีของแร่โดโลไมต์มีค่าสูงกว่าร้อยละ 35 ดังนั้นจึงสามารถนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มทุน และค่าใช้จ่ายเพื่อตัดสินใจการลงทุนในการดำเนินโครงการ

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่าง แร่โดโลไมต์ของพื้นที่ปิโตรขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 1,200 °ซ ระยะเวลาที่ใช้ในการเผา 2.0 ชั่วโมง พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการนี้เท่ากับ 132.69 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) ของโครงการคือ ร้อยละ 54 ซึ่งถือว่าคุ้มค่าต่อการลงทุน ควรลงทุนในโครงการนี้ และมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ของโครงการ 1 ปี 8 เดือน

จากกรณีศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ กรณีศึกษาถึงความเปลี่ยนแปลงราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกซึ่งกำหนดให้ราคาของแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกลดลงร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 จากราคา 3,500 บาทต่อตัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อราคาลดลงร้อยละ 15 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการนี้น้อยกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ต่ำกว่าอัตราคิดลดปกติ จากราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกของกรณีศึกษาพื้นฐานโครงการนี้จะขาดทุน ดังนั้นราคาที่ลดลงร้อยละ 5 และราคาที่ลดลงร้อยละ 10 เป็นราคาที่โครงการนี้น่าจะลงทุนได้ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการนี้มากกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มากกว่าอัตราคิดลดปกติ โดยที่ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกต้องมากกว่า 2,800 บาทต่อตัน โครงการนี้จึงจะได้ผลกำไร

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การนำผลการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ควรมีการพิจารณาตัวแปรต่างๆ อย่างละเอียด เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผา และระยะเวลาที่ใช้ในการเผา เป็นต้น เนื่องจากในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงระดับห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการเผา ใช้ระยะเวลาตามที่งานวิจัยของ Oates (1998) ได้ระบุไว้มาใช้ในการเผา ซึ่งอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมของการเผาหินปูน ดังนั้นจึงควรทำการวิจัยเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในแต่ละอุณหภูมิในการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์

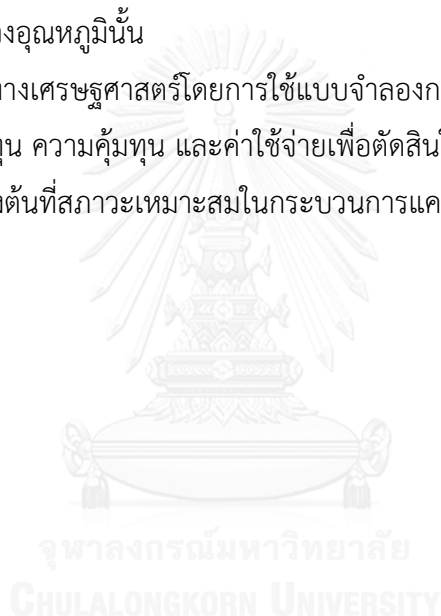
6.2.2 ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากตัวอย่างแร่โดโลไมต์มีความเปราะสูง หลังจากทำการแคลซิเนชันจะแตกเป็นผงหรือเป็นก้อนขนาดเล็กๆ มีลักษณะไม่เป็นก้อนใหญ่แข็งๆ เหมือนตอนก่อนทำการแคลซิเนชัน ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยการนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ในหลายๆ แหล่งมาทำการทดลองแบบเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพในแต่ละแหล่ง

6.2.3 เตาเผาอุณหภูมิสูงที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเตาเผาแบบปกติ คือ เตาเผาที่นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์เข้าไปทำการเผา โดยกำหนดอุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เตาเผา หลังจากทำ

การเผาเสร็จถึงสามารถนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์หลังเผาออกมาได้ อีกทั้งยังไม่สามารถเปิดเตาเผาหลังจากเผาเสร็จ ณ เวลานั้นๆ เพื่อนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ออกมาทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้นได้ จึงอาจทำให้ผลการวิจัยมีความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงควรหาเตาเผาอุณหภูมิสูงที่สามารถบอกราคาน้ำหนักก่อนเผา และน้ำหนักที่ค่อยๆ ลดขณะเผาเพื่อจะได้ทราบค่าที่แท้จริงในระยะเวลาสั้นๆ ตามที่กำหนดได้

6.2.4 ผู้วิจัยมีได้นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อน และค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มอล (Differential Thermal Analysis, DTA) ก่อนที่จะทำการวิจัยนี้ หากนำไปทำการวิเคราะห์ก่อนอาจจะทำให้ทราบช่วงอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแร่โดโลไมต์ว่าอยู่ในช่วงเท่าใดจึงควรทำการวิจัยระหว่างช่วงอุณหภูมินั้น

6.2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการใช้แบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดเพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ในการลงทุน ความคุ้มค่า และค่าใช้จ่ายเพื่อตัดสินใจการลงทุนในการดำเนินโครงการ เป็นเพียงการคำนวณเบื้องต้นที่สถานะเหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ในการวิจัยนี้เท่านั้น



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมสรรพากร. [ออนไลน์]. (2556). ภาษีมูลค่าเพิ่ม กรณีการจำหน่ายแร่โดโลไมต์. Retrieved 7 กรกฎาคม 2559, Available from <http://www.rd.go.th/publish/37836.0.html>
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์]. (2543). ข้อมูลประทานบัตรเหมืองแร่ทั่วประเทศ. Retrieved 27 มิถุนายน 2559, Available from <http://www1.dpim.go.th/mne/mn.php>
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์]. (2552a). ข้อมูลสถิติผลผลิต การใช้ การนำเข้าและการส่งออกแร่. Retrieved 15 กรกฎาคม 2558, Available from <http://www7.dpim.go.th/stat/index.php>
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. [ออนไลน์]. (2552b). สรุปประกาศราคาแร่และพิกัดค่าภาคหลวงแร่. Retrieved 12 ธันวาคม 2558, Available from <http://www.dpim.go.th/minerals-minerals/mp002.php>
- ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์. (2553). การเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่ (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรวรรณ คำวังพุกษ์. (2554). การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนทางการเงินของกิจการซีเมนต์บล็อกร้างหนึ่งในเขตอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน. คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เขาวลิตร์ ทองประดับ. (2542). โดโลไมต์ของจังหวัดเพชรบูรณ์ สำหรับใช้ในทางการเกษตรกรรม. เพชรบูรณ์: ฝ่ายทรัพยากรธรณี สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพชรบูรณ์.
- ณัฐพร สุขพลอย. (2554). การเก็บกลับคืนแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์จากน้ำขมของการผลิตเกลือสมุทรโดยใช้แคลไซน์โดโลไมต์. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทวี พรหมพุกษ์. (2525). เตาและการเผา. กรุงเทพฯ: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศก์ กรมการฝึกหัดครู.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2558). เงินเฟ้อ. Retrieved 7 กรกฎาคม 2559, Available from www2.bot.or.th/financialliteracy/exchangerate/01_01_contentdownload_inflation.pdf

- นางภัส โฆษวิฑิตกุล. (2555). คู่มือข้อมูลเครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- นนทชัย อึ้งชัยพาณิชย์. (2546). การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตปูนขาวโดยใช้เตาตั้งขนาดเล็กแบบต่อเนื่อง. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), สาขาวิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด. (2558). ข้อมูลทั่วไปของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด. สุราษฎร์ธานี: บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด.
- บริษัท แอล.เอส.เอ็ม.(1999) จำกัด. (1999). ขั้นตอนการผลิตแร่โดโลไมท์ชนิดเผาสุก. Retrieved 16 กรกฎาคม 2559, Available from <http://www.lsmplus.com/Default.aspx?pageid=10>
- ภักดี ทรงเจริญ และคณะ. (2547). แร่โดโลไมต์ (Dolomite) สำหรับประชาชน (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมพื้นฐาน สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.
- รัฐภา รุจิพัฒน์พงศ์. (2540). หินปูนและโดโลไมต์กับการนำไปใช้ประโยชน์ในภาคใต้. สงขลา: สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 1 (สงขลา) กรมทรัพยากรธรณี.
- ศุภโชค แสงสว่าง. (2546). การศึกษาและออกแบบเตาเผาหินปูน. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย. (2559). เครื่องมือวิเคราะห์ขั้นสูง: X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF). Retrieved 27 มิถุนายน 2559, Available from http://www.hsm.chula.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=280&Itemid=357
- สถาพร คำหอม. (2558). เตาเผาอนุภาค: ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ มหาวิทยาลัยรังสิต.
- สมศักดิ์ ขวาลาวินัย. (2549). เซรามิกส์: โอเดียนส์โตร์.
- สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย. (2554). Resources Process Laboratory I (2106332): ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักพัฒนาและส่งเสริมสำนักวิชาการแร่ ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2550). เอกสารวิชาการเรื่อง “คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายแร่ในตลาดแร่”. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่.

สุชาติ ศรีไพโรจน์ธิกุล. (2539). การศึกษาคุณภาพของหินปูนและโดโลไมต์จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทย โดยวิธี XRF. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายวิเคราะห์แร่และหิน กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี.

อรกุล โภคากรวิจารณ์. (2543). แร่ (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

อายุวัฒน์ สว่างผล. (2543). วัตถุดิบที่ใช้แพร่หลายในงานเซรามิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

อำไพ ทองภิญโญชัย. (2542). รายงานการสำรวจเพื่อการประเมินศักยภาพแหล่งแร่โดโลไมต์จังหวัดชุมพร (พิมพ์ครั้งที่ 1). ภูเก็ต: สำนักงานทรัพยากรธรณีเขต 2 (ภูเก็ต) กรมทรัพยากรธรณี.

อิทธิพันธ์ ศรีรงค์. (2556). การตรวจสอบหินผสมคอนกรีต จากโรงโม่ที่ไม่เคยนำมาใช้ในงานของกรมทางหลวง กรณีศึกษาโครงการฯ สะพานข้ามแม่น้ำโขงแห่งที่ 3 จ.นครพนม.

ภาษาอังกฤษ

Amptek. (2016). What is XRF? Retrieved 2016, June 27, Available from <http://amptek.com/xrf/>

Archaeometry Laboratory. (2015). Overview of X-Ray Fluorescence. Retrieved 2016, June 27, Available from http://archaeometry.missouri.edu/xrf_overview.html

British Geological Survey. [Online]. (2006). Mineral Planning Factsheet: Dolomite. Retrieved 2015, July 22, Available from <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=1360>

Kosowska, A. G., Wdowin, M., Kosowski, T., and Klimek, A. (2015). An analysis of the chemistry, mineralogy and texture of waste dolomite powder used to identify its potential application in industry. *Wydawnictwa AGH, 41 (4), 343 – 352.* doi: <http://dx.doi.org/10.7494/geol.2015.41.4.343>

Lamar, J. E. (1965). Uses of Limestone and Dolomite (2nd ed). State of Illinois: Illinois State Geological Survey.

Oates, J. A. H. (1998). Lime and Limestone Chemistry and Technology Production and Uses. Weinheim: Wiley – VCH.

Sadik, C., Mouddeh, O., El Bouari, A., and El Amrani, I. E. (2016). Review on the elaboration and characterization of ceramics refractories based on magnesite and dolomite. *Journal of Asian Ceramic Societies.* doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jascer.2016.06.006>

- Satyendra, K. S. (2014). Lime and Calcined Dolomite for Use in Steel Plant. India.
- Shahraki, B. K., Mehrabi, B., and Dabiri, R. (2009). Thermal behavior of zefreh dolomite mine (Central Iran). *Journal of Mining and Metallurgy*, 45 B (1) (2009), 35 – 44.
- Statistics Group. (2015). Mineral Statistics of Thailand 2010 – 2014 (pp. 107). Bangkok: Information Technology and Communication Center, Department of Primary Industries and Mines.
- Syntech. (2010). ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF). Retrieved 2016, June 27, Available from <http://www.bestsci.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538907996&Ntype=17>
- Waewsak, J., O-Thong, S., Sungkharak, K., Buasri, A., Rochanakit, K., Wongvitvichot, W., . . . Loryuenyong, V. (2015). 2015 International Conference on Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies The Application of Calcium Oxide and Magnesium Oxide from Natural Dolomitic Rock for Biodiesel Synthesis. *Energy Procedia*, 79, 562 – 566. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.534>
- Yildirim, M., and Akarsu, H. (2010). Preparation of Magnesium Oxide (MgO) from Dolomite by Leach-Precipitation-Pyrohydrolysis Process. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 44 (2010), 257 – 272.
- Zauba. (2016). Import Data and Price of calcined dolomite. Retrieved 2016, July 16, Available from <https://www.zauba.com/import-calcined-dolomite-hs-code.html>



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก
ผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก.1 ผลการศึกษาหาการกระจายตัวของขนาดตัวอย่างแร่โดโลไมต์ (Particle size distribution)

จากการนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ทั้งสองตัวอย่าง คือ ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ และตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี มาทำการคัดขนาดด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) ซึ่งจะทำให้การคัดขนาดโดยการใช้มือ (Hand Sieving) สำหรับขนาดตะแกรงที่ใช้ คือ ขนาด 25 50 75 และ 100 มิลลิเมตร หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักที่ได้จากตะแกรงแต่ละชั้น บันทึกผลการทดลองเพื่อหาค่าการกระจายตัวของแร่ (Size Distribution) ในแต่ละขนาด ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ ก.1 และตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.1 การกระจายตัวของแร่โดโลไมต์ในแต่ละขนาดของพื้นที่เอ

ลำดับ	ขนาดของตะแกรง		น้ำหนัก (กรัม)		
	U.S. (นิ้ว)	ขนาดรูตะแกรง (มิลลิเมตร)	ภาชนะใส่แร่ (กรัม)	ภาชนะใส่แร่ + แร่ (กรัม)	แร่ (กรัม)
1	-5" +4"	100	241	768	527
2	-4" +3"	75	240	1,933	1,693
3	-3" +2"	50	244	6,794	6,550
4	-2" +1"	25	241	3,346	3,105
5	-1" +Pan		139	990	851
รวม					12,726



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

ภาพที่ ก.1 ขนาดตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ (ก) -1" +Pan (ข) -2" +1" (25 มิลลิเมตร) (ค) -3" +2" (50 มิลลิเมตร) (ง) -4" +3" (75 มิลลิเมตร) และ (จ) -5" +4" (100 มิลลิเมตร)

จากตารางที่ ก.1 และภาพที่ ก.1 การกระจายตัวของแร่โดโลไมต์ในแต่ละขนาดของพื้นที่เอ พบว่าขนาดตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ขนาด -4" +3" (75 มิลลิเมตร) -3" +2" (50 มิลลิเมตร) และ -4" +3" (75 มิลลิเมตร) มีปริมาณมากเพียงพอที่สามารถนำมาทดลองได้ ส่วนขนาด -1" +Pan และ -5" +4" (100 มิลลิเมตร) มีปริมาณไม่เพียงพอจึงไม่สามารถนำมาทดลองได้

ตารางที่ ก.2 การกระจายตัวของแร่โดโลไมต์ในแต่ละขนาดของพื้นที่ปี

ลำดับ	ขนาดของตะแกรง		น้ำหนัก (กรัม)		
	U.S. (นิ้ว)	ขนาดรูตะแกรง (มิลลิเมตร)	ภาชนะใส่แร่ (กรัม)	ภาชนะใส่แร่ + แร่ (กรัม)	แร่ (กรัม)
1	-5" +4"	100	248	1,574	1,326
2	-4" +3"	75	161	2,995	2,834
3	-3" +2"	50	160	7,524	7,364
4	-2" +1"	25	241	2,347	2,106
5	-1" +Pan		248	1,056	808
รวม					14,438



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

ภาพที่ ก.2 ขนาดตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ (ก) -1" +Pan (ข) -2" +1" (25 มิลลิเมตร) (ค) -3" +2" (50 มิลลิเมตร) (ง) -4" +3" (75 มิลลิเมตร) และ (จ) -5" +4" (100 มิลลิเมตร)

จากตารางที่ ก.2 และภาพที่ ก.2 การกระจายตัวของแร่โดโลไมต์ในแต่ละขนาดของพื้นที่ปี พบว่าขนาดตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ขนาด -4" +3" (75 มิลลิเมตร) -3" +2" (50 มิลลิเมตร) และ -4" +3" (75 มิลลิเมตร) มีปริมาณมากเพียงพอที่สามารถนำมาทดลองได้ ส่วนขนาด -1" +Pan และ -5" +4" (100 มิลลิเมตร) มีปริมาณไม่เพียงพอจึงไม่สามารถนำมาทดลองได้

ก.2 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

ก.2.1 การศึกษาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่เหมาะสมในกระบวนการแคลซิเนชันของตัวอย่างแร่โดโลไมต์

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง :	ผง (แร่โดโลไมต์)
เจ้าของตัวอย่าง :	คุณธิดารัตน์ มีคช ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วัตถุประสงค์ :	เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ
วิธีวิเคราะห์ :	
Analytical Instrument	X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) : Bruker AXS, Germany Model: S4 Pioneer Wavelength dispersive X-Ray Fluorescence (WDXRF) Spectrometry
Voltage/Current	60 kV / 50 mA
Conditions	Range 0.2 – 20 A (60 – 0.6 keV) Total resolution 3 – 100 eV Typical measurement time 2 – 10 s per element
Program used	SPECTRA Plus software of the Bruker with the standardless Analysis.
ผู้วิเคราะห์ :	นางจิระประภา เนียมปาน
วันที่วิเคราะห์ :	7 กันยายน 2558

ก.2.1.1 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา

ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ

CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TeO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O
71.6	27.19	0.406	0.306	0.12	0.113	0.077

MnO	Cl	SO ₃	SrO	MoO ₃	Nb ₂ O ₅	TiO ₂
0.064	0.055	0.038	0.019	0.013	0.004	< 0.001

V ₂ O ₅	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.002	< 0.016	31.90%	48.10%

ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ

CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O
70.73	27.34	0.699	0.409	0.268	0.187	0.128

TeO ₂	Cl	SrO	K ₂ O	MoO ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅
0.12	0.064	0.022	0.017	0.01	< 0.001	< 0.002

Cr	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.015	< 0.014	< 0.016	32.40%	48.30%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TeO ₂	Na ₂ O
70.47	27.23	1.18	0.487	0.192	0.11	0.094

SO ₃	K ₂ O	Cl	MoO ₃	SrO	Nb ₂ O ₅	TiO ₂
0.0689	0.0625	0.056	0.028	0.0212	0.004	< 0.001

V ₂ O ₅	Cr	NiO	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.002	< 0.015	< 0.007	< 0.01	< 0.016	31.80%	49.10%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่บี

CaO	MgO	TeO ₂	SiO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Cl
73.8	25.7	0.14	0.07	0.058	0.0577	0.052

SO ₃	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	SrO	MoO ₃	Nb ₂ O ₅	TiO ₂
0.037	0.033	0.024	0.0195	0.009	0.004	< 0.001

Cr	MnO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.015	< 0.003	< 0.016	32.10%	48.10%

ตัวอย่างแร่โพลีไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่บี

CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	TeO ₂	Na ₂ O
71.44	27.46	0.377	0.203	0.168	0.12	0.082

Cl	SO ₃	SrO	K ₂ O	MoO ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅
0.054	0.053	0.02	0.011	0.009	< 0.001	< 0.002

NiO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.007	< 0.016	32.40%	48.90%

ตัวอย่างแร่โพลีไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่บี

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	TeO ₂	Fe ₂ O ₃
70.87	27.59	0.739	0.295	0.122	0.12	0.0895

Cl	SO ₃	Sr	K ₂ O	MoO ₃	Br	TiO ₂
0.07	0.053	0.0246	0.013	0.006	0.004	< 0.001

V ₂ O ₅	Cr	NiO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.002	< 0.015	< 0.007	< 0.016	32.60%	48.40%

ก.2.1.2 ผลการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา

ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ ที่อุณหภูมิ 1,000 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	Al ₂ O ₃
66.05	33.63	0.1	0.076	0.048	0.039	0.025

SrO	Fe ₂ O ₃	MoO ₃	Rh Compton	Rh Rayleigh	SiO ₂	TiO ₂
0.016	0.0116	0.003	80.90%	80.60%	< 0.011	< 0.001

V ₂ O ₅	Cr	MnO	CuO	ZnO
< 0.002	< 0.015	< 0.003	< 0.02	< 0.016

ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ 1,100 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	SO ₃	Na ₂ O	Cl	Fe ₂ O ₃
67.17	32.4	0.11	0.066	0.064	0.0521	0.0457

Al ₂ O ₃	SiO ₂	SrO	MoO ₃	Nb ₂ O ₅	TiO ₂	V ₂ O ₅
0.039	0.022	0.0179	0.005	0.004	< 0.001	< 0.002

Co	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.017	< 0.02	< 0.016	61.80%	71.60%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ 1,200 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	SO ₃	Al ₂ O ₃	Cl
67.51	32.15	0.11	0.074	0.0719	0.034	0.027

SrO	MoO ₃	Rh Compton	Rh Rayleigh	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅
0.0181	0.004	70.90%	76.50%	< 0.001	< 0.001	< 0.002

Cr	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO
< 0.015	< 0.0069	< 0.02	< 0.017

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ 1,000 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	SrO
66.16	33.61	0.097	0.054	0.029	0.025	0.0138

Al ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃
0.009	0.004	< 0.02	< 0.001	< 0.015	< 0.003	< 0.0178

NiO	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.007	< 0.02	< 0.017	72.90%	78.60%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่เ 1,100 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	Al ₂ O ₃
66.96	32.75	0.11	0.053	0.039	0.037	0.025

SrO	MoO ₃	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅
0.0129	0.006	0.004	0.003	0.0018	< 0.001	< 0.002

Cr	MnO	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.015	< 0.003	< 0.021	< 0.016	86.10%	83.30%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่เ 1,200 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	SrO
66.25	33.53	0.093	0.058	0.036	0.019	0.0131

Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃
0.009	< 0.016	< 0.001	< 0.002	< 0.015	< 0.003	< 0.0067

NiO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.007	< 0.017	80.10%	81.10%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่เ 1,000 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	SO ₃	Al ₂ O ₃	Cl
65.42	34.32	0.096	0.066	0.039	0.024	0.021

SrO	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	Fe ₂ O ₃
0.0147	0.004	0.003	< 0.013	< 0.002	< 0.003	< 0.0103

CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.021	< 0.016	88.30%	83.20%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่เ 1,100 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂
65.39	34.18	0.099	0.0702	0.0699	0.059	0.0547

Cl	SO ₃	SrO	MnO	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	TiO ₂
0.035	0.017	0.0109	0.007	0.004	0.003	< 0.001

V ₂ O ₅	Cr	Co	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.002	< 0.015	< 0.017	< 0.016	77.20%	78.90%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่เอ 1,200 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	Al ₂ O ₃
65.4	34.37	0.097	0.063	0.03	0.015	0.013

SrO	SiO ₂	V ₂ O ₅	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO
0.0128	< 0.019	< 0.002	< 0.015	< 0.003	< 0.0045	< 0.007

CuO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.02	79.20%	79.40%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่บี ที่อุณหภูมิ 1,000 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	Al ₂ O ₃
65.99	33.7	0.11	0.069	0.0448	0.04	0.018

SrO	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	Rh Compton	Rh Rayleigh	SiO ₂	TiO ₂
0.0152	0.004	0.003	83.90%	83.00%	< 0.01	< 0.001

V ₂ O ₅	Cr	MnO	Fe ₂ O ₃
< 0.002	< 0.015	< 0.003	< 0.0011

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,100 °ซ

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TeO ₂	SO ₃	Fe ₂ O ₃
66.73	32.59	0.148	0.13	0.11	0.0693	0.0682

Na ₂ O	Cl	SrO	K ₂ O	MoO ₃	Nb ₂ O ₅	Sc
0.065	0.047	0.0168	0.012	0.009	0.004	0.004

TiO ₂	V ₂ O ₅	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.001	< 0.002	< 0.016	61.10%	71.80%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,200 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	Fe ₂ O ₃	SO ₃
67.7	31.94	0.1	0.058	0.0518	0.0334	0.032

Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	SrO	SiO ₂	MoO ₃	Nb ₂ O ₅	TiO ₂
0.028	0.017	0.0149	0.012	0.004	0.004	< 0.001

Cr	MnO	NiO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.015	< 0.003	< 0.007	< 0.017	70.60%	76.50%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,000 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	SrO
67.66	32.11	0.1	0.052	0.026	0.019	0.014

Al ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr	MnO
0.006	0.004	< 0.017	< 0.001	< 0.002	< 0.015	< 0.003

Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.0059	< 0.021	< 0.017	68.10%	74.20%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,100 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	SO ₃	Al ₂ O ₃	SrO
66.49	33.24	0.083	0.073	0.0549	0.018	0.0168

Cl	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	Cr	Fe ₂ O ₃
0.014	0.004	0.004	< 0.017	< 0.002	< 0.015	< 0.0119

Co	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.018	< 0.021	< 0.017	85.50%	83.20%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,200 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Cl	SO ₃	Al ₂ O ₃
66.1	33.61	0.099	0.065	0.0475	0.038	0.015

SrO	Fe ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	CuO
0.0135	0.0093	0.004	0.002	< 0.002	< 0.002	< 0.021

ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh	Tm ₂ O ₃
< 0.017	85.00%	83.20%	-0.001

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,000 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	SO ₃	Cl	Al ₂ O ₃
66.98	32.76	0.1	0.055	0.035	0.025	0.02

SrO	Fe ₂ O ₃	MoO ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	Co	NiO
0.0142	0.0057	0.004	< 0.008	< 0.002	< 0.018	< 0.007

CuO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.021	74.00%	77.70%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,100 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	SO ₃	Cl	SrO
65.35	34.36	0.11	0.073	0.044	0.027	0.0158

Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	Cr
0.011	0.009	0.004	0.003	< 0.014	< 0.002	< 0.015

MnO	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.003	< 0.021	< 0.017	84.00%	82.80%

ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 75 มิลลิเมตร ของพื้นที่ปี 1,200 °ซ

CaO	MgO	TeO ₂	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl
61.32	38.34	0.1	0.076	0.0484	0.04	0.032

Sr	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	MoO ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅
0.0137	0.012	0.012	0.004	0.003	< 0.001	< 0.002

Cr	MnO	NiO	CuO	ZnO	Rh Compton	Rh Rayleigh
< 0.015	< 0.003	< 0.007	< 0.021	< 0.016	90.30%	88.80%

ก.2.2 การศึกษาการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature Furnace) ของ Nabertherm รุ่น B180 ประเทศเยอรมนี ของบริษัท ผาตุบ จำกัด จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง : ผง (แร่โดโลไมต์)
 เจ้าของตัวอย่าง : คุณธิดารัตน์ มีคช
 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 วัตถุประสงค์ : เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ
 วิธีวิเคราะห์ : Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry
 เครื่องมือวิเคราะห์ : X-ray fluorescence spectrometer, Bruker model S8 Tiger
 ผู้วิเคราะห์ : นายสมบูรณ์ เจริญภูมิการกิจ
 วันที่วิเคราะห์ : 27 พฤษภาคม 2559
 ผลการวิเคราะห์

ปริมาณธาตุ(ร้อยละโดยน้ำหนัก)*

รายละเอียดตามเอกสารแนบ

- * 1. ปริมาณธาตุหาโดยวิธี Theoretical formulas, “fundamental parameter calculations”
 2. ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้คำนวณค่าให้อยู่ในรูป oxide ของธาตุนั้นๆ

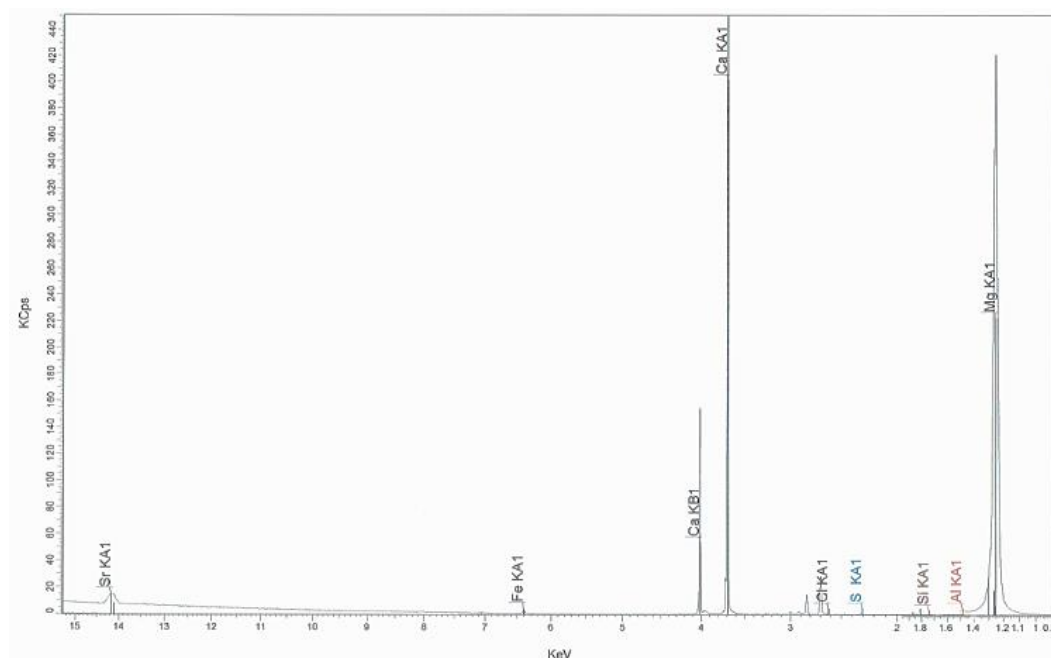
ก.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา

ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 900 °ซ

CaO	MgO	SiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	Cl	Fe ₂ O ₃
1312.6 KCps	405.2 KCps	0.7 KCps	1.1 KCps	0.4 KCps	1.4 KCps	2.7 KCps
47.00%	32.30%	852 PPM	535 PPM	473 PPM	439 PPM	390 PPM

SrO	Na ₂ O	MnO	CuO	ZrO ₂	MoO ₃	Ru
7.8 KCps	0.2 KCps	0.1 KCps	0.5 KCps	1.7 KCps	1.1 KCps	0.1 KCps
106 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Rh	t	εs ₂ O	Dy ₂ O ₃	Sum	H ₂ O	Compton
109.1 KCps	1.2 KCps	2.2 KCps	0.1 KCps			109.1 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	100%	20%	95%

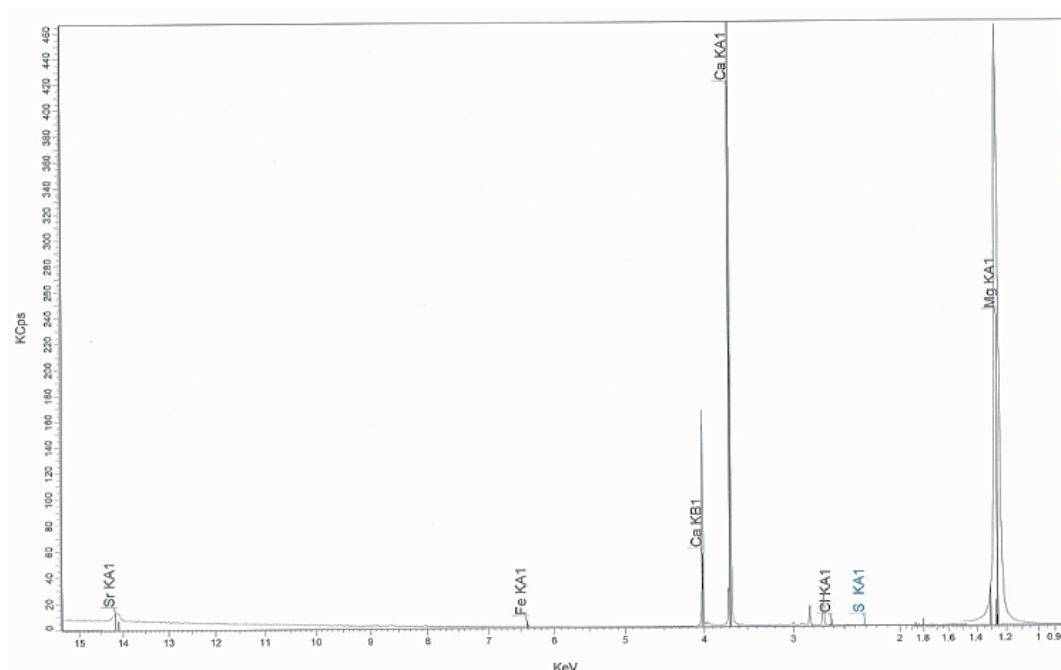


ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 950 °ซ

CaO	MgO	Cl	SO ₃	Fe ₂ O ₃	SrO	CuO
1404.1 KCps	442.2 KCps	1.6 KCps	0.8 KCps	1.7 KCps	5.8 KCps	0.6 KCps
53.80%	35.50%	521 PPM	387 PPM	279 PPM	89.3 PPM	38.1 PPM

Al ₂ O ₃	SiO ₂	V ₂ O ₅	NiO	ZnO	MoO ₃	Ru
0.2 KCps	0.3 KCps	0.2 KCps	0.1 KCps	0.6 KCps	2.2 KCps	0.1 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Rh	Es ₂ O	Sum	H ₂ O	Compton
93.7 KCps	1.9 KCps			93.7
0.0 PPM	0.0 PPM	100%	11%	97%

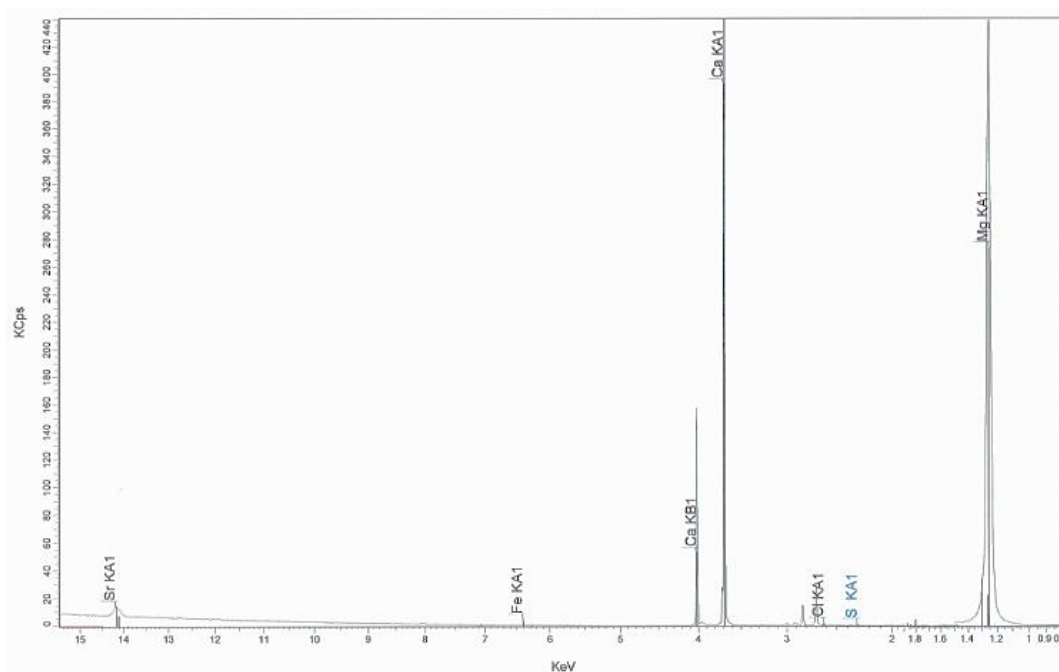


ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 25 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 1,000 °ซ

CaO	MgO	SO ₃	Cl	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃
1325.4 KCps	4211.3 KCps	0.7 KCps	0.7 KCps	0.6 KCps	6.3 KCps	0.1 KCps
48.10%	33.60%	334 PPM	233 PPM	93.7 PPM	88.4 PPM	0.0 PPM

SiO ₂	P ₂ O ₅	NiO	CuO	ZrO ₂	Rh	†
0.2 KCps	0.1 KCps	0.3 KCps	0.6 KCps	1.4 KCps	105.9 KCps	1.1 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Es ₂ O	CeO ₂	WO ₃	Sum	H ₂ O	Compton
2.0 KCps	0.1 KCps	0.2 KCps			105.9 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	100%	18%	96%



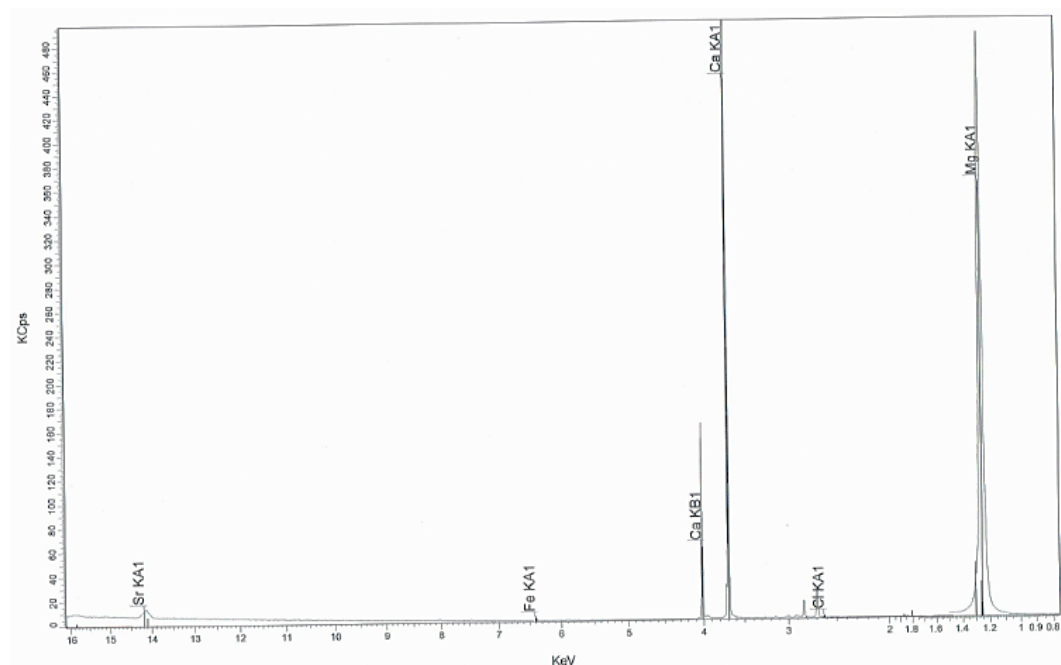
ก.2.2.2 ผลการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา

ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 900 °ซ

CaO	MgO	Cl	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1364.4 KCps	462.9 KCps	1.4 KCps	2.1 KCps	6.2 KCps	0.2 KCps	0.1 KCps
52.10%	36.90%	457 PPM	330 PPM	92.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

SO ₃	NiO	CuO	ZnO	MoO ₃	Rh	Cr ₂ O
0.5 KCps	0.3 KCps	0.5 KCps	0.3 KCps	0.9 KCps	95.0 KCps	1.5 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Sum	H ₂ O	Compton	ZrO ₂
		95.0 KCps	0.9 KCps
100%	11%	98%	0.0 PPM

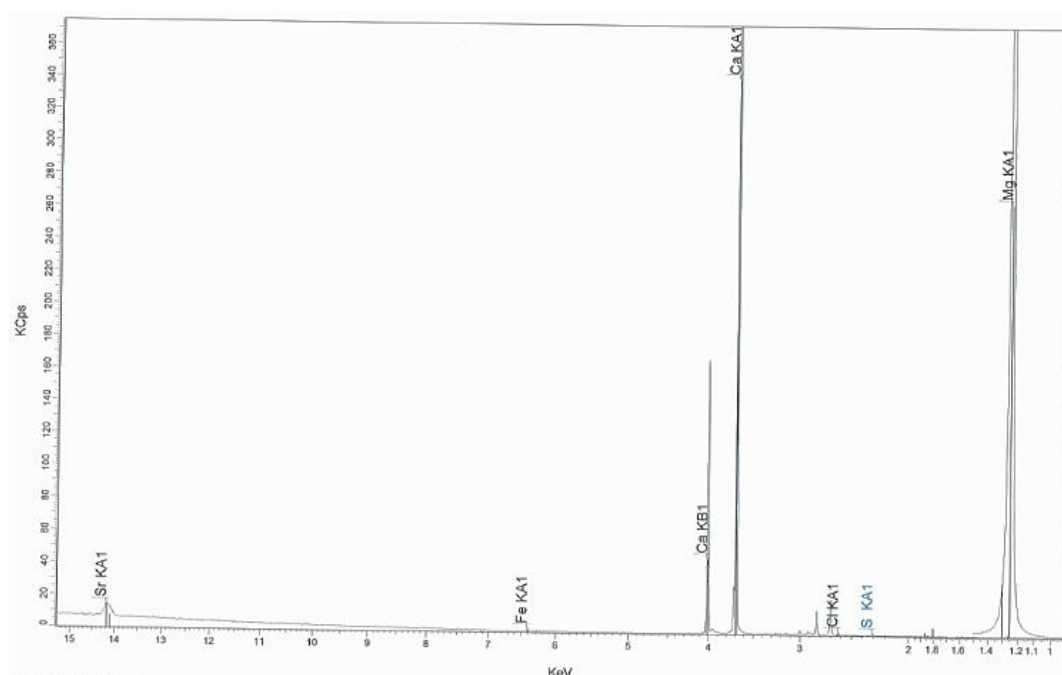


ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 950 °ซ

CaO	MgO	SO ₃	Cl	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃
1427.1 KCps	472.1 KCps	1.2 KCps	1.2 KCps	0.9 KCps	7.3 KCps	0.2 KCps
56.50%	37.90%	615 PPM	383 PPM	159 PPM	116 PPM	0.0 PPM

SiO ₂	CuO	ZnO	ZrO ₂	Rh	Ag	SnO ₂
0.2 KCps	0.6 KCps	0.6 KCps	1.7 KCps	90.1 KCps	0.2 KCps	0.5 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Cr ₂ O	H ₂ O	Sum	H ₂ O	Compton
1.8 KCps	0.3 KCps			90.1 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	100%	5.50%	95%

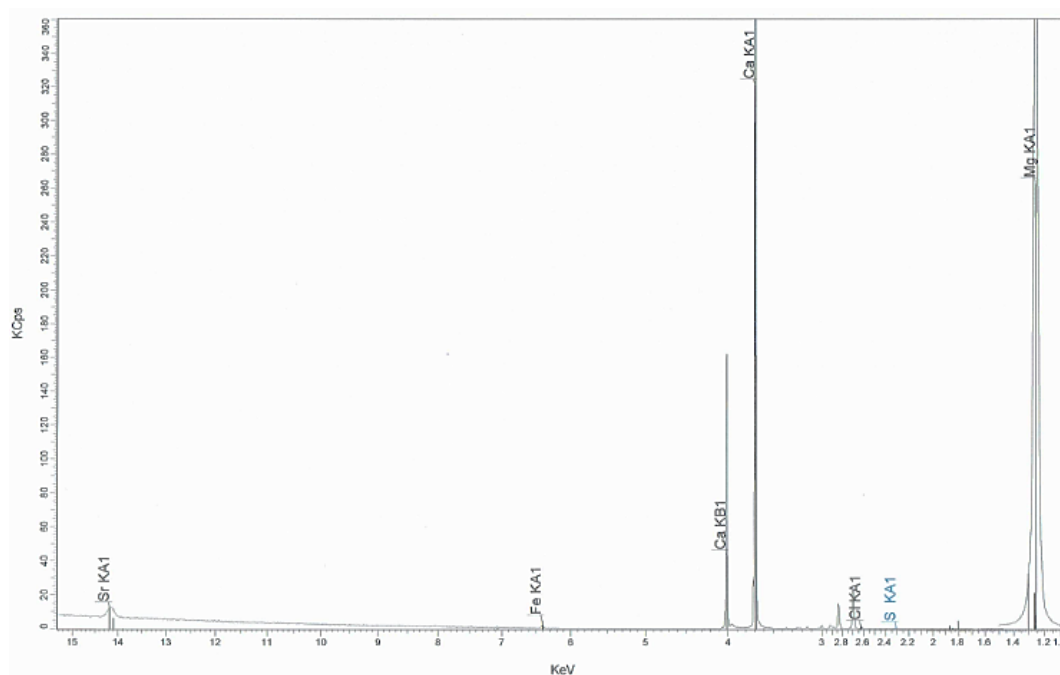


ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 1,000 °ซ

CaO	MgO	Cl	SO ₃	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃
1401.2 KCps	473.2 KCps	1.3 KCps	0.7 KCps	1.5 KCps	5.5 KCps	0.2 KCps
54.80%	37.90%	424 PPM	337 PPM	240 PPM	85.6 PPM	0.0 PPM

SiO ₂	P ₂ O ₅	TiO ₂	CuO	ZnO	SeO ₂	Rb ₂ O
0.2 KCps	0.0 KCps	0.1 KCps	0.4 KCps	0.4 KCps	0.2 KCps	0.3 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

ZrO ₂	Rh	FeO ₂	Cs ₂ O	Sum	H ₂ O	Compton
1.1 KCps	93.6 KCps	0.8 KCps	2.1 KCps			93.6 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	100%	7.20%	94%

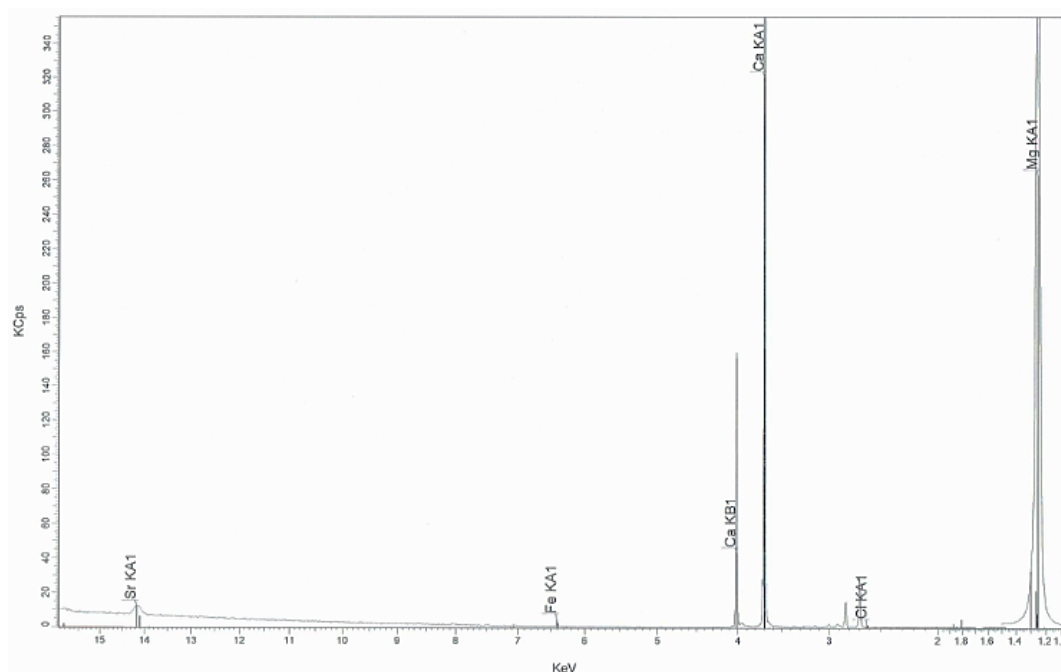


ตัวอย่างแร่โตไลต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 1,100 °ซ

CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Cl	SrO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
1346.2 KCps	420.1 KCps	2.4 KCps	1.1 KCps	5.0 KCps	0.2 KCps	0.2 KCps
49.30%	33.60%	364%	357%	70.80%	0.0 PPM	0.0 PPM

SO ₃	V ₂ O ₅	MnO	CuO	ZnO	ZrO ₂	Rh
0.5 KCps	0.1 KCps	0.2 KCps	0.6 KCps	0.5 KCps	1.5 KCps	104.6 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Ag	CdO	Cs ₂ O	Sum	H ₂ O	Compton
0.1 KCps	0.1 KCps	1.2 KCps			104.6 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	100%	17%	95%

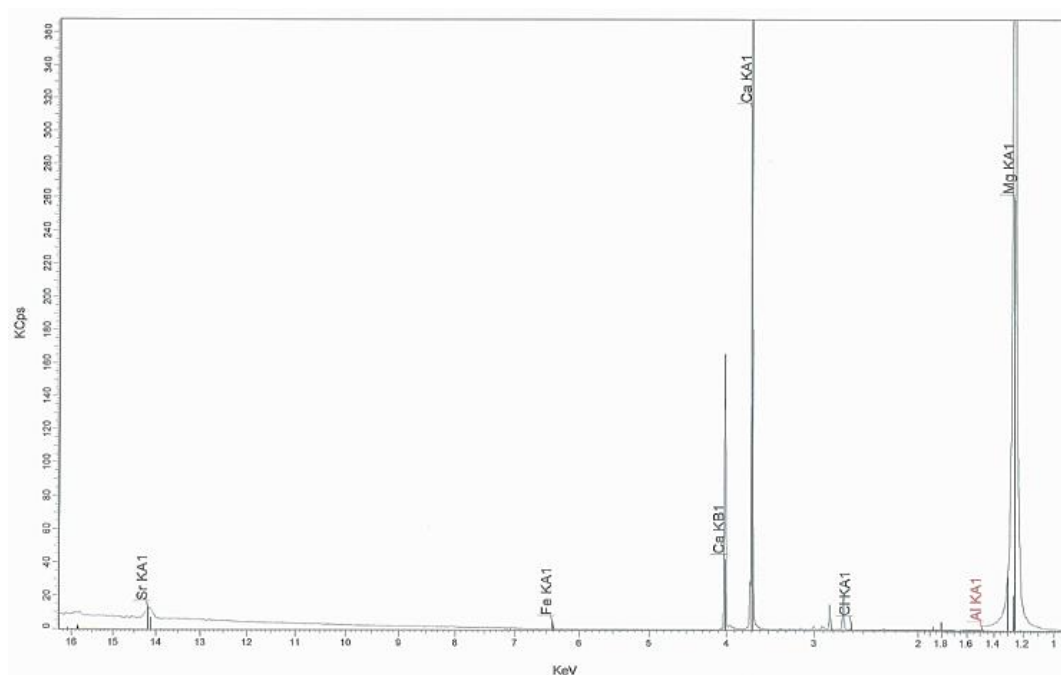


ตัวอย่างแร่โตไลไมต์ขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 1,200 °ซ

CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Cl	SrO
1425.2 KCps	479.3 KCps	0.4 KCps	0.9 KCps	2.4 KCps	0.9 KCps	6.5 KCps
56.70%	38.40%	532 PPM	455 PPM	412 PPM	287 PPM	104 PPM

SiO ₂	MnO	NiO	CuO	Br	ZrO ₂	MoO ₃
0.2 KCps	0.1 KCps	0.3 KCps	0.5 KCps	0.2 KCps	1.4 KCps	1.4 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM

Rh	t	ε _{s2} θ	Sum	H ₂ θ	Compton
88.3 KCps	1.4 KCps	1.6 KCps			88.3 KCps
0.0 PPM	0.0 PPM	0.0 PPM	100%	4.70%	96%



ก.3 การวิเคราะห์หาการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss On Ignition, LOI)

1. เตรียมตัวอย่างแร่โดโลไมต์ก่อนเผา และหลังเผาขนาด 25 50 และ 75 มิลลิเมตร ของแต่ละอุณหภูมิ มาทำการทดลอง โดยเริ่มจากการ
2. ชั่งน้ำหนักด้วยเภสสาร จากนั้นชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่ขนาดต่างกันของแต่ละอุณหภูมิ จำนวนอย่างละ 10 กรัม ลงในถ้วยเภสสาร บันทึกผลน้ำหนักรวมของตัวอย่างแร่โดโลไมต์กับถ้วยเภสสาร
3. นำแร่ไปเผาโดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง (แสดงดังภาพที่ ก.3) ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที เพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สารอินทรีย์ และความชื้น



ภาพที่ ก.3 เตาเผาอุณหภูมิสูง ของ Pyrotherm Furnaces รุ่น I TEMP 16/15 ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (Loss On Ignition, LOI) ของภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างโดโลไมต์ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักรวมของโดโลไมต์กับถ้วยกระเบื้องหลังเผา
5. เมื่อเผาเสร็จจะเก็บตัวอย่างแร่โดโลไมต์หลังเผาไว้ที่อุณหภูมิความชื้น หลังจากนั้นนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของแต่ละขนาดมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลน้ำหนักรวมของตัวอย่างแร่โดโลไมต์กับถ้วยเภสสารหลังเผา

ก.3.1 คำนวณหาร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ คำนวณได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละของการสูญเสีย} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนเผา} - \text{น้ำหนักหลังเผา}}{\text{น้ำหนักก่อนเผา}} \times 100$$

ก.3.2 ผลการวิเคราะห์หาการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ของพื้นที่เอ (หัวข้อที่ 4.1, บทที่

4)

พื้นที่	ขนาดตัวอย่าง	ก่อนเผา				หลังเผา		การสูญเสียน้ำหนัก ในการเผาไหม้ (LOI*)
		น้ำหนัก ถ้วยเผาสาร (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่างแร่ (กรัม)	น้ำหนักรวม ถ้วยเผาสารกับตัวอย่างแร่ (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่างแร่ (กรัม)	น้ำหนักรวม ถ้วยเผาสารกับตัวอย่างแร่ (กรัม)	น้ำหนัก ตัวอย่างแร่ (กรัม)	
เอ	มิลติเมตร, อุณหภูมิ							ร้อยละ
เอ	25A, ปกติ	77.2940	10.0298	87.3238	82.6074	5.3134	47.02387	
เอ	50A, ปกติ	80.5785	10.0686	90.6471	85.9286	5.3501	46.86352	
เอ	75A, ปกติ	79.9787	10.1158	90.0945	85.3614	5.3827	46.78918	
เอ	25A, 1,000	78.3886	10.1937	88.5823	88.0955	9.7069	4.775499	
เอ	25A, 1,100	91.6847	10.0756	101.7603	99.8235	8.1388	19.22268	
เอ	25A, 1,200	83.6326	10.0992	93.7318	92.2385	8.6059	14.78632	
เอ	50A, 1,000	88.9892	9.9215	98.9107	97.8246	8.8354	10.94693	
เอ	50A, 1,100	80.5789	10.0882	90.6671	90.3232	9.7443	3.408933	
เอ	50A, 1,200	91.6831	10.0101	101.6932	100.8887	9.2056	8.036883	
เอ	75A, 1,000	78.3872	10.0734	88.4606	87.9298	9.5426	5.269323	
เอ	75A, 1,100	88.9893	10.0448	99.0341	98.8127	9.8234	2.204126	
เอ	75A, 1,200	75.1441	10.1893	85.3334	85.0387	9.8946	2.89225	

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition

ก.3.2 ผลการวิเคราะห์หาการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ของพื้นที่ปี (หัวข้อที่ 4.1, บทที่

4) (ต่อ)

พื้นที่	ขนาดตัวอย่าง	ก่อนเผา				หลังเผา		การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (LOI*)
		น้ำหนักถ้วยเผาสาร	น้ำหนักตัวอย่างแห้ง	น้ำหนักถ้วยเผาสารกับตัวอย่างแห้ง	น้ำหนักกรวมถ้วยเผาสารกับตัวอย่างแห้ง	น้ำหนักตัวอย่างแห้ง		
ปี	มิลติเมตร, อุณหภูมิ	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	ร้อยละ		
ปี	25B, ปกติ	79.6733	10.0174	89.6907	84.98	47.02518	47.02518	
ปี	50B, ปกติ	75.1440	10.1155	85.2595	80.4934	47.1168	47.1168	
ปี	75B, ปกติ	83.9054	10.0296	93.9350	89.2255	46.95601	46.95601	
ปี	25B, 1,000	79.9806	10.048	90.0286	89.5568	4.695462	4.695462	
ปี	25B, 1,100	83.9058	10.0458	93.9516	92.0761	18.66949	18.66949	
ปี	25B, 1,200	75.1447	10.0267	85.1714	83.7052	14.62296	14.62296	
ปี	50B, 1,000	79.6738	10.0245	89.6983	88.4504	12.4485	12.4485	
ปี	50B, 1,100	79.9779	10.0401	90.018	89.7178	2.99001	2.99001	
ปี	50B, 1,200	77.2947	10.0287	87.3234	86.9274	3.948667	3.948667	
ปี	75B, 1,000	83.906	10.0079	93.9139	92.9744	9.387584	9.387584	
ปี	75B, 1,100	91.6831	10.0825	101.7656	101.3386	4.235061	4.235061	
ปี	75B, 1,200	83.6315	10.033	93.6645	93.4815	1.823981	1.823981	

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition

ก.4 การซีกตัวอย่างแบบรูปกรวยแบ่งสี่ (Cone and Quartering)

วิธีการซีกตัวอย่างแบบนี้มักใช้กับตัวอย่างแร่จำนวนน้อยๆ แร่ที่จะนำมาซีกตัวอย่างจะต้องคลุกเคล้าและกองให้เป็นรูปกรวยสม่ำเสมอ (โดยการตักด้วยพลั่วเทลงตรงกลางของยอดกรวยให้แร่เทเฉลี่ยลงไปตามรูปกรวยโดยสม่ำเสมอ) แล้วกดรูปกรวยนี้ให้แผ่ออกเป็นรูปวงกลมแบนราบ (ด้วยพลั่ว) จากนั้นจึงแบ่งออกเป็นส่วนเท่าๆ กัน และเก็บส่วนตรงข้ามกันไว้ แล้วนำไปทำซ้ำอีกจนกระทั่งได้ตัวอย่างจำนวนเท่าที่ต้องการ (แสดงดังภาพที่ ก.3) (เพื่อความแน่นอนอนการใช้ไม้กระดานทำเป็นรูปไขว้กันจะช่วยทำให้การซีกแบ่งตัวอย่างออกมาทำได้สะดวกขึ้น) (สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 2554)


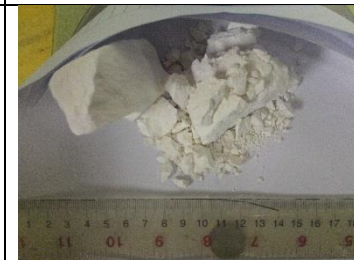

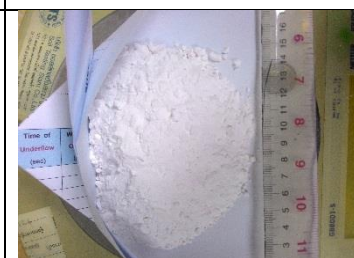

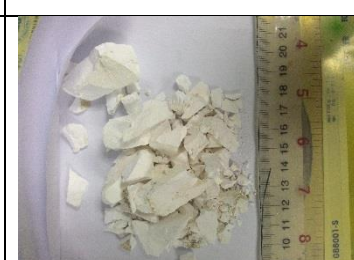












ภาพที่ ก.3 การซีกตัวอย่างแบบกรวยแบ่งสี่ (Cone and Quartering)

ก.5 ภาพตัวอย่างแร่โดโลไมต์ทั้งสองพื้นที่ ที่ขนาด อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ

ก.5.1 ภาพตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอ

25 มิลลิเมตร	50 มิลลิเมตร	75 มิลลิเมตร
		
144.4 กรัม	302.7 กรัม	191.3 กรัม





รายการ	ก่อนเผา	หลังเผา
ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,000 °ซ เวลา 1.5 ชั่วโมง	 234.1 กรัม	 126.3 กรัม
ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,100 °ซ เวลา 0.6 ชั่วโมง	 210.7 กรัม	 130.2 กรัม
ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ เวลา 0.4 ชั่วโมง	 145.0 กรัม	 85.1 กรัม

รายการ	ก่อนเผา	หลังเผา
<p>ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,000 °ซ เวลา 3.5 ชั่วโมง</p>	 <p>216.0 กรัม</p>	 <p>125.4 กรัม</p>
<p>ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,100 °ซ เวลา 1.5 ชั่วโมง</p>	 <p>349.9 กรัม</p>	 <p>188.7 กรัม</p>
<p>ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ เวลา 0.8 ชั่วโมง</p>	 <p>221.7 กรัม</p>	 <p>124.3 กรัม</p>
<p>ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,000 °ซ เวลา 7.9 ชั่วโมง</p>	 <p>547.7 กรัม</p>	 <p>298.1 กรัม</p>
<p>ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,100 °ซ เวลา 3.8 ชั่วโมง</p>	 <p>375.5 กรัม</p>	 <p>199.8 กรัม</p>





รายการ	ก่อนเผา	หลังเผา
ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ เวลา 2.0 ชั่วโมง		
	570.0 กรัม	302.7 กรัม

ก.5.2 ภาพตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บี

25 มิลลิเมตร	50 มิลลิเมตร	75 มิลลิเมตร
		
219.1 กรัม	255.8 กรัม	238.0 กรัม

รายการ	ก่อนเผา	หลังเผา
ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,000 °ซ เวลา 1.5 ชั่วโมง		
	162.9 กรัม	87.8 กรัม
ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,100 °ซ เวลา 0.6 ชั่วโมง		
	181.1 กรัม	116.3 กรัม

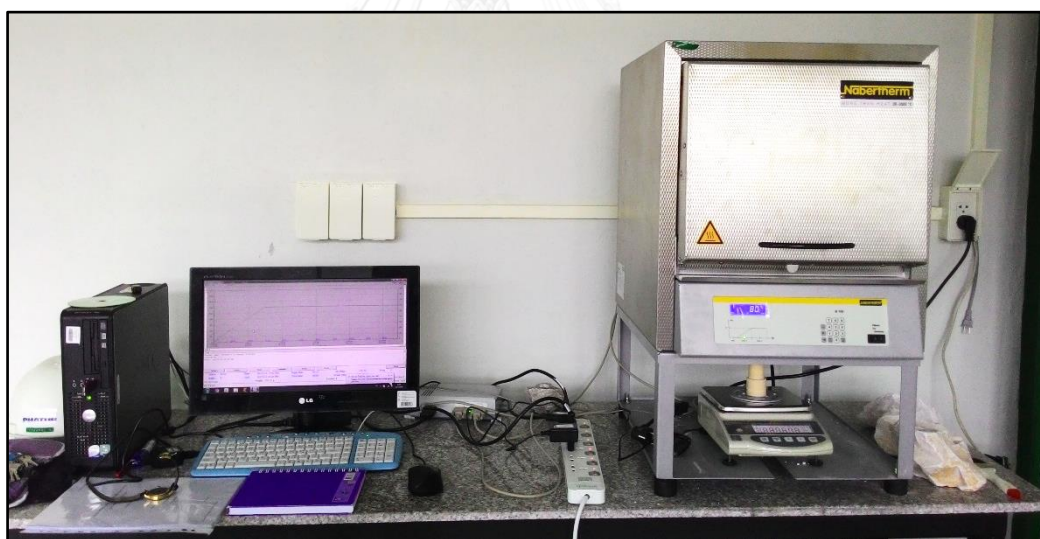
รายการ	ก่อนเผา	หลังเผา
<p>ขนาด 25 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ เวลา 0.4 ชั่วโมง</p>	 <p>136.0 กรัม</p>	 <p>80.2 กรัม</p>
<p>ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,000 °ซ เวลา 3.5 ชั่วโมง</p>	 <p>238.1 กรัม</p>	 <p>140.5 กรัม</p>
<p>ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,100 °ซ เวลา 1.5 ชั่วโมง</p>	 <p>299.2 กรัม</p>	 <p>160.2 กรัม</p>
<p>ขนาด 50 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ เวลา 0.8 ชั่วโมง</p>	 <p>195.8 กรัม</p>	 <p>104.8 กรัม</p>
<p>ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,000 °ซ เวลา 7.9 ชั่วโมง</p>	 <p>268.6 กรัม</p>	 <p>157.6 กรัม</p>

รายการ	ก่อนเผา	หลังเผา
ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,100 °ซ เวลา 3.8 ชั่วโมง	 <p>244.9 กรัม</p>	 <p>131.2 กรัม</p>
ขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ เวลา 2.0 ชั่วโมง	 <p>302.9 กรัม</p>	 <p>159.8 กรัม</p>



ก.6 ผลการศึกษาการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature Furnace) ของ Nabertherm รุ่น B180 ประเทศเยอรมนี ของบริษัท ผาตูบ จำกัด จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย

1. เตรียมตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอขนาด 25 และ 50 มิลลิเมตร มาทำการทดลอง โดยทำการสุ่มหยิบในแต่ละขนาดเพื่อนำไปทำการทดลองในขั้นตอนต่อไป
2. ชั่งตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของแต่ละขนาดที่จะนำมาทำการทดลอง บันทึกผลน้ำหนักของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา
3. ทำการเผาด้วยวิธีแคลซิเนชัน โดยกำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา 900 – 1,200 °ซ ซึ่งสามารถแบ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา คือ 900 °ซ 950 °ซ 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ โดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูงที่มีเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของ Kern รุ่น EW ประเทศเยอรมนี เชื่อมติดอยู่ พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการเผา (แสดงดังภาพที่ ก.4) ที่จะบันทึกผลน้ำหนักของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ก่อนเผา จนถึงการสิ้นสุดหลังเผา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผาทุกๆ 1 นาที เมาจนน้ำหนักของตัวอย่างแร่โดโลไมต์คงที่ เพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) สารอินทรีย์ และความชื้น



ภาพที่ ก.4 เตาเผาอุณหภูมิสูง ของ Nabertherm รุ่น B 180 ประเทศเยอรมนี พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ของบริษัท ผาตูบ จำกัด จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย

4. บันทึกผลทั้งหมดจากโปรแกรม เมื่อเผาเสร็จจะเก็บตัวอย่างแร่โดโลไมต์หลังเผาไว้ที่โถดูดความชื้น นำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของแต่ละขนาดไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) ของ Bruker AXS

รุ่น S8 Tiger (WDXRF) ประเทศเยอรมนี ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.6.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์ก่อนเผา

จากผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอก่อนเผา
ขนาด 25 และ 50 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)
ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ ก.3

ตารางที่ ก.3 ผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอก่อนเผา

ขนาดตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)		
	แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	การสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ (LOI*)
25 มิลลิเมตร	37.94	14.41	47.02
50 มิลลิเมตร	37.58	14.53	46.86

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition

จากตารางที่ ก.3 การนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอไปวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทาง
เคมีก่อนเผา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) พบว่าในตัวอย่างแร่
โดโลไมต์ของพื้นที่เอขนาด 25 และ 50 มิลลิเมตร มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 37.94
และ 37.58 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 14.41 และ 14.53 และมีค่าการสูญเสีย
น้ำหนักในการเผาไหม้อยู่ร้อยละ 47.02 และ 46.86 ตามลำดับ

ก.6.2 ผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของแร่โดโลไมต์หลังเผา

จากผลการวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอหลังเผา
ขนาด 25 และ 50 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)
ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอหลังเผา

ขนาด ตัวอย่าง	อุณหภูมิ ที่ใช้ในการเผา (°ซ)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)			ระยะเวลา ทั้งหมดที่ใช้ใน การเผา (ชั่วโมง)
		แคลเซียม ออกไซด์ (CaO)	แมกนีเซียม ออกไซด์ (MgO)	การสูญเสียน้ำหนัก ในการเผาไหม้ (LOI*)	
25 มิลลิเมตร	900	47.00	32.30	22.05	> 5:00
	950	53.80	35.50	12.42	3:35
	1,000	48.10	33.60	18.86	3.26
	1,100	*	*	*	
	1,200	*	*	*	
50 มิลลิเมตร	900	52.10	36.90	12.25	> 5:00
	950	56.50	37.90	10.16	4:33
	1,000	54.80	37.90	12.44	3:44
	1,100	49.30	33.60	18.29	2:50
	1,200	56.70	38.40	7.94	2:54

หมายเหตุ : LOI* : Loss On Ignition, * : ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอขนาด 25 มิลลิเมตร มีปริมาณไม่เพียงพอ

จากตารางที่ ก.4 การนำตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีหลังเผา ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) พบว่าในตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่เอขนาด 25 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 900 °ซ 950 °ซ และ 1,000 °ซ มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 47.00 53.80 และ 48.10 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 32.30 35.50 และ 33.60 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 22.05 12.42 และ 18.86 ตามลำดับ ส่วนขนาด 50 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 900 °ซ 950 °ซ 1,000 °ซ 1,100 °ซ และ 1,200 °ซ มีปริมาณของแคลเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 52.10 56.50 54.80 49.30 และ 56.70 มีปริมาณของแมกนีเซียมออกไซด์อยู่ร้อยละ 36.90 37.90 37.90 33.60 และ 38.40 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักในการเผาไหม้ร้อยละ 12.25 10.16 12.44 18.29 และ 7.94 ตามลำดับ

จากการวิจัยโดยใช้เตาเผาอุณหภูมิสูง ของ Nabertherm รุ่น B 180 ประเทศเยอรมนี พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการเผาตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ของบริษัท ผาตูป จำกัด จังหวัดสระบุรี ประเทศไทย เป็นเตาเผาอุณหภูมิสูงที่มีเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ของ Kern รุ่น EW ประเทศเยอรมนี เชื่อมติดอยู่ พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการเผาที่จะบันทึกผลน้ำหนักของตัวอย่างแร่ก่อนเผาจนถึงการ

สิ้นสุดหลังเผา อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการเผาทุกๆ 1 นาที เเผาจนน้ำหนักของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ คงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงสั่งหยุดการเผาที่เตาเผาได้ และการวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการที่จะศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาคล้ายคลึงกับ งานวิจัยของ Oates (1998) เปลี่ยนจากการศึกษาหินปูนเป็นแร่โดโลไมต์แทน แต่เนื่องด้วยข้อมูลที่ได้ ทำการศึกษายังไม่สมบูรณ์เพียงพอต่อสรุปผลการวิจัย และอภิปรายผล เพราะตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของ พื้นที่เอขนาด 25 และ 75 มิลลิเมตรหมดเสียก่อน เหลือเพียงแต่ตัวอย่างแร่โดโลไมต์ของพื้นที่บีที่ยัง ไม่ได้ทำการศึกษา ดังนั้นหากสามารถทำการวิจัยนี้ได้ทั้งหมดจะมีประโยชน์อย่างมาก และข้อมูลน่าจะ เห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้นกว่านี้ อีกทั้งยังสามารถกำหนดเวลาที่ใช้ในการเผาของตัวอย่างแร่โดโลไมต์ ได้ โดยไม่ต้องนำตารางการเผาของหินปูนจากงานวิจัยของ Oates (1998) มาใช้ นอกจากนี้ถ้าหากทำ การวิเคราะห์หาปริมาณความร้อน และค่าการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ โดยใช้ เครื่องดิฟเฟอร์เรนเชียลเทอร์มอล (Differential Thermal Analysis, DTA) ก่อนที่จะทำการวิจัยจะมี ประโยชน์ขึ้นมาก เพราะจะได้ทราบช่วงอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ในแร่โดโลไมต์ว่าอยู่ในช่วงระหว่างอุณหภูมิเท่าใดถึงจะเหมาะสมที่จะทำการแคลซิเนชั่น



ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข.1 ตะแกรงมาตรฐานหรือตะแกรงคัดขนาด (Sieve) (สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 2554)

ข.1.1 การวิเคราะห์ขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis)

การวิเคราะห์ขนาดด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในการแต่งแร่ เพราะแร่ที่เกิดโดยธรรมชาติทั่วไป มักมีขนาดที่จะใช้วิธีการนี้ได้ การใช้ตะแกรงจะมีปัญหาสำหรับแร่ที่มีขนาดเล็กมากๆ เนื่องจากจะเกิดการอุดตันของเม็ดแร่บนรูตะแกรง โดยเฉพาะเม็ดแร่ที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูตะแกรง การใช้ตะแกรงมาตรฐานคัดขนาดอาจใช้วิธีแห้งหรือวิธีเปียกก็ได้ ซึ่งวิธีเปียกจะเติมน้ำลงไปเพื่อช่วยให้เม็ดแร่ที่มีขนาดเล็กลอดผ่านช่องตะแกรงได้ดีกว่าแบบแห้ง

ข.1.2 ขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis)

ตะแกรงมาตรฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยเส้นลวดนำมาสานกันทำให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยม และมักบอกขนาดเป็นเมช (Mesh) ตะแกรงขนาด 10 เมช ซึ่งหมายถึงระยะความยาว 1 นิ้ว จะมีช่องรูตะแกรงจำนวน 10 ช่อง และช่องหนึ่งจะมีความกว้าง 0.1 นิ้ว หักออกด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด ดังนั้นคำว่า เมช จึงยังไม่ได้บอกขนาดที่แท้จริงของสารที่ผ่านลวดตะแกรง จนกว่าจะทราบขนาดของเส้นลวดที่โรงงานต่างๆ นำมาใช้สานทำตะแกรง วิธีง่ายๆ วิธีหนึ่งที่จะทราบขนาดของช่องตะแกรงเป็นเมช คือ เมื่อทราบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวด และช่องว่าง (หน่วยเป็นนิ้ว) แล้วนำตัวเลขทั้งสองมารวมกันแล้วนำไปหาร 1 ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นเมช เช่น ตะแกรงมีช่องว่าง 0.0015 นิ้ว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดเท่ากับ 0.0010 นิ้ว เมื่อนำมารวมกันจะได้ 0.0025 นิ้ว เมื่อนำไปหาร 1 จะได้ 400 คือ ขนาดของตะแกรงนั้นเป็น 400 เมช

ตะแกรงมาตรฐานที่นิยมใช้ได้แก่ 1) ตะแกรงแบบอังกฤษ (British Standard) 2) ตะแกรงแบบไทเลอร์ (Tyler Standard) และ 3) ตะแกรงแบบอเมริกัน (ASTM) แสดงดังภาพที่ ข.1

ข.1.2 การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐาน (Sieve Analysis)

การคัดขนาดด้วยตะแกรงมาตรฐานนี้ทำได้โดยการนำแร่ไปผ่านตะแกรง (Sieve) ที่มีขนาดต่างๆ กัน การคัดขนาดโดยใช้มือ (Hand Sieving) อาจใช้คัดขนาดแร่ซึ่งต้องการคัดขนาดเพียงขนาดเดียวหรือ 2 – 3 ขนาด (แสดงดังภาพที่ ข.2) แต่ถ้าหากต้องการคัดออกมามากๆ ขนาดก็ต้องวางชุดตะแกรง (Stack of Sieves) เป็นหลายๆ ชั้น ซึ่งการคัดขนาดแบบนี้โดยไม่ใช้เครื่องมือช่วยเลยนั้นจะต้องใช้เวลาาน และผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นจึงควรใช้เครื่องคัดขนาดแบบสั่น (Sieve Shaker) (แสดงดังภาพที่ ข.3) โดยนำเอาชุดของตะแกรงซึ่งมีขนาดต่างๆ มาเขย่าบนเครื่องมือช่วยให้ตะแกรงเคลื่อนไหวหรือสั่นจะช่วยให้การร่อนมีประสิทธิภาพดีขึ้น และในเวลาที้น้อยลง แต่จะต้องไม่ใช่ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่งๆ เพราะจะทำให้เม็ดแร่ไปอุดตันตามช่องหรืออาจทำให้เกิด

ไฟฟ้าสถิตย์ และเม็ดแร่วรวมตัวเป็นก้อนทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ผิดไป และความชื้นในเม็ดแร่ต้องทำให้มีน้อยที่สุด

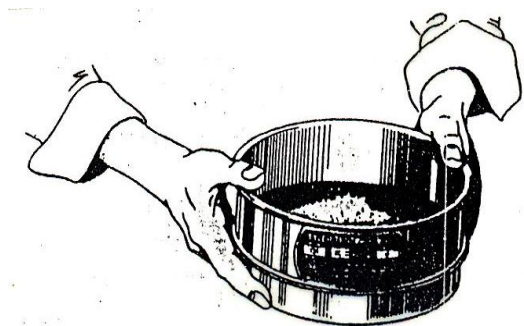
Comparison Table of U. S. A., Tyler, Canadian, British, French, and German Standard Sieve Series

U.S.A. (1)		TYLER (2)	CANADIAN (3)		BRITISH (4)		FRENCH (5)		GERMAN (6)
*Standard	Alternate	Mesh Designation	Standard	Alternate	Nominal Aperture	Nominal Mesh No.	Opp. M.M.	No.	Opp.
125 mm	5"		125 mm	5"					
106 mm	4.24"		106 mm	4.24"					
100 mm	4"		100 mm	4"					
90 mm	3 1/2"		90 mm	3 1/2"					
75 mm	3"		75 mm	3"					
63 mm	2 1/2"		63 mm	2 1/2"					
53 mm	2.12"		53 mm	2.12"					
50 mm	2"		50 mm	2"					
45 mm	1 3/4"		45 mm	1 3/4"					
37.5 mm	1 1/2"		37.5 mm	1 1/2"					
31.5 mm	1 1/4"		31.5 mm	1 1/4"					
26.5 mm	1.06"	1.05"	26.5 mm	1.06"					25.0 mm
25.0 mm	1"		25.0 mm	1"					
22.4 mm	7/8"	.883"	22.4 mm	7/8"					20.0 mm
19.0 mm	3/4"	.742"	19.0 mm	3/4"					
16.0 mm	5/8"	.624"	16.0 mm	5/8"					18.0 mm
13.2 mm	.530"	.525"	13.2 mm	.530"					16.0 mm
12.5 mm	1/2"		12.5 mm	1/2"					12.5 mm
11.2 mm	1/4"	.441"	11.2 mm	1/4"					
9.5 mm	3/8"	.371"	9.5 mm	3/8"					10.0 mm
8.0 mm	2 1/4"		8.0 mm	2 1/4"					8.0 mm
6.7 mm	.265"	3	6.7 mm	.265"					6.3 mm
6.3 mm	1/4"		6.3 mm	1/4"					
5.6 mm	No. 3 1/2	3 1/2	5.6 mm	No. 3 1/2			5.000	38	5.0 mm
4.75 mm	4	4	4.75 mm	4			4.000	37	4.0 mm
4.00 mm	5	5	4.00 mm	5	3.35 mm	5			
3.35 mm	6	6	3.35 mm	6			3.150	36	3.15 mm
2.80 mm	7	7	2.80 mm	7	2.80 mm	6			
2.36 mm	8	8	2.36 mm	8	2.40 mm	7	2.500	35	2.5 mm
2.00 mm	10	9	2.00 mm	10	2.00 mm	8	2.000	34	2.0 mm
1.70 mm	12	10	1.70 mm	12	1.68 mm	10	1.600	33	1.6 mm
1.40 mm	14	12	1.40 mm	14	1.40 mm	12			
1.18 mm	16	14	1.18 mm	16	1.20 mm	14	1.250	32	1.25 mm
1.00 mm	18	16	1.00 mm	18	1.00 mm	16	1.000	31	1.0 mm
850 μm	20	20	850 μm	20	850 μm	18			
710 μm	25	24	710 μm	25	710 μm	22	.800	30	800 μm
600 μm	30	28	600 μm	30	600 μm	25	.630	29	630 μm
500 μm	35	32	500 μm	35	500 μm	30	.500	28	500 μm
425 μm	40	35	425 μm	40	420 μm	36			
355 μm	45	42	355 μm	45	355 μm	44	.400	27	400 μm
300 μm	50	48	300 μm	50	300 μm	52	.315	26	315 μm
250 μm	60	60	250 μm	60	250 μm	60	.250	25	250 μm
212 μm	70	65	212 μm	70	210 μm	72			
180 μm	80	80	180 μm	80	180 μm	85	.200	24	200 μm
150 μm	100	100	150 μm	100	150 μm	100	.160	23	160 μm
125 μm	120	115	125 μm	120	125 μm	120			
106 μm	140	150	106 μm	140	105 μm	150	.125	22	125 μm
90 μm	170	170	90 μm	170	90 μm	170	.100	21	100 μm
75 μm	200	200	75 μm	200	75 μm	200	.080	20	80 μm
63 μm	230	250	63 μm	230	63 μm	240	.063	19	71 μm
53 μm	270	270	53 μm	270	53 μm	300			63 μm
45 μm	325	325	45 μm	325	45 μm	350			56 μm
38 μm	400	400	38 μm	400			.050	18	50 μm
							.040	17	45 μm
									40 μm

(1) U.S.A. Sieve Series - ASTM Specification E-11-70
 (2) Tyler Standard Screen Scale Sieve Series.
 (3) Canadian Standard Sieve Series 8-GP-1d.
 (4) British Standards Institution, London BS-410-62.
 (5) French Standard Specifications, AFNOR X-11-501.
 (6) German Standard Specification DIN 4183.

*These sieves correspond to those recommended by ISO (International Standards Organization) as an International Standard and this designation should be used when reporting sieve analysis intended for international publication.

ภาพที่ ข.1 การเปรียบเทียบขนาดตะแกรงมาตรฐานแบบต่างๆ (สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 2554)



ภาพที่ ข.2 การคัดขนาดโดยใช้มือ (สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 2554)



ภาพที่ ข.3 เครื่องคัดขนาดแบบสั่น (สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, 2554)

ตะแกรงคัดขนาด (Sieve) ที่ใช้คัดขนาดจะติดอยู่กับส่วนล่างของโลหะทองเหลืองรูปกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ ไปที่ใช้ประมาณ 8 นิ้ว สูงประมาณ 2 นิ้ว ตะแกรงชุดที่จะประกอบไปด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ มีฝาปิดครอบตะแกรงชั้นบนสุด และชั้นล่างสุดจะมีแพน (Pan) รองรับ แพนมีรูปร่างลักษณะคล้ายกับตะแกรงทุกๆ ไป แต่ข้างล่างแทนที่จะมีลวดเป็นตะแกรงกลับเป็นโลหะทึบสำหรับรองรับที่ผ่านตะแกรงชั้นเหนือกว่าไว้ หลังจากการคัดขนาดจะมีแร่ค้างอยู่บนตะแกรง เรียกว่า แร่โตเกินขนาด (Oversize) ส่วนแร่ที่เล็กเกินขนาด (Undersize) จะลอดผ่านช่องตะแกรงไปได้

สิ่งที่ควรระวังในการคัดขนาดคือ อย่าใช้ตัวอย่างมากเกินไปในการทดลองครั้งหนึ่งเพราะเม็ดแร่จะเกิดการอุดตันในรูตะแกรงมาก และอาจจะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะทำให้แร่เม็ดเล็กๆ เกิดรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ผิดไป นอกจากนี้ความชื้นจะต้องมีน้อยที่สุด

ข.3 เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature Furnace)

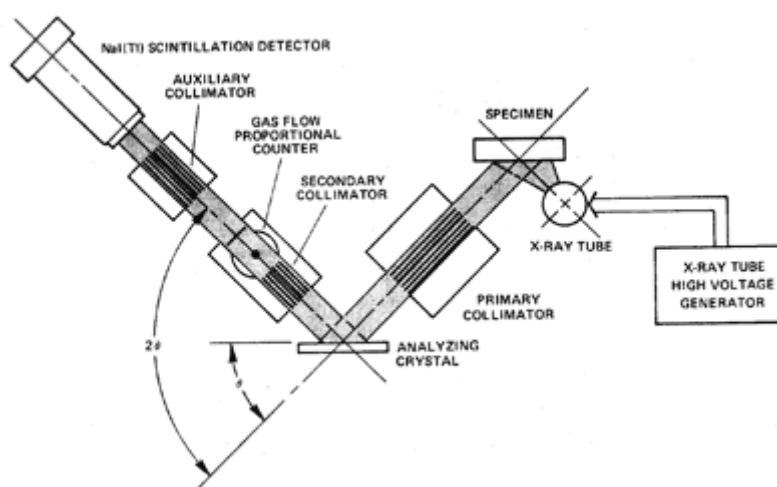
เตาเผาอุณหภูมิสูง (High temperature Furnace) เป็นเครื่องมือที่จำเป็น และสำคัญมากในปัจจุบัน ทำหน้าที่ให้ความร้อนเพื่อเปลี่ยนสถานะภาพผลิตภัณฑ์ทั้งด้านเคมี และกายภาพ เตาเผาอุณหภูมิสูงที่ใช้กันในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้เหมาะสมกับความต้องการ มีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเชื้อเพลิง ควบคุมสะดวกปลอดภัย มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันไป (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525)

เตาเผาอุณหภูมิสูงจะออกแบบขึ้นเพื่อให้เหมาะกับการใช้ระบบไฟฟ้าที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป จะเป็นการใช้ไฟแบบเฟสเดียว (Single Phase) ส่วนไฟที่ใช้ในระบบโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะใช้ระบบไฟแบบสามเฟส (Three Phase) ซึ่งเตาเผาไฟฟ้าในปัจจุบันที่ใช้กันอยู่ตามสถานศึกษาหรือตามโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่จะใช้ระบบไฟแบบสามเฟส (Three Phase) เพราะเตาเผาจะใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าปกติของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทั่วไป เตาเผาไฟฟ้าเป็นเตาที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะใช้สะดวก ควบคุมง่าย ไม่มีเสียงรบกวน และมีความปลอดภัยสูง เตาเผาไฟฟ้าที่ใช้จะมีขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ โดยใช้ขดลวดความร้อนเป็นตัวแผ่รังสี ความร้อนอยู่ภายในเตาที่มีผนังอิฐทนไฟเป็นตัวรองรับอยู่โดยรอบเตา ดังนั้นการให้ความร้อนของเตาไฟฟ้าจึงไม่มีเปลวไฟ เขม่า คิว้น หรือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) เกิดขึ้น จึงทำให้บรรยากาศการเผาของเตาไฟฟ้าเป็นแบบออกซิเดชัน (Oxidation) คือ การเผาโดยสมบูรณ์ เตาเผาไฟฟ้าสามารถเผาได้ทั้งอุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูงขึ้นอยู่กับการควบคุมการเผาตามอุณหภูมิที่ต้องการโดยไม่เกินจากอุณหภูมิที่กำหนดไว้ตามข้อจำกัดประสิทธิภาพของเตาที่มีอยู่ (สมศักดิ์ ขวาลาวัญ, 2549)

ข.3 เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF)

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-Ray Fluorescence, XRF) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูง และใช้กันอย่างแพร่หลายในการ วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ของตัวอย่างชนิดต่างๆ เช่น หินและสารประกอบที่ความปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม งานการวิเคราะห์เชื้อเพลิง และวัตถุโบราณ งานศึกษาซากของเสียอุตสาหกรรม งานวิเคราะห์หาสารปนเปื้อนในการผลิตปูนซีเมนต์ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ปริมาณเป็นพีพีเอ็ม (ppm) จนถึงเปอร์เซ็นต์ของธาตุเบริลเลียมไปจนถึงยูเรเนียม โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยมากในระดับนาที่ อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างโดยไม่ทำให้ตัวอย่างเสียหายได้ (non-destructive analysis) แต่ถ้าต้องการได้ผลวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงก็สามารถทำได้ โดยมีการเตรียมตัวอย่างก่อน เช่น บด และอัดแผ่นหรือนำมาหลอมเป็นแผ่น (ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการสารและของเสียอันตราย, 2559)

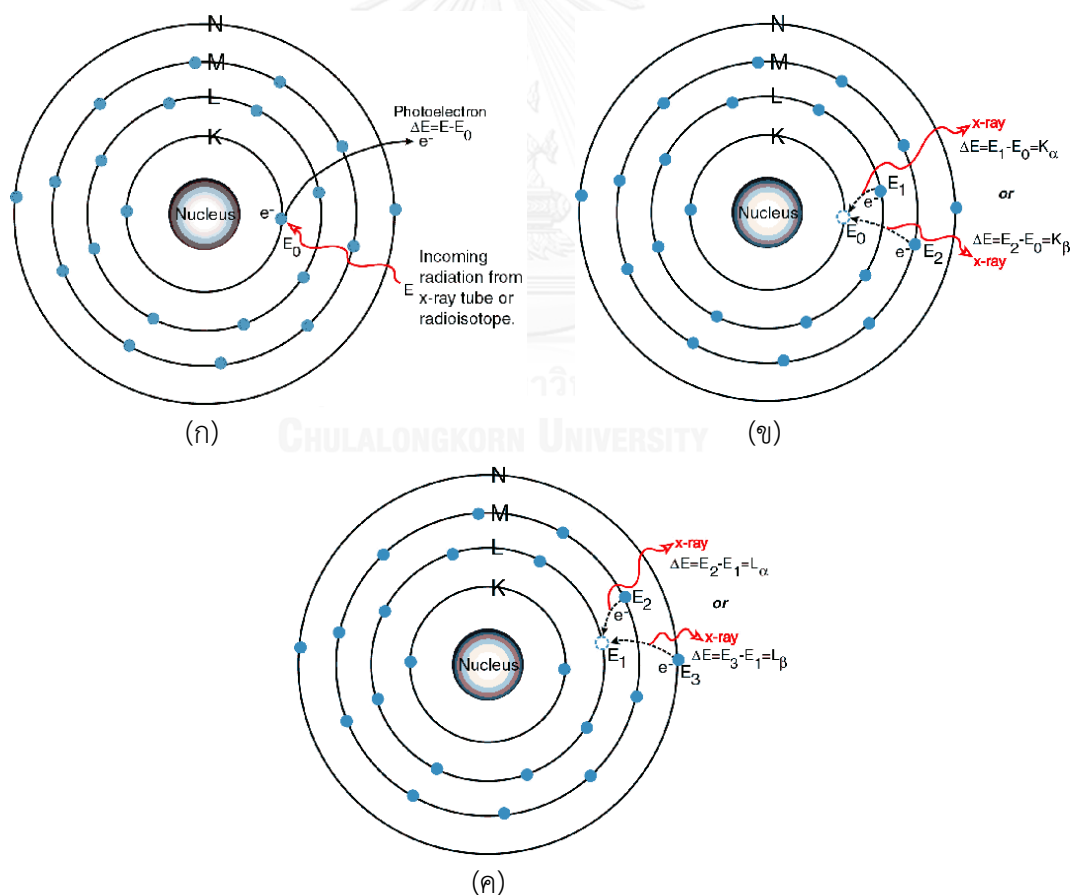
โดยทั่วไปเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดรังสี (X-Ray Tube) และเครื่องตรวจจับรังสีเอ็กซ์จะเกิดขึ้นเมื่อ X-Ray Tube เร่ง อิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงพุ่งเข้าชนกับเป้าโลหะแล้วให้รังสีเอ็กซ์ที่มีความเข้มสูงออกมา ทั้งนี้การเลือกชนิดของเป้าขึ้นกับตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ซึ่งโดยทั่วไปจะ ใช้ทั้งสแตน โรเดียม โมลิบดีนัม หรือโครม ส่วนไอโซโทปกัมมันตรังสีที่นิยมใช้เป็นแหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ Fe-55, Co-57, Cd-109 และ Am-241 เครื่องตรวจจับแบบสถานะของแข็ง (Solid-State) เหมาะสำหรับการตรวจจับรังสีเอ็กซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากอะตอมของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็น Si(Li) และ HPGe ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิไนโตรเจนเหลว (นงภัส โฆษวิทกุล, 2555)



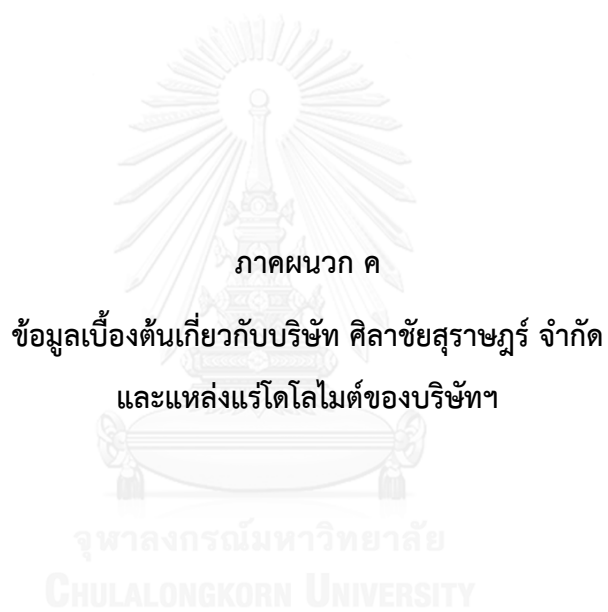
ภาพที่ ข.8 หลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (Archaeometry Laboratory, 2015)

หลักการการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเครื่องเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ คือ เมื่ออะตอมของธาตุถูกกระตุ้นจากพลังงานภายนอก เป็นเหตุให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานหนึ่งหลุดออกเป็นอิเล็กตรอนอิสระ (แสดงดังภาพที่ ข.9 (ก)) ทำให้อิเล็กตรอนในวงนั้นว่างลงเป็นเหตุให้อิเล็กตรอนวงถัดมาต้องกระโดดเข้ามาแทนที่ (แสดงดังภาพที่ ข.9 (ข)) ในขณะที่อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับชั้นจะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอ็กซ์ (แสดงดังภาพที่ ข.9 (ข) - (ค)) ซึ่งเป็นพลังงานเฉพาะตัวของแต่ละธาตุ ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์นั้นมีธาตุอะไรเป็นองค์ประกอบบ้าง (Syntech, 2010)

การคำนวณค่าความยาวคลื่น (wavelength, λ) ของรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์จากสารตัวอย่าง จะทำได้โดยแทนค่าในสมการ $n\lambda = 2d \sin \theta$ ค่าความยาวคลื่นที่คำนวณได้จะสามารถชี้บอกได้ว่ารังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่างประกอบด้วยธาตุใดบ้าง เทคนิคการวิเคราะห์นี้ เรียกว่า การกระจายความยาวคลื่น (Wavelength dispersive XRF, WDXRF)



ภาพที่ ข.9 ขั้นตอนการเกิดรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ของสารตัวอย่าง (Amptek, 2016)



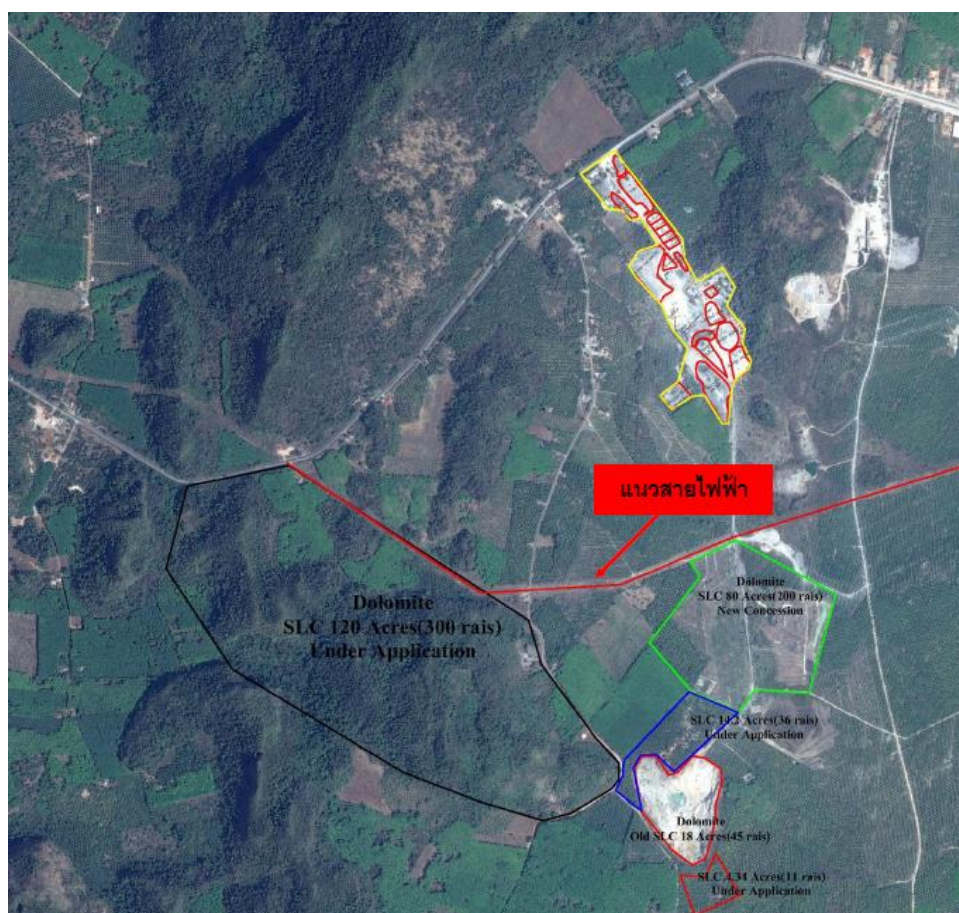
ภาคผนวก ค

ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด
และแหล่งแร่โดโลไมต์ของบริษัทฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ค.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด และแหล่งแร่โดโลไมต์ของบริษัทฯ

บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด มีสำนักงานตั้งอยู่เลขที่ 478 ถนนรัชดาภิเษก แขวงสามเสนนอก เขตห้วยขวาง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10310 มีสถานที่ตั้งโรงแต่งแร่ตั้งอยู่ที่ 331 ถนนธราธิบดี ตำบลท่าข้าม อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84130 โดยมีแผนที่แสดงพื้นที่แหล่งแร่โดโลไมต์ สถานที่แต่งแร่ และเขตแต่งแร่กับบริเวณใกล้เคียง แสดงดังภาพที่ ค.1



ภาพที่ ค.1 แผนที่ของพื้นที่แหล่งแร่โดโลไมต์ สถานที่แต่งแร่ และเขตแต่งแร่กับบริเวณใกล้เคียง

แร่โดโลไมต์ที่นำมาทำกรรมวิธีการแต่งแร่ เป็นแร่จากเหมืองแปลงประทานบัตรเลขที่ 30160/16062 (สฎ57/2538) ตั้งอยู่ที่ 57 หมู่ 7 ตำบลบ้านท่าเนียน อำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84180 ซึ่งเป็นของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด มีเนื้อที่ทั้งหมด 221 ไร่ 1 งาน 74 ตารางวา แสดงดังภาพที่ ค.2



ภาพที่ ค.2 แผนที่สถานที่แต่งแร่โดโลไมต์ และเขตแต่งแร่กับบริเวณใกล้เคียง

การทำเหมืองของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จะเป็นการทำเหมืองเปิด (Open Pit Mine) หรือเหมืองหาบ คือ เปิดหน้าดินเข้าไปโดยมักจะทำทางเข้าหาแร่ และขนแร่แบบขั้นบันได (Benching Method) หรือทำเป็นบ่อ โดยจะทำการเปิดหน้าดิน และระเบิดหน้าเหมืองเพื่อให้ได้แร่โดโลไมต์ที่ต้องการ (แสดงดังภาพที่ ค.3) จากนั้นจะใช้รถบรรทุกเทท้าย (Dump truck) ขนแร่โดโลไมต์มากองรวมไว้ที่โรงแต่งแร่ เพื่อรอการเข้าสู่กรรมวิธีการแต่งแร่โดโลไมต์ ในการแต่งแร่โดโลไมต์จะมีขั้นตอนการทำงานหลักๆ สำคัญ คือ 1) การบดหยาบ (Crushing) 2) การบดละเอียด (Grinding) และ 3) การคัดขนาด (Screen) จากนั้นจะเก็บกองไว้เป็นขนาดต่างๆ เพื่อรอการจัดจำหน่ายต่อไป (แสดง

ดังภาพที่ ค.4) ในการจำหน่ายจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ 1) ซื่อขายกันหน้าโรงงาน ราคาประมาณ 90 – 200 บาทต่อตัน และ 2) ซื่อขายกันที่ท่าเรือ จังหวัดกระบี่ ราคาประมาณ 280 – 350 บาทต่อตัน



ภาพที่ ค.3 การระเบิดหน้าเหมืองแร่โดโลไมต์ และการขุดขนแร่โดโลไมต์ที่ได้หลังจากการระเบิดหน้าเหมืองแร่โดโลไมต์



ภาพที่ ค.4 การขนส่งแร่โดยใช้รถบรรทุกเทท้าย และการผลิตแร่โดโลไมต์โดยวิธีทางกายภาพของ บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด



ภาพที่ ค.5 แผนที่ระยะทางการขนส่งแร่โดโลไมต์จากบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี มายังท่าเรือ จังหวัดกระบี่



ภาคผนวก ง

ข้อมูลแบบจำลองการคิดลดกระแสเงินสดของการเพิ่มมูลค่าแร่โตโลไมต์
ของบริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ง.1 สมมติฐานการลงทุนของกรณีศึกษาพื้นฐานของโครงการ

ง.1.1 ข้อมูลทั่วไปในการผลิตแรโดโลไมต์ชนิดเผาสุก

ขาป้อนแรโดโลไมต์เข้า

ปริมาณแรโดโลไมต์ (แรป้อน)	12.5	ตันต่อชั่วโมง
เครื่องจักรทำงาน 24 ชั่วโมง	300	ตันต่อวัน
ทำงาน 25 วันต่อเดือน	7,500	ตันต่อเดือน
	90,000	ตันต่อปี
อายุการทำงานของเหมือง	10	ปี
ร้อยละค่าการสูญเสียพลังงาน	0.53	Yield

ขาออกของแรโดโลไมต์ชนิดเผาสุก

ปริมาณแรโดโลไมต์ชนิดเผาสุกที่ได้จริง	6.6	ตันต่อชั่วโมง
เครื่องจักรทำงาน 24 ชั่วโมง	158.27	ตันต่อวัน
ทำงาน 25 วันต่อเดือน	3,956.75	ตันต่อเดือน
	47,481	ตันต่อปี

ง.1.2 ค่าใช้จ่ายลงทุนเบื้องต้น (Capital Expenditure, CAPEX)

ตารางที่ ง.1 เงินลงทุนในสินทรัพย์ระยะยาว

รายการ	บาท	อายุการใช้งาน
เครื่องจักร และอุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย	42,000,000	10
- ยู้งป้อนแร่ (Hopper)		
- กะพ้อลำเลียง (Bucket Elevator)		
- เครื่องอุ่นความร้อน (Preheater)		
- ระบบกำจัดฝุ่น (Scrubber)		
- เตาเผาแบบหมุน 2.8 x 44 เมตร (Rotary Kiln)		
- เครื่องทำความร้อน (Cooler)		
- สายพานลำเลียง (Belt conveyor)		
- กะพ้อลำเลียง (Bucket Elevator)		
- ถังบรรจุขนาดใหญ่ (Silo)		
รวมทั้งชุด	42,000,000	10

ตารางที่ ง.2 ค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินงาน (Capital Expenditure, CAPEX)

รายการ	บาท
ค่าติดตั้งเครื่องจักร (ร้อยละ 17 ของราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก)	7,140,000
ระบบไฟรวมติดตั้ง (ร้อยละ 13 ของราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก)	5,460,000
ค่าเผื่อขาด (ร้อยละ 10 ของราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก)	4,200,000
รวม	16,800,000

ตารางที่ ง.3 เงินทุนหมุนเวียน (Working capital)

รายการ	บาท
เงินทุนหมุนเวียน	8,000,000
รวม	8,000,000

ตารางที่ ง.4 แหล่งเงินทุน (Source of investment fund)

รายการ	บาท
เงินลงทุนของเจ้าของกิจการทั้งหมด	66,800,000
รวม	66,800,000

ตารางที่ ง.5 รายได้ (Revenue)

รายการ		หน่วย
ราคาแร้โดไลต์ชนิดเผาสุก	3,500	บาทต่อตัน
	553,945	บาทต่อวัน
	13,848,630	บาทต่อเดือน
	166,183,559	บาทต่อปี

ง.1.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expense, OPEX)

ตารางที่ ง.6 ค่าจ้างแรงงาน

ค่าจ้างแรงงาน	จำนวน	บาทต่อหน่วย	บาทต่อเดือน	บาทต่อปี
ผู้จัดการโรงงาน	1	50,000	50,000	600,000
วิศวกร	2	30,000	60,000	720,000
คนงาน	9	9,000	81,000	972,000
ฝ่ายบัญชี	1	18,000	18,000	216,000
ฝ่ายขาย	1	18,000	18,000	216,000
ฝ่ายการตลาด	1	18,000	18,000	216,000
ผู้รักษาความปลอดภัย	1	9,000	9,000	108,000
แม่บ้าน	1	9,000	9,000	108,000
ช่างเทคนิค	1	20,000	20,000	240,000
หัวหน้าคนงาน	1	20,000	20,000	240,000
รวม			303,000	3,636,000

ตารางที่ ง.7 ค่าใช้จ่ายในการขนส่งแร่ และผลิตแร่

รายการ	บาทต่อตัน	บาทต่อเดือน	บาทต่อปี
ค่าแร่โดโลไมต์ที่ส่งถึงโรงแต่งแร่	120	900,000	10,800,000
ค่าเช่ารถตักล้อยาง (Wheel Loader)	10	75,000	900,000
ค่าขนส่งแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุกจากโรงแต่งไปท่าเรือเพื่อขาย	180	712,215	8,546,583.03
ค่าเชื้อเพลิง NGV (13.47 บาทต่อกิโลกรัม)	1,409.33	5,576,362	66,916,346.70
รวม		1,687,215	87,162,930

ตารางที่ ง.8 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ

รายการ	บาทต่อปี
ค่าบำรุงรักษา (ร้อยละ 2 ของค่าใช้จ่ายลงทุน)	1,336,000
ค่าธรรมเนียมต่างๆ (ร้อยละ 1 ของรายได้จากการขาย)	1,661,836
ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ (ร้อยละ 0.5 ของค่าใช้จ่ายลงทุน)	334,000
รวม	3,331,836

ตารางที่ ง.9 ค่าไฟฟ้าของเครื่องจักร และอุปกรณ์หลัก

รายการ	กำลัง	หน่วย	กำลัง	หน่วย
ขึงป้อนแร่ (Hopper)	5	แรงม้า	3.73	กิโลวัตต์
กะพ้อลำเลียง (Bucket Elevator)	20	แรงม้า	14.92	กิโลวัตต์
เครื่องอุ่นความร้อน (Preheater)	50	แรงม้า	37.30	กิโลวัตต์
ระบบกำจัดฝุ่น (Scrubber)	50	แรงม้า	37.30	กิโลวัตต์
เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln)	50	แรงม้า	37.30	กิโลวัตต์
เครื่องทำความร้อน (Cooler)	50	แรงม้า	37.30	กิโลวัตต์
สายพานลำเลียง (Belt Conveyor)	20	แรงม้า	14.92	กิโลวัตต์
กะพ้อลำเลียง (Bucket Elevator)	20	แรงม้า	14.92	กิโลวัตต์
ถังบรรจุขนาดใหญ่ (Silo)				
			198	กิโลวัตต์
รวม			4,554,777	บาทต่อปี

ตารางที่ ง.10 เงินค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

รายการ	บาทต่อปี
เงินค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	95,049,543
รวม	95,049,543

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของราคาแร่โพลีเมตชนิดเผาสุก 3,500 บาทต่อตัน

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
ค่าได้ขายในภาค	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	950,495,429
ค่าแรงงาน	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	36,360,000
ค่าเงินเพื่อ (เก็บขึ้นร้อยละ 5 ต่อปี)	100	105	110	116	122	128	134	141	148	155	163	
ค่าแรงงาน เมื่อคิดภาวะเงินเฟ้อ	3,817,800	4,008,690	4,209,125	4,419,581	4,640,560	4,872,588	5,116,217	5,372,028	5,640,629	5,922,661	6,214,978	48,019,878
ค่าได้งานวัสดุและการบริหาร (ร้อยละ 30 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	1,145,340	1,202,607	1,262,737	1,325,874	1,392,168	1,461,776	1,534,865	1,611,608	1,692,189	1,776,798	1,863,963	14,405,963
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ (ร้อยละ 10 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	381,780	400,869	420,912	441,958	464,056	487,259	511,622	537,203	564,063	592,266	620,988	4,801,988
รวม OPEX	100,394,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	103,745,259	1,017,723,259

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
เครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก	42,000,000											
เงินทุนหมุนเวียน	8,000,000											
รวมค่าใช้จ่ายลงทุน	16,800,000											
รวม CAPEX (บาทต่อตัน)	66,800,000											
ราคาขายแร่โพลีเมตชนิดเผาสุก (บาทต่อตัน)	3,500											
ปริมาณแร่โพลีเมตชนิดเผาสุกที่จัดซื้อ (ตันต่อปี)	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	474,810
รายได้แร่โพลีเมตชนิดเผาสุก (บาทต่อปี)	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	166,183,559	1,661,835,589
ค่าภาคหลวงของโพลีเมต (บาทต่อตัน)	22	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	10,445,846
ค่าภาคหลวงและการขาย (ร้อยละ 10)	0.1	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	16,618,356	166,183,559
รวมค่าใช้จ่ายจากการขาย	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	17,662,938	176,629,383
รวมรายได้	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	148,520,621	1,493,206,207
ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
OPEX (บาทต่อปี)	117,194,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	103,745,259	1,034,523,259
ค่าเสื่อม (Depreciation)	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	42,000,000
รายได้ก่อนภาษี (Income before tax)	27,126,158	43,658,912	43,378,303	43,083,665	42,774,294	42,449,455	42,108,374	41,750,239	41,374,197	40,979,353	40,568,948	416,682,948
ภาษี 30%	8,137,847	13,097,674	13,013,491	12,925,099	12,832,288	12,734,836	12,632,512	12,525,072	12,412,259	12,294,806	12,172,885	125,004,885
รายได้หลังหักภาษี (Income after tax)	18,988,310	30,561,238	30,364,812	30,158,565	29,942,006	29,714,618	29,475,862	29,225,167	28,961,938	28,684,547	28,396,063	291,678,063
กระแสเงินสด (Cash flow)	(66,800,000)	39,988,310	34,761,238	34,564,812	34,358,565	34,142,006	33,914,618	33,675,862	33,425,167	33,161,938	32,884,547	283,678,064
รวม	66,800,000	39,988,310	74,749,569	109,314,361	143,672,926	177,814,932	211,729,551	245,405,412	278,830,579	311,992,517	350,478,064	

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของราคาแร่โพลีเมตชนิดเผาสุก 3,150 บาทต่อตัน

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
ค่าใช้จ่ายในการจัดหา	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	950,495,429
ค่าแรงงาน	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	36,360,000
ค่าเงินเพื่อ (เก็บคืนร้อยละ 5 ต่อปี)	100	105	110	116	122	128	134	141	148	155	163	
ค่าแรงงาน เมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ	3,817,800	4,008,690	4,209,125	4,419,581	4,640,560	4,872,588	5,116,217	5,372,028	5,640,629	5,922,661	6,214,978	48,019,878
ค่าใช้จ่ายวัสดุและการบริหาร (ร้อยละ 30 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	1,145,340	1,202,607	1,262,737	1,325,874	1,392,168	1,461,776	1,534,865	1,611,608	1,692,189	1,776,798	1,863,963	14,405,963
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ (ร้อยละ 10 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	381,780	400,869	420,912	441,958	464,056	487,259	511,622	537,203	564,063	592,266	620,000	4,801,988
รวม OPEX	100,394,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	103,745,000	1,017,723,259

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
เครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก	42,000,000											
เงินทุนหมุนเวียน	8,000,000											
รวมค่าใช้จ่ายลงทุนตั้ง	16,800,000											
รวม CAPEX (บาทต่อตัน)	66,800,000											
ราคาขายแร่โพลีเมตชนิดเผาสุก (บาทต่อตัน)	3,150											
ปริมาณแร่โพลีเมตที่ได้จริง (ตันต่อปี)		47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	474,810
รายได้แร่โพลีเมตชนิดเผาสุก (บาทต่อปี)		149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	149,565,203	1,495,652,030
ค่าภาคหลวงของโพลีเมต (บาทต่อตัน)	22	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	10,445,846
ค่าการตลาดและการขาย (ร้อยละ 10)	0.1	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	14,956,520	149,565,203
รวมค่าใช้จ่ายจากการขาย		16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	16,001,103	160,011,027
รวมรายได้		133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	133,564,100	1,343,641,004
OPEX (บาทต่อตัน)		117,194,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	1,034,523,259
ค่าเสื่อม (Depreciation)		4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	42,000,000
รายได้ก่อนหักภาษี (Income before tax)		12,169,637	28,702,391	28,421,783	28,127,144	27,817,774	27,492,935	27,151,853	26,793,718	26,417,676	34,022,832	267,117,745
ภาษี 30%	0.3	3,650,891	8,610,717	8,526,535	8,438,143	8,345,332	8,247,880	8,145,556	8,038,115	7,925,303	10,206,850	80,135,324
รายได้หลังหักภาษี (Income after tax)		8,518,746	20,091,674	19,895,248	19,689,001	19,472,442	19,245,054	19,006,297	18,755,603	18,492,373	23,815,983	186,982,422
กระแสเงินสด (Cash flow)	(66,800,000)	29,518,746	24,291,674	24,095,248	23,889,001	23,672,442	23,445,054	23,206,297	22,955,603	22,692,373	28,015,983	178,982,422
	66,800,000	29,518,746	53,810,420	77,905,668	101,794,670	125,467,111	148,912,165	172,118,463	195,074,066	217,766,439	245,782,422	

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของราคาแร่โพลีเมตชนิดเผาสุก 2,800 บาทต่อตัน

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
ค่าได้ขายในภาค	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	950,495,429
ค่าแรงงาน	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	36,360,000
ค่าเงินเพื่อ (เก็บคืนร้อยละ 5 ต่อปี)	100	105	110	116	122	128	134	141	148	155	163	
ค่าแรงงาน เมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ	3,817,800	4,008,690	4,209,125	4,419,581	4,640,560	4,872,588	5,116,217	5,372,028	5,640,629	5,922,661	6,214,978	48,019,878
ค่าได้จากรัฐอุดหนุนและการบริหาร (ร้อยละ 30 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	1,145,340	1,202,607	1,262,737	1,325,874	1,392,168	1,461,776	1,534,865	1,611,608	1,692,189	1,776,798	1,863,963	14,405,963
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ (ร้อยละ 10 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	381,780	400,869	420,912	441,958	464,056	487,259	511,622	537,203	564,063	592,266	620,488	4,801,988
รวม OPEX	100,394,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	103,745,916	1,017,723,259

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
เครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก	42,000,000											
เงินทุนหมุนเวียน	8,000,000											
รวมค่าใช้จ่ายลงทุนตั้ง	16,800,000											
รวม CAPEX (บาทต่อตัน)	66,800,000											
ราคาขายแร่โพลีเมตชนิดเผาสุก (บาทต่อตัน)												
ปริมาณแร่โพลีเมตชนิดเผาสุกที่ได้รับ (ตันต่อปี)	2,800	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	474,810
รายได้แร่โพลีเมตชนิดเผาสุก (บาทต่อปี)		132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	132,946,847	1,329,468,471
ค่าภาคหลวงของโพลีเมต (บาทต่อตัน)	22	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	10,445,846
ค่าการตลาดและการขาย (ร้อยละ 10)	0.1	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	13,294,685	132,946,847
รวมค่าใช้จ่ายจากการขาย		14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	14,339,267	143,392,671
รวมรายได้		118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	118,607,580	1,194,075,801
OPEX (บาทต่อตัน)		117,194,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	1,034,523,259
ค่าเสื่อม (Depreciation)		4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	42,000,000
รายได้ก่อนหักภาษี (Income before tax)		(2,786,883)	13,745,871	13,465,263	13,170,624	12,861,253	12,536,414	12,195,333	11,837,198	11,461,156	11,066,312	117,552,542
ภาษี 30%	0.3	(836,065)	4,123,761	4,039,579	3,951,187	3,858,376	3,760,924	3,658,600	3,551,159	3,438,347	3,319,894	35,265,763
รายได้หลังหักภาษี (Income after tax)		(1,950,818)	9,622,110	9,425,684	9,219,437	9,002,877	8,775,490	8,536,733	8,286,039	8,022,809	7,746,418	82,286,779
กระแสเงินสด (Cash flow)	(66,800,000)	19,049,182	13,822,110	13,625,684	13,419,437	13,202,877	12,975,490	12,736,733	12,486,039	12,222,809	11,946,418	74,286,779
	66,800,000	19,049,182	32,871,292	46,496,976	59,916,413	73,119,290	86,094,780	98,831,513	111,317,552	123,540,361	141,086,779	

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของราคาแร่โพลีเมตชนิดผสมสูง 2,450 บาทต่อตัน

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
ค่าใช้จ่ายในการเผา	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	95,049,543	950,495,429
ค่าแรงงาน	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	3,636,000	36,360,000
ค่าเงินเพื่อ (เพิ่ม/ขึ้น)ร้อยละ 5 ต่อปี	100	105	110	116	122	128	134	141	148	155	163	1,636,000
ค่าแรงงาน เมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ	3,817,800	4,008,690	4,209,125	4,419,581	4,640,560	4,872,588	5,116,217	5,372,028	5,640,629	5,922,661	6,214,919	48,019,878
ค่าใช้จ่ายสวัสดิการและการบริหาร (ร้อยละ 30 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	1,145,340	1,202,607	1,262,737	1,325,874	1,392,168	1,461,776	1,534,865	1,611,608	1,692,189	1,776,798	1,863,917	14,405,963
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ (ร้อยละ 10 ของค่าแรงงานเมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ)	381,780	400,869	420,912	441,958	464,056	487,259	511,622	537,203	564,063	592,266	620,000	4,801,988
รวม OPEX	100,394,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	103,744,259	1,017,723,259

ปี	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวม
กระแสเงินสด (Cash flow)												
เครื่องจักรและอุปกรณ์หลัก	42,000,000											
เงินทุนหมุนเวียน	8,000,000											
รวมค่าใช้จ่ายลงทุนคงที่	16,800,000											
รวม CAPEX (บาทต่อตัน)	66,800,000											
ราคาขายแร่โพลีเมตชนิดผสมสูง (บาทต่อตัน)	2,450											
ปริมาณแร่โพลีเมตชนิดผสมสูง (ตันต่อปี)	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	47,481	474,810
รายได้แร่โพลีเมตชนิดผสมสูง (บาทต่อปี)	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	116,328,491	1,163,284,913
ค่าภาคหลวงของโพลีเมต (บาทต่อตัน)	22	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	1,044,582	10,445,846
ค่าภาคหลวงการขาย (ร้อยละ 10)	0.1	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	11,632,849	116,328,491
รวมค่าใช้จ่ายจากการขาย	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	12,677,431	126,774,315
รวมรายได้	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	103,651,060	1,044,510,598
OPEX (บาทต่อปี)	117,194,463	100,661,709	100,942,317	101,236,956	101,546,327	101,871,166	102,212,247	102,570,382	102,946,424	103,341,268	103,744,259	1,034,523,259
ค่าเสื่อม (Depreciation)	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	4,200,000	42,000,000
รายได้ก่อนหักภาษี (income before tax)	(17,743,403)	(1,210,649)	(1,491,257)	(1,785,896)	(2,095,267)	(2,420,106)	(2,761,187)	(3,119,322)	(3,495,364)	(3,895,364)	(4,302,661)	(32,012,661)
ภาษี 30%	(5,323,021)	(363,195)	(447,377)	(535,769)	(628,580)	(726,032)	(828,356)	(935,797)	(1,048,609)	(1,168,609)	(1,292,937)	(9,603,798)
รายได้หลังหักภาษี (income after tax)	(12,420,382)	(847,454)	(1,043,880)	(1,250,127)	(1,466,687)	(1,694,074)	(1,932,831)	(2,183,526)	(2,446,755)	(2,726,755)	(3,009,724)	(22,408,863)
กระแสเงินสด (Cash flow)	66,800,000	8,579,618	3,352,546	3,156,120	2,949,873	2,733,313	2,505,926	2,267,169	2,016,474	1,753,245	1,492,317	(30,408,863)
		8,579,618	11,932,163	15,088,283	18,038,156	20,771,469	23,277,395	25,544,564	27,561,038	29,314,283	30,911,137	

ตารางที่ ง.13 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) ของกรณีศึกษาการเปลี่ยนแปลงราคาแร่โลไมต์ชนิดเผาสุกขนาด 75 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 1,200 °ซ ระยะเวลาดำเนินการเผา 2.0 ชั่วโมง

ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก 3,500 บาทต่อตัน		
Interest (ดอกเบี้ย)	12%	
NPV (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ)	132,691,584	บาท
IRR (อัตราผลตอบแทนภายใน)	54%	
Payback Period (ระยะเวลาคืนทุน)	1.7	ปี

ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก 3,150 บาทต่อตัน		
Interest (ดอกเบี้ย)	12%	
NPV (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ)	73,536,212	บาท
IRR (อัตราผลตอบแทนภายใน)	36%	
Payback Period (ระยะเวลาคืนทุน)	2.3	ปี

ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก 2,800 บาทต่อตัน		
Interest (ดอกเบี้ย)	12%	
NPV (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ)	14,380,839	บาท
IRR (อัตราผลตอบแทนภายใน)	17%	
Payback Period (ระยะเวลาคืนทุน)	3.5	ปี

ราคาแร่โดโลไมต์ชนิดเผาสุก 2,450 บาทต่อตัน		
Interest (ดอกเบี้ย)	12%	
NPV (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ)	(44,774,534)	บาท
IRR (อัตราผลตอบแทนภายใน)	-10%	
Payback Period (ระยะเวลาคืนทุน)	7.8	ปี

ตารางที่ ง.14 ลักษณะสมบัติทั่วไป และองค์ประกอบทางเคมีของผู้ขายในต่างประเทศ กรณีตัวอย่าง แร่ไดโพลไมต์ชนิดเผาสุกมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง

องค์ประกอบทางเคมี	ผู้ขาย (ต่างประเทศ)										
	เวียดนาม				อินเดีย	จีน					
	VMMT	ประเภท 1	ประเภท 2	Dinh ha Import-Export			DLH				
CaO	53.9	≥ 54	≥ 50	52 – 58	≥ 54	57.5	≥ 58	Dalian Score International Trading Co., Ltd	≥ 52	≥ 30	Aceler International (Dalian) Trading Co., Ltd
MgO	34.65	≥ 34	≥ 30	28 – 38	≥ 32	42	≥ 30	Shri Gandhar Mineral Industries	≥ 34	≥ 30	Dalian Score International Trading Co., Ltd
SiO ₂	0.29	≤ 2	≤ 2	-	≤ 1.5	-	-	-	≤ 2	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 – 5
CO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	0.02	≤ 0.1	≤ 0.1	-	≤ 0.1	-	-	-	≤ 1.5	-	-
LOI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ขนาด	ก้อน	10 – 80 มิลลิเมตร	10 – 80 มิลลิเมตร	10 – 60 มิลลิเมตร	20 – 60 มิลลิเมตร	-	10 – 20 มิลลิเมตร	-	5 – 30 มิลลิเมตร	10 – 20 มิลลิเมตร	-
ราคา	(US) 85 – 105 ต่อ เมตริกตัน	(US) 65 – 80 ต่อ เมตริกตัน	(US) 65 – 80 ต่อ เมตริกตัน	(US) 92 ต่อ เมตริกตัน	(US) 95 – 100 ต่อ เมตริกตัน	(US) 105 ต่อ เมตริกตัน	(US) 100 – 150 ต่อ เมตริกตัน	-	(US) 50 – 300 ต่อ เมตริกตัน	(US) 100 – 150 ต่อ เมตริกตัน	-

ที่มา : บริษัท ศิลาชัยสุราษฎร์ จำกัด (2558)

ตารางที่ ง.15 ลักษณะสมบัติทั่วไป และองค์ประกอบทางเคมีของผู้ขายในต่างประเทศ กรณีตัวอย่าง แร่ไดโพลไมต์ชนิดเฟาสุกมีลักษณะเป็นผง

ผู้ขาย (ต่างประเทศ)				
องค์ประกอบทางเคมี	จีน			เวียดนาม
	Yandong ประเภท 1, Tianjin	Yandong ประเภท 2, Tianjin	Jiaqi Mineral, Hebei	HOANGHUY, Hai Phong,
CaO	≥ 50	≥ 31	≥ 30	≥ 54
MgO	≥ 31	≥ 21	≥ 20	≥ 28
SiO ₂	≤ 5	≤ 1.5	≤ 3	≤ 2
Al ₂ O ₃	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	< 1	≤ 0.05	-	-
CO ₂	-	-	-	-
S	-	-	-	≤ 0.1
LOI	-	-	-	-
ขนาด	0 – 2,000 เมช	2 – 2,000 เมช	ผง	100 เมช
ราคา	(US) 35 – 200 ต่อ เมตริกตัน	(US) 30 – 150 ต่อ เมตริกตัน	(US) 150 – 300 ต่อเมตริกตัน	(US) 70 – 95 ต่อเมตริกตัน

ที่มา : Zaub (2016)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิดารัตน์ มีคช เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2533 จบการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนช่างอากาศอำรุง ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนโยธินบูรณะ และได้เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

การเผยแพร่ผลงานวิทยานิพนธ์ (แบบโปสเตอร์)

Thidarat Meekoch, Somsak Saisinchai, Petchporn Chawakitchareon, Dawan Wiwattanadate and Thitisak Boonpramote, “Calcination of Dolomite: A Preliminary Study of Silachai Mine, Thailand.” Program and Abstract book of The 13th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology (EARTH 2015), 1st – 4th November 2015, Dusit Thani Pattaya, Thailand. Page 205. (Poster) RU-P-034.