

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249562

ผลของสารเคมีแต่งต่อกดโกการเติบโตของเมล็ดกาแฟดีอีป่น
จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

จิระนุช สงหุล

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์บูรณาการ

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2554

b0025 39 79

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



ผลของสารเติมแต่งต่อกลไกการเติบโตของผลึกเอฟจีดีอีพีซัม
จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

จิระนุช สงพูล



วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตรบัณฑิตศาสตรบูรณาการ

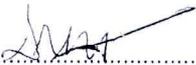
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตุลาคม 2554

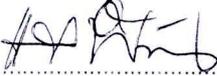
ผลของสารเติมแต่งต่อกลไกการเติบโตของผลึกเอฟฟิเดียปซัม
จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

จิระนุช สงพูล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์บูรณาการ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
ศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ


..... กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกศรินทร์ พิมรักษา


..... กรรมการ
อาจารย์ ดร. วรพงษ์ เทียมสอน

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกศรินทร์ พิมรักษา

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
รองศาสตราจารย์ ดร. ธรฉินทร์ ไชยเรืองศรี


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อาจารย์ ดร. ชัยพร ตั้งทอง

6 ตุลาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องด้วยความกรุณา และการสนับสนุนจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกสรินทร์ พิมรักษา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร. ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี และอาจารย์ ดร. ชัยพร ตั้งทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ทางผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปริญา จินดาประเสริฐ และอาจารย์ ดร. วรพงษ์ เทียมสอน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ให้ทุนการศึกษาในระดับปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัยสำหรับทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิชาการ ระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิจัย และความช่วยเหลือในระหว่างการค้าดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์บูรณาการ และภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ และคำปรึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม และเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์บูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินงาน

ขอขอบคุณนางสาวจุฑารัตน์ วงศ์ขัติยะและครอบครัว กลุ่มเพื่อนสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์บูรณาการ และน้องๆ ในห้องศูนย์วิจัยวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม ที่ช่วยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดา น้องสาว ที่ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จ

ทำยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณบุคลากร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนาม
มา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะ
เป็นแนวทางในการพัฒนาและเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้

จิระนุช สงพุด

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	ผลของสารเติมแต่งต่อกลไกการเติบโตของผลึกเอพิจิตีปีซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	
ผู้เขียน	นางสาวจิระนุช สงพูล	
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์คณิตศาสตร์บูรณาการ)	
คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ. ดร. เกสรินทร์ พิมรักษา	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
	รศ. ดร. ธรณินทร์ ไชยเรืองศรี	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
	อ. ดร. ชัยพร ตั้งทอง	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

249562

เอพิจิตีปีซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเอพิจิตีปลาเตอร์ ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) โดยเอพิจิตีปลาเตอร์ทำปฏิกิริยากับน้ำจะแข็งตัวกลายเป็นผลึกปีซัมและใช้เวลาก่อตัวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปลาเตอร์ทางการค้าทำให้การไหลตัวไม่ดี ไม่มีเวลาเพียงพอในการใช้งาน จึงมีการใช้สารเติมแต่งที่เป็นสารอินทรีย์ได้แก่ กรดซิตริก กรดมาลิก กรดซัคซินิก กรดลิกโนซัลโฟนิคและ โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต และสารเติมแต่งที่เป็นสารอนินทรีย์ได้แก่ กรดฟอสฟอริก โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เพื่อหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของเอพิจิตีปลาเตอร์ สารเติมแต่งดังกล่าว จะทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำ ส่งผลให้เวลาการก่อตัวของ เอพิจิตีปลาเตอร์เพิ่มขึ้น จากผลการทดลอง พบว่าการเติมสารเติมแต่งที่เป็นสารอินทรีย์ ชนิดกรดมาลิก 0.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสารเติมแต่งที่เป็นสารอนินทรีย์ ชนิดโปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในเอพิจิตีปลาเตอร์ และทำให้มีเวลาเซตตัวประมาณ 30 นาที ซึ่งมีค่าเทียบเท่ากับเวลาการก่อตัวของปลาเตอร์ทางการค้า และสร้างสมการเพื่อพยากรณ์ระยะเวลาการก่อตัวของเอพิจิตีปีซัมในระบบที่มีสารเติมแต่ง โดยใช้ปริมาณสารเติมแต่งเป็นตัวพยากรณ์ จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของเอพิจิตีปีซัมพบว่าสารเติมแต่งทุกชนิดยกเว้นกรดลิกโนซัลโฟนิคและ โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต มีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารเติมแต่ง นอกจากนี้ผลการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของผลึกปีซัมที่ได้จากระบบที่มีการเติมสารเติมแต่งด้วยกล้องเอซอีเอ็ม พบว่าสารเติมแต่งจะชะลอการเติบโตของผลึกในระนาบ (100) และ (020) เนื่องจากเกิดการดูดซับกับผลึก

249562

ในระนาบดังกล่าว ส่งผลให้ผลึกเกิดการเติบโตในระนาบ (120) ได้ดี ส่งผลให้ผลึกเอพิจิตีปีซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งมีค่า Crystal ratio สูงกว่าผลึกเอพิจิตีปีซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ แต่พบว่าการเติมสารเติมแต่งที่ความเข้มข้นสูงจะทำให้ค่า Crystal ratio ของผลึกน้อยกว่าการเติมสารเติมแต่งที่ความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากสารเติมแต่งจะชะลอการเติบโตของผลึกในระนาบ (120) ด้วย โดยกรดซิตริกส่งผลให้ค่า Crystal ratio ลดลงมากที่สุด และสร้างสมการเพื่อพยากรณ์ค่า Crystal ratio ของเอพิจิตีปีซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งโดยใช้ปริมาณสารเติมแต่งเป็นตัวพยากรณ์

Thesis Title	Effects of Additives on Growth Mechanism of FGD-Gypsum Crystals from Mae Moh Power Plant	
Author	Miss Jeeranut Songpoon	
Degree	Master of Science (Integrated Science-Mathematics)	
Thesis Advisory Committee	Asst. Prof. Dr. Kedsarin Pimraksa	Advisor
	Assoc. Prof. Dr. Torranin Chairuang斯里	Co-advisor
	Dr. Chaiporn Thangthong	Co-advisor

ABSTRACT

249562

FGD-gypsum from Mae Moh Power Plant was transformed to FGD plaster ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) when it was calcined at 150°C . The plaster is easily hydrated when it was exposed to water, and hardened when gypsum was recrystallized. The setting time of FGD-plaster was much shorter than that of commercial plaster that caused a loss of workability. Organic additives *viz.* citric acid, malic acid, succinic acid, lignosulfonic acid and sodium lignosulfonate, and inorganic additives including phosphoric acid and KH_2PO_4 were used to retard the hydration of FGD plaster. All of those substances hindered the chemical reaction resulting in the setting retardation and workability improvement. Gypsum specimens made of FGD-plaster mixed with 0.03 wt % of malic and 0.3 wt% of KH_2PO_4 had promising setting times approximately 30 min. comparable to that of the commercial plaster. Mathematic equation related to setting time in presence of the additives was created to anticipate the retardation effect. The mechanical properties of gypsum specimens and morphology of gypsum crystal in presences of those additives were also studied. All additives except lignosulfonic acid and sodium lignosulfonate provided the same trend in that their compressive strength decreased with an increase in additive contents. In addition, the crystal ratio of the crystallized gypsum is lowered in

249562

the presence of additives. The crystal ratio of the gypsum crystals mixed with citric was the lowest. Mathematic equation related to crystal ratio in presence of the additives was also created to anticipate the crystal growth.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฅ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เอฟเจ็ดียิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง	4
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับปูนปลาสเตอร์	10
2.2.1 ปูนปลาสเตอร์	10
2.2.2 วัตถุประสงค์ที่นำมาทำปูนปลาสเตอร์	11
2.2.3 ชนิดของปูนปลาสเตอร์	14
2.2.4 การผลิตปูนปลาสเตอร์	16
2.2.5 สมบัติของปูนปลาสเตอร์	18
2.2.6 ปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนปลาสเตอร์	24
2.3 ชนิดของสารเติมแต่ง	30
2.3.1 สารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์	31
2.3.2 สารเติมแต่งชนิดสารอนินทรีย์	33
2.3.3 กลไกการดูดซับของสารเติมแต่ง	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 สารสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารหน่วงปฏิกิริยาไฮดรชัน ของปูนปลาสเตอร์	36
2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตผลึก ของยิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่ง	40
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุคิบ สารเคมี และวิธีการทดลอง	43
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	43
3.2 วัสดุคิบและสารเคมี	44
3.3 วิธีการทดลอง	45
3.3.1 การเตรียมวัสดุคิบ	48
3.3.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของวัสดุคิบ	48
3.3.3 การศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของ สารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติต่างๆของเอฟจีดีปลาสเตอร์	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	50
4.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของวัสดุคิบ	50
4.1.1 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเอฟจีดียิปซัม	50
4.1.2 การศึกษาองค์ประกอบทางแร่ของเอฟจีดียิปซัมและเอฟจีดีปลาสเตอร์	51
4.1.3 การศึกษาผลทางความร้อนของเอฟจีดียิปซัม	53
4.1.4 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุคิบ	54
4.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติกายภาพ และสมบัติเชิงกลระยะเวลาการก่อตัวของเอฟจีดีปลาสเตอร์	55
4.2.1 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีต่อ ระยะเวลาการก่อตัวของเอฟจีดีปลาสเตอร์	55
4.2.2 การศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่มีต่อ สมบัติเชิงกลของเอฟจีดีปลาสเตอร์	73

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเอพิจิตีปีปซัม	83
4.3.1 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเอพิจิตีปีปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	83
4.3.2 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของเอพิจิตีปีปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่ง	87
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	107
5.1 สรุปผลการทดลอง	107
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป	111
บรรณานุกรม	113
ภาคผนวก	117
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง	118
ภาคผนวก ข การเข้าร่วมนำเสนอผลงานทางวิชาการ	122
ประวัติผู้เขียน	132

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบสมบัติกายภาพ ทางเคมี และทางแรงของเอฟจีดีอีพีซั่มและ ยิปซั่มธรรมชาติ	6
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเอฟจีดีอีพีซั่มในระยะเวลา 6 เดือน	6
2.3 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความแปรผันขององค์ประกอบ ทางเคมีของเอฟจีดีอีพีซั่มในระยะเวลา 6 เดือน (5 มิถุนายน 2549-21 กุมภาพันธ์ 2550)	9
2.4 การเปรียบเทียบลักษณะและสมบัติที่แตกต่างกันของปูนปลาสเตอร์ ชนิดแอลฟาและเบตา	15
2.5 เฟสที่พบในกระบวนการผลิตปูนปลาสเตอร์	18
2.6 สูตรโมเลกุลและ โครงสร้างของสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน	32
2.7 สูตรเคมีและ โครงสร้างของสารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน	34
2.8 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์	35
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเอฟจีดีอีพีซั่ม	50
4.2 สมบัติทางกายภาพของเอฟจีดีอีพีซั่มเปรียบเทียบกับเอฟจีดีอีปลาสเตอร์	54
4.3 ผลของชนิดและปริมาณของสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันชนิดสารอินทรีย์ที่มี ต่อการก่อตัวของของเอฟจีดีอีปลาสเตอร์	57
4.4 สมการพหุคูณระยะเวลาในการก่อตัวในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์ และค่าสถิติต่าง ๆ	63
4.5 ผลของชนิดและปริมาณของสารหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันชนิดสารอนินทรีย์ที่มีต่อ การก่อตัวของเอฟจีดีอีปลาสเตอร์	68
4.6 สมการพหุคูณระยะเวลาในการก่อตัวในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดสารอนินทรีย์ และค่าสถิติต่าง ๆ	71
4.7 ผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์ที่มีต่อ สมบัติเชิงกลของวัสดุผสม	73
4.8 ผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งชนิดสารอนินทรีย์ที่มีต่อ สมบัติเชิงกลของวัสดุผสม	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.9 ขนาดของผลึกเอพิจิตียิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและค่าสถิติต่าง ๆ	87
4.10 ขนาดของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งและค่าสถิติต่าง ๆ	88
4.11 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งและค่าสถิติต่าง ๆ	91
4.12 สมการพยากรณ์ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งและค่าสถิติต่าง ๆ	102
5.1 การเปรียบเทียบผลของชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งชนิดอินทรีย์และอนินทรีย์ต่อสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสม	107

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 โครงสร้างผลึกยิปซัม	5
(ก) โครงสร้างผลึกยิปซัมรูปลูกบาศก์	
(ข) โครงสร้างผลึกยิปซัมรูปแท่ง	
(ค) โครงสร้างผลึกยิปซัมรูปแท่ง	
(ง) โครงสร้างผลึกเอพิจิตียิปซัมรูปแท่ง จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	
2.2 ภาคตัดขวางของ (1) ถังโลหะ (2) ช่องไฟให้ความร้อน (3) ช่องใส่ปูนปลาสเตอร์เข้า และช่องระบายความร้อน (4) ช่องเทปูนออก (5) แกนหมุนเกลียวปูนขณะเผา	17
2.3 กราฟของร้อยละของโมเลกุลของน้ำที่หลุดจาก $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ทำให้เกิด $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ และ CaSO_4	17
2.4 การยึดเกาะของ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับ	20
2.5 การดูดซับทางเคมีและทางกายภาพ (ก) การดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption)	21
(ข) การดูดซับแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption)	
2.6 การดูดซับไอออนแบบประจุสองชั้น (Electrical double layer) ที่ผิวของอนุภาคพลาสติกอร์	23
2.7 การดูดซับไอออนแบบประจุสองชั้น (Electrical double layer) และซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential) ที่ผิวของอนุภาคพลาสติกอร์	23
2.8 ปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนปลาสเตอร์	25
2.9 กลไกการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันของปูนปลาสเตอร์	25
2.10 ผลของอัตราการเจริญเติบโตของผลึกต่อสมบัติบางประการของปูนปลาสเตอร์	26
2.11 ผลของการเติมสารหน่วงการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันชนิดกลูโคส กรดซิตริก และโซเดียมไบคาร์บอเนต	30
2.12 กลไกการดูดซับของสารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์	35
3.1 แผนการวิจัย	45
3.2 แผนภาพกระบวนการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้	46
3.3 วัตถุประสงค์เติมแต่งชนิดอินทรีย์	47
3.4 วัตถุประสงค์เติมแต่งชนิดอนินทรีย์	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.1 องค์ประกอบทางแร่ของเอพิจิตีปีซัม[G:Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Q : Quartz (SiO_2)]	51
4.2 องค์ประกอบทางแร่ของเอพิจิตีปลาสเตอร์[B:Bassanite (calcium sulfate hydrate) ($\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), Q : Quartz (SiO_2)]	52
4.3 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่าง DTA (วัตต์/กรัม) กับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของเอพิจิตีปีซัม (ข) ความสัมพันธ์ระหว่าง TG (วัตต์/กรัม) กับ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของเอพิจิตีปีซัม	53
4.4 แผนภาพของกลุ่มสารเติมแต่งที่ใช้ในการศึกษาระยะเวลาการก่อตัวของเอพิจิตีปลาสเตอร์	56
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวกับปริมาณสารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์	61
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวกับปริมาณสารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์ และสมการพยากรณ์ระยะเวลาในการก่อตัว	63
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวกับปริมาณสารเติมแต่งชนิดสารอนินทรีย์ และสมการพยากรณ์ระยะเวลาในการก่อตัว	70
4.8 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ (ก) เอพิจิตีปลาสเตอร์ในระบบที่ไม่มีสารเติมแต่ง (ข) เอพิจิตีปลาสเตอร์และกรดซัลฟูริก 0.07% โดยน้ำหนัก (ค) เอพิจิตีปลาสเตอร์และกรดซिटริก 0.07% โดยน้ำหนัก (ง) เอพิจิตีปลาสเตอร์ และกรดมาลิก 0.07% โดยน้ำหนัก (จ) เอพิจิตีปลาสเตอร์ และกรดอะซิติก 0.7% โดยน้ำหนัก	81
4.9 โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ (ฉ) เอพิจิตีปลาสเตอร์และ โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต 0.7% โดยน้ำหนัก (ซ)เอพิจิตีปลาสเตอร์ และกรดลิกโนซัลโฟนิก 0.9 % โดยน้ำหนัก (ช)เอพิจิตีปลาสเตอร์ และกรดฟอสฟอริก 0.4% โดยน้ำหนัก (ฅ) เอพิจิตีปลาสเตอร์ และ โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.7% โดยน้ำหนัก	82
4.10 โครงสร้างจุลภาคของเอพิจิตีปีซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	83
4.11 รูปทรงผลึกแบบแท่งขนาน (Parallel Rod)	83
4.12 แบบจำลองรูปทรงเรขาคณิตของผลึกเอพิจิตีปีซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	84
4.13 ภาพฉายในระนาบต่าง ๆ ของแบบจำลองผลึกเอพิจิตีปีซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.14 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดซิตริก	93
4.15 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดมาลิก	93
4.16 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดซัคซินิก	94
4.17 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดอะซิติค	94
4.18 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิด โซเดียมลิกโนซัลไฟเนต	95
4.19 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดลิกโนซัลไฟนิก	95
4.20 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดสารอินทรีย์	96
4.21 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิด โปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	97
4.22 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดฟอสฟอริก	97
4.23 ค่า Crystal Ratio ของผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดสารอนินทรีย์	98
4.24 ผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่ง	100
4.24 ผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่ง (ก) ผลึกเอพิจิตียิปซัมจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ	101
(ข) ผลึกเอพิจิตียิปซัมในระบบที่มีสารเติมแต่งชนิดกรดมาลิก 0.07% โดยน้ำหนัก	

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
FGD	กระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
CaSO ₄ ·2H ₂ O	แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต
CaSO ₄ ·0.5H ₂ O	แคลเซียมซัลเฟตเฮมิไฮเดรต
CaSO ₄	แอนไฮดรัสแคลเซียมซัลเฟต
β	เบตา
α	แอลฟา
°ซ.	องศาเซลเซียส
°C	องศาเซลเซียส
%	เปอร์เซ็นต์
%น.น.	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
%wt	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
W/P	อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อพลาสติก
DTA	เครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุ
XRD	เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่
XRF	เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี
SEM	เครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
LOI	การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา