การเตรียมแบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์จากวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์และปลาสเตอร์

นางสาวพีริยา คมสาคร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4872397923

PREPARATION OF SANITARYWARE CASTING MOLD FROM POLYMER/PLASTER COMPOSITES

Miss Peeriya Komsakorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

502135

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมแบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์จากวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์และปลาสเตอร์
โดย	นางสาวพีริยา คมสาคร
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวาวี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์)

พีริยา คมสาคร : การเตรียมแบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์จากวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ (PREPARATION OF SANITARYWARE CASTING MOLD FROM POLYMER/PLASTER COMPOSITES) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ดวงดาว อาจองค์, 106 หน้า.

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์มีการใช้วัตถุดิบในการเตรียมแบบหล่อ 2 ชนิด โดยวัสดุชนิดแรกที่มีการนำมาใช้เป็นแบบหล่อ คือปลาสเตอร์โมลด์ ซึ่งผลิตมาจากแร่ยิปซัม หรือแคลเซียมซัลเฟต เฮมิไฮเดรต และที่ยังคงได้รับความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีราคาถูกและวิธีการขึ้นรูปที่ไม่ยุ่งยาก แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการใช้งาน กล่าวคือมีอายุการใช้งานสั้นและไม่สามารถทนแรงอัดอากาศได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาแบบหล่อด้วยวัสดุชนิดใหม่ ที่เรียกว่า เรซินโมลด์ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ซึ่งมีข้อดีกว่าปลาสเตอร์โมลด์หลายประการนั่นคือ มีอายุในการใช้งานที่นานกว่า ทนแรงอัดอากาศได้สูงกว่า และมีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าปลาสเตอร์โมลด์ แต่ข้อเสียของวัสดุประเภทนี้คือ ขั้นตอนในการเตรียมที่ยุ่งยากและราคาที่สูงเนื่องจากผู้ประกอบการต้องนำเข้าจากต่างประเทศ รวมถึงไม่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศไทย และไม่ทราบองค์ประกอบทางเคมีที่แน่ชัด เพราะยังคงเป็นความลับทางการค้า ดังนั้นเพื่อประสานข้อดีและข้อเสียของแบบหล่อทั้ง 2 ชนิด งานวิจัยนี้จึงเสนอการเตรียมวัสดุชนิดใหม่ เพื่อนำมาใช้งานเป็นแบบหล่อในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ โดยการเตรียมวัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์และปลาสเตอร์จากวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยปลาสเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี2 ชนิด คือแอลฟาฟอร์มและบีตาฟอร์มที่มีขนาดอนุภาคใหญ่และเล็ก ในขั้นต้นได้ทำการวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเรซินโมลด์ด้วยเทคนิค FT-IR และ GC/MS เพื่อสืบหาพอลิเมอร์ภายในประเทศ มาเป็นสารเทียบเคียง จากนั้นเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ที่อัตราส่วนของพอลิเมอร์ร้อยละ 0 ถึง 100 โดยน้ำหนัก โดยเพิ่มปริมาณพอลิเมอร์ขึ้นร้อยละ 10 จากนั้นพิจารณาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม เพื่อนำไปทดสอบความสามารถในการใช้งานของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ เพื่อหาอัตราส่วน ชนิดและขนาดอนุภาคของปลาสเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งานเป็นแบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์

ผลจากการวิเคราะห์และสืบหาสารเทียบเคียงภายในประเทศในงานวิจัยนี้เลือกใช้ PMMA ชนิดเกล็ด และ โคพอลิเมอร์ระหว่าง PMMA และ PS แทนส่วนของพอลิเมอร์ จากผลการทดสอบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบพบว่าเมื่อปริมาณของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเวลาในการก่อตัวจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการไหลตัว และความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบจะมีค่าลดลง โดยวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ชนิดแอลฟาจะให้ความทนแรงดัดโค้งและความทนแรงกดมากกว่าวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากปลาสเตอร์ชนิดบีตา นอกจากนี้พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากปลาสเตอร์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีสมบัติเชิงกลดีกว่าอนุภาคขนาดเล็ก โดยอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ที่สมบัติเชิงกลสูงที่สุด และอยู่ในมาตรฐานที่ตั้งไว้ คือ 30:70 และ 40:60 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาสมบัติในการใช้งานพบว่าวัสดุเชิงประกอบของปลาสเตอร์ชนิดแอลฟาที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์ร้อยละ 30 ของจะให้สมบัติที่ดีที่สุดทั้งในด้านของความทนแรงขัดถู การดูดซึมน้ำ และความทนแรงอัดอากาศ ซึ่งสูงกว่าวัสดุเชิงประกอบอื่นๆ ที่เตรียมได้

ภาควิชา ....วัสดุศาสตร์..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา ..วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ.. ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2550

4872397923 : MAJOR OF APPLIED POLYMER SCINCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: calcium sulfate / plaster / composite / PMMA / casting mold

PEERIYA KOMSAKORN : PREPARATION OF SANITARYWARE CASTING MOLD FROM POLYMER/PLASTER COMPOSITES

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.DUANGDAO AHT-ONG, 106 pp.

Nowadays, in sanitaryware manufacturing industry, two types of raw material have been used for producing casting mold. The first and conventional casting mold called plaster mold is made from gypsum plaster or calcium sulfate hemihydrates. Although this type of mold has been used for decades due to its lower price and simple processing step, there are some limitations such as its shorter mold life and its low ability to withstand high pressure. Therefore, the new generation of casting mold called resin mold has been adopted to enhance the efficiency of manufacturing process. Several benefits over the traditional casting mold include longer life-time, greater high pressure resistance, and better mechanical properties. The only main drawback of this resin mold is its high price since the manufacturer has to import it from Germany owing to its unknown chemical compositions or trade secrets. In order to compromise the benefits and drawbacks of these two casting molds, this research proposed to prepare new type of material for casting mold of sanitary ware from polymer/plaster composite by using locally available raw materials in Thailand. Two types of plaster namely alpha and beta forms were used. The imported resin mold was characterized to identify its chemical compositions and structure by FTIR and GC-MS. The suitable polymer and other reagents have been selected and used as polymer phase. The composite were then prepared by varying the ratio between polymer and plaster from 0 to 100% by weight with 10% interval. Two particle sizes of each plaster were also varied. The physical and mechanical properties of the prepared composites were carried out to find the suitable range of composites. Finally, the end-use properties of the casting mold were tested to justify the best ratio including type and particle size of plaster.

In this work, the polymethyl methacylate and copolymer of polystyrene and polymethyl methacylate were used as polymer phase. From the results, it was show that when the amount of polymer phase increased, the setting time increased, whereas the flow-ability and density of the composites decreased. The compressive strength of composites from alpha form of plaster had greater bending strength and compressive strength than the polymer/beta-plaster composites. In addition, the larger particle size of both types of plaster yielded better mechanical properties. The suitable polymer/plaster ratios which gave the highest mechanical properties and met the standard requirements ranged between 30:70 and 40:60. However, based on the end-use properties, the composite containing 30% polymer with large particle of alpha form of plaster had the best properties in terms of its higher abrasive resistance, greater water absorption, and better high pressure resistance.

Department Materials Science Student's Signature .....

Field of Study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature .....

Academic Year 2007

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์ ที่ได้กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำงานวิจัย รวมทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ รองศาสตราจารย์ อรอุษา สรวารี รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช และ อาจารย์ ดร.ธนากร วาสนาเพียรพงศ์ ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำ และตรวจสอบการจัดวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร และพนักงาน บริษัท สยามโมลด์ดิ้งพลาสเตอร์ ทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ตลอดจนคำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และอำนวยความสะดวกระหว่างการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อ สถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณเกษม ตริตระการ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ และให้กำลังใจในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้า อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจ จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย) ..... ง

บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ) ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ 1

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 เครื่องสุขภัณฑ์ 3

2.2 แบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์ 5

2.3 ปูนปลาสเตอร์ 6

2.3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนปลาสเตอร์ 6

2.3.1.1 ยิปซัม 6

2.3.2 การแปรรูปยิปซัม 7

2.3.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ 7

2.3.2.2 การเปลี่ยนเฟสของยิปซัม 10

2.3.3 ระบบของแคลเซียมซัลเฟต 11

2.3.3.1 เฟส 11

2.3.3.2 กระบวนการผลิตปลาสเตอร์ 13

2.3.3.3 สมบัติของแอลฟาและบีตาเฮมิไฮเดรต 16

2.4 ปลาสเตอร์โมลด์ 17

2.4.1 สมบัติของปลาสเตอร์โมลด์ 17

2.4.1.1 การก่อตัว 17

2.4.1.2 เวลาที่ใช้ในการก่อตัว 18

2.4.1.3 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อยิปซัมปลาสเตอร์ 19

2.4.1.4 ความแข็งแรง 20

2.4.2 การปรับปรุงสมบัติของปลาสเตอร์ 21

บทที่ หน้า

2.5 เรซินโมลด์ 23
2.6 วัสดุเชิงประกอบ 24
2.6.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามประเภทของเมทริกซ์ 24
2.6.2 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบตามประเภทของสารเสริมแรง 26
3 วิธีการทดลอง 30
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี 30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 30
3.2.1 อุปกรณ์ในการขึ้นรูป 30
3.2.2 อุปกรณ์ในการทดสอบ 31
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ 31
3.4 ขอบเขตการทดลอง 32
3.5 การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของเรซินโมลด์ 34
3.5.1 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเรซินโมลด์ 34
3.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทรกราฟฟี/แมสสเปกเมตรี 35
3.5.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุล 36
3.5.4 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค 37
3.5.5 การขึ้นรูปเรซินโมลด์ 37
3.6 การสืบหาและทดสอบสมบัติของสารเทียบเคียงองค์ประกอบของเรซินโมลด์ 39
3.7 การขึ้นรูปปลาสเตอร์โมลด์ 41
3.8 การขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 42
3.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ 44
3.9.1 การทดสอบความหนาแน่น 44
3.9.2 การทดสอบการไหลตัว 44
3.9.3 การทดสอบเวลาในการก่อตัว 45
3.9.4 การทดสอบความทนแรงขัดถู 46
3.9.5 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ 47
3.9.6 การทดสอบปริมาตรการดูดซึมน้ำ 48
3.10 การทดสอบสมบัติเชิงกล 49
3.10.1 การทดสอบความต้านแรงดัดโค้ง 49
3.10.2 การทดสอบความต้านแรงกด 50
3.10.3 การทดสอบความทนแรงอัดอากาศ 51

บทที่ หน้า

3.11 การศึกษาลักษณะทางโครงสร้างและองค์ประภายในโมเลกุล 51
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 53
4.1 เรซินโมลด์ 53
4.1.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบของเรซินโมลด์ 53
4.1.1.1 สาร P 53
4.1.1.2 สาร A 58
4.1.1.3 สาร X 60
4.1.2 การทดสอบสมบัติและหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบของเรซินโมลด์ 64
4.1.3 สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา 65
4.1.4 สารเทียบเคียง 67
4.1.4.1 การสืบหาสารเทียบเคียง 67
4.1.4.2 การทดสอบความสามารถในการใช้งานของสารเทียบเคียง 68
4.2 ปลาสเตอร์โมลด์ 74
4.3 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับปลาสเตอร์ 77
4.3.1 สมบัติเชิงกายภาพ 78
4.3.1.1 เวลาในการก่อตัว 78
4.3.1.2 การตกตะกอนและความเป็นเนื้อเดียวกัน 79
4.3.1.3 ความหนาแน่น 81
4.3.1.4 การไหลตัว 83
4.3.2 สมบัติเชิงกล 84
4.3.2.1 ความต้านแรงดัดโค้ง 84
4.3.2.2 ความต้านแรงกด 85
4.4 สมบัติด้านการใช้งาน 88
4.4.1 ความทนแรงขัดถู 88
4.4.2 อัตราการดูดซึมน้ำ 89
4.4.3 ปริมาตรการดูดซึมน้ำ 90
4.4.4 ความสามารถในการทนแรงอัดอากาศ 91
4.5 ลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ 93
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 95
5.1 สรุปผลการทดลอง 95
5.2 ข้อเสนอแนะ 97

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง 98
ภาคผนวก 100
ภาคผนวก ก 101
ภาคผนวก ข 102
ภาคผนวก ค 103
ภาคผนวก ง 104
ภาคผนวก จ 105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุที่ใช้ผลิตแบบหล่อ 6
ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะ ของแคลเซียมซัลเฟตเฟสต่างๆ 11
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมซัลเฟต 13
ตารางที่ 2.4 เวลาการอบให้แห้งที่มีผลต่อความแข็งแรงของปลาสเตอร์ 20
ตารางที่ 2.5 ความพรุนตัวของปลาสเตอร์ที่อัตราส่วนของน้ำต่อปลาสเตอร์ต่างๆกัน 21
ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการผสมและความต้านแรงกดที่
อัตราส่วนของน้ำต่อปลาสเตอร์ต่างๆ กัน 21
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์โดยน้ำหนัก 34
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบ ลักษณะทางกายภาพ และปริมาณของเรซินโมลด์ 34
ตารางที่ 3.3 ปริมาณของแต่ละองค์ประกอบในการขึ้นรูปเรซินโมลด์ 100 กรัม 38
ตารางที่ 3.4 กลุ่มของสารเทียบเคียง 39
ตารางที่ 3.5 สูตรในการทดสอบสารเทียบเคียง 40
ตารางที่ 3.6 สมบัติของปลาสเตอร์ที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปปลาสเตอร์โมลด์ 41
ตารางที่ 4.1 หมู่ฟังก์ชันของสาร P 57
ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันของสาร A 58
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของสาร A จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค
ก๊าซโครมาโทรกราฟฟี่/แมสสเปกโทรเมตรี 60
ตารางที่ 4.4 หมู่ฟังก์ชันของสาร X 61
ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบของสาร X จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค
ก๊าซโครมาโทรกราฟฟี่/แมสสเปกโทรเมตรี 63
ตารางที่ 4.6 ผลการขึ้นรูปเรซินโมลด์จากองค์ประกอบต่างๆ 64
ตารางที่ 4.7 สมบัติของเรซินโมลด์ 65
ตารางที่ 4.8 วัสดุทางการค้าที่นำมาใช้เป็นสารเทียบเคียง 67
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสารเทียบเคียง 1 ตัวแปร 69
ตารางที่ 4.10 ตารางสัญลักษณ์ที่แทนในผลการทดสอบทางกายภาพ 69
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบสารเทียบเคียง 2 ตัวแปร 71
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบสารเทียบเคียง 3 ตัวแปร 73
ตารางที่ 4.13 สรุปผลการทดสอบสารเทียบเคียง 74

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.14 สมบัติของปลาสเตอร์โมลด์ 75
ตารางที่ 4.15 โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของปลาสเตอร์ 77
ตารางที่ 4.16 การตกตะกอน 79
ตารางที่ 4.17 ความเป็นเนื้อเดียวกัน 80
ตารางที่ 4.18 ความหนาแน่น 82
ตารางที่ 4.19 สรุปอัตราส่วนของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์/ปลาสเตอร์ ที่เหมาะสมในการเตรียมเป็นแบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล 87
ตารางที่ 4.20 ร้อยละของการสึกกร่อน 88
ตารางที่ 4.21 อัตราการดูดซึมน้ำ 90
ตารางที่ 4.22 ปริมาตรการดูดซึมน้ำ 91
ตารางที่ 4.23 ความสามารถในการทนแรงอัดอากาศ 92
ตารางที่ 5.1 สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านการใช้งานของเรซินโมลด์ ปลาสเตอร์โมลด์ และวัสดุเชิงระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 96
ตารางที่ 5.2 สูตรในการผลิตของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์เพื่อเป็นแบบหล่อเครื่องสุขภัณฑ์ 96

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 2.1 เครื่องสุขภัณฑ์ 3
รูปที่ 2.2 การหล่อเครื่องสุขภัณฑ์ 3
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหล่อแบบและเวลา 5
รูปที่ 2.4 ก้อนแร่ยิปซัม 7
รูปที่ 2.5 เหมืองแร่ยิปซัม 7
รูปที่ 2.6 รูปเครื่องบด 8
รูปที่ 2.7 เครื่องย่างแร่แบบหมุน 9
รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยา Dehydration และ Hydration ของแคลเซียม ซัลเฟต 10
รูปที่ 2.9 ภาพถ่ายผลึกของแคลเซียมซัลเฟต เฮมิไฮเดรตด้วยกล้องจุลทรรศน์
อิเลตตรอนแบบส่องกราด (SEM) 12
รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตด้วย Rotary kilns 14
รูปที่ 2.11 กระบวนการผลิตด้วย Kettle 14
รูปที่ 2.12 การทำงานภายใน kettle 15
รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิต แอลฟ่าเฮมิไฮเดรตปลาสเตอร์ ด้วยหม้ออบความดัน
ในระบบต่อเนื่อง 16
รูปที่ 2.14 ภาพถ่ายSEMของแคลเซียมซัลเฟต ไดไฮเดรตที่เกิดจากปฏิกิริยาของ
แคลเซียมซัลเฟต เฮมิไฮเดรตกับน้ำ 18
รูปที่ 2.15 กราฟแสดงการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างน้ำต่อแคลเซียมซัลเฟต
เฮมิไฮเดรตชนิดเบต้า 19
รูปที่ 2.16 การแบ่งประเภทของวัสดุเชิงประกอบ 26
รูปที่ 2.17 ภาพวาดแสดงวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใย 29
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการวิจัย 33
รูปที่ 3.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ 35
รูปที่ 3.3 ก๊าซโครมาโทรกราฟฟี/แมสสเป 36
รูปที่ 3.4 เจลเพอมีเอชันโครมาโทกราฟ 37
รูปที่ 3.5 เครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzer 37
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการขึ้นรูปเรซินโมลด์ 39
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 43

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.8 ขนาดชิ้นทดสอบความหนาแน่น 44
รูปที่ 3.9 กระบอกทดสอบการไหลตัว 45
รูปที่ 3.10 กระบอกพีวีซีที่ใช้ทดสอบเวลาการก่อตัว 45
รูปที่ 3.11 เครื่อง Vicat apparaturs 46
รูปที่ 3.12 ขนาดชิ้นทดสอบความทนแรงขัดถู 46
รูปที่ 3.13 เครื่อง Abrasive resistance tester 47
รูปที่ 3.14 ขนาดของชิ้นทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ 48
รูปที่ 3.15 ชิ้นทดสอบปริมาณการดูดซึมน้ำ 49
รูปที่ 3.16 ขนาดของชิ้นทดสอบความทนแรงดัดโค้ง 49
รูปที่ 3.17 รูปจำลองแสดงการทดสอบ Three point loading 50
รูปที่ 3.18 ชิ้นทดสอบความทนแรงกด 50
รูปที่ 3.19 LLOYD Universal Testing Machine model 500 50
รูปที่ 3.20 ภาพจำลองชิ้นทดสอบความทนแรงอัดอากาศ 51
รูปที่ 3.21 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการวิเคราะห์ธาตุใน
โครงสร้างจุลภาคชนิดแจกแจงพลังงานรังสีเอกซ์ 52
รูปที่ 4.1ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสาร P 54
รูปที่ 4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของสาร P 55
รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมมาตรฐานของพอลิเมทิลเมทาคริเลต 56
รูปที่ 4.4 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมทิลเมทาคริเลต 57
รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ สาร A 59
รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของสาร X 62
รูปที่ 4.7 โครงสร้างทางสันฐานวิทยาของเรซินโมลด์ 67
รูปที่ 4.8 เวลาในการก่อตัวของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 78
รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 81
รูปที่ 4.10 การไหลตัวของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 83
รูปที่ 4.11 ความต้านแรงดัดโค้งของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 85
รูปที่ 4.12 ความต้านแรงกดของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์และปลาสเตอร์ 86
รูปที่ 4.13 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับปลาสเตอร์ชนิดแอลฟา (30:70)
ที่กำลังขยาย 500 เท่า 93

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.14 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับปลาสเตอร์ชนิดแอลฟา (30:70) ที่กำลังขยาย 4,000 เท่า 93
รูปที่ 4.15 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับปลาสเตอร์ชนิดแอลฟา (40:60) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 94
รูปที่ 4.16 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเมอร์กับปลาสเตอร์ (30:70) (a) บีตาปลาสเตอร์ (b) แอลฟาปลาสเตอร์ 94