

การเลือกภาพทางการค้าสำหรับงานประติมากรรมทราย

นางสาว กรุณา นครชัย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตรโพลีเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-403-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

19450783

SELECTION OF COMMERCIAL ADHESIVES FOR SAND SCULPTURE

MISS KARUNA NAKORNCHAI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science


Chulalongkorn University

Academic Year 2000


ISBN 974-346-403-4

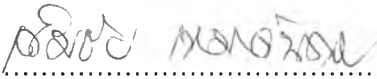
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเลือกทางการค้าสำหรับงานประติมากรรมทราย
โดย นางสาว กรุณา นครชัย
ภาควิชา วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. เข็มชัย เหมะจันทร์


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

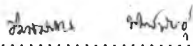

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจิตร)


คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เข็มชัย เหมะจันทร์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรณ ช่วยจุลจิตร)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ รัจนา ศิริสุข)

กรุณา นครชัย : การเลือกกาวยาทางการค้าสำหรับงานประติมากรรมทราย. (SELECTION OF COMMERCIAL ADHESIVES FOR SAND SCULPTURE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. เข็มชัย เหมะจันทร, 115 หน้า. ISBN 974-346-403-4.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติความต้านทานแรงกดของทรายที่ยึดด้วยกาวยาแต่ละชนิด ได้แก่ เจลาติน โซเดียมคาร์บอเนตซีเมติกเซลลูโลส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กัมอะราบิก พอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) พอลิอะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (ตัวยึดในสีทาบ้าน) อะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความเหนียวในงานสิ่งทอ) ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (กาวยา) อัลจีเนท ครอบสังคัลอัลคีนิลอะคริลิกพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความเหนียวในงานสิ่งทอ) และไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) โดยเปรียบเทียบความแข็งแรงจากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของเนื้อกาวยาแต่ละชนิดในทรายโดยนำหน้ากับเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของพอลิไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวยาไม่) และเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงที่มากขึ้นเมื่อปริมาณของเนื้อกาวยาเพิ่มขึ้นจากค่าความชันเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของเนื้อกาวยาแต่ละชนิดในทรายโดยนำหน้ากับเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์พอลิไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวยาไม่) พบว่าความแข็งแรงของทรายที่ยึดด้วยกาวยาจะเพิ่มขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์ของเนื้อกาวยาในทรายโดยนำหน้าเพิ่มขึ้น ยกเว้นอัลจีเนท และพบว่า อัลจีเนท พอลิอะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (ตัวยึดในสีทาบ้าน) อะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความเหนียวในงานสิ่งทอ) ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (กาวยา) ครอบสังคัลอัลคีนิลอะคริลิกพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความเหนียวในงานสิ่งทอ) และ ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) ให้ความแข็งแรงแก่ชิ้นงานน้อยกว่า พอลิไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวยาไม่) สำหรับโซเดียมคาร์บอเนตซีเมติกเซลลูโลส พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กัมอะราบิก เจลาติน และพอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) ให้ความแข็งแรงแก่ชิ้นงานมากกว่าพอลิไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวยาไม่) แต่ข้อจำกัดในการเลือกใช้โซเดียมคาร์บอเนตซีเมติกเซลลูโลส และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์คือกาวยาทั้งสองชนิดนี้มีค่าความเข้มข้นสูงสุดของเนื้อกาวยาที่สามารถฉีดพ่นละอองกาวยาได้ดีต่ำ ต้องผสมกับน้ำทะเลในปริมาณที่มากทำให้ปรากฏการณ์คาปิลารีที่ยึดทรายหมดไป ไม่สามารถให้ความแข็งแรงแก่ผิวของประติมากรรมทรายได้ ซึ่งการเลือกใช้กาวยาในงานประติมากรรมทรายต้องพิจารณาจากความแข็งแรงและค่าความเข้มข้นสูงสุดของเนื้อกาวยาที่สามารถฉีดพ่นละอองกาวยาได้ดี ดังนั้นกัมอะราบิก เจลาติน และ พอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) จึงใช้ทดแทนกาวยาพอลิไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวยาไม่) ได้

ภาควิชา วัสดุศาสตร์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....กรุณา นครชัย.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ศ.ดร. เข็มชัย เหมะจันทร.....

4072486323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEY WORD: Sand sculpture / Adhesive / Compressive strength / Spray hand pump / Recipe

KARUNA NAKORNCHAI : SELECTION OF COMMERCIAL ADHESIVES FOR SAND SCULPTURE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KHEMCHAI HEMACHANDRA, Ph.D., 115 pp. ISBN 974-346-403-4.

The selected adhesives in this study were gelatin, sodium carboxymethylcellulose, poly(vinyl alcohol), gum arabic, poly(vinyl acetate) for textile finishing , polyacrylic ester copolymer for binder in paint, acrylic copolymer for thickener, vinyl acrylic copolymer for adhesive, alginate, crosslink alkenyl acrylic copolymer for thickener and vinyl acrylic copolymer for textile finishing. The compressive strength properties of the adhesive bonded sand samples of these adhesives were studied compared with that of the adhesive bonded sands of standard poly(vinyl acetate). The comparison was done using their relationships between the compressive strength and % of each polymer in sand by weight and the slopes of their graphs. It was found that the compressive strength increased when the amount of polymer in sand by weight increased except for that of alginate. It was also found that alginate, polyacrylic ester copolymer for binder in paint, acrylic copolymer for thickener, vinyl acrylic copolymer for adhesive, crosslink alkenyl acrylic copolymer for thickener and vinyl acrylic copolymer for textile finishing gave compressive strength lower than standard poly(vinyl acetate). But gum arabic, sodium carboxymethylcellulose, poly(vinyl alcohol), gelatin and poly(vinyl acetate) for textile finishing gave compressive strength comparable or higher than standard poly(vinyl acetate). The limitation for sodium carboxymethylcellulose and poly(vinyl alcohol) is that they both had low maximum concentration values for spraying; consequently, high amount of seawater in mixing was needed. This results in a decrease in capillary effect that holds sand particles together. Since, the adhesive selection was considered from both compressive strength and maximum concentration values for spraying; therefore, gum arabic, gelatin and poly(vinyl acetate) for textile finishing can be used as adhesives for sand sculpture.

Department Materials Science

Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology

Academic year 2000

Student's signature.....

Advisor's signature.....

KARUNA NAKORNCHAI

Khemchai Hemachandra



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้อย่างสมบูรณ์นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางด้านวิชาการ ความเชื่อเฟื่องฟูทางด้านสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิในด้านต่างๆเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายนามดังนี้

1. รศ.ดร. เข็มชัย เหมะจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นและแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
2. รศ. ไพพรรณ สันติสุข รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร อ.ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ และ อ.รจนา ศิริสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภาควิชาวัสดุศาสตร์ที่ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์
3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. บริษัท ยูเนี่ยนคาร์ไบด์ (ประเทศไทย) จำกัด
7. บริษัท ซีบา สเปเชียลตี้ (ประเทศไทย) จำกัด
8. บริษัท เอ็มซีเท็กไทล์ จำกัด
9. บริษัท เมอร์ค (ประเทศไทย) จำกัด
10. ศูนย์ระศักดิ์ ลออศิริงาม
11. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาการทั้งหลายให้แก่ข้าพเจ้า จนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เป็นผลสำเร็จตามที่มุ่งหวังไว้

สารบัญ

| บทที่ | หน้า |
|---------------------------|------|
| บทคัดย่อ(ภาษาไทย)..... | ง |
| บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ญ |
| สารบัญภาพ..... | ฎ |

บทที่

| | |
|--|----|
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 2.วารสารปริทรรศน์..... | 4 |
| 2.1 ธรรมชาติของทราย..... | 4 |
| 2.2 แรงหรือพันธะที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| 2.3 กาวที่มีการใช้งานประเภทต่างๆ..... | 9 |
| 2.4 กาวที่เลือกใช้ในงานวิจัย..... | 10 |
| 2.5 ชนิดของกาวที่เลือกใช้..... | 11 |
| 2.5.1 พอลิไวนิลอะซิเตด..... | 11 |
| 2.5.2 พอลิอะคริลิกโคพอลิเมอร์..... | 12 |
| 2.5.3 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์..... | 14 |
| 2.5.4 อัลจีเนท..... | 15 |
| 2.5.5 โขเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส..... | 16 |
| 2.5.6 เจลาติน..... | 17 |
| 2.5.7 กัมอะราบิก..... | 19 |
| 2.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างประติมากรรมทราย..... | 20 |
| 2.7 การควบคุมตัวแปรในการทดลอง..... | 24 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.วิธีดำเนินการวิจัย..... | 26 |
| 3.1 การทดลองหาสมบัติของวัตถุดิบ..... | 26 |
| 3.1.1 น้ำทะเล..... | 26 |
| 3.1.2 ทราย..... | 26 |
| 3.1.3 กาว..... | 27 |
| 3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ..... | 29 |
| 3.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงกด..... | 30 |
| | |
| 4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... | 31 |
| 4.1 สมบัติของวัตถุดิบ..... | 31 |
| 4.1.1 น้ำทะเล..... | 31 |
| 4.1.2 ทราย..... | 31 |
| 4.1.3 กาว..... | 35 |
| 4.2 ค่าความต้านทานแรงกด..... | 37 |
| 4.2.1 ค่าความต้านทานแรงกดของพอลิไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้)..... | 37 |
| 4.2.2 ค่าความต้านทานแรงกดของไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส..... | 39 |
| 4.2.3 ค่าความต้านทานแรงกดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์..... | 41 |
| 4.2.4 ค่าความต้านทานแรงกดของกัมอะราบิก..... | 43 |
| 4.2.5 ค่าความต้านทานแรงกดของเจลาติน..... | 45 |
| 4.2.6 ค่าความต้านทานแรงกดของพอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ)..... | 47 |
| 4.2.7 ค่าความต้านทานแรงกดของพอลิอะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (ตัวยึดในสีทาบ้าน)..... | 49 |
| 4.2.8 ค่าความต้านทานแรงกดของอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ)..... | 51 |
| 4.2.9 ค่าความต้านทานแรงกดของไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (กาว)..... | 53 |
| 4.2.10 ค่าความต้านทานแรงกดของอัลจีเนท..... | 55 |

สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.2.10 ค่าความต้านทานแรงกดของอัลจีเนท..... | 55 |
| 4.2.11 ค่าความต้านทานแรงกดของครอสลิงค์อัลคีนิลอะคริลิกพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ)..... | 57 |
| 4.2.12 ค่าความต้านทานแรงกดของไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ)..... | 59 |
| 4.2.13 เปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกด และเปอร์เซ็นต์ของเนื้อกาวทุกตัวในทรายโดยน้ำหนัก.. | 61 |
| 5. ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 65 |
| 5.1 ข้อสรุป..... | 65 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 65 |
| 6. รายการอ้างอิง..... | 66 |
| 7. ภาคผนวก..... | 70 |
| ภาคผนวก ก..... | 71 |
| ภาคผนวก ข..... | 80 |
| ภาคผนวก ค..... | 111 |
| 8. ประวัติผู้วิจัย..... | 115 |

สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ชนิดของกาวที่ใช้ในงานปั้น..... | 9 |
| 2.2 ชนิดของกาวที่ใช้ในงานหล่อโลหะ..... | 9 |
| 2.3 สมบัติการไหลที่ใช้ในงานฉีดพ่น..... | 10 |
| 3.1 รายละเอียดของกาวเริ่มต้น..... | 28 |
| 3.2 การควบคุมตัวแปรในชิ้นงานทดสอบ..... | 29 |
| 4.1 เปอร์เซนต์ของทรายที่ค้างอยู่บนตะแกรงทดสอบขนาดต่าง ๆ..... | 32 |
| 4.2 ค่าการอัดตัวของเนื้อทรายแห้งที่แน่นและเนื้อทรายแห้งที่หลวม..... | 34 |
| 4.3 ค่าเฉลี่ยของค่าการอัดตัวของเนื้อทรายในชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกาว..... | 34 |
| 4.4 เปอร์เซนต์ของปริมาณเนื้อกาวที่มีอยู่ในกาวที่จัดเตรียม..... | 35 |
| 4.5 ความเข้มข้นสูงสุดของเนื้อกาวที่สามารถฉีดพ่นละอองกาวให้กระจายตัวได้ดี..... | 36 |
| 4.6 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของไวนิลอะซิเตต มาตรฐาน (กาวงานไม้)..... | 37 |
| 4.7 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส..... | 39 |
| 4.8 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์..... | 41 |
| 4.9 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของกัมอะราบิก..... | 43 |
| 4.10 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของเจลาติน..... | 45 |
| 4.11 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของพอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ)..... | 47 |
| 4.12 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของพอลิอะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (ตัวยึดในสีทาบ้าน)..... | 49 |
| 4.13 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ)..... | 51 |
| 4.14 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (กาว)..... | 53 |
| 4.15 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของอัลซีนเท..... | 55 |
| 4.16 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของครอสลิงค์อัลคีนิลอะคริลิกพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ)..... | 57 |
| 4.17 ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงกดของไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ)..... | 59 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| 4.18 สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ ของเนื้อขาวทุกตัวในทรายโดยน้ำหนัก..... | 61 |

สารบัญภาพ

| ภาพประกอบ | หน้า |
|--|------|
| 1.1 นายฟิลิป แมคคอร์ดีและงานประติมากรรมที่ถูกบันทึกบนไปรษณียบัตร..... | 1 |
| 2.1 โครงสร้างเทคโนโลยีเกิดของทราย..... | 4 |
| 2.2 มุมสูงสุดของความชันผิวของทรายที่เสถียร..... | 4 |
| 2.3 ทิศทางของแรงที่เกิดจากมวลของทราย..... | 5 |
| 2.4 แผนผังแสดงแรงหรือพันธะที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของประติมากรรมทราย..... | 8 |
| 2.5 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลอะซิเตต..... | 11 |
| 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิอะคริลิกโคพอลิเมอร์..... | 12 |
| 2.7 อะคริลิกพอลิเมอร์หลังจากระเหยน้ำที่อุณหภูมิสูง..... | 13 |
| 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์..... | 14 |
| 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของอัลจีเนต..... | 15 |
| 2.10 โครงสร้างโมเลกุลของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส..... | 16 |
| 2.11 โครงสร้างโมเลกุลของเจลาติน..... | 17 |
| 2.12 อิทธิพลของเกลือที่มีผลต่อความหนืด..... | 18 |
| 2.13 โครงสร้างของสารในโมเลกุลของกัมอะราบิก..... | 19 |
| 2.14 ความสัมพันธ์ของความหนาของชั้นของเหลวและมุมสูงสุดของความชันผิว..... | 20 |
| 2.15 ความสัมพันธ์ของการเกาะกลุ่มของอนุภาคและความหนาของชั้นฟิล์ม..... | 21 |
| 2.16 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเนื้อทรายกับปริมาณน้ำในทราย..... | 21 |
| 2.17 แบบจำลองเทอร์ริส..... | 22 |
| 2.18 ความสัมพันธ์ของความเค้นและอัตราส่วนของช่องว่างที่ใช้แรงกดอัดต่างกัน..... | 22 |
| 2.19 ความสัมพันธ์ของความเค้นที่จุดแตกหักและแรงกดอัดที่อัตราส่วนของช่องว่างต่างกัน..... | 23 |
| 2.20 ความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานแรงกดของทรายต่างชนิดกัน..... | 23 |
| 2.21 ปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงกด..... | 24 |
| 3.1 รูปอนุภาคทรายมาตรฐาน..... | 26 |
| 3.2 แม่พิมพ์และชิ้นงาน..... | 29 |
| 3.3 การเปลี่ยนแปลงของสมบัติและรูปร่างของชิ้นงานระหว่างการให้แรงกด..... | 30 |
| 4.1 แผนผังการคละขนาดของทราย..... | 32 |
| 4.2 รูปของอนุภาคทรายตัวอย่างเทียบกับรูปอนุภาคทรายมาตรฐาน..... | 33 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน(กาวงานไม้)ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 38 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในทรายโดยน้ำหนัก..... | 40 |
| 4.5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของไซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 40 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 42 |
| 4.7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 42 |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของกัมอะราบิกในทรายโดยน้ำหนัก..... | 44 |
| 4.9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของกัมอะราบิกกับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 44 |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของเจลาตินในทรายโดยน้ำหนัก..... | 46 |
| 4.11 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของเจลาตินกับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 46 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของพอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 48 |
| 4.13 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของพอลิไวนิลอะซิเตต (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 48 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของพอลิอะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (ตัวยึดในสีทาบ้าน) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 50 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 4.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ พอลิอะคริลิกเอสเทอร์โคพอลิเมอร์ (ตัวยึดในสีทาบ้าน) กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 50 |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ อะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 52 |
| 4.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ อะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ) กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 52 |
| 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (กาว) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 54 |
| 4.19 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (กาว) กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 54 |
| 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ อัลจีเนทในทรายโดยน้ำหนัก..... | 56 |
| 4.21 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ อัลจีเนทกับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 56 |
| 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ ครอสลิงค์อัลคีนิลอะคริลิกพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 58 |
| 4.23 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ ครอสลิงค์อัลคีนิลอะคริลิกพอลิเมอร์ (สารเพิ่มความหนืดในงานสิ่งทอ) กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กาวงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 58 |
| 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 60 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพประกอบ | หน้า |
|---|------|
| 4.25 | |
| เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและเปอร์เซ็นต์ของ ไวนิลอะคริลิกโคพอลิเมอร์ (สารเพิ่มเนื้อให้ผ้าในงานสิ่งทอ) กับไวนิลอะซิเตตมาตรฐาน (กางงานไม้) ในทรายโดยน้ำหนัก..... | 60 |
| 4.26 | |
| เปรียบเทียบสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดและ เปอร์เซ็นต์ของเนื้อกาวทุกตัวในทรายโดยน้ำหนัก..... | 62 |
| 4.27 | |
| ลักษณะการแตกหักของชิ้นงานที่ยึดด้วยกาวแต่ละชนิด..... | 64 |