การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุฐานฟันปลอมที่ทำจาก พอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยใช้เส้นใยเสริมแรง

นาย นิรุต ครามแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0910-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19961267X 10 ก.ย. 2546

IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF DENTURE BASE MATERIAL MADE FROM POLYMETHYLMETHACRYLATE BY USING REINFORCING FIBERS

MR. NIRUT KHRAMSAENG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0910-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุฐานฟันปลอมที่ทำจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยใช้เส้นใยเสริมแรง**
โดย	**นายนิรุต คราแสง**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมเคมี**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล**
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	**อาจารย์ ณัฐพร โทณานนท์**

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ณัฐพร โทณานนท์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์)

นิรุต คราบแสง : การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุฐานฟันปลอมที่ทำจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยใช้เส้นใยเสริมแรง (IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF DENTURE BASE MATERIAL MADE FROM POLYMETHYLMETHACRYLATE BY USING REINFORCING FIBERS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ณัฐพร โทณานนท์, 115 หน้า. ISBN 974-13-0910-4

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของฐานฟันปลอมที่ผลิตจากพอลิ-เมทิลเมทาคริเลต โดยเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งโดยใช้เส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์ที่มีความยาว 5, 10 และ 15 มม. และมีการจัดเรียงแบบต่าง ๆ จากการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสั้นขนาด 15 มม. ในปริมาณ 3% โดยน้ำหนัก จะให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกมากกว่า กรณีเติมเส้นใยขนาด 10 และ 5 มม. ในปริมาณ 3%, 2% และ 1% โดยน้ำหนักตามลำดับ จากการทดลองพบว่าให้ค่าการทนแรงกระแทกสูงกว่ากรณีไม่เติมเส้นใยถึง 3 เท่า แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการเติมเส้นใยจะมีผลทำให้ค่าการต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งลดลงประมาณ 13.8% (ในกรณีเส้นใยยาว 15 มม. ในปริมาณ 3% โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นผลมาจากการยึดเกาะที่ผิวของเส้นใยกับเมตริกซ์ไม่ดี การปรับแต่งผิวของเส้นใยให้หยาบมากขึ้น พบว่าจะช่วยให้ค่าความต้านทานการดัดโค้งเพิ่มขึ้นปริมาณ 10% (กรณีเติมเส้นใยยาว 15 มม.ที่ 3% โดยน้ำหนัก) ในการเตรียมเป็นเส้นใยยาว พบว่าจัดเรียงตัวแบบซ้อนกัน 2 ชั้น ให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงกว่า กรณีเรียงขนานกับชั้นเดียว แต่ในทางทันตกรรมควรเตรียมเป็นเส้นใยสั้น เพื่อง่ายต่อการขึ้นรูป

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....นิรุต คราบแสง.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....ณัฐพร โทณานนท์

4070317621 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: POLYMETHYMETHACRYLATE / PMMA / POLYESTER FIBER / COMPOSITE

NIRUT KHRAMSAENG : IMPROVEMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF DENTURE BASE MATERIAL MADE FROM POLYMETHYMETHACRYLATE BY USING REINFORCING FIBER. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR TAWACHAI CHARINPANITKUL, Ph.D., THESIS COADVISOR : NATTAPORN TONANON, 115 pp. ISBN 974-13-0910-4

The aim of this research is to study the mechanical properties of denture base material made from PMMA using polyester fiber as a reinforcing material. The length of fiber, the amount of fiber and pattern of fiber were varied to find out the suitable condition to enhance the mechanical properties. The study has shown that PMMA with 3% by weight of 15 mm fiber shown the highest impact strength compared to PMMA added 3%, 2%, and 1% by weight of 10 and 5 mm fiber. However, the addition of fiber resulted to the flexural properties of composite materials being lower than that of pure PMMA. This could be attributed to that the interface adhesion between fiber and matrix is worse after adding fiber. Furthermore, as the result of etching fiber, this can increase the flexural properties by 10% (in case of 15-mm.-fiber length and 3% by wt). The impact properties of two-layer-orientation composites is higher than that of single-layer orientation composite. The short fiber is easier to use than long fiber especially in dental application.

Department	Chemical Engineering	Student's signature Nirut Khramsaeng
Field of study	Chemical Engineering	Advisor's signature
Academic year	2000	Co-advisor's signature Nattaporn Tonanon

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ณัฐพร โทณานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม โดยกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนช่วยแก้ไขและเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล ในฐานะประธานกรรมการ, ดร. วรัญ แต้ไพสิฐพงษ์ ในฐานะกรรมการซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทพ. ปิยะวัฒน์ พันธุ์โกศล อาจารย์ประจำคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบต่างๆ ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำลายเทียม เพื่อใช้ในการทดสอบ

ขอขอบพระคุณ คุณ นพดล บำรุงเกียรติ์ บริษัท เทยิน โพลีเอสเตอร์ จำกัด ที่ได้ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับเส้นใยพอลิเอสเทอร์ และให้ความอนุเคราะห์เส้นใยที่ใช้ในการทดสอบ.

ขอขอบพระคุณ ดร. ดวงดาว อาจองค์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำเกี่ยวกับการปรับแต่งผิวเส้นใยที่ใช้ในการทดสอบ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆ ที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอบคุณอาจารย์และผู้ที่ให้ความช่วยเหลืออีกหลายท่านที่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ ขอบพระคุณ

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ญ
สารบัญรูป		ฐ
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ที่มาและมูลเหตุจูงใจ	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
บทที่2	บทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 การขึ้นรูปชิ้นงานประกอบแต่ง	3
	2.2 การเตรียมผิวเส้นใยเสริมแรง	3
	2.3 ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่าง ๆ	4
	2.4 การปรับแต่งผิวเส้นใย	5
บทที่3	ทฤษฎี	6
	3.1 วัสดุฐานฟันปลอม	6
	3.2 พอลิเมทิลเมทาคริเลต	7
	3.3 กระบวนการผลิตฐานฟันปลอมชนิดบ่มด้วยความร้อน	9
	3.3.1 องค์ประกอบ	9
	3.3.2 สมบัติของฐานฟันปลอมพอลิเมทิลเมทาคริเลต	10
	3.3.3 วิธีอัด	11
	3.3.4 สิ่งบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น	15
	3.4 อะคริลิกชนิดบ่มได้เองสำหรับประดิษฐ์ฐานฟันปลอม	17
	3.4.1 ปฏิกิริยาเคมี	17
	3.4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติ	18
	3.5 กลไกของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์	18
	3.5.1 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยา	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5.2 วิธีแยกอนุมูลอิสระ..... 22

3.6 ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง..... 23

3.6.1 พอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยวัสดุอื่น..... 23

3.6.2 การประยุกต์ใช้งานของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลต 24

3.7 ผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสั้น..... 25

3.7.1 ข้อดีของการเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้น..... 25

3.7.2 ความยาวของเส้นใย..... 25

3.7.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย..... 27

3.7.4 การกระจายของความเค้นและความเครียดในเส้นใย..... 28

3.8 การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์..... 29

3.9 เส้นใยพอลิเอสเทอร์..... 32

3.10 สมบัติเชิงกล..... 36

3.10.1 การทนแรงกระแทก..... 36

3.10.2 การทนการดัดโค้ง..... 39

บทที่ 4 วิธีการทดลอง..... 41

4.1 สารเคมี 41

4.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ 42

4.3 การเตรียมชิ้นงานประกอบแต่งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเส้นใยเสริมแรง..... 44

4.3.1 การเตรียมพอลิเมอร์โด..... 44

4.3.2 การเตรียมชิ้นงานประกอบแต่ง..... 44

4.4 การปรับแต่งผิวเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์..... 44

4.4.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์..... 44

4.4.2 การปรับแต่งผิวเส้นใยเสริมแรงพอลิเอสเทอร์..... 45

4.5 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ 45

4.5.1 การทนแรงกระแทก..... 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.2 การทนการดัดโค้ง 47

4.5.3 การทดสอบการทนแรงภายใต้สภาวะที่กำหนด 48

4.6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล 50

4.6.1 การทดสอบการทนแรงกระแทก 50

4.6.2 การทดสอบการทนการดัดโค้ง 53

4.6.3 การทดสอบการทนแรงภายใต้สภาวะที่กำหนด 54

บทที่5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 55

5.1 การทนแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่ใช้เส้นใยไม่ต่อเนื่อง 55

5.2 การศึกษาผลการเรียงตัวของเส้นใยยาวที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง 59

5.3 การทนการดัดโค้ง 61

5.4 อิทธิพลของการปรับแต่งผิวของเส้นใยเสริมแรงที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง 66

5.5 การศึกษาการทนแรงภายใต้สภาวะแวดล้อมที่กำหนดของชิ้นงานทดสอบ 70

5.6 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของรอยแตกที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง 71

บทที่6 สรุปผลการทดลอง 77

ข้อเสนอแนะ 78

รายการอ้างอิง 79

ภาคผนวก 82

ภาคผนวก ก. ข้อมูลดิบผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก 83

ภาคผนวก ข. ข้อมูลดิบผลการทดสอบการทนการดัดโค้ง 85

ภาคผนวก ค. องค์ประกอบของน้ำลายเทียม 91

ภาคผนวก ง. คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุฐานฟันปลอม 92

ภาคผนวก จ. คุณสมบัติของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ 93

ภาคผนวก ฉ. ค่ามาตรฐานของวัสดุฐานฟันปลอม 94

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ปริมาณองค์ประกอบของสารคั่นกลาง.....	12
5.1	ค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์กับผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ปริมาณและความยาวต่าง ๆ กัน.....	55
5.2	ค่าความต้านทานแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีเส้นใยจัดเรียงตัวแบบต่าง ๆ.....	59
5.3	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์กับผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอสเทอร์ที่ปริมาณและความยาวต่าง ๆ กัน.....	63
5.4	เปรียบเทียบความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเส้นใยที่ผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน (ความยาวเส้นใย = 10 มิลลิเมตร).....	66
5.5	เปรียบเทียบความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเส้นใยที่ผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน (ความยาวเส้นใย 15 มิลลิเมตร).....	66
ก-1	ค่าความต้านทานแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	83
ก-2	ค่าความต้านทานแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	83
ก-3	ค่าความต้านทานแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	84
ก-4	ค่าความต้านทานแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยยาวที่ทิศทางและปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	84
ข-1	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	85
ข-2	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข-3	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน.....	86
ข-4	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน (ผ่านการแช่น้ำ 2 สัปดาห์).....	86
ข-5	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด10 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน (ผ่านการแช่น้ำ 2 สัปดาห์).....	87
ข-6	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด15 มิลลิเมตรที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กัน (ผ่านการแช่น้ำ 2 สัปดาห์).....	87
ข-7	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	88
ข-8	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	88
ข-9	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	89
ข-10	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	89
ข-11	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	90
ข-12	ค่าความต้านทานการดัดโค้งของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยผ่านการปรับแต่งผิวที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ง-1	สมบัติเชิงกลของ Denture Base Plastic (PMMA).....	92
จ-1	คุณสมบัติของเส้นใยพอลิเอสเทอร์ชนิดต่าง ๆ.....	93

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	โครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	7
3.2	ฐานฟันปลอมที่ทำด้วยอะคริลิกชนิดที่บ่มด้วยความร้อนที่มีลักษณะสมบูรณ์.....	9
3.3	รูพรุนด้านเพดานของฐานฟันปลอม.....	16
3.4	ฐานฟันปลอมที่มีรูพรุนทั้งผิว.....	16
3.5	สูตรโครงสร้างไดเมทิล-พี-โทลูไดอีน.....	17
3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นใยและความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่ง.....	26
3.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นใยกับอัตราส่วนของค่าทนแรงดึงของเส้นใยสั้นและเส้นใยยาว.....	26
3.8	รูปแบบการจัดเรียงตัวของเส้นใยระหว่างการไหลในระนาบ 2 มิติ (ก) การกระจายตัวในขณะเริ่มต้น (ข) เส้นใยหมุนขณะเกิดการไหล (ค) เมื่อถูกแรงดึงให้ยาวขึ้น.....	27
3.9	ผลของการเปลี่ยนแปลงความเครียดของเส้นใยในเมตริกซ์ที่มีค่ามอดูลัสต่ำ (ก) เส้นใยสั้น (ข) เส้นใยยาว.....	28
3.10	การยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์.....	31
3.11	เครื่องมือที่ใช้วัดค่ากำลังกระแทก.....	37
3.12	ขนาดและรอยบากของชิ้นงานที่จะนำไปวัดค่าแรงกระแทก.....	38
3.13	ลักษณะการจับชิ้นงานแบบ Izod.....	38
3.14	การทดสอบค่าความต้านทานการดัดโค้ง (ก) แบบโค้ง 3 จุด (ข) แบบโค้ง 4 จุด.....	39
3.15	แรงที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานขณะถูกกดตรงกลาง.....	40
4.1	แผนผังการทำการทดลอง.....	43
4.2	แบบพิมพ์สเตนเลสที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนแรงกระแทก.....	45
4.3	ลักษณะการบากชิ้นงานเพื่อนำไปวัดค่าความต้านทานแรงกระแทก.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	แบบพิมพ์สเตนเลสที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการทนการดัดโค้ง.....	47
4.5	ฐานสเตนเลสเพื่อบังคับชิ้นงานทดสอบ ESCR.....	48
4.6	ลักษณะการบากชิ้นงานทดสอบ ESCR.....	49
4.7	Impact Tester ITR-2000.....	50
4.8	การจัดเรียงเส้นใยยาวแบบแนวเดียว 1 ชั้น.....	51
4.9	การจัดเรียงเส้นใยยาวตามแนวยาวและแนวขวางตั้งฉากกัน 1 ชั้น.....	51
4.10	การจัดเรียงเส้นใยยาวแบบแนวเดียว 2 ชั้น.....	52
4.11	การจัดเรียงเส้นใยยาวตามแนวยาวและแนวขวางตั้งฉากกัน 2 ชั้น.....	52
4.12	Universal Testing Machine LLOYD 2000R.....	53
5.1	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์.....	56
5.2	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์.....	56
5.3	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์.....	57
5.4	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาดต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์.....	57
5.5	ค่าการต้านทานต่อแรงกระแทกของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีเส้นใยจัดเรียงตัวแบบต่าง ๆ.....	59
5.7	กราฟแสดงค่าความต้านทานการดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 5 มิลลิเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.8	กราฟแสดงค่าความต้านทานการดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 10 มิลลิเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์	62
5.9	กราฟแสดงค่าความต้านทานการดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาด 15 มิลลิเมตรที่ปริมาณต่าง ๆ กันและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์	63
5.10	กราฟแสดงค่าความต้านทานการดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาดต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 1,2 และ 3 % โดยน้ำหนักและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์	64
5.11	กราฟแสดงค่าความต้านทานการดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาดต่าง ๆ ที่ปริมาณเส้นใย 1,2 และ 3 % โดยน้ำหนักและพอลิเมทิลเมทาคริเลตบริสุทธิ์โดยชิ้นงานทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน	64
5.12	การส่งผ่านแรงระหว่างเมตริกซ์ไปยังเส้นใยเสริมแรงการส่งผ่านแรงภายในเนื้อเมตริกซ์ (ก) การส่งผ่านแรงภายในเนื้อเมตริกซ์ (ข) การส่งผ่านแรงภายในเนื้อเมตริกซ์เมื่อเส้นใยเสริมแรงเกิดการยึดเกาะที่ไม่ดี	65
5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการดัดโค้งที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กันและเส้นใยที่ผ่านการเตรียมผิวที่ 5,10 และ 20 นาที (ความยาวเส้นใย = 10 มิลลิเมตร)	67
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการดัดโค้งที่ปริมาณเส้นใยต่าง ๆ กันและเส้นใยที่ผ่านการเตรียมผิวที่ 5,10 และ 20 นาที (ความยาวเส้นใย = 15 มิลลิเมตร)	67
5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการดัดโค้งกับเวลาที่ใช้ในการปรับแต่งผิวเส้นใยต่าง ๆ กัน (ความยาวเส้นใย =10มิลลิเมตร)	68
5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานการดัดโค้งกับเวลาที่ใช้ในการปรับแต่งผิวเส้นใยต่าง ๆ กัน (ความยาวเส้นใย =15มิลลิเมตร)	68
5.17	สภาพผิวของเส้นใยที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับแต่งผิว	69
5.18	เส้นใยก่อนการปรับแต่งผิว	71

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.19	รูปขยายผิวของเส้นใยที่หลุดออกจากเนื้อเมตริกซ์.....	72
5.20	ภาพถ่าย SEM ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอสเทอร์ขนาด 5 มิลลิเมตรที่ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก..	72
5.21	ภาพถ่าย SEM ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอสเทอร์ขนาด 10 มิลลิเมตรที่ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	73
5.22	ภาพถ่าย SEM ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอสเทอร์ขนาด 15 มิลลิเมตรที่ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	73
5.23	ภาพถ่าย SEM บริเวณชิ้นงานที่หักเมื่อทดสอบการทนการดัดโค้ง.....	74
5.24	รูปขยายภาพถ่าย SEM บริเวณชิ้นงานที่หักเมื่อทดสอบการทนการดัดโค้ง.....	74
5.25	ลักษณะการแตกหักของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งเมื่อทดสอบการทนการดัดโค้ง..	75
5.26	ภาพถ่าย SEM ผิวเส้นใยที่ผ่านการปรับแต่งผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอล.....	76
5.27	ภาพถ่าย SEM ผิวเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับแต่งผิว.....	76