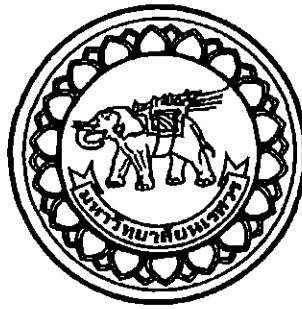




ศึกษาสมบัติเชิงกลของฐานฟันเทียมจากพอลิเมทิลเมทาครีเลตเสริมใยแก้ว

ด้วยเส้นใยแก้ว

MECHANICAL PROPERTIES OF PMMA DENTURE BASE REINFORCED
WITH GLASS FIBERS

นางสาวณัชร ชูมา

รหัส 52364957

นางสาวภัทรพร ชุตินทร

รหัส 52365107

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
- 5 ส.ค. 2556
วันที่รับ...../...../.....
เลขทะเบียน..... 16321253
เลขเรียกหนังสือ..... 58
มหาวิทยาลัยนเรศวร 86261

2656

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ	ศึกษาสมบัติเชิงกลของฐานพื้นเทียมจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวณัฏฐร ชูมา	รหัส	52364957
	นางสาวภัทรพร ชุตินเตร	รหัส	52365107
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นพวรรณ ไม้ทอง		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

.....กรรมการ
(ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)

.....กรรมการ
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

.....กรรมการ
(อาจารย์อภาภรณ์ จันทรปรีกษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ศึกษาสมบัติเชิงกลของฐานฟันเทียมจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว		
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวณัฏฐา ชูมา	รหัส	52364957
	นางสาวภัทรพร ชุตินทร	รหัส	52365107
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นพวรรณ ไม้ทอง		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันความต้องการใช้ฐานฟันเทียมเพื่อบูรณะการขาดเคี้ยวมีสูงอย่างต่อเนื่องเป็นสาเหตุให้ความจำเป็นในการใช้ฐานฟันเทียมเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันฐานฟันเทียมยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีข้อด้อยหลายด้าน วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly (Methyl Methacrylate); PMMA) เป็นวัสดุที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการประดิษฐ์ฐานฟันเทียมเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีน้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำน้อย เหมาะสมกับการใช้งานในช่องปากและซ่อมแซมได้ง่ายราคา อย่่างไรก็ตาม วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตยังคงมีข้อด้อยเรื่องความแข็งแรงของผิวและปัญหาการสึกกร่อน

การเลือกวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมรวมทั้งการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบ (Coupling Agents) ชนิดไซเลนเพื่อช่วยการยึดติดระหว่างวัสดุเสริมแรงและพอลิเมอร์หลัก จะมีผลต่อความแข็งแรงในการใช้งานของวัสดุคอมโพสิต โครงการนี้พยายามที่จะพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุฐานฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตโดยการเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุเสริมแรงชนิดเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ เส้นใยแก้วแบบตัด เส้นใยแก้วแบบทึบ และเส้นใยแก้วแบบยาววางขนาน โดยโครงการนี้ศึกษาสัดส่วนการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุเสริมแรง วัสดุทั้งหมดจะถูกทำการเปรียบเทียบด้วยการแซ่สารคู่ควบกลุ่มไซเลนและไม่แซ่ไซเลน

การศึกษาด้านความแข็งแรงของฐานฟันเทียมที่ไม่เสริมแรงและเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 4 %wt/v โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก แรงดัดโค้ง และแรงอัด พบว่าฐานฟันเทียมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบทึบที่ 4 %wt/v สามารถเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกได้ร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับฐานฟันเทียมที่ไม่เสริมแรงและฐานฟันเทียมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบตัดสั้นที่ 4 %wt/v สามารถรับแรงดัดโค้งได้ดีกว่าฐานฟันเทียมที่ไม่เสริมแรงถึงร้อยละ 65 แต่การเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทุกรูปแบบและทุกสัดส่วนกลับไม่เพิ่มความแข็งแรงต่อการทดสอบความทนทานต่อแรงอัด จากการศึกษาการเปรียบเทียบผลของการนำเส้นใยแก้วไปแซ่ในสารไซเลน 2 %v/wt และไม่แซ่ไซเลน พบว่าไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรมขอแสดงความขอบคุณบุคคล หน่วยงาน และสถาบันที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้การจัดทำโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ทำให้ได้มีโอกาสในการดำเนินโครงการ เื่อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ และ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่เื่อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์นพวรรณ ไหมทอง อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และอาจารย์นภรณ์ จิตตภิรมย์ศักดิ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ ที่ได้ให้แนวความคิด คำแนะนำในการดำเนินงาน และโอกาสที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆ ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่คณะผู้ดำเนินโครงการตลอดมา จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวณัชร ชูมา

นางสาวภัทรพร ชุตินทร

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาบัตร.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	2
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.3 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	16
3.1 การเตรียมเส้นใยแก้ว.....	16
3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	18
3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบ.....	21
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	24
4.1 ชิ้นงานทดสอบ.....	24
4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล.....	24
4.3 ผลการตรวจสอบการเรียงตัวของเส้นใย.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	41
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก ก.....	47



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
2.1 แสดงสมบัติทางกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	7
2.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของฐานพื้นเทียม.....	8
ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงดัดโค้ง.....	47
ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก.....	48
ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงอัด.....	49
ก.4 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของ PMMA.....	50



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพแสดงชนิดของเส้นใยแก้ว.....	10
2.2 ภาพแสดงตัวกลางเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใย.....	11
2.3 การทดสอบแรงดัดโค้ง.....	13
2.4 การทดสอบแรงกระแทก.....	14
2.5 การทดสอบแรงอัด.....	15
3.1 วิธีการเตรียมเส้นใยแก้ว.....	17
3.2 กลุ่มการทดลอง.....	17
3.3 วิธีการเตรียมเบ้าหล่อแบบ.....	19
3.4 วิธีการเตรียมชิ้นทดสอบ.....	20
3.5 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง.....	21
3.6 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790.....	21
3.7 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก.....	22
3.8 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256.....	22
3.9 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงอัด.....	23
3.10 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D695.....	23
4.1 ชิ้นงานทดสอบฐานพื้นเทียมที่ไม่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว.....	24
4.2 กราฟแสดงผลของปริมาณและชนิดของเส้นใยต่อสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง (Young's Modulus of Bending)	24
4.3 กราฟแสดงผลของปริมาณและชนิดของเส้นใยต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength).....	25
4.4 กราฟแสดงผลของปริมาณและชนิดของเส้นใยต่อสมบัติการทนต่อแรงอัด (Compressive Strength).....	25
4.5 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่แซะเลนและไม่แซะเลนต่อ สมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง.....	27
4.6 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบยาววางขนานที่แซะเลนและไม่แซะเลนต่อ สมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง.....	27
4.7 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบทึชชู่ที่แซะเลนและไม่แซะเลนต่อ สมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง.....	28
4.8 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่แซะเลนและไม่แซะเลนต่อ สมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบยาววางขนานที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลนต่อ สมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	29
4.10 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบทึบซุที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลนต่อ สมบัติการทนต่อแรงกระแทก.....	30
4.11 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลนต่อ สมบัติการทนต่ออัด.....	31
4.12 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบยาววางขนานที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลนต่อ สมบัติการทนต่ออัด.....	31
4.13 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบทึบซุที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลนต่อ สมบัติการทนต่ออัด.....	32
4.14 ชิ้นงานทดสอบเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ก) เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบตัดสั้น ข) เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบยาววางขนาน ค) เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบทึบซุ.....	33
4.15 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้ว ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้น ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนาน ค) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบซุ.....	34
4.16 การเรียงตัวของเส้นใยแก้วทั้งภายในชิ้นทดสอบ ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้น ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนาน ค) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบซุ.....	35
4.17 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นแซ้ไซเลน ข) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นไม่แซ้ไซเลน.....	37
4.18 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต ก) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานแซ้ไซเลน ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานไม่ แซ้ไซเลน.....	38
4.19 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วรูปแบบทึบซุกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต ก) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบซุแซ้ไซเลน ข) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบซุไม่แซ้ไซเลน.....	39

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

ASTM	=	American Society for Testing and Materials
% wt	=	Percent by Weight
% wt/v	=	Percent Weight by Volume
% v/wt	=	Percent Volume by Weight
cm	=	Centimetre
MPa	=	Megapascal
J/cm ²	=	Joules per Square Centimeter
J/in ²	=	Joules per Square Inch



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันความต้องการใช้ฐานฟันเทียมเพื่อบูรณะการบดเคี้ยวและเพื่อความสวยงามมีสูงอย่างต่อเนื่องเป็นสาเหตุให้มีความจำเป็นในการใช้ฐานฟันเทียมเป็นจำนวนมาก แต่ในปัจจุบันฐานฟันเทียมยังคงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีข้อด้อยหลายด้าน วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นวัสดุที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการประดิษฐ์ฐานฟันเทียมเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีความสวยงาม มีน้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำน้อย สามารถหล่อแต่ง ขัดเป็นเงาง่าย เหมาะสมกับการใช้งานในช่องปาก ซ่อมแซมได้ง่ายและราคาไม่แพง ฯลฯ [32] อย่างไรก็ตามวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตยังคงมีข้อด้อยเรื่องความแข็งแรงของผิว และปัญหาการสีกร่อน เมื่อเทียบกับฟันธรรมชาติและแตกหักง่ายเมื่อได้รับแรงบดเคี้ยวต่อเนื่องซ้ำๆ เนื่องจากเกิดเป็นรอยร้าวในบริเวณศูนย์รวมความเค้น (Stress-Concentration) รอยร้าวจะกลายเป็นรอยแตกและขยายตัวต่อไปจนทำให้เกิดการแตกหักได้มีความพยายามคัดเลือกวัสดุอื่นมาใช้แทนพอลิเมทิลเมทาคริเลต เช่น พอลิเอไมด์ พอลิสไตรีน แต่พบว่าวัสดุเหล่านี้มีการดูดซึมน้ำ (Water Sorption) สูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมิติ (Dimensional Change) ส่งผลต่อการใช้งานและไม่มีสมบัติเหนือกว่าพอที่จะแทนที่พอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ [1-4]

วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตจึงได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการแตกหักและการสีกร่อนง่ายของฐานฟันเทียม วัสดุคอมโพสิตได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยวิธีการต่างๆ เช่น การเสริมแรงด้วยการเติมวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ (Inorganic Fillers) ชนิดเส้นใยและชนิดอนุภาค การเสริมแรงวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยเส้นใยมีการเลือกใช้เส้นใยหลายชนิด โดยเส้นใยที่เลือกใช้จะมีค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งเส้นใยที่นิยมนำมาศึกษานั้น ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว และเส้นใยอะรามิด [7-25] ส่วนการศึกษาการเติมวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ชนิดอนุภาค พบว่าสมบัติของวัสดุคอมโพสิตมีความเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของอนุภาคแต่โดยส่วนใหญ่แล้ววัสดุคอมโพสิตที่เติมวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์จะให้ค่าความแข็งแรงที่ดีกว่าวัสดุพอลิเมอร์พื้นฐาน [10-16]

ดังนั้นการเลือกวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ที่เหมาะสมรวมทั้งการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบชนิดไฮโดรฟิลิกเพื่อช่วยการยึดติดระหว่างวัสดุอัดแทรกและพอลิเมอร์หลักจะมีผลต่อความแข็งแรงในการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตอย่างแน่นอน ดังนั้นการทดสอบวัสดุฐานฟันเทียมคอมโพสิตโดยคำนึงถึงสมบัติด้านนี้ของการรับแรงทดสอบจะทำให้สามารถคาดเดาพฤติกรรมของวัสดุคอมโพสิตนี้เมื่อนำไปใช้งานได้ [39-41] งานวิจัยนี้มีความพยายามที่จะพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุฐานฟันเทียมพอลิเมทิล-เมทาคริเลตคอมโพสิตโดยการเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุอัดแทรกชนิดเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ เส้นใยแก้วแบบตัดสั้น เส้นใยแก้วแบบทึบ และเส้นใยแก้วแบบยาววางขนาน

งานวิจัยนี้ศึกษาสัดส่วนการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุอัดแทรก วัสดุทั้งหมดจะถูกทำการเปรียบเทียบระหว่างการปรับสภาพผิวก่อนด้วยสารคู่ควบกลุ่มไฮเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตและไม่ปรับสภาพผิวเส้นใยแก้ว จากนั้นวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะถูกนำไปศึกษาเปรียบเทียบ สมบัติทางกลเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงสมบัติ ลดข้อจำกัด และพัฒนาศักยภาพในการผลิตฐานฟันเทียม เพื่อประยุกต์ใช้ในงานทันตกรรมภายในประเทศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของการขึ้นรูปของขั้นตอนเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตเสริมแรงด้วยชนิดเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ เส้นใยแก้วแบบตัดสั้น เส้นใยแก้วแบบทึบ และเส้นใยแก้วแบบยาววางขนาน ที่แซ่ไฮเลนและไม่แซ่ไฮเลน

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงดัดโค้ง ของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตที่เติมวัสดุอัดแทรกชนิดเส้นใยแก้วหลังการขึ้นรูป

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 ชนิดของเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ แบบตัดสั้น แบบทึบ และแบบยาววางขนานที่มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 1, 2 และ 4 โดยน้ำหนักของเส้นใยต่อปริมาตรของพอลิเมทิลเมทาคริเลต

1.3.1.2 การปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วยสารคู่ควบไฮเลน คือ แซ่ไฮเลนและไม่แซ่ไฮเลน

1.3.2 ตัวแปรควบคุม

1.3.2.1 วัสดุเนื้อหลัก คือ พอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตแบบบ่มด้วยความร้อน Heat-Curing Denture Base

1.3.2.2 สารคู่ควบกลุ่มไฮเลนร้อยละ 2 โดยปริมาตรของไฮเลนต่อน้ำหนักของเส้นใย

1.3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

สมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงดัดโค้งของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตหลังการขึ้นรูป เมื่อเสริมแรงด้วยวัสดุอัดแทรกชนิดเส้นใยแก้วที่แซ่ไฮเลนเทียบกับวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตที่ไม่เสริมแรงและไม่แซ่ไฮเลน

1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

1.4.1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4.2 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตั้งแต่วันที่ 5 มิถุนายน 2555 – 28 กุมภาพันธ์ 2556

1.6 ขั้นตอนและแผนดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ

	การดำเนินงาน	ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ									
		มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	
1.6.1	รวบรวมข้อมูล	←→									
1.6.2	วางแผนดำเนินงาน	←→									
1.6.3	หาเครื่องมือและวัตถุดิบเพื่อทำการทดลอง		←→								
1.6.4	ขึ้นรูปชิ้นทดสอบ				←→						
1.6.5	ทดสอบชิ้นงาน						←→				
1.6.6	วิเคราะห์ผลการทดลอง							←→			
1.6.7	สรุปผลการทดลองและทำรายงานวิจัย								←→		

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุฐานพื้นเทียมที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นชนิดที่ทำจากวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลต ซึ่งมี ส่วนประกอบของส่วนผง คือ ผงพอลิเมทิลเมทาคริเลตและส่วนของเหลว เมทิลเมทาคริเลต วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีสมบัติที่ดี คือ มีน้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำน้อย สีสวยงาม และราคาถูก

จากการที่วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นวัสดุที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการประดิษฐ์ฐาน พื้นเทียมแต่ยังคงมีข้อด้อยในการใช้งาน คือ มีความแข็งแรงต่ำทำให้เกิดการแตกหักเมื่อได้รับแรงบด เคี้ยวต่อเนื่องซ้ำๆ นอกจากนี้ฐานพื้นเทียมยังทนต่อการกระแทกต่ำจึงเกิดการแตกหักได้ง่ายหากทำ พื้นเทียมหล่นกระแทกขณะทำความสะอาด [1-4, 32] จึงมีผู้พยายามปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุ พอลิเมทิลเมทาคริเลตสำหรับใช้ทำฐานพื้นเทียมจากเอกสารงานวิจัยจำนวนหนึ่ง พบว่าผู้วิจัยนิยมใช้ การเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่างๆ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยการ เสริมแรงแก้ววัสดุด้วยเส้นใยนั้นเป็นไปตามหลักของการเสริมแรงวัสดุด้วยเส้นใย [8] โดยพบว่าการใช้ เส้นใยแต่ละชนิดมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันแต่วัสดุคอมโพสิตพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงที่ได้มี ความแข็งแรงมากขึ้น [9-25]

Aydin และคณะ [10] รายงานผลการวิจัยว่าการใช้เส้นใยแก้วในรูปแบบเส้นยาวและรูปแบบ สานกันเป็นแผ่นสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของพอลิเมทิลเมทาคริเลต 3 ชนิด คือ ชนิดบ่มด้วย ความร้อน ชนิดบ่มด้วยตัวเอง และชนิดบ่มด้วยแสง ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยรูปแบบเส้นยาวสามารถ เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 50 ซึ่งมากกว่ารูปแบบสานกันเป็นแผ่นที่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัด ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ร้อยละ 21

Karacaer และคณะ [13] ทำการทดลองใช้เส้นใยแก้วชนิด E รูปแบบดัดเส้นที่มีความยาว 4 ถึง 8 มิลลิเมตร ปริมาตรร้อยละ 1 ถึง 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเส้นใยแก้วสามารถปรับปรุงสมบัติทางกล ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดฉีด (Injection Molded) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 35 เพิ่มค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นได้ร้อยละ 48 และเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกได้ร้อยละ 36 แต่การใช้เส้นใยแก้วกลับไม่เพิ่มสมบัติเชิงกลแก่พอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดอัด (Compression Molded)

Scott R. และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาผลของตำแหน่งและการจัดเรียงตัวของเส้นใยพอลิเอ- ทิลีนเส้นใยแก้วที่มีผลต่อการแตกหักของวัสดุคอมโพสิตทางการค้าสองชนิด ผลการวิจัยพบว่าวัสดุ คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีนที่จัดเรียงตัวแบบ Diagonal มีความสามารถในการรับ แรงได้ต่ำที่สุด ส่วนวัสดุคอมโพสิตที่รับแรงได้มากที่สุด คือ วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ที่จัดเรียงตัวแบบสุ่มให้ผลในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Katja K. และคณะ [15] พบว่าวัสดุพอลิ- เมทาคริเลตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วมีความสามารถในการรับแรงดัดโค้งได้ดีกว่าวัสดุ

พอลิเมทาคริเลตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีนแต่ผลจากการศึกษาของ Vistasp M. และคณะ [20] กลับพบว่าถ้าเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ใช้เป็นเส้นใยที่ถูกทอขึ้นรูปก่อนนำมาใช้เสริมแรง จะสามารถรับแรงดัดโค้งได้มากกว่าวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่จัดเรียงตัวแบบสุ่ม โดยพบว่าวัสดุ คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีนที่ถูกทอขึ้นรูปก่อนนั้นมีความสามารถในการรับแรงดัดโค้งได้ดีกว่าวัสดุหลักที่ไม่ได้เสริมแรงถึงร้อยละ 119

Spyrides S.M.M. และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยพอลิเอทิลีน จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วมีสมบัติด้านความสามารถในการรับแรงอัดดีกว่า ในขณะที่วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีนมีความเหนียวมากกว่าส่วนการรับแรงดัดโค้ง และการเสียรูปให้ผลไม่แตกต่างกันระหว่างวัสดุเสริมแรงสองชนิด

Jacob J. และคณะ [38] ทำการศึกษาสมบัติแรงดัดโค้งของวัสดุพอลิเมทาคริเลตในกระบวนการ Heat-Polymerize สำหรับฐานพื้นป्लอม โดยใช้เส้นใยเสริมแรง 3 ชนิด คือ เส้นใยแก้ว เส้นใยอะรามิต และไนลอน เนื่องจากคุณสมบัติโดยทั่วไปของวัสดุพอลิเมทาคริเลตนั้นต้องสามารถต้านทานต่อการแตกหักได้ดี ทำการทดสอบด้วยแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด โดยใช้ชิ้นงานทดสอบกลุ่มละ 10 ชิ้น ที่มีขนาดเท่ากันสำหรับกลุ่มทดสอบ 4 กลุ่ม คือ วัสดุพอลิเมทาคริเลตที่ถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว วัสดุพอลิเมทาคริเลตที่ถูกเสริมแรงด้วยเส้นใยอะรามิต วัสดุพอลิเมทาคริเลตที่ถูกเสริมแรงด้วยไนลอน และกลุ่มสุดท้ายคือวัสดุพอลิเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงด้วยเส้นใย ผลการทดสอบพบว่าทุกชิ้นงานทดสอบที่ได้รับการเสริมแรงจากเส้นใยสามารถต้านทานต่อการแตกหักได้ดีกว่าวัสดุพอลิเมทาคริเลตโดยทั่วไปที่ไม่ได้รับการเสริมแรง และพบว่าชิ้นงานทดสอบที่ได้รับการเสริมแรงจากเส้นใยแก้วนั้นสามารถต้านทานต่อการแตกหักได้ดีที่สุด ตามด้วยเส้นใยอะรามิต และสุดท้ายคือเส้นใยไนลอน

Gülay U. และคณะ [39] ศึกษาผลของเส้นใยเสริมแรงแบบทอ 5 ชนิด ที่ส่งผลต่อความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) และความต้านทานต่อความแข็งแรงแนวขวาง (Transverse-Strength) ของฐานพื้นป्लอม เนื่องจากโดยทั่วไปนั้นฐานพื้นป्लอมมีปัญหาในเรื่องของการแตกหักได้ง่ายมีหลายวิธีที่ได้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยการศึกษาในครั้งนี้เป็นการวัดผลโดยทำการทดสอบสมบัติ Impact Strength, Transverse Strength, Deflection และ Elasticity-Modulus Values จากเส้นใยเสริมแรงแบบทอทั้งหมด 5 ชนิด ด้วยกัน คือ เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยเคฟลาร์แบบทอ เส้นใยเคฟลาร์แบบทอ และเส้นใยพอลิเอทิลีน โดยใช้ชิ้นทดสอบของพอลิเมทาคริเลตแบ่งเป็นการทดสอบกลุ่มละ 10 ชิ้น รวมทั้งหมด 100 ชิ้น ที่ได้มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยและกลุ่มควบคุมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยอีกจำนวน 20 ชิ้น ทำการทดสอบแรงกระแทกโดยวิธีชาร์ปีและทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด ได้ผลการทดลอง คือ กลุ่มที่สามารถทนต่อแรงกระแทกมากที่สุด คือ กลุ่มที่ได้มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีน ส่วนกลุ่มที่สามารถทนต่อแรงกระแทกได้น้อยที่สุด คือ กลุ่มที่ได้ไม่ได้มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย แต่กลุ่มที่ได้มีการ

เสริมแรงด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีนกลับมีความสามารถต้านทานความแข็งแรงในแนวขวางได้น้อยที่สุด ข้อสรุปของการศึกษาในครั้งนี้กล่าวว่า ความสามารถทนต่อแรงกระทำของฐานพื้นปลอมพอลิเมทิลเมทาคริเลตเพิ่มขึ้นนั้นมีผลมาจากการเสริมแรงด้วยเส้นใย แต่การเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่มีผลอย่างนัยสำคัญต่อความต้านทานความแข็งแรงในแนวขวาง

ถึงแม้ว่าความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตเป็นปัญหาหลักที่นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจ แต่มีงานวิจัยอีกจำนวนหนึ่งซึ่งพบวิธีการทดสอบและควบคุมสมบัติบางประการที่ส่งผลต่อสมบัติการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตด้วยเช่นกัน

Mesquita R.V. และคณะ [34] ได้ศึกษาผลของการเปรียบเทียบสมบัติด้านวิสโคอิลาสติกของวัสดุคอมโพสิตทันตกรรมทางการค้าสองชนิดโดยทำการทดสอบชิ้นงานหลังจากเก็บไว้ที่แห้งและแช่ชิ้นงานไว้ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 วัน 7 วัน และ 3 เดือน ค่าข้อมูลการทดลองที่ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ANOVA พบว่าค่า Elastic Modulus มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและความถี่เพิ่มขึ้น และได้รับผลกระทบจากความชื้นมากกว่าค่า Viscous Modulus นอกจากนี้ Abdul S. และคณะ [12] ศึกษาสมบัติทางวิสโคอิลาสติกของวัสดุคอมโพสิตเช่นกันโดยได้ศึกษาเปรียบเทียบผลของการนำเส้นใยแก้วไปแช่ในสารไซเลนและ Dimethacrylate Resin ก่อนการพอลิเมอร์ไรซ์คอมโพสิตที่ได้ให้ผลทางวิสโคอิลาสติกที่แสดงว่าการนำเส้นใยแก้วไปแช่ไซเลนและ Dimethacrylate Resin ก่อนทำให้คอมโพสิตที่ได้มีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น

Ming-Gene Tu และคณะ [40] ได้ทำการเปรียบเทียบสมบัติทางกล (Bending Strength, Bending Modulus, Compressive Strength and Compressive Modulus) ของพอลิเมทิลเมทาคริเลตสำหรับใช้ในฐานพื้นปลอม โดยนำเส้นใยเสริมแรงไปแช่ในสารไซเลนสองชนิดระหว่าง γ -Methacryloxypropyl Trimethoxy ร้อยละ 2 โดยปริมาตรของไซเลนต่อน้ำหนักของเส้นใย กับ Triethoxyvinylsilane ร้อยละ 2 โดยปริมาตรของไซเลนต่อน้ำหนักของเส้นใย จากผลการศึกษา พบว่าเส้นใยเสริมแรงที่ถูกนำไปแช่ในสารไซเลน Triethoxyvinylsilane ได้ผลทำให้สมบัติทางกลมีประสิทธิภาพมากกว่าเส้นใยเสริมแรงที่ถูกนำไปแช่ไซเลน γ -Methacryloxypropyltrimethoxy

จากข้อมูลทางทฤษฎีและผลงานวิจัยที่ผ่านมาคณะผู้วิจัยได้เห็นถึงศักยภาพและความเป็นไปได้ของการพัฒนาสมบัติของวัสดุฐานพื้นเทียมพอลิเมทาคริเลตคอมโพสิต โดยกระบวนการเตรียมที่มีการใช้สารคู่ควบกลุ่มไซเลนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้วัสดุฐานพื้นเทียมพอลิเมทาคริเลตคอมโพสิตที่มีคุณสมบัติโดยจะมีการทดสอบสมบัติที่จำเป็นต่างๆ หลังการทดลองขึ้นรูปเพื่อยืนยันสมบัติของวัสดุฐานพื้นเทียมพอลิเมทาคริเลตคอมโพสิตที่ได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 พอลิเมทิลเมทาคริเลต [1, 2, 41]

พอลิเมทิลเมทาคริลเลต หรืออะคริลิกพลาสติก (Acrylic Plastic) จัดเป็นพอลิเมอร์ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ซึ่งมีสูตรเคมี คือ $C_5H_8O_2$ เมทิลเมทาคริลเลตมีสมบัติโดดเด่นในเรื่องความเหนียว ความโปร่งใสสามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีความหนาแน่นต่ำ พลาสติกชนิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่าง เช่น กระจกใสบนเครื่องบินป้ายโฆษณา กระจกตู้ปลา วัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้วอะคริลิกพลาสติกยังเป็นที่นิยมนำมาขึ้นรูปใช้แทนแก้วในงานหลายอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ อะคริลิกพลาสติกเป็นพลาสติกที่สามารถเตรียมได้จากการนำโมโนเมอร์ของเมทิลเมทาคริลเลต (Methyl Methacrylate, MMA) มาทำปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) ในปี ค.ศ. 1880 นักเคมีชาวเยอรมัน 2 คน คือ ฟิททิจ (Fittig) และพอล (Paul) สามารถสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริลเลตแต่ยังไม่สามารถพัฒนาวิธีผลิตให้ได้แผ่นอะคริลิกพลาสติกได้ ต่อมาปี ค.ศ. 1901 ออทโท เรห์ม (Otto Röhm) นักเคมีชาวเยอรมันของจดสิทธิบัตรวิธีผลิตแผ่นพลาสติกใสจากพอลิเมทิลเมทาคริลเลตในชื่อทางการค้า Plexiglas หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 1936 จึงมีการผลิตแผ่น Plexiglas ออกจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เริ่มใช้ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สองนำมาใช้กับเรือดำน้ำ กระจกตู้ปลา และกระจกเครื่องบิน นอกจากนี้ยังมีพอลิเมทิลเมทาคริลเลตที่ใช้ภายใต้เครื่องหมายการค้า เช่น ชนิดแผ่น Perspex (ICI), Oroglass และพอลิเมทิลเมทาคริลเลตในรูปของผง Diakon (ICI), Acry-Ace (Fudow Chemical Co., Japan), Lucite (Du Pont)

แนวโน้มการนำพอลิเมทิลเมทาคริลเลตมาใช้งานในรูปของอะคริลิกพลาสติกถูกประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นเครื่องประดับ อุปกรณ์สำนักงาน อุปกรณ์ในห้องน้ำ สีทาบ้านป้ายโฆษณาหรือป้ายชื่อร้าน และอื่นๆ อีกมากมาย ส่วนใหญ่มักเป็นทางเลือกแทนการใช้กระจกเนื่องจากกระจกมีความเปราะบาง แตกง่าย ไม่ทนต่อรอยขีดข่วน และไม่ทนต่อสภาพอากาศ จึงทำให้อะคริลิกพลาสติกเป็นทางเลือกใหม่กับงานเฉพาะด้านมากขึ้น โดยสมบัติพื้นฐานของพอลิเมทิลเมทาคริลเลต [41] เป็นพลาสติกโปร่งใสที่มีพื้นผิวมันวาวสูง ทนทานสูง และโปร่งใส จัดเป็นวัสดุที่แข็งแรงแต่เปราะ มีความต้านแรงดึง อัด และจุดแข็งดัดถือว่าเป็นที่น่าพอใจสามารถต้านทานรอยขีดข่วนได้ ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติออกได้ดังตาราง 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติทางกลของพอลิเมทิลเมทาคริลเลต

สมบัติทางกล	ข้อมูล
Young's Modulus	1800-3100 MPa
Shear Modulus	1700 MPa
แรงอัด (Compressive Strength)	83-124 MPa
แรงดัด (Bending Strength)	120-148 MPa
แรงกระแทก (Impact Strength)	0.16-0.27 J/cm ²

ที่มา : ดัดแปลงจาก J.A. Brydson. (1999). *Plastics Materials*. Butterworth Heinemann.

ตาราง 2.2 แสดงคุณสมบัติทางกลของฐานฟันเทียม

สมบัติทางกล	ข้อมูล (ก่อนเสริมเส้นใย)	
แรงอัด (Compressive Strength)	76	MPa
แรงดัด (Bending Strength)	139	MPa
แรงกระแทก (Impact Strength)	0.23-0.40	J/in ²

ที่มา : American National Standards Institute/ American Dental Association (ANSI/ADA)

มาตรฐานสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา เลขที่ 12

2.2.2 คอมโพสิต (Composite) [42]

คอมโพสิตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมกันของวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (Matrix) และวัสดุเสริมแรง (Reinforcement Materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้นวัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้สูงขึ้นซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (Base Materials) อย่างโลหะ เซรามิกส์ หรือพอลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภท พอลิเมอร์-คอมโพสิต (Polymer Matrix Composites-PMCs) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่พบเห็นได้ง่ายของคอมโพสิตกลุ่มนี้ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไฟเบอร์กลาสต่างๆ พอลิเมอร์คอมโพสิตมีพอลิเมอร์ซึ่งอาจจะเป็นพลาสติกหรือยางเป็นเนื้อหลัก และใช้วัสดุเสริมแรงได้หลายชนิด เช่น เส้นใยแก้วเส้นใยคาร์บอน เส้นลวดโลหะ เป็นต้น

การผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง เช่น เส้นใยแก้วเส้นใยคาร์บอนจะทำให้วัสดุมีสมบัติดีขึ้นเพราะเป็นการรวมเอาจุดเด่นของวัสดุพอลิเมอร์กับจุดเด่นของเส้นใยเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน โดยเนื้อหลักของพอลิเมอร์ทำหน้าที่กระจายแรงที่กระทำต่อวัสดุลงไประหว่างเส้นใยแต่ละเส้น และพอลิเมอร์ยังทำหน้าที่ปกป้องเส้นใยไม่ให้เสียหายเนื่องจากการเสียดสีและการกระแทก ผลของการรวมพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรงทำให้วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตมีจุดเด่นหลายอย่าง ได้แก่ มีค่าความแข็งแรงสูง สามารถขึ้นรูปง่าย น้ำหนักเบา และทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต มีดังต่อไปนี้ สมบัติของเส้นใยเสริมแรง สมบัติของพอลิเมอร์ (เรซิน) และสัดส่วนของเส้นใยเสริมแรง (Fiber Volume Fraction-FVF) เนื่องจากวัสดุที่เป็นเส้นใยเสริมแรงมักมีสมบัติเชิงกลสูงกว่าพอลิเมอร์ ดังนั้นหากคอมโพสิตมีเส้นใยเสริมแรงมากขึ้นจะทำให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลสูงขึ้นแต่การผสมเส้นใยเสริมแรงกับพอลิเมอร์ก็มีขีดจำกัดเนื่องจากเส้นใยเสริมแรงควรมีเนื้อ พอลิเมอร์หล่อหุ้มอยู่โดยรอบ

2.2.3 ตัวเสริมแรง [43]

เส้นใยเสริมแรง (Reinforcing Fibers) เป็นสารเติมแต่งที่ใส่ไปในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มความแข็งแรง (Strength) และความแข็ง (Stiffness) ให้กับพอลิเมอร์ และเรียกวาสุดผสมที่ได้ว่าวัสดุเชิงประกอบหรือคอมโพสิต

2.2.3.1 สมบัติและโครงสร้างของวัสดุคอมโพสิตขึ้นกับปัจจัยต่อไปนี้ คือ

- ก. แรงยึดระหว่างพอลิเมอร์หลักและเส้นใยเสริมแรง
- ข. สมบัติของเส้นใยเสริมแรง
- ค. ขนาดและรูปแบบของเส้นใยเสริมแรง
- ง. ปริมาณเส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์หลัก
- จ. การเรียงตัวหรือการกระจายตัวของเส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์หลัก
- ฉ. เทคนิคการขึ้นรูป

2.2.3.2 หน้าที่ของเส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่

- ก. เพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุผสม
- ข. สามารถรับแรงกระแทกจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุผสมได้ ช่วยไม่ให้เกิดการเสียหายสภาพหรือการผิดรูปภายใต้แรงกระทำนั้นๆ โดยแรงกระทำนั้นจะถูกถ่ายทอดไปตามเส้นใย โดยที่ลักษณะของเส้นใยที่เป็นตัวเสริมแรงที่ดีจะต้องลักษณะ ดังนี้

- ข.1 เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็ก
- ข.2 อัตราความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าสูง
- ข.3 มีความโค้งงอและความแข็งแรงสูง
- ข.4 มีค่ามอดุลัสของยังและค่าความแข็งแรงสูง
- ข.5 ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นไม่ควรแตกต่างกันมาก

2.2.3.3 เส้นใยเสริมแรงที่สำคัญและใช้กันมากกับพอลิเมอร์ มี 3 ชนิด คือ

- ก. เส้นใยแก้ว
- ข. เส้นใยคาร์บอน
- ค. เส้นใยอะรามิด

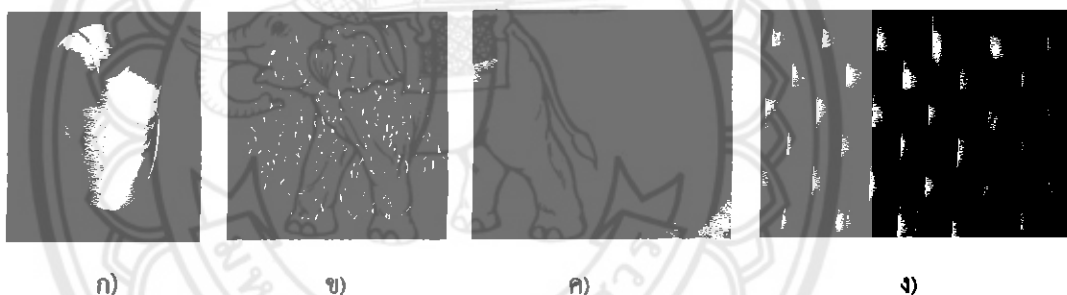
เส้นใยเสริมแรงแต่ละชนิดมีการผลิตขึ้นในลักษณะหลายรูปแบบ ได้แก่ เส้นใยยาวต่อเนื่องเส้นใยที่ถูกตัดสั้นๆ เส้นใยแบบผืนเสื่อ และเส้นใยแบบทอ โดยทั่วไปมักปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบเพื่อให้เส้นใยยึดกับพอลิเมอร์หลักได้ดีขึ้น สำหรับคอมโพสิตซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมเซตและเส้นใยเสริมแรงมักเรียกว่า Fiber-Reinforced Plastics หรือเรียกย่อๆ ว่า FRB และถ้าเส้นใยที่ใช้คือเส้นใยแก้วมักเรียกคอมโพสิตนั้นว่า Fiber Glass ส่วนคอมโพสิตซึ่งประกอบด้วยเทอร์-

โมพลาสติกและฟิลเลอร์เสริมแรง (โดยทั่วไปเป็นเส้นใย) เรียกว่า Reinforced Thermoplastics หรือเรียกย่อๆ ว่า RTP

2.2.4 เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) [43]

เส้นใยแก้วเป็นสารเสริมแรงที่ใช้มากที่สุดกับพลาสติกทั้งชนิดเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากพลาสติกเสริมแรงที่ได้มีความแข็งแรงสูง มีน้ำหนักเบา มีเสถียรภาพทางรูปร่างสูง (High Dimensional Stability) มีความทนทานต่อการกันกร่อน และสามารถขึ้นรูปได้หลากหลาย จึงทำให้มีการนำพลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วมาใช้แทนโลหะกันมาก องค์ประกอบของใยแก้วส่วนใหญ่ได้แก่ ซิลิกา (SiO_2) ส่วนที่เหลือจะเป็นออกไซด์ชนิดต่างๆ โดยใยแก้วชนิด E-Glass เป็นชนิดที่มีการผลิตและนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมพลาสติกเสริมแรงมากที่สุด มีสมบัติต้านทานไฟฟ้าดีและมีความแข็งแรงสูง

รูปแบบของผลิตภัณฑ์จากใยแก้ว (Form of Glass Fiber Products) ในทางการค้า มีลักษณะหลายรูปแบบด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 2.1 ได้แก่



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงชนิดของเส้นใยแก้ว

ที่มา : S.K. Mukhopadhyay. High-Perfomanced Fibers. The Textile Institute: Manchester.

ก. Rovings เป็นเส้นใยแก้วที่ยาวต่อเนื่องและนำมาพันเป็นม้วน แสดงดังรูป 2.1ก)

ข. Chopped Strands or Chopped Fibers ได้จากการนำเส้นใยมาตัดให้เป็นสั้นๆ มีความยาวอยู่ในช่วง 3-50 มิลลิเมตร (1/8-2 นิ้ว) แสดงดังรูป 2.1ข)

ค. Reinforcing Mats ได้จากการนำ Chopped Strands หรือ Continuous Strands มาวางในทิศทางที่ไม่แน่นอนแล้วทำให้เป็นแผ่นโดยใช้สารยึด (Resinous Binder) เป็นกาวยประสานเส้นใยให้ยึดติดกัน แสดงดังรูป 2.1ค)

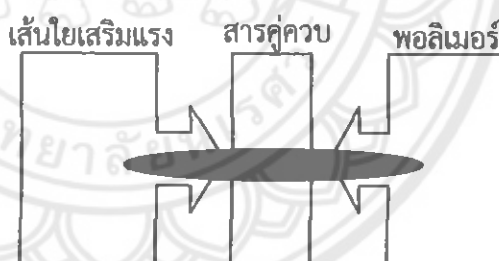
ง. Woven Rovings บางครั้งเรียกว่า Yarns ทอให้เป็นผืน แสดงดังรูป 2.1ง)

การใช้งานของใยแก้วในพลาสติกใยแก้วจะถูกนำมาใช้เสริมแรงพลาสติกทั้งชนิดเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติกกันอย่างกว้างขวาง โดยพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตที่นิยมนำมาเสริมแรงด้วยใยแก้ว ได้แก่ พอลิเอสเทอร์เมลามีนเรซินและพอลิยูรีเทน สำหรับเทอร์โมพลาสติกที่ใช้

ใยแก้วโดยส่วนใหญ่ คือ พลาสติกวิศวกรรม เช่น PA, PC, PPE, PET และ POM เป็นต้น ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วจะมีสมบัติที่ดีหลายประการก็ตาม ข้อด้อยของการใช้ใยแก้วก็มีบ้าง ได้แก่ ความทนแรงกระแทก ความโปร่งใส และความเงาที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะลดลง นอกจากนี้ใยแก้วยังสามารถขัดสีเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปได้อีกด้วย ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว ได้แก่ ชิ้นส่วนรถยนต์ ลำเรือ อุปกรณ์ทางอุตสาหกรรมที่ต้องการความทนทานต่อการกัดกร่อน ชิ้นส่วนเครื่องมือ และเครื่องใช้ภายในบ้าน เป็นต้น

2.2.5 สารคู่ควบประเภทไฮเลน [43]

การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงจะทำให้สมบัติของพอลิเมอร์ดีขึ้นแต่ก็จะมีปัญหาในการเข้ากันไม่ได้ของเส้นใยเสริมแรงกับพอลิเมอร์ วิธีที่นิยมใช้เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์สามารถยึดติดได้ดีกับเส้นใยเสริมแรง คือ การเคลือบหรือปรับสภาพพื้นผิวของเส้นใยเสริมแรงด้วยสารที่สามารถเข้ากันได้กับทั้งพอลิเมอร์และเส้นใยเสริมแรง ซึ่งสารนั้น คือ สารคู่ควบ หรือสารช่วยยึดซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสะพานหรือตัวกลางเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง แสดงดังรูปที่ 2.2 โดยการสร้างพันธะที่แข็งแรงกับทั้งสองวัฏภาคทำให้มีการยึดเกาะระหว่างเฟสดีขึ้น โดยสารคู่ควบจะเพิ่มความแข็งแรงระหว่างพันธะของเส้นใยและพอลิเมอร์หลักดีขึ้น การเชื่อมประสานของผิวสัมผัสด้วยสารคู่ควบระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์หลักจะลดจำนวนรูพรุนในวัสดุช่วยป้องกันการเสียดสีและรอยแตก ระหว่างกระบวนการผสมและผลิตพอลิเมอร์เสริมแรง



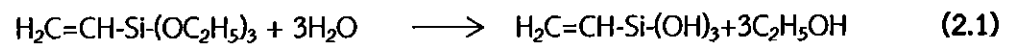
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงตัวกลางเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใยเสริมแรง

2.2.5.1 กลไกการสร้างพันธะยึดเกาะกับไฮเลน

สารคู่ควบที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ไฮเลน โครงสร้างของไฮเลนประกอบด้วย อะตอมซิลิกอนหมู่อัลคิลอิเทอร์ 3 หมู่ต่อกับกลุ่มของอะตอมซิลิกอน และหมู่เคมีจะต่อกับกลุ่มของอะตอมและทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์ที่สัมผัสกับหมู่ทางเคมี สารคู่ควบไฮเลนเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากไฮเลนนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น ในพลาสติกเสริมแรง งานเคลือบผิว งานทาสี น้ำหมึก กาวสาร ยึดติด และยาง มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาได้ดี

สารคู่ควบประเภทไซเลน (Silane) ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว มีสูตรทั่วไป คือ $Y-Si(OR)_3$ โดยหมู่ OR เช่น $(-OCH_3, -OC_2H_5)$ เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับเส้นใยแก้ว ในขณะที่หมู่ Y เช่น หมู่ไวนิล หมู่อะมิโน และหมู่อีพอกซี เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ ทำให้เส้นใยแก้วยึดกับพอลิเมอร์ได้ดี เช่น การใช้ไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane) จะทำให้เส้นใยแก้วยึดกับพอลิเมอร์ได้ ดังนี้

ขั้นที่ 1 หมู่เอทอกซีถูกไฮโดรไลซ์เป็นซิลานอล (Si-OH)



ขั้นที่ 2 ซิลานอลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่พื้นผิวของเส้นใยแก้ว เกิดพันธะ Si-O-Si ระหว่างสารประสานกับเส้นใยแก้ว



ในขณะเดียวกันหมู่ไวนิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารคู่ควบกับพอลิเมอร์หลัก จึงทำให้เส้นใยแก้วมีแรงยึดระหว่างพอลิเมอร์หลักได้ดี ไซเลนที่ผลิตออกทางการค้าจะมีหมู่ฟังก์ชัน (หมู่ Y) ที่แตกต่างกันออกไปเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ เช่น ไซเลนที่ประกอบด้วยหมู่ไวนิลจะถูกนำไปใช้งานกับพอลิเอสเทอร์ เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ในขณะที่ไซเลนที่ประกอบด้วยหมู่อีพอกซีหรือหมู่อะมิโนจะนำไปใช้งานกับพอลิเอไมด์ อีพอกซีเรซิน หรือพอลิยูรีเทนชนิดเทอร์โมเซต เป็นต้น

2.3 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติเชิงกล [44]

การพิจารณาเลือกวัสดุเพื่อนำมาใช้งานในลักษณะต่างๆ จำเป็นจะต้องทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุเพื่อให้ได้วัสดุที่เหมาะสมกับสภาพงานนั้นๆ โดยคุณสมบัติทางกลเป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของวัสดุเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำต่อวัสดุ สมบัติทางกล ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็ง ความสามารถในการยึดตัว ความยืดหยุ่น และความเหนียว เป็นต้น

ความเค้น (Stress) แรงต้านที่อยู่ภายในของวัสดุที่มีความพยายามในการต้านทานต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุ

ความเครียด (Strain) เป็นความเครียดที่ปรากฏภายใต้แรงที่มากระทำต่อเนื้อของวัสดุ จนวัสดุรับแรงนั้นไว้ไม่ไหว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางของแรงที่มากระทำ

ความแข็งแรง (Strength) คือ ความแข็งแรงอัดสูงสุด ความแข็งแรงกระแทกสูงสุด หรือ แรงดัดโค้งสูงสุด ซึ่งสามารถสังเกตได้จาก Stress-Stain Curve ซึ่งตรงจุดแตกหัก (Breaking Point) เรียกว่า จุดความแข็งแรงที่จุดแตกหัก

มอดูลัสของยัง (Young's Modulus) คือ อัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียด มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) โดยวัตถุที่มีมอดูลัสของยังมากแสดงว่าวัตถุนั้นมีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ วัตถุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความยาวน้อย

โดยโครงงานนี้ทดสอบสมบัติทางกลด้วยกัน 3 ประเภท ดังนี้

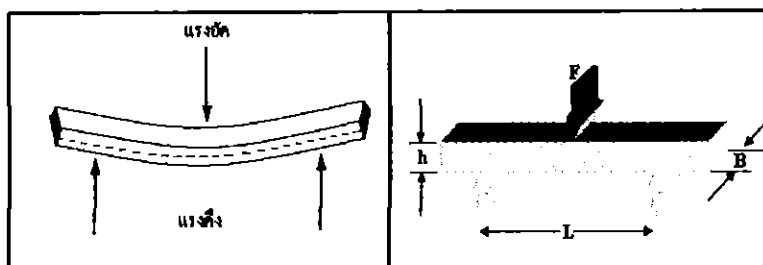
2.3.1 การทดสอบแรงดัดโค้ง

การทดสอบแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (Three Point Bending) เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเป็นการทดสอบเพื่อดูค่าความสามารถของชิ้นงานในการทนต่อแรงดัดโค้ง โดยให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบและจุดรับรองในทิศทางตรงกันข้าม บริเวณปลายทั้งสองด้านที่มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน โดยชุดกดและชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัสเพื่อเป็นการลดแรงที่อาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น ตามมาตรฐาน ASTM D790 (Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials) โดยเครื่อง Universal Testing Machine

$$\text{การคำนวณ ความเค้น (ความทนต่อแรงดัดโค้ง)} = \frac{3FL}{2Bh^2} \quad (2.3)$$

$$\text{ความเครียด} = \frac{6Yh}{L^2} \quad (2.4)$$

$$\text{มอดูลัส} = \frac{L^3}{4Bh^3} \left(\frac{F}{Y} \right) \quad (2.5)$$



F = แรงกระทำ

L = ระยะห่างระหว่างจุดรองรับที่

ปลายทั้งสองด้าน

h = ความหนา

B = ความกว้าง

Y = ระยะการดัดของชิ้นงาน

รูปที่ 2.3 การทดสอบแรงดัดโค้ง

ที่มา : จินตมัย สุวรรณประทีป (2547). การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

2.3.2 การทดสอบแรงกระแทก

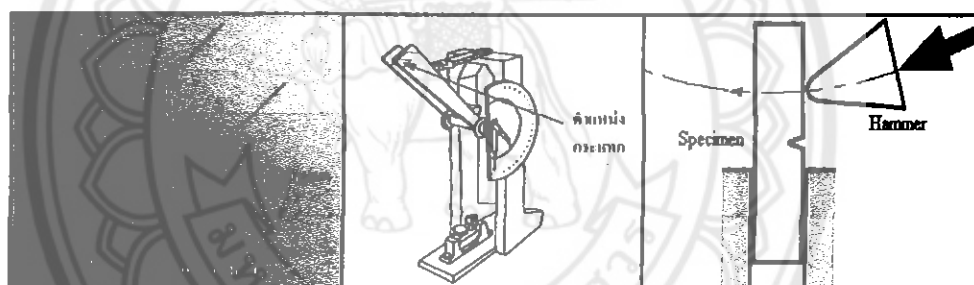
การทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact Test) คือการทดสอบเพื่อศึกษาความสามารถในการรับแรงกระแทกของวัสดุโดยค่า Impact Energy คือ ปริมาณของพลังงานที่วัสดุดูดซับไว้ได้เมื่อได้รับแรงกระแทกอย่างฉับพลันจนแตกหัก มีหน่วยเป็นฟุต-ปอนด์ (ft-lbf) หรือ จูล (Joule) โดยการทดสอบแรงกระแทกแบบไอซอดจะทำการจับยึดชิ้นงานและตีกระแทกเข้าชิ้นงานด้านที่มีรอยบาก ตามมาตรฐาน ASTM D256 (Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics) โดยเครื่อง Impact Tester

การคำนวณ

$$\text{ความทนต่อแรงกระแทก} = \frac{W}{A} \quad (2.6)$$

โดย : W คือ พลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก (Joule)

A คือ พื้นที่บริเวณหลังรอยบาก (mm^2)



รูปที่ 2.4 การทดสอบแรงกระแทก

ที่มา : จินตมัย สุวรรณประทีป (2547). การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

2.3.3 การทดสอบแรงอัด

การทดสอบแรงอัดเป็นการทดสอบในลักษณะการกดอัดขึ้นทดสอบ คือ การวัดความสามารถในการทนต่อแรงอัดของชิ้นทดสอบ เป็นการทดสอบที่มีลักษณะการใส่แรงกระทำในแบบตรงข้ามกับการทดสอบแรงดึง คือ การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบในลักษณะการดึงยืดขึ้นทดสอบ ส่วนการทดสอบแรงอัดเป็นการทดสอบในลักษณะการกดอัดขึ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D695 (Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics) โดยเครื่อง Universal Testing Machine

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ เส้นใยแบบตัดสั้น เส้นใยแบบเส้นยาววางขนาน และเส้นใยแบบทึชชู ที่มีปริมาณเส้นใยร้อยละ 1 2 และ 4 %wt/v เปรียบเทียบกับวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตที่ไม่เสริมแรงและเส้นใยที่แช่ไซเลนปริมาณ 2 %v/wt กับไม่แช่ไซเลน

3.1 การเตรียมเส้นใยแก้ว

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 เส้นใยแก้วแบบตัดสั้น

3.1.1.2 เส้นใยแก้วแบบเส้นยาว

3.1.1.3 เส้นใยแก้วแบบทึชชู

3.1.1.4 ไวนิลไตรเอทออกซีไซเลน (Vinyltriethoxy Silane)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องชั่ง

3.1.2.2 กรรไกร

3.1.2.3 ถังมือ

3.1.3 วิธีการเตรียมเส้นใยแก้ว

นำเส้นใยแก้ว ดังรูปภาพที่ 3.1 ทั้ง 3 รูปแบบ คือ แบบตัดสั้น ก) เส้นใยแก้วแบบเส้นยาววางขนาน ข) และเส้นใยแก้วแบบทึชชู ค) ปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 4 โดยน้ำหนักของเส้นใยต่อปริมาตรของพอลิเมทิลเมทาคริเลต นำเส้นใยแก้วแต่ละกลุ่มไปแช่ในไวนิลไตรเอทออกซีไซเลนร้อยละ 2 โดยปริมาตรของไซเลนต่อน้ำหนักของเส้นใยเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เส้นใยแก้วมีความอึดตัวและให้มีการยึดติดกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ดีขึ้น ดังรูปภาพที่ 3.1 โดยมีกลุ่มควบคุมการทดลองนี้ คือกลุ่มควบคุมที่ไม่เสริมเส้นใยแก้วและไม่นำไปแช่ในไวนิลไตรเอทออกซีไซเลน สรุปการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 19 กลุ่มการทดลอง ดังรูปภาพที่ 3.2

3.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.1 วัสดุและสารเคมี

3.2.1.1 พอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อนยี่ห้อ SR Triplex Hot ผลิตโดยบริษัท Ivoclar Vivadent Inc., 175 Pineview Drive, Amherst, NY 14228, USA

3.2.1.2 เส้นใยแก้วแบบตัดสั้น เส้นใยแก้วแบบเส้นยาว และเส้นใยแก้วแบบทึบที่แซ่สารโซเลนกับที่ไม่แซ่สารโซเลน

3.2.1.3 ปูนปลาสเตอร์

3.2.1.4 ขี้ผึ้งทางทันตกรรม

3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.2.1 ฟลาสค์โลหะสำหรับทำเบ้าหล่อแบบขึ้นทดสอบ

3.2.2.2 เครื่องอัดฟลาสค์

3.2.2.3 เครื่องบ่มพอลิเมทิลเมทาคริเลตด้วยความร้อน

3.2.2.4 เครื่องขัดขึ้นทดสอบ

3.2.2.5 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

3.2.2.6 เครื่องตัดร่องบากขึ้นทดสอบ

3.2.2.7 เครื่องมือทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester, Model XC-227)

3.2.2.8 เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine)

3.2.3 วิธีเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.2.3.1 เตรียมเบ้าหล่อแบบ

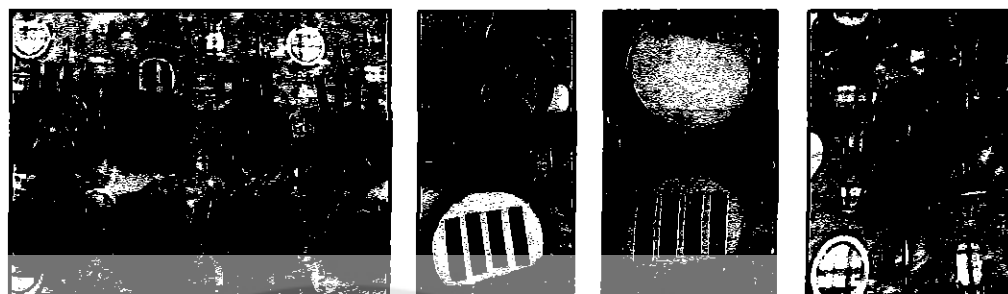
ก. เตรียมขึ้นทดสอบ (ขนาดเท่ากับ ASTM ของการทดสอบแต่ละประเภท) โดยใช้ขี้ผึ้งที่มีขนาดกว้างและยาวตามขนาดขึ้นทดสอบเป็นแบบในการทำการหล่อแบบ

ข. ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำใส่ลงในเบ้าหล่อแบบล่าง หลังจากนั้นฝังแผ่นขี้ผึ้งให้ผิวด้านบนเสมอกับผิวปูนปลาสเตอร์และขอบของเบ้าหล่อแบบล่าง

ค. ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำใส่ลงในเบ้าหล่อแบบบน

ง. นำเข้าหล่อแบบด้านบนและด้านล่างประกบกัน เพื่อหลังจากปูน
 ปลาสเตอร์แข็งตัวแยกเข้าหล่อแบบบนและล่างออกจากกัน

จ. นำแผ่นซีฟิ่งออกจากเข้าหล่อแบบและทำความสะอาดเข้าหล่อด้วยน้ำร้อน



ก)

ข)

ค)

ง)



จ)

รูปที่ 3.3 วิธีการเตรียมเข้าหล่อแบบ

3.2.3.2 วิธีการเตรียมขึ้นทดสอบ

ก. ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตอัตราส่วน คือ ส่วนผงต่อส่วนน้ำเท่ากับ
 23.4 กรัม ต่อ 10 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันโดยนำไปนวดในถุงพลาสติกจนนุ่มและทิ้งไว้สักครู่

ข. นำพอลิเมทิลเมทาคริเลตวางในเข้าหล่อแบบเพื่อขึ้นรูปตามขนาดของขึ้น
 ทดสอบ โดยรูปแบบการวางเส้นใยของแต่ละรูปแบบ ดังนี้

ข.1 เส้นใยรูปแบบตัดสั้น เส้นใยแบบตัดสั้นจะใส่ลงไปรวมกับการผสม
 พอลิเมทิลเมทาคริเลตในขั้นตอน ก.

ข.2 เส้นใยแบบยาววางขนานและทึชชู นำพอลิเมทิลเมทาคริเลตวาง
 ลง 1 ใน 2 ส่วนของเข้าหล่อแบบยาววางขนานและทึชชูลงบริเวณกึ่งกลางเข้าหล่อแบบ จากนั้นวาง
 พอลิเมทิลเมทาคริเลตทับด้านบนของเส้นใยอีกครั้ง

ค. นำไปอัดด้วยเครื่องฟลาสต์แบบไฮโดรลิก 100 บาร์

ง. นำไปบ่มด้วยความร้อนในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2

ชั่วโมง

จ. ชิ้นทดสอบที่บ่มเสร็จแล้วออกมาจากเบ้าหล่อแบบไปขัดด้วยเครื่องขัดชิ้นทดสอบแบบจานหมุนเพื่อให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM ของแต่ละการทดสอบ



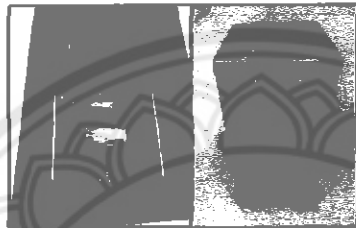
ก)



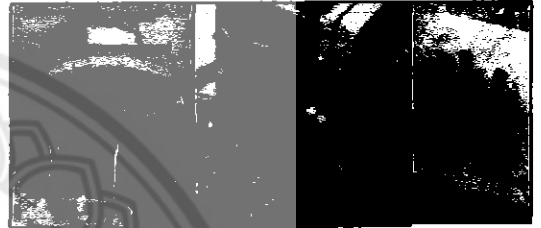
ข)



ค)



ง)



จ)

รูปที่ 3.4 วิธีการเตรียมชิ้นทดสอบ

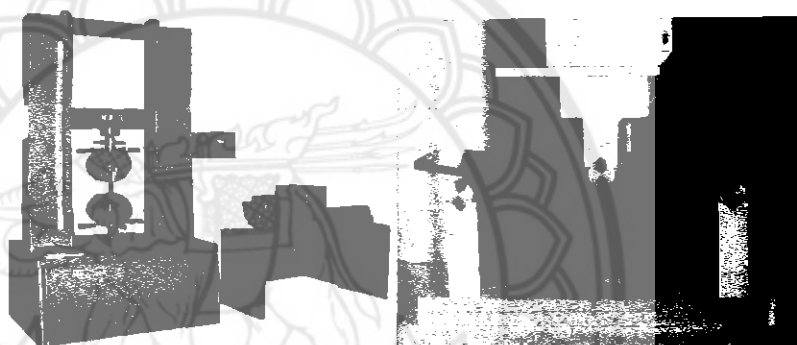
3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานทดสอบ

3.3.1 การทดสอบสมบัติแรงดัดโค้ง

สมบัติแรงดัดโค้ง (Flexural Properties) แบบ Pressing Bend เพื่อศึกษาพฤติกรรม การแปรรูปของวัสดุเมื่อได้รับแรงดัดโค้งด้วยรัศมีความโค้งที่กำหนดจนได้มุมตามที่กำหนดไว้ใน มาตรฐานการทดสอบตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D790 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ชนิดละ 5 ตัวอย่าง

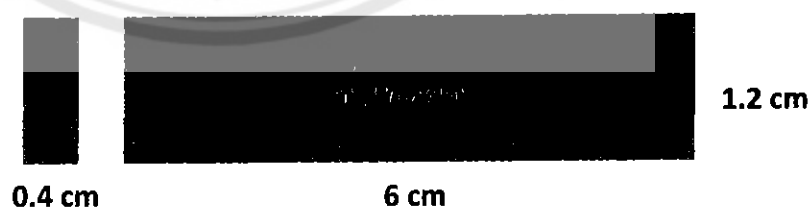
3.3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติแรงดัดโค้ง

ก. เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์



รูปที่ 3.5 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดัดโค้ง [44]

ข. ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 0.4 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร กว้าง 1.2 เซนติเมตร ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D790 ดังรูป



รูปที่ 3.6 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790

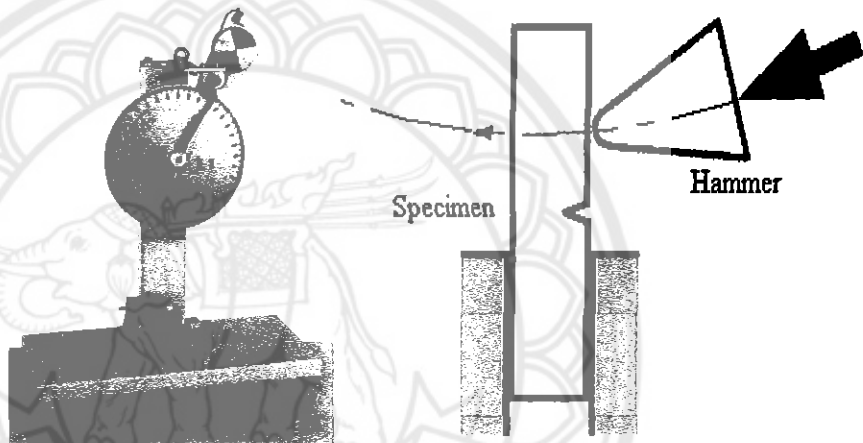
3.3.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

สมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength) ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Tester, Model XC-227) ตามมาตรฐาน ASTM D256 โดยการใช้ค้อนตีขนาด 2.75 จูล จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง

3.3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก

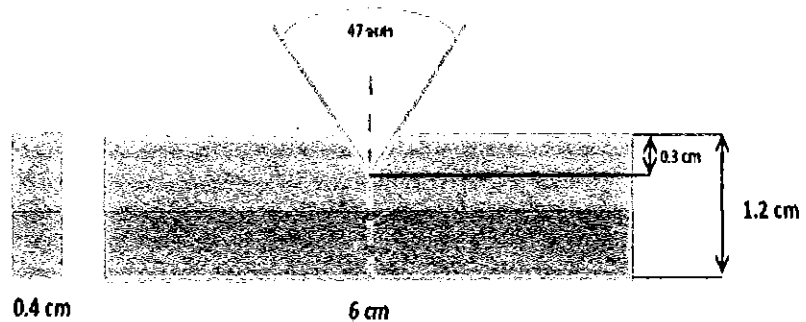
ก. ค้อนตีขนาด 2.75 จูล

ข. เครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 3.7 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก [44]

ค. ชนิดงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 0.4 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร กว้าง 1.2 เซนติเมตร และทำรอยบากรูปตัว V ที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นทดสอบ ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D256 ดังรูป



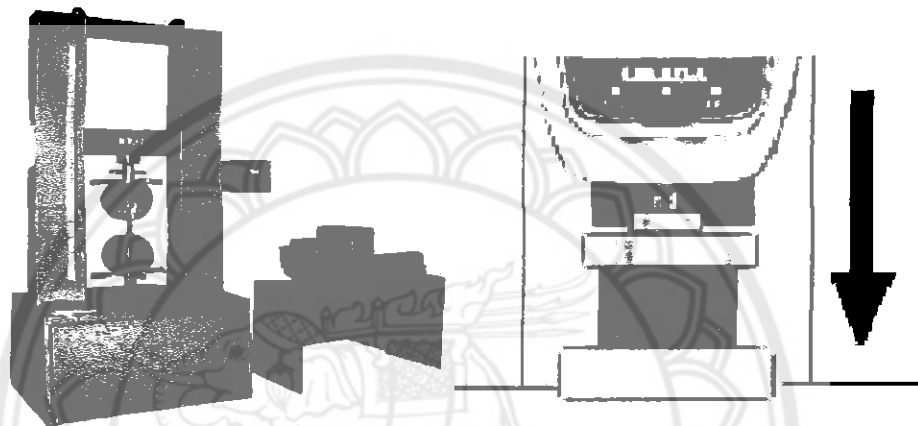
รูปที่ 3.8 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256

3.3.3 การทดสอบแรงอัด

สมบัติแรงอัด (Compression Test) ตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ตามมาตรฐาน ASTM D695 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบชนิดละ 5 ตัวอย่าง

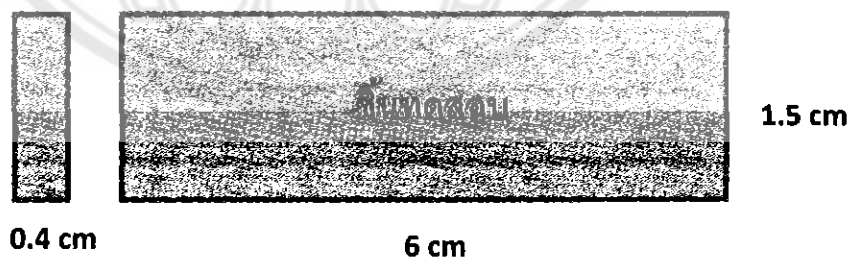
3.3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติแรงอัด

ก. เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์



รูปที่ 3.9 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงอัด [44]

ข. ชิ้นงานทดสอบรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหนา 0.4 เซนติเมตร ยาว 6 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร ให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D695 ดังรูป



รูปที่ 3.10 ขนาดชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D695

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 ชิ้นงานทดสอบ

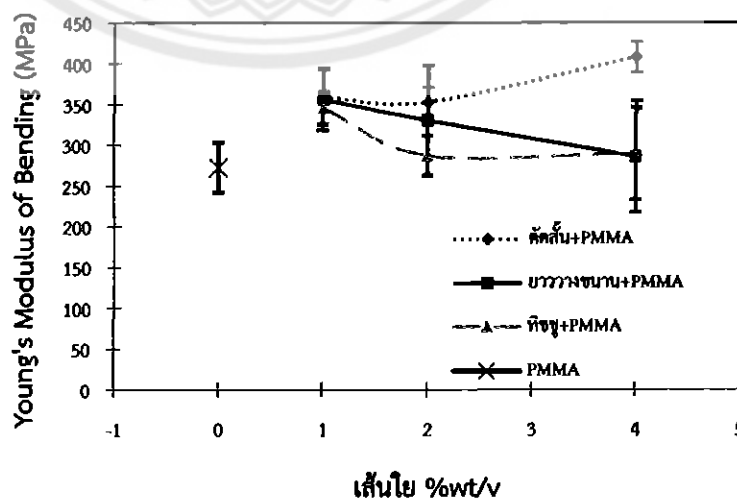
เตรียมขนาดฐานพื้นเทียมที่ไม่เสริมแรง ที่มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D790, D256 และ D695 ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ที่ความดัน 100 บาร์ จากนั้นนำไปต้มขึ้นรูปที่หม้อต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตและมอนอเมอร์ละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อเย็นจะแข็งตัวมีขนาดตามแม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 4.1 โดยการขึ้นรูปฐานพื้นเทียมที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ คือ รูปแบบตัดสั้น รูปแบบยาววางขนาน และรูปแบบทึชที่มีปริมาณเส้นใย คือ เส้นใย 1, 2 และ 4 %wt/v เปรียบเทียบกับไม่เสริมแรงด้วยเส้นใย



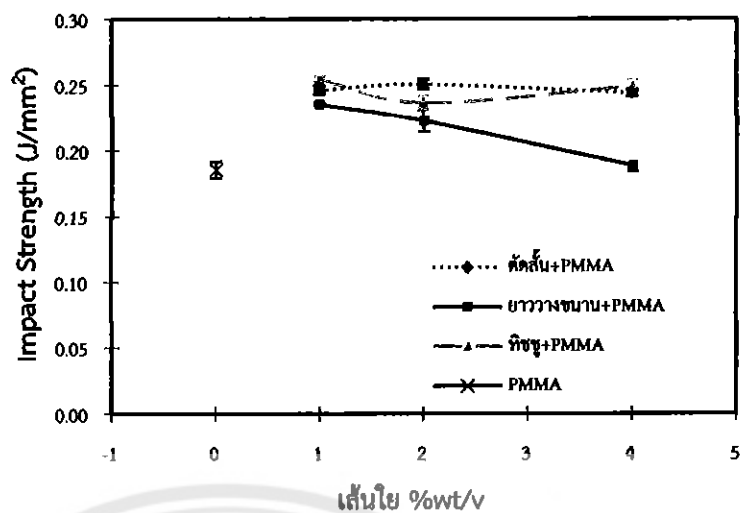
รูปที่ 4.1 ชิ้นงานทดสอบฐานพื้นเทียมที่ไม่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

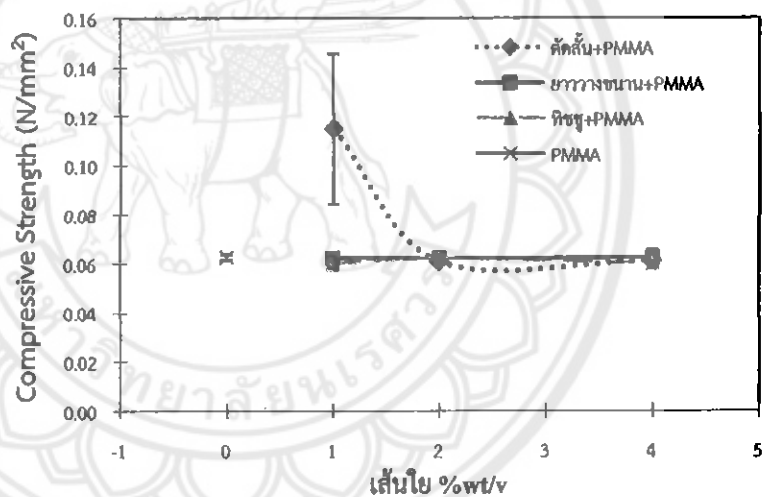
4.2.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลระหว่างฐานพื้นเทียมที่ไม่เสริมแรงและเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วให้ผลการทดสอบ แสดงดัง ตารางที่ ก 1, 2 และ 3 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลของปริมาณและชนิดของเส้นใยต่อสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง (Young's Modulus of Bending)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของปริมาณและชนิดของเส้นใยต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของปริมาณและชนิดของเส้นใยต่อสมบัติการทนต่อแรงอัด (Compressive Strength)

จากรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ผลการทดสอบแรงกระแทกและแรงดัดโค้ง พบว่าเมื่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงกระแทกและแรงดัดโค้งที่สูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงในทุกๆปริมาณการทดสอบ ชนิดของเส้นใยที่สามารถทนต่อแรงกระแทกได้มากที่สุด คือ รูปแบบคัดสั้น ส่วนรูปแบบของเส้นใยที่สามารถทนต่อแรงดัดโค้งได้มากที่สุด คือ รูปแบบคัดสั้นและรูปแบบทิชชู มีค่าที่ใกล้เคียงกันแสดงดังกราฟที่ 4.3 ในทางตรงกันข้ามค่าการทนต่อแรงอัดพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 ชนิด มีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงอัดใกล้เคียงกันกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรง จากการศึกษাপริมาณ

ของเส้นใย ผลการทดสอบค่าการทนต่อแรงกระแทกที่ปริมาณ 4 %wt/v ของเส้นใยรูปแบบตัดสั้นมีค่าเฉลี่ยที่มากที่สุด โดยเพิ่มค่าการทนต่อแรงกระแทกร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่ไม่เสริมแรง ในขณะที่เส้นใยรูปแบบยาววางขนานและรูปแบบทึบซุที่ปริมาณ 1 %wt/v มีค่าการทนต่อแรงกระแทกที่สูงกว่า 2 %wt/v และ 4 %wt/v และการทดสอบแรงดัดโค้งปริมาณเส้นใยทุกปริมาณมีค่าการทนต่อแรงดัดโค้งที่ใกล้เคียงกันโดยมีค่าเฉลี่ยเพิ่มค่าการทนต่อแรงดัดโค้งประมาณร้อยละ 65 เมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่ไม่เสริมแรงแต่การเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วกลับไม่เพิ่มค่าการทนต่อแรงอัด

ซึ่งมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Aydin และคณะ [5] Karacaer และคณะ [7] ซึ่งพบว่าการใช้เส้นใยแก้วในการเสริมแรงสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของพอลิเมทิลเมทาคริเลทได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยรูปแบบเส้นยาวสามารถเพิ่มค่าความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 50 ซึ่งมากกว่ารูปแบบสานกันเป็นแผ่นที่เพิ่มค่าความแข็งแรงดัดของพอลิเมทิลเมทาคริเลทได้ร้อยละ 21 และทำการทดลองใช้เส้นใยแก้วเสริมแรงในปริมาณร้อยละ 1 ถึง 5 โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมทิลเมทาคริเลทชนิดดีด โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงดัดได้ร้อยละ 35 และเพิ่มความทนทานต่อและกระแทกได้ร้อยละ 36 แต่การใช้ใยแก้วกลับไม่เพิ่มสมบัติเชิงกลแก่พอลิเมทิลเมทาคริเลทชนิดอัด

การเสริมแรงฐานพื้นเทียมด้วยเส้นใยส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ โดยเส้นใยจะทำให้เกิดการกระจายแรงที่มากกระทำต่อพื้นที่ที่รับแรง ดังนั้นปริมาณและรูปแบบของเส้นใยจะส่งผลต่อการจัดเรียงตัวที่เหมาะสมของเส้นใยในชิ้นทดสอบจะช่วยเรื่องการกระจายแรงภายในชิ้นทดสอบได้จากผลการทดสอบข้างต้น รูปแบบของเส้นใยที่มีค่าการทนต่อแรงดัดโค้งที่มากที่สุด คือ รูปแบบตัดสั้นปริมาณ 4 %wt/v เกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยเป็นแบบกระจายทั่วชิ้นทดสอบและด้วยปริมาณเส้นใยที่สูงการกระจายตัวที่ดีส่งผลให้สามารถรับแรงได้มากในทางตรงกันข้ามรูปแบบของเส้นใยแบบยาววางขนานและแบบทึบซุที่ปริมาณเส้นใย 1 %wt/v มีค่าการทนต่อแรงดัดโค้งได้ต่ำกว่าปริมาณที่สูง ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวของเส้นใยที่เป็นแบบแทรกกลางชิ้นทดสอบ เมื่อเส้นใยมีปริมาณที่มากจึงส่งผลให้ชิ้นทดสอบมีช่องว่างภายในมากกว่ารูปแบบตัดสั้น ทำให้ไม่สามารถทนต่อแรงดัดโค้งได้ดี เนื่องจากการทดสอบการทนต่อแรงดัดโค้งมีการใช้แรงกดตรงกลางชิ้นทดสอบเพื่อบอกสภาพความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ ในขณะที่ผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกการเสริมแรงด้วยเส้นใยมีผลช่วยเพิ่มค่าการทนต่อแรงกระแทกโดยที่ทุกรูปแบบและทุกปริมาณของเส้นใยมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการทดสอบแรงกระแทกเป็นการให้แรงกระทำในแนวตั้งของชิ้นทดสอบ ซึ่งการจัดเรียงของเส้นใยตั้งฉากกับแนวแรง ส่วนที่รับแรงจึงขึ้นอยู่กับความหนา นอกจากนี้ยังมีการให้แรงกระทำแบบทันทีทันใด เพื่อให้ชิ้นทดสอบแตกอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้รูปแบบและปริมาณของเส้นใยไม่แสดงค่าการทนต่อแรงกระแทกที่ต่างกัน จากผลการทดสอบการทนต่อแรงอัดการเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่เพิ่มค่าการทนต่อแรงอัดในทุกรูปแบบของเส้นใยและทุกปริมาณ เนื่องจากการทดสอบแรงอัดเป็นการให้แรงกระทำเต็มพื้นที่รับแรงด้วยแรงเท่าๆ กัน ส่งผล

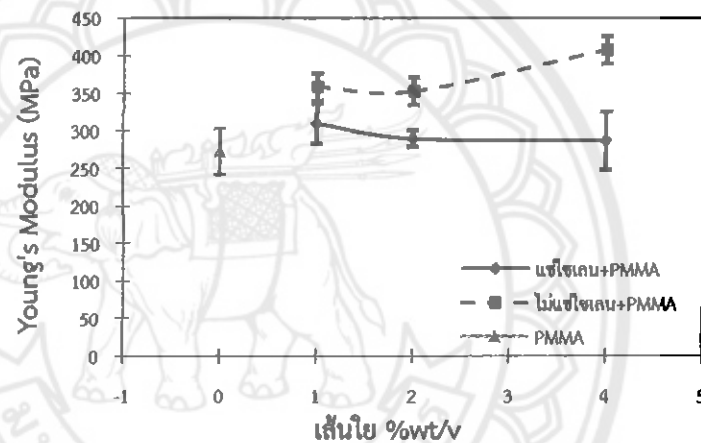
ให้เครื่องทดสอบอ่านค่าการทดสอบที่เกิดการแตกเพียงพื้นผิวด้านที่รับแรงโดยตรงเนื่องจากการเสริมแรงด้วยเส้นใย เส้นใยจะถูกแทรกอยู่ภายในชิ้นทดสอบทำให้แรงที่กระทำส่งผ่านยังไม่ถึงเส้นใยที่เสริมแรงอยู่ภายในชิ้นทดสอบ ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงมีค่าที่ใกล้เคียงกันและการเสริมแรงไม่มีผลต่อค่าการทนต่อแรงอัดของการเสริมแรง

4.2.2 ผลการทดสอบฐานพื้นเทียมเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่แช่ไซเลนและไม่แช่ไซเลน

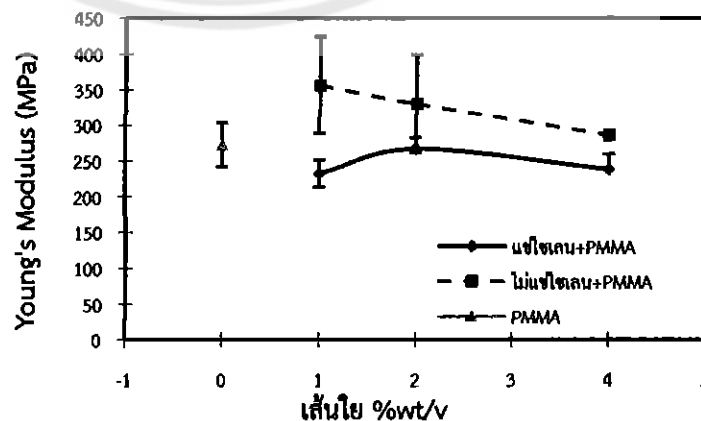
4.2.2.1 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้งของชิ้นทดสอบแต่ละชนิด ชนิดละ

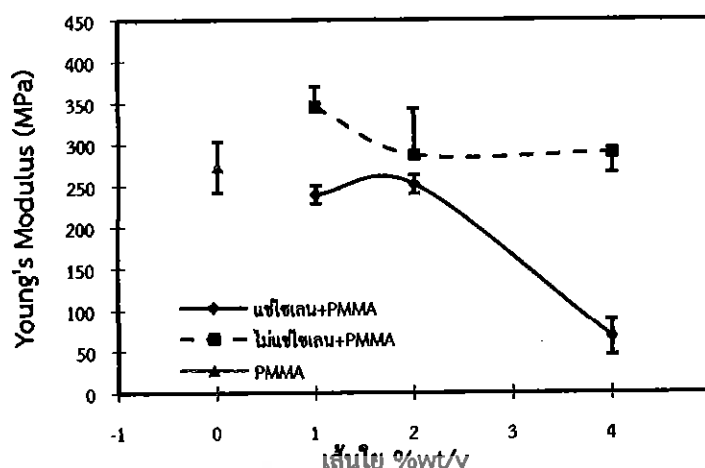
5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 ให้ผลการทดสอบแสดงดัง ตารางที่ ก.1 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่แช่ไซเลนและไม่แช่ไซเลน ต่อสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยแบบยาววางขนานที่แช่ไซเลนและไม่แช่ไซเลน ต่อสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง



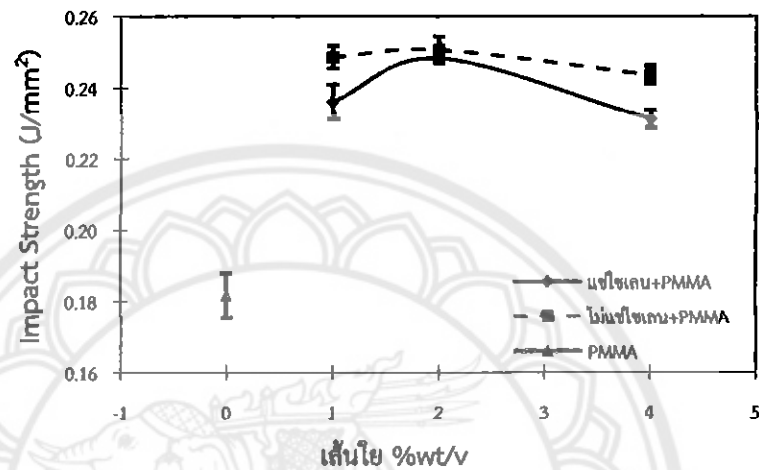
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบทึบที่แซ่ไซเลนและไม้แซ่ไซเลน ต่อสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้ง

จากรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดัดโค้งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ ตัดสั้น ยาววางขนาน และ ทึบในปริมาณ 0, 1, 2 และ 4 %wt/v โดยเปรียบเทียบเส้นใยแก้วที่แซ่ไซเลนที่ปริมาณ 2 %wt/v และเส้นใยที่ไม้แซ่ไซเลน

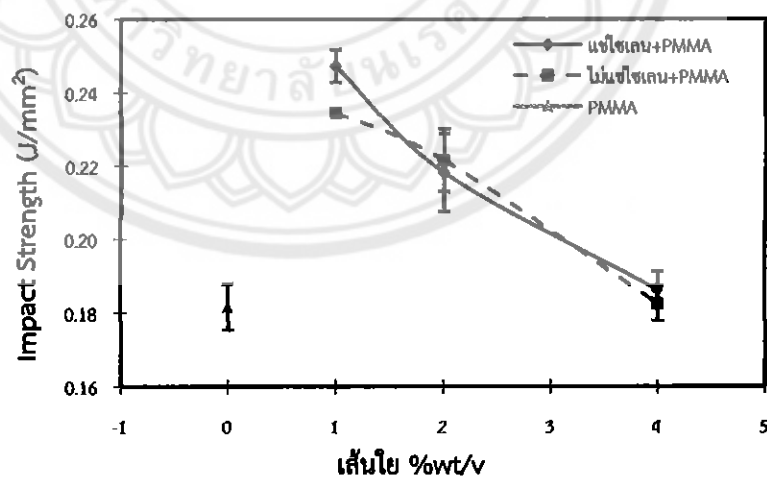
เนื่องจากการทนต่อแรงดัดโค้งที่แสดงในค่า Young's Modulus of Bending เป็นค่าที่แสดงถึงความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ พบว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ทั้ง 3 รูปแบบที่แซ่เส้นใยด้วยไซเลนมีค่าการทนต่อแรงดัดโค้งที่ต่ำกว่าไม้แซ่ไซเลนในทุกรูปแบบและ ปริมาณของเส้นใย จากกราฟการทดสอบรูปแบบของเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่ไม้แซ่ไซเลนปริมาณ 4 %wt/v มีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดัดโค้งมากที่สุด ในขณะที่เส้นใยรูปแบบยาววางขนานและทึบที่ ไม้แซ่ไซเลนมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดัดโค้งสูงที่ปริมาณ 1 %wt/v ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดัดโค้ง ที่สูงกว่าเส้นใยที่แซ่ไซเลน จากสมมติฐานเบื้องต้นของทฤษฎีการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์เสริมแรง ที่ว่าการแซ่เส้นใยด้วยไซเลนจะช่วยเพิ่มความสามารถในการประสานระหว่างเส้นใยและพอลิเมทิล- เมทาคริเลตสามารถประสานกันได้ดีขึ้นส่งผลให้ค่าการทนต่อการดัดโค้งเพิ่มขึ้น แต่จากผลการ ทดสอบกลับมีค่าที่ต่ำลงเนื่องจากไซเลนที่ใช้มีปริมาณที่น้อยเกินไป เพราะไม่มีการศึกษาสัดส่วนที่ เหมาะสมโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของไซเลน จากรูปแบบเส้นใยแบบยาววางขนานและทึบ การ แซ่ไซเลนของเส้นใยส่งผลให้ค่าการทนต่อการดัดโค้งต่ำกว่าที่พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรง เนื่องจากเส้นใยทั้งสองรูปแบบหลังจากการแซ่ไซเลนเกิดการเกาะกลุ่มกันมากขึ้นทำให้เมื่อนำไปขึ้น รูปกับชิ้นทดสอบโดยนำไปแทรกกลางระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตเกิดช่องว่างระหว่างชิ้นทดสอบ ส่งผลให้ค่าการทนต่อแรงดัดโค้งต่ำกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรง

4.2.2.2 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

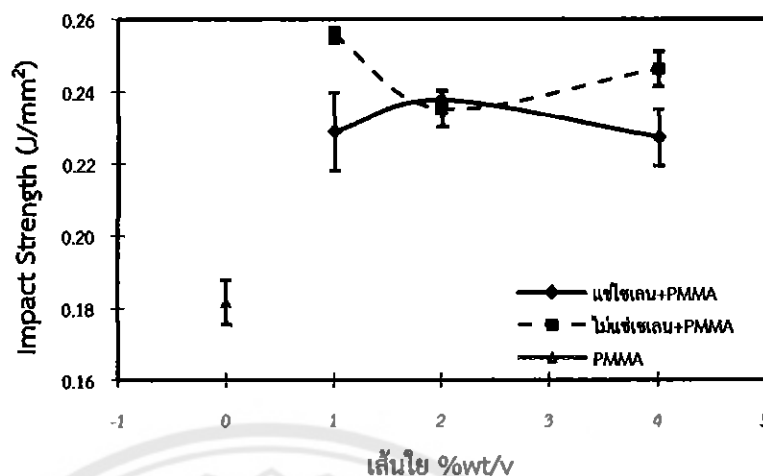
ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิด ชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 ให้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ ก.2 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่แฉะโซเลนและไม่แฉะโซเลน ต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยแบบยาววางขนานที่แฉะโซเลนและไม่แฉะโซเลน ต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก



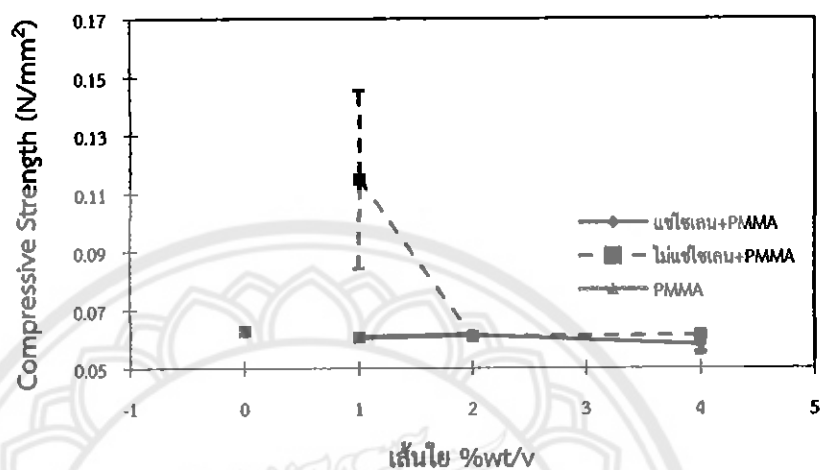
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบทึบที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลน ต่อสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

จากรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ ตัดสั้น ยาววางขนานและทึบ ในปริมาณ 0, 1, 2 และ 4 %wt/v โดยเส้นใยที่แซ้ไซเลนที่ปริมาณ 2 %wt/v และเส้นใยที่ไม่แซ้ไซเลน

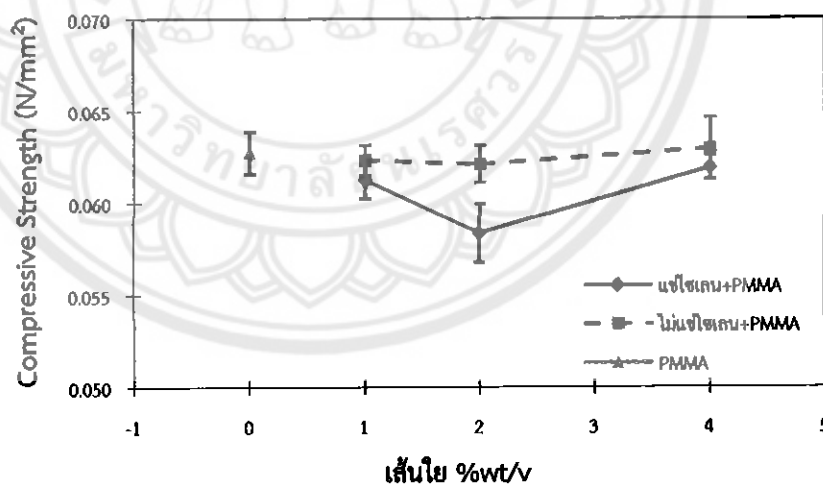
เนื่องจากการทนต่อแรงกระแทกของชิ้นทดสอบพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ มีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงกระแทกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตไม่เสริมแรง แต่ที่พอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานที่ปริมาณเส้นใย 4 %wt/v มีค่าใกล้เคียงกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตไม่เสริมแรง จากผลการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลนมีค่าเฉลี่ยของการทนต่อแรงกระแทกสูงที่ปริมาณเส้นใย 1 %wt/v มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงกระแทกที่ต่ำลงเมื่อปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น จากกราฟพบว่าทุกรูปแบบและปริมาณของเส้นใยมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงกระแทกที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การแซ้เส้นใยด้วยไซเลนไม่มีผลต่อการทนต่อแรงกระแทก เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลน

4.2.2.3 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงอัด

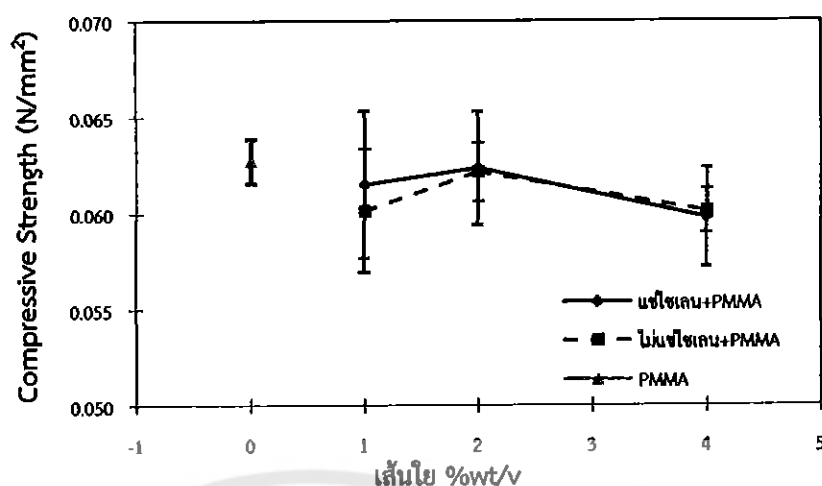
ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงอัดของชิ้นงานทดสอบแต่ละชนิด ชนิดละ 5 ตัวอย่าง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D695 ให้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ ก.3 (ภาคผนวก ก)



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบตัดสั้นที่แฉโซเลนและไม่แฉโซเลน ต่อสมบัติการทนต่ออัด



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยแบบยาววางขนานที่แฉโซเลนและไม่แฉโซเลน ต่อสมบัติการทนต่ออัด



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลของปริมาณเส้นใยรูปแบบทิกซูที่แซ้ไซเลนและไม่แซ้ไซเลน ต่อสมบัติการทนต่ออัด

จากรูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 กราฟแสดงผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงอัดของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ ตัดสั้น ยาววางขนาน และ ทิกซูในปริมาณเส้นใย 0, 1, 2 และ 4 %wt/v โดยเส้นใยแซ้ไซเลนที่ปริมาณ 2 %v/wt และเส้นใย ไม่แซ้ไซเลน

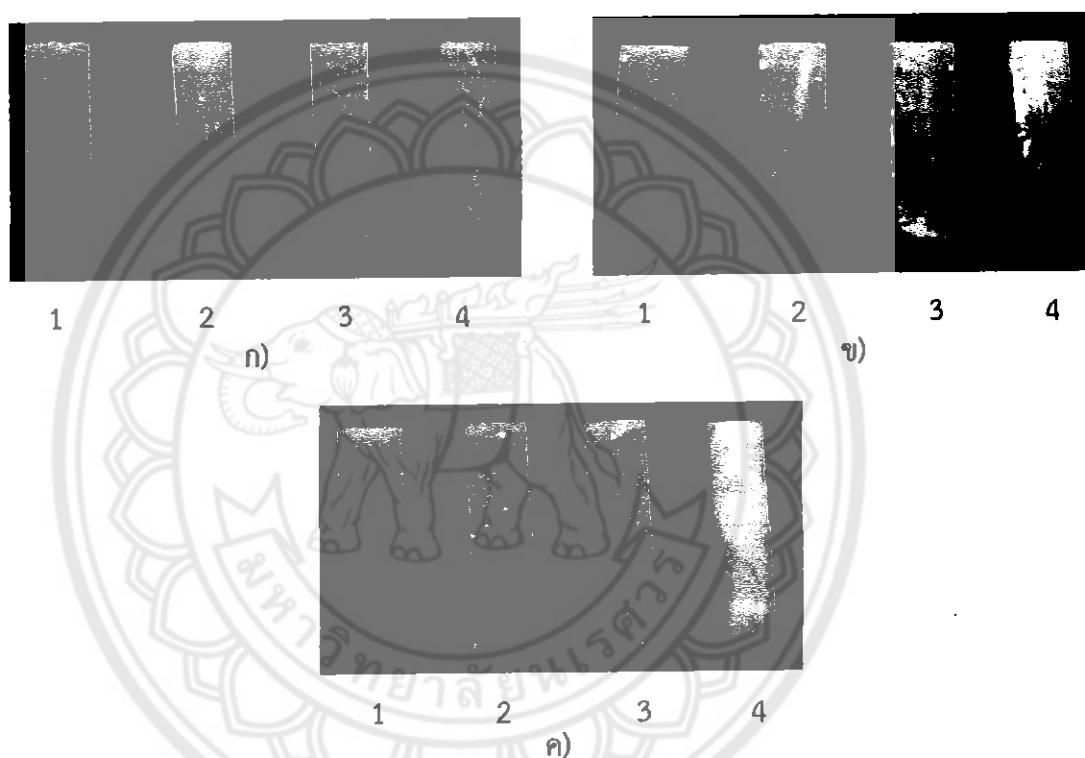
เนื่องจากทดสอบการทนต่อแรงอัดของชิ้นทดสอบพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทุกรูปแบบและทุกปริมาณเส้นใยไม่มีผลต่อการทนต่อแรงอัดเมื่อเปรียบเทียบกับไม่เสริมแรง เช่นเดียวกับการศึกษาผลการแซ้เส้นใยด้วยไซเลนมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงอัดที่ใกล้เคียงกับไม่แซ้ไซเลน

4.3 ผลการตรวจสอบการเรียงตัวของเส้นใย

4.3.1 การเรียงตัวของเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ

4.3.1.1 การเรียงตัวของเส้นใยแก้วจากผิวชิ้นงานทดสอบ

การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพภายนอกที่ผิวของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ โดยมีปริมาณเส้นใย คือ ไม่เสริมแรง (1) เส้นใย 1 %wt/v (2) เส้นใย 2 %wt/v (3) และเส้นใย 4 %wt/v (4) ลักษณะทางกายภาพภายนอกแสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ชิ้นงานทดสอบเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว ก) เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบตัดสั้น

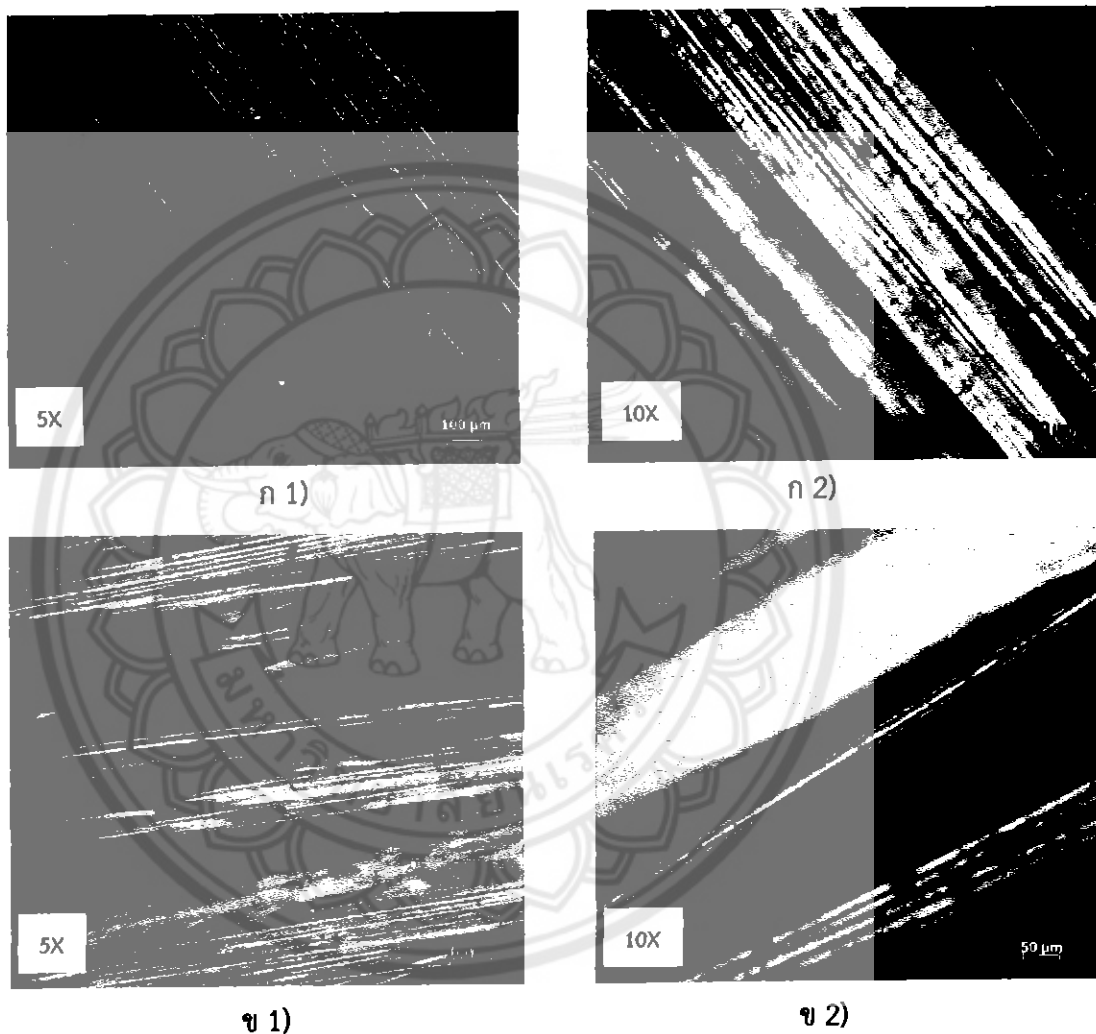
ข) เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบยาววางขนาน ค) เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบทึชชู

จากรูปที่ 4.14 ศึกษาการกระจายตัวของเส้นใยแก้วในพอลิเมทิลเมทาคริเลตทั้ง 3 รูปแบบ มีลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยแก้วที่บริเวณผิวของชิ้นทดสอบ พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่มีปริมาณมากขึ้นจะมีการทึบแสงและมีจำนวนเส้นใยที่ชิ้นทดสอบชัดเจนขึ้น โดยการเรียงตัวและการกระจายตัวของเส้นใยแก้วมีความแตกต่างกันตามรูปแบบของเส้นใย ดังนี้ การเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบตัดสั้นลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยแก้วทั่วทั้งชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ก) ในขณะที่การเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบยาววางขนานมีลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยแก้วกึ่งกลางชิ้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ข) และการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบทึชชูมีลักษณะการ

กระจายตัวของเส้นใยแก้วกึ่งกลางชั้นทดสอบโดยเส้นใยแก้วมีขนาดความยาวและความกว้างเท่ากับชั้นทดสอบ แสดงดังรูปที่ ค)

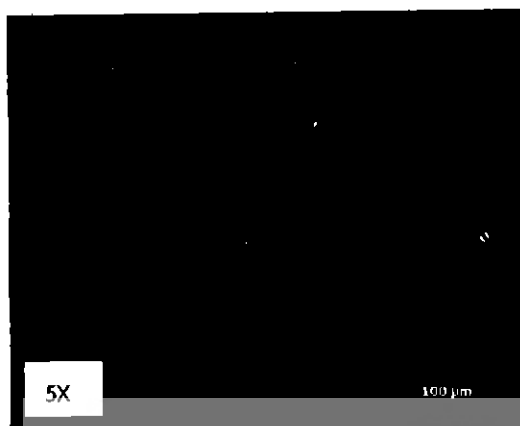
4.3.1.2 การเรียงตัวของเส้นใยแก้วภายในชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ ที่กำลังขยาย 50 เท่า และ 100 เท่าแสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้ว

- ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้น ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนาน
ค) เส้นใยแก้วรูปแบบทึซซู



ค 1)



ค 2)

รูปที่ 4.15 (ต่อ) เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้ว
 ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้น ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนาน
 ค) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบ

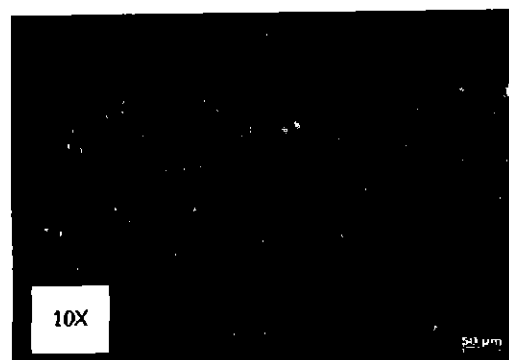
จากรูปที่ 4.15 ศึกษาการเรียงตัวของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 50 เท่า และ 100 เท่า ก่อนนำไปเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่าการเรียงตัวของเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นและยาววางขนาน มีการเรียงตัวในทิศทางเดียวกันแต่มีความยาวที่ต่างกัน โดยเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นมีความยาวประมาณ 6 มิลลิเมตร และเส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานมีความยาวประมาณ 60 มิลลิเมตร ตามขนาดความยาวขึ้นทดสอบ ในทางกลับกันการเรียงตัวของเส้นใยแก้วรูปแบบทึบมีการเรียงตัวในทิศทางที่ไม่แน่นอนและสานกันเป็นแผ่น

4.3.2 การเรียงตัวของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ ภายในขึ้นทดสอบ

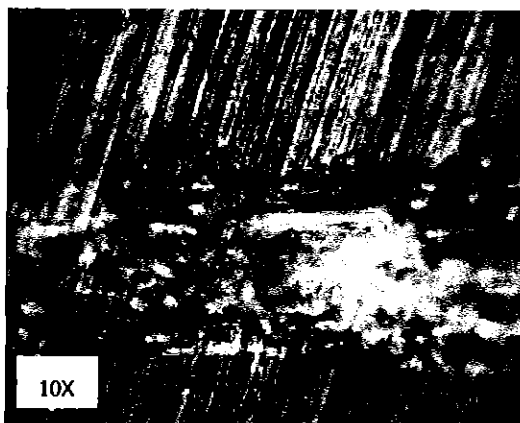
การศึกษาลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ บริเวณรอยแตกของขึ้นทดสอบหลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.16



ก)



ข)



ค)

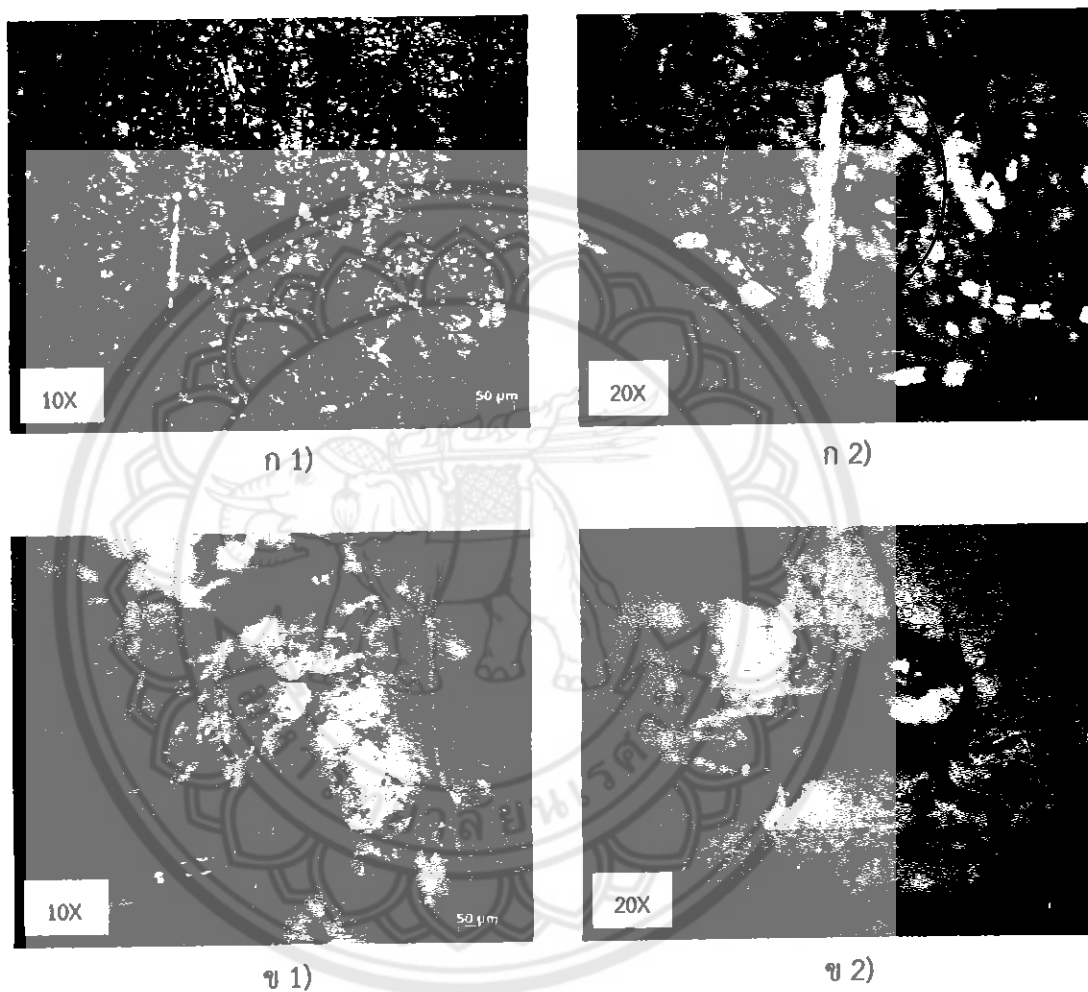
รูปที่ 4.16 การเรียงตัวของเส้นใยแก้วทั้งภายในชั้นทดสอบ ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้น
ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนาน ค) เส้นใยแก้วรูปแบบทึชชู

จากรูปที่ 4.16 ศึกษาการเรียงตัวของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า ภายในชั้นทดสอบหลังนำไปเสริมแรงในพอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่าการเรียงตัวและการกระจายตัวของเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นมีทิศทางที่ไม่แน่นอนทั่วทั้งชั้นทดสอบ ส่วนเส้นใยแก้วรูปแบบทึชชูมีการเรียงตัวแบบทิศทางที่ไม่แน่นอน แต่การกระจายตัวภายในชั้นทดสอบแบบเกาะกลุ่มกันแทรกอยู่บริเวณกึ่งกลาง ซึ่งมีความยาวและความกว้างเท่าขนาดชั้นทดสอบ จากรูปเห็นความหนาของเส้นใยเนื่องจากเป็นชั้นทดสอบหลังจากการทดสอบแรงกระแทก ในทางกลับกันการเรียงตัวของเส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานมีการเรียงตัวในทิศทางเดียวกันและการกระจายตัวภายในชั้นทดสอบแบบเกาะกลุ่มกันแทรกอยู่บริเวณกึ่งกลาง

ผลการศึกษาการเรียงตัวของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ ภายในชั้นทดสอบมีผลสอดคล้องกับสรุปผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทกที่ว่าเมื่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 ชนิด พบว่าที่ 4 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบยาววางขนานมีค่าความต้านทานแรงต่อกระแทกที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับร้อยละเส้นใยอื่นๆซึ่งใกล้เคียงกับค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรง และพบว่าที่ 4 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบทึชชู มีค่าความต้านทานแรงต่อกระแทกที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับร้อยละเส้นใยอื่นๆ

4.3.3 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ ที่แซะไซเลนและไม่แซะไซเลนกับ พอลิเมทิลเมทาคริเลต

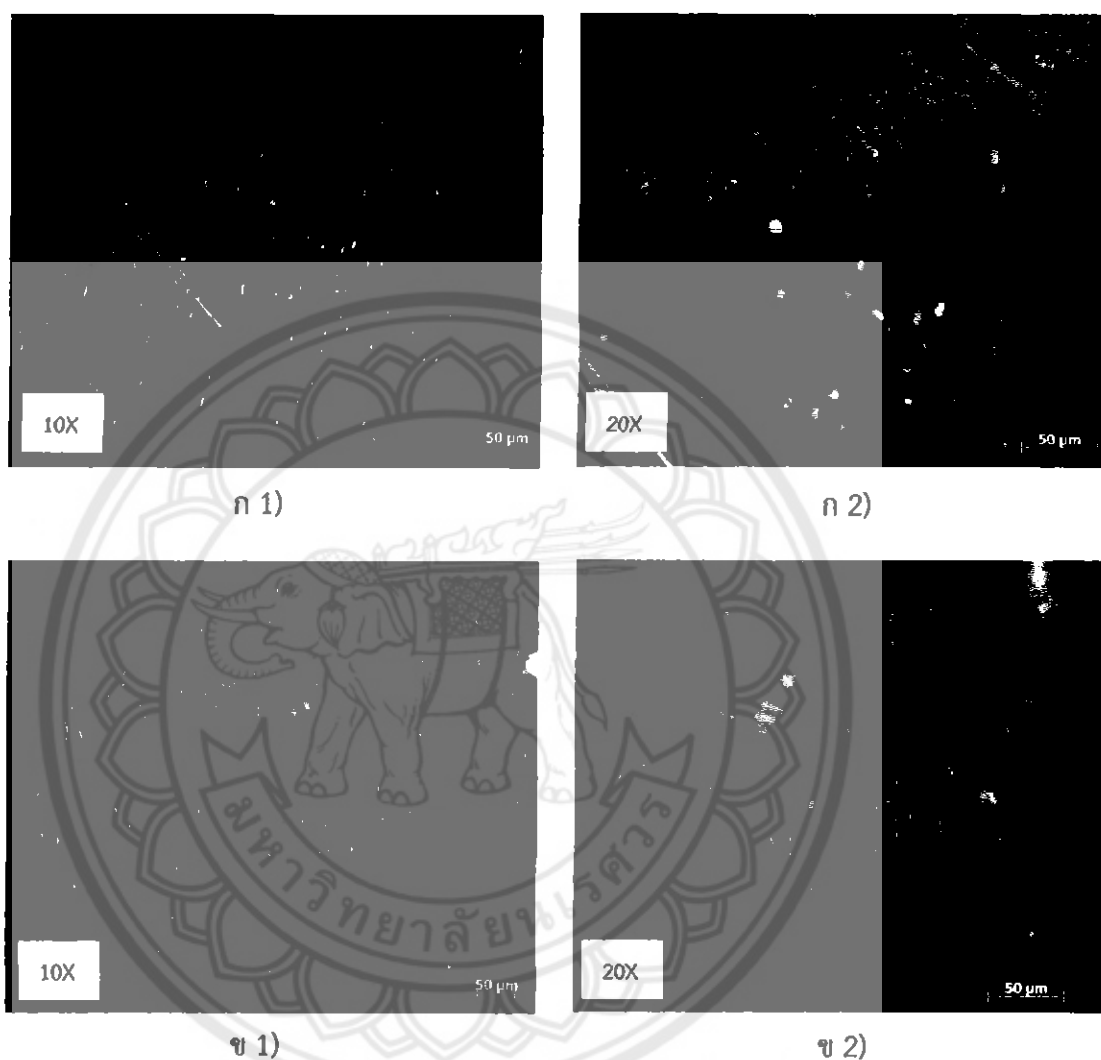
การศึกษาลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้น บริเวณรอยแตกของชิ้นทดสอบ หลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 200 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต

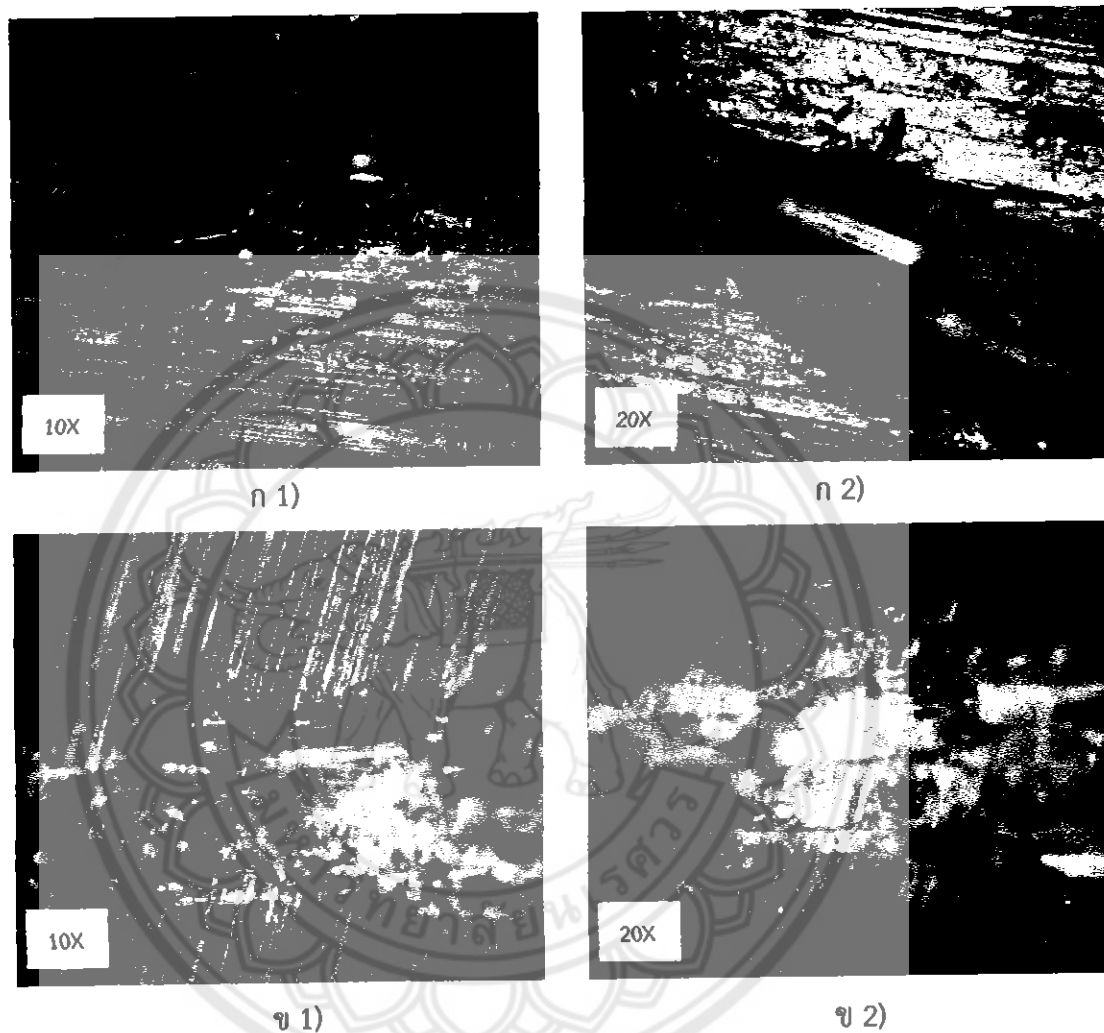
ก) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นแซะไซเลน ข) เส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นไม่แซะไซเลน

การศึกษาลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานบริเวณรอยแตกของชิ้นทดสอบ หลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 200 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต
ก) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานซี่โซเลน ข) เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานไม่ซี่โซเลน

การศึกษาลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้วรูปแบบยาว วางขนานบริเวณรอยแตกของชิ้นทดสอบ หลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 200 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วรูปแบบทึบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต
ก) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบแซ็สเลน ข) เส้นใยแก้วรูปแบบทึบไม่แซ็สเลน

จากรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 ศึกษาการเปรียบเทียบการยึดเกาะบริเวณรอยต่อของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ ที่แช่โซเลนและไม่แช่โซเลนกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต จากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า และ 200 เท่า พบว่าเส้นใยแก้วรูปแบบตัดสั้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยแก้วกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตมีการยึดเกาะที่ไม่แตกต่างกันระหว่างพื้นผิวของเส้นใยที่แช่โซเลนและไม่แช่โซเลน ในขณะที่เส้นใยแก้วรูปแบบยาววางขนานและทึซุที่ไม่แช่โซเลนบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยแก้วกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตเกิดการรวมตัวของเส้นใยและยึดเกาะกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้ดีกว่าเส้นใยที่แช่โซเลน จากรูปถ่ายทางกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยรูปแบบยาววางขนานและทึซุที่แช่โซเลน พบว่าที่บริเวณรอยแตกของชิ้นทดสอบหลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกมีช่องว่างระหว่างเส้นใยแก้วกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่กว้างกว่าที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่ไม่แช่โซเลนสอดคล้องกับสรุปผลการเปรียบเทียบการทดลองการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่แช่โซเลนและไม่แช่โซเลน ซึ่งผลการแช่โซเลนของเส้นใยแก้วมีผลให้สมบัติเชิงกลลดลง



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ศึกษาผลของการขึ้นรูปของขึ้นทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตเสริมแรงด้วยชนิดเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ เส้นใยแก้วแบบตัดสั้นเส้นใยแก้วแบบทึบ และเส้นใยแก้วแบบยาววางขนาน การแช่โซเลนและไม่แช่โซเลน สามารถขึ้นรูปขึ้นทดสอบได้ทุกกลุ่มการทดสอบ ณ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยทั่วไป

5.1.2 ศึกษาสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงดัดโค้ง ของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบ คือ เส้นใยแบบตัดสั้น เส้นใยแบบเส้นยาววางขนาน และเส้นใยแบบทึบปริมาณ 1, 2 และ 4 %wt/v โดยนำเส้นใยแก้วแต่ละกลุ่มไปแช่ในไวโนลไตรเอทโทกซีโซเลนปริมาณ 2 %v/wt โดยมีกลุ่มควบคุมการทดลองนี้ คือ วัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมเส้นใยแก้วและไม่แช่ในไวโนลไตรเอทโทกซีโซเลน

การทดสอบแรงกระแทก พบว่าเมื่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงพบว่าที่ 4 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบยาววางขนานมีค่าความต้านทานแรงต่อกระแทกที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับร้อยละเส้นใยอื่นๆ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรง และพบว่าที่ 4 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบทึบมีค่าความต้านทานแรงต่อกระแทกที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับร้อยละเส้นใยอื่นๆ

การทดสอบแรงดัดโค้ง พบว่าเมื่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานแรงดัดโค้งสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงพบว่าที่ 4 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบตัดสั้นมีค่าความต้านทานต่อแรงดัดโค้งสูงกว่า 1 และ 2 %wt/v แต่ที่ 4 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบยาววางขนานและทึบมีค่าความต้านทานต่อแรงดัดโค้งต่ำกว่า 1 และ 2 %wt/v

การทดสอบแรงอัด พบว่าเมื่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยทุกรูปแบบและทุกสัดส่วนไม่มีผลที่ทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงยกเว้นที่ 1 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบตัดสั้นมีค่าความต้านทานต่อแรงอัดสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรง

จากผลการทดสอบแรงกระแทก แรงดัดโค้ง และแรงอัด พบว่าเมื่อนำพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 ชนิด โดยเส้นใยที่แช่โซเลน 2 %v/wt ไม่มีผลทำให้

ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทก แรงดัดโค้ง และแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทั้ง 3 ชนิด ที่ไม่แช่เส้นใยด้วยไซเลน

สรุปการศึกษาด้านความแข็งแรงของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงและเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 4 %wt/v โดยการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก แรงดัดโค้งและแรงอัด พบว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบทึบซุที่ 4 %wt/v สามารถเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกได้ร้อยละ 35 เมื่อเทียบกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงและพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วแบบตัดสั้นที่ 4 %wt/v สามารถรับแรงดัดโค้งได้ดีกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงถึงร้อยละ 65 แต่การเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทุกรูปแบบและทุกสัดส่วนกลับไม่เพิ่มความแข็งแรงต่อการทดสอบความทนทานต่อแรงอัดยกเว้นที่ 1 %wt/v ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแบบตัดสั้นมีค่าความต้านทานต่อแรงอัดสูงกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่เสริมแรงและสุดท้ายจากการศึกษาการเปรียบเทียบผลของการนำเส้นใยแก้วไปแช่ในสารไซเลน 2 %v/wt และไม่แช่ไซเลน พบว่าไม่มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลสอดคล้องกับการศึกษาการยึดเกาะของเส้นใยแก้วทั้ง 3 รูปแบบที่แช่ไซเลนและไม่แช่ไซเลนกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพจากรูปถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของเส้นใยแก้วบริเวณรอยแตกของชิ้นทดสอบหลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทก พบว่าเส้นใยแก้วที่แช่ไซเลนมีบริเวณรอยแตกของชิ้นทดสอบหลังจากการทดสอบการทนต่อแรงกระแทกมีช่องว่างระหว่างเส้นใยแก้วกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่กว้างกว่าที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่ไม่แช่ไซเลน ซึ่งผลแช่ไซเลนของเส้นใยแก้วดังกล่าวนี้มีผลให้สมบัติเชิงกลลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโครงการนี้มีความพยายามที่จะพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตเสริมแรงโดยการเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุเสริมแรงชนิดเส้นใยแก้ว 3 รูปแบบ คือ แบบตัดสั้น แบบทึบซุ และแบบยาววางขนาน โดยศึกษาสัดส่วนการใช้งานที่เหมาะสมของวัสดุเสริมแรงวัสดุทั้งหมดจะถูกนำมาเปรียบเทียบระหว่างแช่เส้นใยด้วยสารไซเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดกับพอลิเมทิลเมทาคริเลตและไม่แช่ไซเลน จากนั้นวัสดุคอมโพสิตที่ได้จะถูกนำไปศึกษาสมบัติทางกล เนื่องจากโครงการนี้มีความคาดหวังว่าการแช่ไซเลนจะช่วยให้เพิ่มสมบัติทางกลของวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลตแต่ผลการทดสอบ พบว่าการแช่ไซเลนไม่ช่วยให้สมบัติทางกลเพิ่มขึ้นแต่ส่วนใหญ่กลับทำให้สมบัติทางกลลดลง ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะว่าควรปรับสัดส่วนของไซเลนหรือศึกษาชนิดของไซเลนชนิดอื่นที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงสมบัติทางกลและสมบัติการใช้งานด้านอื่นๆ ต่อไป

อย่างไรก็ตามโครงการนี้เป็นการทดสอบเพียงสมบัติทางกล เนื่องจากงานนี้นำไปประยุกต์ใช้ในทางทันตกรรม ดังนั้นจึงควรทดสอบความสามารถในการใช้งานจริง เช่น ความเป็นพิษและความเข้ากันได้ของเนื้อเยื่อเพื่อความปลอดภัยต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] O'Brien WJ. (2002). **Dental materials and their selection** 3rd ed. St.Louis: Mosby.
- [2] Craig RG, Power JM. (2002). **Restorative dental materials: prosthetic applications of polymers**. 11th ed. St Louis , Missouri ; Mosby. p. 636-58.
- [3] Suzuki, S. (2004). In vitro wear of nano-composite denture teeth. **J Prosthodont** , 13(4), 238-43.
- [4] Beyli M.S. von Fraunhofer J.A. (1981) .An analysis of cause of fracture of acrylic resin denture. **J Prosthodont**, (46), 238-241.
- [5] Vallittu PK. (1996). A review of fiber-reinforced denture base resins. **J Prosthodont**, (5), 270-76.
- [6] Jagger DC, Harrison A, Jandt KD. (1999). Review the reinforcement of denture. **J Oral Rehabil**, (26), 185-94.
- [7] Stafford G.D., Bates J.F., Huggett R. (1980). Handley R.W. A review of the properties of some denture base polymers. **J Dent**, 8(4), 292-306.
- [8] Callister WD. (2005). **Fundamentals of materials science and engineering; An integrated approach. Fiber reinforced composites**. 2th ed. New Jersey : John Wiley & Sons, p.625-65.
- [9] Brown D. (2000). Fibre-reinforced materials. **Dent Update**, (27), 442-448.
- [10] Aydin C, Yilmaz H, Caglar A. (2002). Effect of glass fibre reinforcement on the flexural strength of different denture base resin. **Quintessence Int**, (33), 457-63.
- [11] John J, Gangadhar SA, Shah I. (2001). Flexural strength of heat- polymerized methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid, or nylon fibres. **J Prosthodont**, (86), 424-427.
- [12] Abdul S. Khan, Monisha J. Phillips, K. Elizabeth Tanner, Ferranti S. Wong. (2008). Comparison of the visco-elastic behavior of a pre-impregnated reinforced glass fiber composite with resin-based composite. **Dental Materials**, (24), 1534-1538.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] Karacaer O, Ploot TN, Tezvergil A, LassilaLippo VJ, Vallittu PK. (2003). The effect of length and concentration of glass fiber on the mechanical properties of an injection-and a compression-molded denture base. *J Prosthet Dent*, (90), 385-93.
- [14] Kim SH, David C. Watts. (2004). The effect of reinforcement with woven E-glass fibers on the impact strength of complete denture fabricated with high-impact acrylic resin. *J Prosthet Dent*, (91), 274-280.
- [15] Katja K. Narva, LassilaLippo VJ, Pekka K. Vallittu. (2005). Flexural fatigue of denture base polymer with fiber-reinforced composite reinforcement. *Composites: Part A applied science and manufacturing*, (36), 1275-1281.
- [16] Scott R. Dyer, John A. Sorensen, LassilaLippo VJ, Pekka K. Vallittu. (2005). Damage mechanics and load failure of fiber-reinforced composite fixed partial dentures. *Dental Materials*, (21), 1104-1110.
- [17] Scott R. Dyer, John A. Sorensen, LassilaLippo VJ, Pekka K. Vallittu. (2004). Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. *Dental Materials*, (20), 974-995.
- [18] Pekka K. Vallittu, Sevelius C. (2000). Resin-bonded glass fiber-reinforced composite fixed partial denture: A clinical study. *J Prosthet Dent*, (84), 413-418.
- [19] Stiesch-Scholz M, Schulz M, Borchers L. (2006). In vitro fracture resistance of four-unit fiber-reinforced composite fixed partial dentures. *Dental Materials*, (22), 374-381.
- [20] Vistas M. Karbhari, Strassler H. (2007). Effect of fiber architecture on flexural characteristics and fracture of fiber-reinforced dental composites. *Dental Materials*, (23), 960-968.
- [21] Luiz E. Bertassoni, Grayson W. Marshall, Evelise Machado de Souza, Rodrigo Nunes Rached. (2008). Effect of pre-and postpolymerization on flexural strength and elastic modulus of impregnated, fiber-reinforced denture base acrylic resins. *J Prosthet Dent*, (100), 449-457.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] Lastumaki TM, Kallio TT, Vallittu PK. (2002). The bond strength of light-curing composite resin to finally polymerized and aged glass fiber-reinforced composite substrate. **Biomaterials**, (23), 4533-4539.
- [23] Garoushi S., Pekka K. Vallittu, LassilaLippo VJ. (2007). Fracture resistance of short, randomly oriented glass fiber-reinforced composite premolar crowns. **ActaBlomaterialia**, (3), 779-784.
- [24] Meric G., EysteinRuyter I. (2002). Effect of thermal cycling on composites reinforced with two differently sized silica-glass fiber. **Dental Materials**, (23), 1157-1163.
- [25] Spyrides S.M.M., Bastian F.L. (2004). In vitro comparative study of the mechanical behavior of a composite matrix reinforced by two types of fibers (polyethylene and glass). **Materials Science and Engineering**, (24), 671-677.
- [26] Hockin H.K Xu, Janet B.Quinn, Douglas T. Smith, Anthony A. Giuseppetti, Frederick C. (2003). Eichmiller.Effects of different whiskers on the reinforcement of dental resin composites. **Dental Material**, 19359-367.
- [27] Xia Y., Zhang F., Xie H., Gu N. (2008). Nanoparticle-reinforced resin-based dental composites.**J.Dentistry**, (36), 450-455.
- [28] Sideridou I., Tserki V., Papanastasiou G. (2003). Study of water sorption, solubility and modulus of elasticity of light-cured dimethacrylate-based dental resins. **Biomaterials**, 24655-665.
- [29] Wang H., Zhu M., Li Y., Zhang Q., Wang H. (2011). Mechanical properties of dental resin composites by co-filling diatomite and nanosized silica particles. **Materials science and Engineering**, (C31), 600-605.
- [30] Tu M. G., Liang W. M., Wu T.C., Chen S.Y. (2009). Improving the mechanical properties of fiber-reinforced acrylic denture-base resin. **Materials and Design**, (30), 2468-2472.
- [31] Vuorinen A.M., Dyer S.R., Lassila L.V.J., Vallittu P.K. (2008). Effect of rigid rod polymer filler on mechanical properties of poly-methyl methacrylate denture base material. **Dental Materials**, 24708-713.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [32] Asaoka K., Hirano S. (2003). Diffusion coefficient of water through dental composite resin. *Biomaterials*, 24975-979.
- [33] Ellakwa A., Cho N., Lee I.B. (2007). The effect of resin matrix composition on the polymerization shrinkage and rheological properties of experimental dental composites. *Dental Materials*, (23), 1229-1235.
- [34] Mesquita R.V., Axmann D., Gerstorfer G.J. (2006). Dynamic visco-elastic properties of dental composite resins. *Dental Materials*, (22), 258-267.
- [35] Joel R. Fried. (2003). *Polymer Science And Technology*. (2nd edition). U.S.A.: Pearson Education, Inc.
- [36] เจน รัตน์ไพศาล. (2533). *ทันตวัสดุศาสตร์*. (พิมพ์ครั้งที่สอง). กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัดมหาชน.
- [37] Council on Dental Material and Device. *Guide to Dental Materials and Deulces*, American Dental Association (sixth edition), 1972-1973.
- [38] Jacob J., Shivaputrappa A., Gangadhar , Ila S. (2001). Flexural strength of heat-polymerized polymethyl methacrylate denture resin reinforced with glass, aramid, or nylon fibers. *J.Dentistry*, (86), 424-427.
- [39] Gülay U., Nur H., Teoman T. (1999). Effect of five woven fiber reinforcements on the impact and transverse strength of a denture base resin. *J. Prosthetic Density*, 81616-620.
- [40] Ming-Gene T., Wen-Miin L., Tai-Chin W., San-Yue C. (2009). Improving the mechanical properties of fiber-reinforced acrylic denture-base resin. *Materials and Design*, (30), 2468-2472.
- [41] Cowie, J.M.G. (1991). *Polymers: Chemistry and Physics of Modern Materials* (2nd edition). Chapman and Hall.
- [42] บุญรักษ์ สร้อยระย้า. *พอลิเมอร์คอมโพสิต*. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [43] อรุษา สรวารี (2546). *สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1*. : กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [44] จินตมัย สุวรรณประทีป (2547). *การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ภาคผนวก ก

ตารางการบันทึกผลการทดสอบสมบัติแรงดัดโค้ง
สมบัติด้านทานต่อแรงกระแทกและสมบัติแรงอัด



ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพรับแรงดัดโค้ง

ร้อยละเส้นใย % wt/v	ชั้นทดสอบ	Young's Modulus of Bending (MPa)						
		ดัดสั้น		ชนิดเส้นใย			ทิศทาง	
		แซ่ใยเส้น 2%wt	ไม่แซ่ใยเส้น	แซ่ใยเส้น 2%wt	ไม่แซ่ใยเส้น	แซ่ใยเส้น 2%wt	แซ่ใยเส้น 2%wt	ไม่แซ่ใยเส้น
1	1	272.980	398.370	252.530	320.360	240.530		368.450
	2	282.640	341.900	274.880	320.910	249.800		332.720
	3	348.030	294.760	214.540	384.150	312.740		409.460
	4	310.060	492.650	198.870	350.720	224.340		381.650
	5	336.290	336.320	231.680	406.160	228.330		335.630
	ค่าเฉลี่ย	310.000	372.800	234.500	356.460	251.148		365.582
2	1	264.920	409.390	283.530	372.920	249.500		369.520
	2	396.770	287.050	266.050	413.830	263.990		273.810
	3	278.050	374.160	252.730	236.860	236.710		331.890
	4	299.700	344.790	251.410	325.850	291.940		272.830
	5	291.700	341.080	304.340	302.280	242.350		315.100
	ค่าเฉลี่ย	306.228	351.294	271.611	330.348	256.898		312.630
4	1	251.770	376.520	178.080	364.260	44.084		260.060
	2	395.520	416.240	160.300	202.990	229.360		237.110
	3	261.890	386.210	262.370	238.390	176.070		354.790
	4	331.670	467.250	231.530	219.360	71.013		305.520
	5	267.270	420.720	221.700	254.980	86.446		253.990
	ค่าเฉลี่ย	301.624	413.388	210.796	255.996	121.395		282.294

ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก

ร้อยละเส้นใย % wt/v	ชั้นทดสอบ	Impact strength (J/mm ²)					
		ตัดเส้น		ชนิดเส้นใย		ทิศทาง	
		แฉะใยเลน 2%wt	ไม่แฉะใยเลน	แฉะใยเลน 2%wt	ไม่แฉะใยเลน	แฉะใยเลน 2%wt	ไม่แฉะใยเลน
1	1	0.242	0.248	0.255	0.237	0.195	0.252
	2	0.233	0.248	0.253	0.235	0.245	0.253
	3	0.233	0.247	0.257	0.220	0.213	0.257
	4	0.188	0.258	0.247	0.247	0.257	0.253
	5	0.202	0.242	0.225	0.235	0.235	0.263
	ค่าเฉลี่ย	0.220	0.249	0.247	0.235	0.229	0.256
2	1	0.255	0.253	0.183	0.225	0.250	0.237
	2	0.248	0.253	0.240	0.213	0.247	0.222
	3	0.248	0.253	0.217	0.203	0.225	0.245
	4	0.248	0.247	0.217	0.237	0.245	0.232
	5	0.248	0.247	0.235	0.230	0.222	0.242
	ค่าเฉลี่ย	0.250	0.251	0.218	0.222	0.238	0.235
4	1	0.235	0.253	0.203	0.190	0.218	0.237
	2	0.242	0.247	0.203	0.182	0.230	0.252
	3	0.230	0.242	0.170	0.192	0.247	0.252
	4	0.230	0.233	0.175	0.192	0.233	0.250
	5	0.230	0.243	0.180	0.158	0.208	0.242
	ค่าเฉลี่ย	0.233	0.244	0.186	0.183	0.227	0.246

ตารางที่ ก.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติการรับแรงอัด

ร้อยละเส้นใย % wt/v	ชั้นทดสอบ	compressive strength (N/mm ²)							
		ดัดเส้น		ชนิดเส้นใย				ทิศทาง	
		แฉะใยเลน 2%wt	ไม่แฉะใยเลน	แฉะใยเลน 2%wt	ไม่แฉะใยเลน	ยาววางขนาน	ไม่แฉะใยเลน	แฉะใยเลน 2%wt	ไม่แฉะใยเลน
1	1	0.061	0.059	0.061	0.063			0.056	0.052
	2	0.057	0.100	0.060	0.062			0.058	0.062
	3	0.061	0.150	0.062	0.061			0.068	0.062
	4	0.059	0.095	0.062	0.063			0.066	0.062
	5	0.063	0.056	0.062	0.063			0.061	0.055
	ค่าเฉลี่ย	0.060	0.092	0.061	0.062			0.062	0.058
2	1	0.066	0.061	0.059	0.061			0.059	0.062
	2	0.061	0.062	0.060	0.062			0.065	0.061
	3	0.061	0.060	0.061	0.063			0.068	0.064
	4	0.051	0.062	0.055	0.067			0.063	0.064
	5	0.062	0.060	0.057	0.061			0.056	0.061
	ค่าเฉลี่ย	0.060	0.061	0.058	0.063			0.062	0.062
4	1	0.056	0.061	0.078	0.065			0.062	0.064
	2	0.057	0.061	0.062	0.058			0.060	0.061
	3	0.061	0.061	0.061	0.064			0.062	0.056
	4	0.054	0.061	0.057	0.063			0.056	0.059
	5	0.063	0.062	0.063	0.061			0.057	0.060
	ค่าเฉลี่ย	0.058	0.061	0.064	0.062			0.059	0.060

ตารางที่ ก.4 ตารางบันทึกผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของ PMMA

ร้อยละไนโย % wt/v	จำนวนทดสอบ	Young's Modulus of Bending (MPa)	Impact strength (J/mm ²)	compressive strength (N/mm ²)
Pure PMMA	1	286.470	0.180	0.057
	2	369.030	0.190	0.094
	3	237.780	0.192	0.063
	4	293.920	0.167	0.064
	5	308.230	0.180	0.062
	ค่าเฉลี่ย	299.086	0.182	0.068