

อธิการบดีมหาวิทยาลัย



สำนักหอสมุด

ผลของสัดส่วนระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์
ต่อการต้านทานการสึกกร่อนการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งแรงดึง
และความแข็งวิกเกอร์ของวัสดุซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต

The Effect of Aluminum oxide/silicon dioxide Ratios on Wear
Resistance, Flexural Resistance Tensile Strength
and Vickers Hardness of PMMA Denture Teeth

นายอดิศักดิ์ มณีใส รหัส 54363040
นางสาวธีรนาถ ทรงอยู่ รหัส 54360414

1723761

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน 27 ธ.ค. 2561
เลขทะเบียน 17237613
เลขเรียกหนังสือ ป

0129 พ
2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ผลของสัดส่วนระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อ
การต้านทานการสึกกร่อน การต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งแรงดึง
และ ความแข็งวิกเกอร์ของวัสดุซีพินเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต

ผู้ดำเนินโครงการ นายอดิศักดิ์ มณีใส รหัส 54363040
นางสาวธีรนาถ ทรงอยู่ รหัส 54360414

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.นพวรรณ ไม้ทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.สมร หิรัญประดิษฐ์กุล)

.....กรรมการ

(ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)

.....กรรมการ

(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลของสัดส่วนระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อการต้านทานการสึกกร่อนการต้านทานแรงดัดโค้งความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงทอร์กของวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวธีรนาถ ทรงอยู่ รหัส 54360414 นายอดิศักดิ์ มณีใส รหัส 54363040
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.นพวรรณ ไหมทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

วัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลต(Poly Methyl Methacrylate; PMMA) เป็นวัสดุซีฟันเทียมที่ใช้อย่างแพร่หลายในการประดิษฐ์ซีฟันเทียม เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการ คือ มีน้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำน้อยเหมาะสมแก่การใช้งานในช่องปากและซ่อมแซมได้ง่าย อย่างไรก็ตามวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตยังคงมีข้อด้อยเรื่องของความต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งแรงดึง และ ปัญหาการสึกกร่อน หรือ แม้กระทั่งความแข็งผิวของซีฟัน

การเลือกวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมรวมทั้งการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบ(Coupling agent) ชนิดไฮโดรเจนเพอออกไซด์ช่วยการยึดติดระหว่างวัสดุเสริมแรงและพอลิเมอร์เมทริกซ์ จะมีผลต่อความแข็งแรงในการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตงานวิจัยนี้ได้พยายามที่จะพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตคอมโพสิต โดยการเปรียบเทียบผลของการใช้วัสดุเสริมแรงคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ขนาด 15นาโนเมตร, 40 ไมโครเมตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 40 ไมโครเมตร โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผสมระหว่างวัสดุเสริมแรงทั้งสองชนิดที่อัตราส่วนการผสมที่เหมาะสม วัสดุทั้งหมดจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับวัสดุคู่ควบกลุ่มไฮโดรเจน และไม่มีไฮโดรเจน

การศึกษาด้านการต้านทานแรงดัดโค้งของวัสดุซีฟันเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ปรับปรุงผิวที่ปริมาณการเติมระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์กับซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 1:5 และ 5:1 ที่ปริมาณการเติมที่ 2% และ 5% wt/v เนื่องจากมีงานวิจัยที่ได้ศึกษามาก่อนได้ศึกษาปริมาณสารตัวเติมพบว่าการเติม

ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนจะช่วยเรื่องความต้านทานแรงดัดโค้งได้ดีที่สุดที่ 1%wt/v และอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ 5%wt/v โดยการทดสอบพบว่าซีฟันทิยมพอลิเมทิลเมทาคริเลทมีค่าความแข็งผิวสูงที่สุดที่อัตราส่วนการเติมที่ 5:1 ปริมาณการเติมที่ 5% wt/v แบบได้รับการปรับปรุงผิว และจะมีปริมาณความแข็งผิวสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆแตกต่างอย่างเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับซีฟันทิยมบริสุทธิ์ที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม ในส่วนของความต้านทานแรงดัดโค้งสูงสุดที่ 5:1 ที่ 5%wt/v ชนิดปรับปรุงผิวสารตัวเติม ซึ่งมีค่าสูงกว่าไม่ปรับปรุงผิวสารตัวเติมด้วยไฮเลน และที่อัตราส่วนการเติมอื่นๆ เนื่องจากสารตัวเติมขนาดนาโนเมตรมีการกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์อีกทั้งเมื่อปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนทำให้เกิดการจับตัวระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี เมื่อทำการทดสอบแรงดัดพบว่าที่อัตราส่วนการเติมที่ 1:5 ที่ 5% wt/v แบบที่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนมีค่าความแข็งแรงดัดมีค่าสูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ ทั้งที่ปรับปรุงผิวที่อัตราส่วนอื่นๆและไม่ปรับปรุงผิวนอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบค่าความต้านทานการสึกกร่อน จากปริมาณน้ำหนัที่หายไปเปรียบเทียบกับก่อนการทดสอบ พบว่าที่อัตราส่วน 5:1 ที่ปริมาณการเติมที่ 5% wt/v พบว่ามีน้ำหนัที่หายไปน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนและปริมาณการเติมอื่น และสุดท้ายได้ทำการทดสอบหาค่าความแข็งผิววิกเกอร์ชนิดที่ปรับปรุงผิววัสดุตัวเติมพบว่าที่อัตราส่วน 5:1 ที่ปริมาณการเติมที่ 5% wt/v มีค่าความแข็งผิวสูงสุด 66.46 HV และผลการทดลองทั้งหมดนี้ยังถูกนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติซึ่งก็ได้ให้ผลที่สอดคล้องกัน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่ายโดยเฉพาะ ดร.นพวรรณ โหมทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีการแก้ไขปัญหารวมถึง ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมา ประยุกต์ใช้ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ต้องขอขอบคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปใช้สถานที่และเครื่องมือ สำหรับการเตรียมชิ้นงานในการทำปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาที่ได้ให้การดูแล อบรม สั่งสอนและ ให้กำลังใจที่ดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงการ

นายอดิศักดิ์ มณีใส

นางสาวธีรนาถ ทรงอยู่

กันยายน 2558

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	3
1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	3
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	4
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ.....	31
3.1 แผนผังการดำเนินโครงการ.....	32

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ.....	34
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน.....	35

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	39
--	----

4.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง.....	40
4.2 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึง.....	48
4.3 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงสีกกร่อน.....	56
4.4 ผลการทดสอบสมบัติความแข็งวิกเกอร์.....	62
4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	64

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	72
----------------------------------	----

5.1 สรุปผลการทดลอง.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73

เอกสารอ้างอิง.....	74
--------------------	----

ภาคผนวก.....	77
--------------	----

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	4
2.1 ตารางแสดงข้อกำหนดของซีฟีนเทียมอะคริลิกตามมาตรฐาน ISO 3360.....	21
2.2 การทดลองประเภทวิเคราะห์ปัจจัยเดียว (Experiments with Single Factor).....	22
2.3 One-Way ANOVA.....	23
2.4 แสดงการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง.....	23
2.5 Two-Way ANOVA.....	25
4.5.1 ANOVA 2 WAYการทดสอบแรงดัดโค้ง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบไม่ปรับผิววัสดุตัว เดิม.....	64
4.5.2 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดัดโค้ง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม.....	65
4.5.3 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดึงที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบไม่ปรับผิววัสดุตัวเดิม.....	66
4.5.4 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดึง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม.....	66
4.5.5 ANOVA 2 WAYการทดสอบการสึกกร่อน ที่ 2%wt/v ปรับผิววัสดุตัวเดิมเทียบกับ PMMA บริสุทธิ์.....	67
4.5.6 ANOVA 2 WAYการทดสอบ การสึกกร่อน ที่ 5%wt/v ปรับผิววัสดุตัวเดิมเทียบกับPMMA บริสุทธิ์.....	68
4.5.7 ANOVA 2 WAY การทดสอบการสึกกร่อนที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม.....	68
4.5.8 ANOVA 2 WAY การทดสอบความแข็งที่ 2%wt/v และ 5%wt/vแบบปรับผิววัสดุตัว เดิม.....	69

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	7
2.2 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์.....	7
2.3 โครงสร้างของอะลูมิเนียมออกไซด์.....	8
2.4 โครงสร้างของ 3-MPS.....	12
2.5 การปรับสภาพพื้นผิวของซิลิกอนไดออกไซด์.....	13
2.6 การปรับสภาพพื้นผิวของอะลูมิเนียมออกไซด์.....	14
2.7 แสดงการแตกหักของชิ้นงาน.....	15
2.8 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด.....	15
2.9 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก.....	16
2.10 เปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก.....	17
2.11 แสดงแผนผังการทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง.....	18
2.12 เครื่องทดสอบการสึกกร่อน.....	19
2.13 ลักษณะหวักดความแข็งวิกเกอร์.....	20
2.14 เครื่องทดสอบความแข็งวิกเกอร์.....	21
3.1 รูปแสดงแผนผังการดำนเนินโครงการงาน.....	32
3.2 การทดสอบการต้านทานแรงดึง.....	35
3.3 ขนาดชิ้นงานทดสอบแรงดึง.....	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 การทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง.....	36
3.5 ชิ้นงานทดสอบแรงดัดโค้ง.....	36
3.6 ขนาดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานการสีกกร่อน ISO 1567-1999.....	37
3.7 เครื่องทดสอบความแข็งผิวและชิ้นงานที่รับการทดสอบ.....	38
3.8 ชิ้นงานที่นำไปทดสอบความแข็ง.....	38
4.1.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพ่นเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม.....	40
4.1.2 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพ่นเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม	42
4.1.3 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิมด้วยไฮเลนและไม่ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติมที่ 2%	44
4.1.4 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิมด้วยไฮเลนและไม่ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติมที่ 5%.....	46
4.2.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพ่นเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม.....	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.2.2 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟ่อนเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดึงที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม.....	50
4.2.3 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดึงระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิมด้วยไฮเลนและไม่ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติมที่ 2%	52
4.2.4 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดึงระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิมด้วยไฮเลนและไม่ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติมที่ 5%.....	54
4.3.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟ่อนเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานการสึกกร่อนที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม.....	57
4.3.2 รูปแสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 1:5 2%wt/v และ 5:1 5%wt/v รูป A ,C ก่อนการทดสอบ รูป B,D หลังทำการทดสอบ	59
4.3.3 รูปแสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 5:1 5%wt/v โดย รูป A รูปแสดงชิ้นงานก่อนการทำการทดสอบความสึกกร่อน และ รูป B รูปแสดงชิ้นงานหลังทำการทดสอบความสึกกร่อน.....	61
4.4.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟ่อนเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติของความแข็งวิก-เกอร์ที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม.....	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันทั่วโลกนี้มีผู้ป่วยจำนวนมากที่มีปัญหาในสภาวะช่องปากเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ เช่น ฟันผุ ฟันบิ่นหรือแตกหัก และอื่นๆ ในปัจจุบันก็ได้มีการผลิตฟันเทียม (Denture teeth) หลายชนิดเพื่อช่วยตอบสนองความต้องการดังกล่าว ซี่ฟันเทียมส่วนใหญ่มีวางขายอยู่ตามท้องตลาด ซี่ฟันเทียมที่มีวางขายอยู่ในท้องตลาดนั้น มีทั้งที่ทำมาจาก พลาสติก และพอร์ซเลน (Porcelain) หรืออาจจะเป็นวัสดุ ทั้ง 2 ชนิดผสมกัน ส่วนซี่ฟันที่ทำขึ้นในห้องปฏิบัติการสามารถทำได้ทั้งจากโลหะหล่อให้เป็นชิ้นเดียวกับชิ้นฟันเทียม หรืออาจหล่อส่วนที่เป็นแท่งขึ้นมาไว้สำหรับยึดส่วนของพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly Methyl Methacrylate, PMMA) หรือพอร์ซเลน ซึ่งจะยึดติดกันด้วยซีเมนต์ (Cement) การนำ PMMA เป็นวัสดุทางพอลิเมอร์มาใช้ในการงานทางด้านทันตกรรมนิยมนำมาเป็นหนึ่งในวัสดุการทำฟันเทียมกันอย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีกระบวนการผลิตที่ง่ายไม่ซับซ้อนและต้นทุนในการผลิตต่ำ ถึงแม้ว่า PMMA จะเป็นที่ได้รับความนิยมสูงและประโยชน์จากการใช้งานที่ดี แต่เรายังสามารถนำมาพัฒนาได้ ซึ่ง PMMA นั้นเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงที่ต่ำ ทั้งยังมีการต้านแรงดัดโค้งที่น้อย ที่สำคัญมีความทนทานต่อการสีกร่อน หรือแรงสับฟันไม่ดีนัก การนำวัสดุเสริมแรงมาใช้เพื่อเป็นการเพิ่มคุณสมบัติทางกลของซี่ฟันเทียม PMMA ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับปรุงคุณสมบัติ PMMA ให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น [1]

Hirano (1998) [2] ทดสอบการสึกของซี่ฟันเทียม PMMA 4 ยี่ห้อ เป็น PMMA ชนิดปรับปรุง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ เมเจอร์ เด็นท์ (Major-Dent) และ ดีบี พลัส (DB Plus) เปรียบเทียบกับยี่ห้อ เคสัน (Keson) และยี่ห้อ คลาสสิก (Classic) ซึ่งเป็นฟันเทียม PMMA ชนิดไม่ปรับปรุง โดยการทดสอบการสีกร่อนซึ่งพบว่าซี่ฟันเทียม PMMA ชนิดปรับปรุงมีความต้านทานต่อการสีกร่อนมากกว่าซี่ฟันเทียมที่ไม่ปรับปรุง 2 เท่าซึ่งในงานวิจัยนี้กลุ่มผู้จัดทำได้ทำการทดสอบความสึกกร่อนเฉพาะ PMMA ที่ปรับปรุงผิวแล้วเท่านั้นเพราะเนื่องจากงานวิจัยของ Hirano (1998) [2] แสดงให้เห็นถึงความต้านทานการสีกร่อนที่ดีเมื่อมีการปรับปรุงผิว PMMA ได้ทำการศึกษาผลของวัสดุอัดแทรก 4 ชนิด ได้แก่ ดินขาว ผงแก้ว ซิลิกอนไดออกไซด์ และ เซอร์โคเนียมไดออกไซด์ ต่อ

คุณสมบัติของ PMMA ที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใย พบว่าเมื่อปริมาณวัสดุอัดแทรกเพิ่มขึ้น กำลังแรงกระแทก และ กำลังแรงโค้งงอจะลดลง ขณะที่ความแข็งแรงผิวจะเพิ่มขึ้น และ ซิลิกอนไดออกไซด์ 40 เปอร์เซนต์จะเพิ่มความแข็งแรงผิวได้มากที่สุด

สำหรับวัสดุเสริมแรงที่ใช้ในการทำโครงงานนี้ผู้จัดทำได้เลือกใช้ทั้งหมด 2 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ขนาด $40\ \mu\text{m}$, $15\ \text{nm}$ และ อลูมิเนียมออกไซด์ขนาด $40\ \mu\text{m}$ จากผลงานการวิจัยผลของการเติมวัสดุเสริมแรงต่อการต้านทานแรงดัดโค้ง ความแข็งแรง และแรงยึดเหนี่ยวของ วัสดุซีฟันเทียมอะคริลิก [3] พบว่าวัสดุทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ดีในการเสริมแรง ดังนั้นผู้จัดทำเห็นถึงความสำคัญของสัดส่วนการผสมและนำมาพัฒนาจากคุณสมบัติของสารที่ดีและมีความคงทนสูง เพื่อให้ได้ตัวอย่างฟันเทียมที่มีความคงทนมากขึ้นและเนื่องจากคุณสมบัติที่ดีของซิลิกอนไดออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์ในด้านของสมบัติเชิงกลที่ดีนั้น ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาในสัดส่วนของ อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ ที่สัดส่วน 1:1 , 1:5 , 5:1 ที่ร้อยละการเติมที่ 2%wt/v และ 5%wt/v เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลและการสึกกร่อนของซีฟันเทียมให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามเพื่อให้ ซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์กระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์ จำเป็นต้องปรับแต่งพื้นผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลน ในที่นี้ ไซเลนที่เลือกใช้เป็นสารคู่ควบชนิด 3-เมทาคริลอกซีโพรพิล ไตรเมทอกซีไซเลน ผู้จัดทำได้เลือกการทดสอบ 4 ชนิด นั่นคือ การทดสอบสมบัติเชิงกลของ การทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) การทดสอบการสึกกร่อน (Wear resistant) การทดสอบการต้านทานแรงดึง (Bond Strength) และการทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test-VHN) การศึกษาเปรียบเทียบ ทั้งหมดเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาซีฟันเทียมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนวัสดุเสริมแรง 2 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ ที่สัดส่วน 1:1, 1:5, 5:1 ที่ร้อยละการเติมที่ 2%wt/v และ 5%wt/v ที่มีผลต่อการรับแรงทางกล คือ การต้านทานแรงดัดโค้ง การสึกกร่อน ความแข็งผิว และการต้านทานแรงดึง

1.2.2 ศึกษาผลของวัสดุเสริมแรงทั้ง 2 ชนิด ที่มีผลต่อสมบัติการรับแรงทางกลโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.3.1 ตัวแปรต้น

- สัดส่วนของวัสดุเสริมแรง 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์

1.3.2 ตัวแปรตาม

- ค่าการต้านทานการดัดโค้ง
- ค่าความต้านทานการสึกกร่อน
- ค่าแรงดึง
- ความแข็งผิว

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

- PMMA ชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน
- สารคู่ควบไฮเลน ชนิด 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีซีลีเลน
- ขนาดของอนุภาคซิลิกอนไดออกไซด์ 40 ไมโครเมตร และ 15 นาโนเมตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดอนุภาค 40 ไมโครเมตร และสัดส่วนของวัสดุเสริมแรง 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ 40 ไมโครเมตร

1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

1.4.1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4.2 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4.3 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึง เมษายน พ.ศ. 2558

[illegible]

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1.1 ประเภทของฟัน [3]

ประเภทของฟันภายนอก แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

2.1.1.1 ตัวฟัน คือส่วนของฟันที่ขึ้นมาพ้นกระดูกขากรรไกรและเหงือก เป็นส่วนที่มองเห็นได้ภายในช่องปาก

2.1.1.2 รากฟัน คือส่วนของฟันที่ฝังอยู่ในกระดูกขากรรไกรมีเยื่อปริทันต์ยึดติดอยู่กับกระดูก

ประเภทของฟันภายใน ฟันประกอบด้วยชั้นต่างๆเรียงลำดับจากส่วนนอกเข้าไปดังนี้

- 1 เคลือบฟัน เป็นส่วนที่แข็งที่สุด
- 2 เนื้อฟัน มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับกระดูก
- 3 โพรงประสาทฟัน อยู่ใจกลางของตัวฟัน

2.1.2 ประเภทของฟันเทียม

ฟันเทียมคือวัสดุสังเคราะห์ที่สร้างเลียนแบบฟันธรรมชาติ เพื่อนำมาสวมทดแทนฟันธรรมชาติที่เสียไป แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1 ฟันเทียมติดแน่น (Fixed Denture) เป็นฟันเทียมที่ทำจากวัสดุที่ทนทาน นำมาติดลงฐานหรือคอฟันธรรมชาติ ใช้ในกรณีที่ผู้ป่วยสูญเสียฟันไป 1-2 ซี่ และมีฟันหลังบริเวณที่สูญเสียไปเพื่อใช้เป็นฟันหลัก ฟันเทียมชนิดนี้มีข้อดีคือ ผู้ป่วยจะรู้สึกไร้ราคาญ มีความสวยงามเป็นธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ ต้องกรอฟันธรรมชาติที่เป็นหลักออกไป ถ้าผู้ป่วยดูแลรักษาไม่ดีจะเกิดการผุได้ สะพานฟัน ทำให้สูญเสียฟันได้ และมีราคาสูง

2 ฟันเทียมถอดได้ (Removable Denture) ทำในกรณีที่ผู้ป่วยมีการสูญเสียฟันตั้งแต่ 1 ซี่ขึ้นไป หรือไม่มีฟันในช่องปากเลย ฟันเทียมชนิดนี้มีข้อดีคือ ราคาต่ำกว่าแบบติดแน่น ไม่ทำลายฟันธรรมชาติที่เหลืออยู่ แต่มีข้อเสียคือผู้ป่วยต้องปรับตัวในการใส่ฟันเทียม และต้องถอดเข้าออกมาทำความสะอาด

2.1 ฟันเทียมแบบถอดได้แบบโครงอะคริลิกฐานหรือพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นฟันเทียมที่พบเจอมากที่สุด โดยตัวฐานของฟันเทียมชนิดนี้จะทำมาจากพอลิเมอร์ที่มีสีคล้ายกับเหงือก สามารถถอดเข้าออกเพื่อทำความสะอาดได้ มีราคาถูกมากที่สุดในฟันเทียมทุกประเภท จึงทำให้ฟันเทียมชนิดนี้เป็นที่นิยมในการเลือกทำฟันเทียมมากสำหรับคนในปัจจุบัน

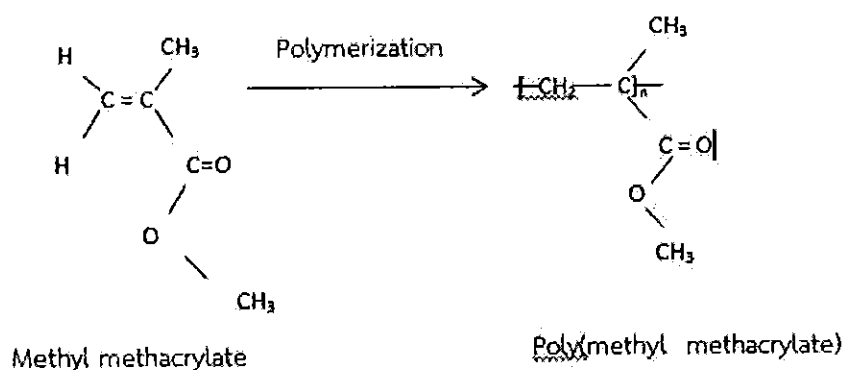
2.2 ฟันเทียมถอดได้แบบฐานโลหะ ซึ่งฟันเทียมชนิดนี้จะมีลักษณะตัวฐานเป็นโลหะ จึงทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้นและราคาที่สูงกว่าแบบฐานพอลิเมอร์ ซึ่งฟันเทียมแบบถอดได้นี้ก็มีความเสี่ยงคือ ทำให้เกิดความระคายเคืองได้ง่ายและไม่ควรสวมใส่เป็นเวลานานๆ เพราะฟันเทียมชนิดนี้ทำขึ้นมาเพื่อใช้ในการชั่วคราวเพื่อรอฟันเทียมแบบติดแน่นมากกว่า

ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางทันตกรรมจะต้องได้รับการยอมรับถึงคุณสมบัติต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความเสถียรทางเคมีหรือมีคุณสมบัติที่ง่ายต่อการสังเคราะห์และต้องมีความแข็งแรงไม่เปราะสำหรับการเลือกชนิดของพอลิเมอร์ที่จะนำมาทำซี่ฟันเทียมอะคริลิก PMMA นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวแล้วความสวยงามก็เป็นอีกคุณสมบัติหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาอย่างมากในการเลือกชนิดของพอลิเมอร์ซึ่งจะต้องมีความใสสามารถย้อมสีได้อีกทั้งยังต้องสามารถให้การยึดแน่นทางเคมีอย่างดีกับวัสดุฐานฟันเทียมอีกด้วย

ดังนั้นการศึกษาถึงทฤษฎีของพอลิเมอร์ไม่ว่าจะเป็นในแง่ประวัติความเป็นมาส่วนประกอบและคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพอลิเมอร์จะนำไปสู่ข้อสรุปผลการวิจัยถึงกระแสการใช้พอลิเมอร์ในการทำซี่ฟันเทียม PMMA เพื่อใช้ในการประดิษฐ์ฟันเทียมที่มีประสิทธิภาพสูงสุดและอาจเป็นแนวทางในการประดิษฐ์ซี่ฟันเทียม PMMA ขึ้นใช้เองภายในประเทศในอนาคต

2.1.3 พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly Methyl methacrylate: PMMA) [2]

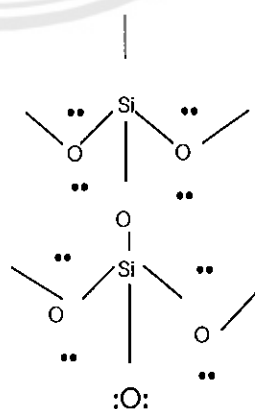
พอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) เป็นพอลิเมอร์โปร่งใสและมันวาว มีอุณหภูมิคล้ายแก้วสูง ทนต่อแรงอัดและสภาวะแวดล้อมได้ดี อีกทั้งยังไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์จึงมีความสำคัญและมีประโยชน์มากต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอุตสาหกรรมเริ่มผลิตพอลิเมอร์นี้ในเชิงการค้าตั้งแต่ปี ค.ศ. 1934 โดย PMMA มีการเกิดปฏิกิริยาแบบพอลิเมอร์ไรซ์เซชันแบบลูกโซ่ หรือแบบรวมตัว ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์ (Methyl methacrylate :MMA) ดังสมการ



รูปที่ 2.1 การสังเคราะห์พอลิเมทิลเมทาคริเลต [3]

PMMA สามารถเตรียมได้ด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์ แบบสารละลาย แบบแขวนลอย และแบบอิมัลชัน แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุดในทางอุตสาหกรรมคือ แบบบัลค์ (Bulk) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบบัลค์จะมีสิ่งเจือปนน้อย PMMA ที่เตรียมด้วยกลไกฟรีแรดิคัลทั่วไปมีสูตรโครงสร้างเป็นเส้นตรง และอสังฐาน มีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) 105 องศาเซลเซียส และจุดหลอมตัวสูงกว่า 200 องศาเซลเซียสสมบัติพิเศษประการหนึ่งของพอลิเมอร์นี้คือไม่มีสีและใสเหมือนแก้ว นอกจากนี้ยังแข็งแรงกว่าและทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีกว่าพอลิเมอร์บางชนิดที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน เช่น พอลิสไตรีนแต่สามารถทนการสึกหรอได้น้อยกว่า PMMA สามารถทนต่อน้ำและสารละลายอินทรีย์ทั่วไปได้เป็นอย่างดี รวมทั้งกรดอ่อน เบสอ่อน และปฏิกิริยาอัลโฟนิฟิเคชันจากสมบัติความโปร่งแสง และการนำไปย้อมสีได้ง่ายของ PMMA จึงมีการนำไปใช้งานเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ

2.1.4 ซิลิกอนไดออกไซด์



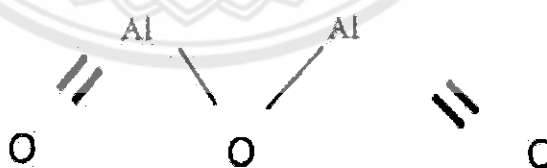
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ [3]

ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) คือ สารประกอบระหว่างออกไซด์และซิลิกอน รวมตัวกันเป็นสูตรทางเคมี คือ SiO_2 และเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง ซิลิกอนไดออกไซด์มักพบได้ทั่วไปในธรรมชาติอาจในรูปของทรายหรือควอตซ์และในผนังเซลล์ของไดอะตอม ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบที่มีจำนวนมากโดยทั่วไปบนเปลือกโลก

ซิลิกอนไดออกไซด์ได้นำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตที่หลากหลาย อาทิ เช่น คริสตัล กระฉก แก้วน้ำ และขวดแก้ว สายใยแก้วที่ใช้ในการโทรคมนาคมก็เป็นผลิตผลจากซิลิกอนไดออกไซด์ เช่นเดียวกันและยังใช้เป็นวัตถุดิบแรกเริ่มในผลิตภัณฑ์จำพวกเซรามิก เช่น เครื่องปั้นดินเผา เครื่องหิน เครื่องลายคราม และการผลิตพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Portland Cement) พื้นที่ผิวของซิลิกอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยที่สำคัญในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพความแข็งแรงเมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมแรงซึ่งหากใช้ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นตัวปรับขึ้นงานจะส่งผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้นในงานที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง

ในอุตสาหกรรมต่างๆ ซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีพื้นที่ผิวสูงและให้ความแข็งแรงในการเสริมแรงซิลิกอนไดออกไซด์และถูกใช้ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นส่วนของวัสดุก่อสร้าง ส่วนซิลิกอนไดออกไซด์อสัณฐานนั้น (Amorphous silica) ถูกใช้เป็นสารดูดความชื้น สารดูดซับ สารเพิ่มความแข็งแรง สารเติมแต่ง และองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากซิลิกาอสัณฐานมีช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างกว้างจึงจะค่อยๆ อ่อนตัวและยังมีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ดี จึงสามารถใช้ในการป่นตัวด้วยแสงได้ [4,9]

2.1.5 อะลูมิเนียมออกไซด์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของอะลูมิเนียมออกไซด์ [3]

อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide: Al_2O_3) ปัจจุบันถูกพัฒนามาใช้งานมากขึ้น จัดว่าเป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูงเนื่องจากมีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านเช่นมีจุดหลอมเหลวที่สูงมีความแข็งสูงและมีเสถียรภาพทางเคมีที่สูงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีความเสถียรมากที่สุดอยู่ในรูปอัลฟา อะลูมิเนียมออกไซด์ (α - Al_2O_3) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเฮกซาโกนอล (Hexagonal) หรือผลึกหกเหลี่ยม โดยมีออกซิเจนเรียงตัวกันแบบเฮกซาโกนอลและมีอะลูมิเนียมที่มีขนาดเล็กกว่าแทรกอยู่ในช่องออกตะฮีดรอล 2 ใน 3 ส่วนของช่องทั้งหมดโดยผงอะลูมิเนียมออกไซด์จะเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดเพราะเป็นวัสดุเริ่มต้นในการขึ้นรูปแบบต่างๆ ได้ที่ทั้งนี้อะลูมิเนียมออกไซด์ที่นำมาใช้จะต้องมีความบริสุทธิ์สูงและมีความละเอียดมากเพราะสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกลของอะลูมิเนียมออกไซด์สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆ ออกไปเช่น

- 1 การปรับปรุงสมบัติเชิงกลโดยการปรับปรุงองค์ประกอบและโครงสร้างจุลภาค
- 2 การใช้ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีความละเอียดระดับเล็กกว่าไมโครเมตรเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อละเอียดมากๆ
- 3 การพัฒนาอะลูมิเนียมออกไซด์เซรามิกที่มีรูพรุน เนื่องจากสมบัติของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มีความแข็งสูงมีความหนาแน่นสูง

ด้านทานต่อการขัดสีและสึกกร่อนสูงทนต่อสารเคมีเป็นฉนวนไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูงได้ดีและมีความทนไฟสูงจึงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้หลายประเภทเช่นอุตสาหกรรมเครื่องขัดถู (Abrasive) อุตสาหกรรมวัสดุทนไฟอุตสาหกรรมเซรามิกและอื่นๆ ซึ่งแนวโน้มในการนำอะลูมิเนียมออกไซด์ไปใช้งานก็ได้ มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สามารถนำอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภทเช่น อุปกรณ์ประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ฉนวนไฟฟ้าเครื่องมือตัดแต่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ อวัยวะเทียมเครื่องมือวิทยาศาสตร์เป็นต้นโดยอะลูมิเนียมออกไซด์ที่นำมาใช้ในส่วนนั้นจะมีชนิดที่เป็นผงเป็นผลึกเดี่ยวๆ เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ เป็นเส้นใยและที่เป็นรูพรุน

2.1.6 สมบัติอนุภาคนาโนเมตร

อนุภาคนาโนเมตรเมื่อเทียบกับอนุภาคไมโครเมตรแสดงความแตกต่างได้ดังนี้

2.1.6.1 อนุภาคนาโนจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่สูงวัสดุที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่

2.1.6.2 อนุภาคนาโนจะมีความแข็งแรงที่ดีขึ้นกว่าเดิมวัสดุประเภทโลหะและเซรามิกที่มีขนาดเกรน (Grain size) ในระดับนาโนเมตร จะมีความแข็งแรงและความทนทานต่อการแตกหักสูงมากกว่าวัสดุชนิดเดียวกัน ที่มีขนาดเกรนในระดับไมโครเมตรหรือในระดับที่ใหญ่กว่า

2.1.6.3 อนุภาคนาโนจะมีสมบัติทางไฟฟ้าที่แปลกออกไปจากเดิมเมื่อโครงสร้างวัสดุถูกทำให้เล็กลงอยู่ในระดับนาโน จะส่งผลให้คุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของวัสดุนั้นแตกต่างออกไปจากที่เคยเป็นอยู่เดิม ตัวอย่างเช่น เมื่อวัสดุมีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนแล้ว วงจรไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโครงสร้างนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's law) ซึ่งกฎของโอห์มเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า (I) แรงเคลื่อนไฟฟ้าของต้นกำเนิดไฟฟ้า (V) และความต้านทานไฟฟ้า (R) แต่หัวใจสำคัญของกฎของโอห์มมีพื้นฐานมาจากแนวคิดที่ว่า อิเล็กตรอนไหลผ่านไปตามสายไฟฟ้าในลักษณะที่เป็นกระแส แต่ในโครงสร้างระดับนาโนนั้นอิเล็กตรอนไม่ได้เคลื่อนที่โดยไหลเป็นกระแสเช่นเดิม เพราะถ้าหากสายไฟฟ้ามีขนาดความกว้างอยู่ในระดับนาโนเมตรแล้วนั้น อิเล็กตรอนจะต้องไหลไปตามสายไฟฟ้าจากอะตอมหนึ่งไปอีกอะตอมหนึ่งในปริมาตรที่ถูกจำกัด ซึ่งจะต้องทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างออกไปจากเดิมอย่างแน่นอน มีความเป็นพลาสติก

2.1.6.4 อนุภาคนาโนจะมีความเป็นพลาสติก สภาพพลาสติกพิเศษ (Super plastics) จะเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีขนาดเกรนในระดับนาโนเมตร โดยพบว่าอนุภาคระดับนาโนของวัตถุจะมีสภาพของการถูกยืด หรือทำให้ผิดรูปได้มากขึ้นกว่าเดิมอย่างมาก (ประมาณได้ว่าจาก 100 % ขยายไปจนถึง 1000 %) โดยวัตถุจะมีอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวที่ลดต่ำลงมาก แต่จะมีอัตราความเครียดของวัตถุที่เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างของผลึกระดับนาโนจะสามารถมีสภาพเป็นพลาสติกพิเศษได้ เมื่ออยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส ตัวอย่างเช่น ผลึกนาโนของนิกเกิล ผลึกนาโนของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เป็นต้น

2.1.7 สารคู่ควบ (Coupling Agents)

สารคู่ควบคือสารที่ช่วยปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมทั้งสองโมเลกุลไว้โดยส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยากับฟิลเลอร์และอีกส่วนหนึ่งของโมเลกุลเป็นส่วนที่จะเกิดการรวมตัวหรือทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดีเมื่อพื้นผิวฟิลเลอร์ได้รับการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบจะช่วยลดแรงดึงผิวของฟิลเลอร์หรือเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวของฟิลเลอร์ที่มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) เปลี่ยนไปเป็นไฮโดรโฟ-

บิก (Hydrophobic) ทำให้สามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ซึ่งไม่เพียงช่วยให้การผสมเกิดได้ดีขึ้น แต่ยังช่วยปรับปรุงสมบัติโดยรวมของคอมโพสิตอีกด้วย

กลไกการปรับปรุงการยึดระหว่างฟิลเลอร์กับพอลิเมอร์โดยการใช้สารคู่ควบ

สารคู่ควรมีสสูตรทั่วไปคือ $(R'O)_x-M-(R-X)_y$

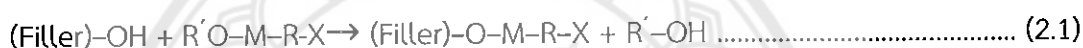
โดย M คือโลหะได้แก่ซิลิกอนไททาเนียมหรือเซอร์โคเนียม เป็นต้น

X เป็นหมู่ฟังก์ชันที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับพอลิเมอร์เช่นหมู่ไวนิลหมู่อะนิโม เป็นต้น

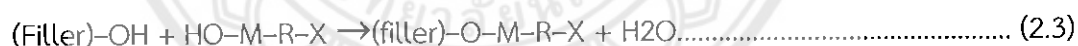
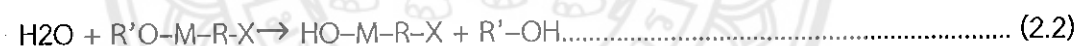
R เป็นหมู่อินทรีย์ที่เชื่อมอยู่ระหว่างหมู่ X กับโลหะ M

O เป็นหมู่ที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับฟิลเลอร์หรือเส้นใยเสริมแรง

การยึดระหว่างสารประสานและฟิลเลอร์อาจเกิดจากปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างหมู่ OR' ของสารคู่ควบกับหมู่ OH ที่พื้นผิวฟิลเลอร์ดังนี้



หรืออาจเกิดจากการที่หมู่ OR' ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยความชื้นที่พื้นผิวฟิลเลอร์ได้เป็นหมู่ OH ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปกับฟิลเลอร์ดังนี้



สำหรับการยึดเกาะระหว่างสารคู่ควบและพอลิเมอร์เกิดจากหมู่ X ของสารคู่ควบเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์โดยหมู่ X มีแตกต่างกันหลายชนิดเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

การใช้สารคู่ควบมี 2 วิธี

- 1 นำไปเคลือบหรือปรับแต่งที่พื้นผิวของฟิลเลอร์แล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์
- 2 ผสมกับพอลิเมอร์โดยตรงระหว่างกระบวนการคอมพาวด์ติง (Compounding)

ซึ่งในกรณีของงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเลือกใช้สารคู่ควบแบบที่ 1 นำไปเคลือบหรือปรับแต่งที่พื้นผิวของฟิลเลอร์แล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์

สำหรับสารคู่ควบที่ใช้กันทั่วไปมีดังนี้คือ

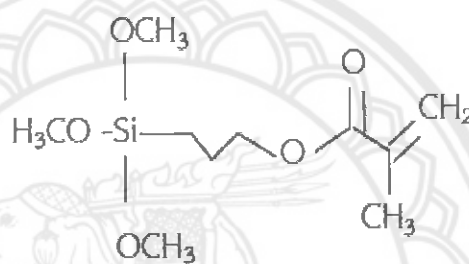
-สารโคเมียมเชิงซ้อน (Chromium complexes)

-ไซเลน (Silanes)

-ไททานेट (Titanates)

-เซอร์โคเนียมอะลูมินेट (Zirconium Aluminates)

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สารคู่ควบประเภทไซเลนคือ 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-Methacryloxypropyltrimethoxysilane; 3-MPS) โดยจะแสดงลักษณะการจัดเรียงโครงสร้างทางเคมีของ 3-MPS ดังรูป



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ 3-MPS [3]

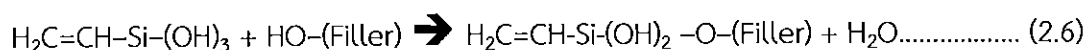
2.1.8 ไซเลน (Silanes)

ไซเลนเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้มากที่สุดกับผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยฟิลเลอร์มีสูตรทั่วไปคือ $Y-Si(OR)_3$ โดยหมู่ OR (เช่น $-OCH_3$, $-OC_2H_5$) จะเข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับฟิลเลอร์ ในขณะที่หมู่ Y (เช่น หมู่ไวนิลหมู่อะมิโนหมู่อีพอกซีและหมู่ Mercator) จะทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ซึ่งมีผลทำให้ฟิลเลอร์ยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีตัวอย่างเช่นการใช้ 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-MPS) จะช่วยให้ฟิลเลอร์ยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดังนี้คือ

ขั้นที่ 1 หมู่เอทอกซีถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นหมู่ซิลานอล ($Si-OH$)

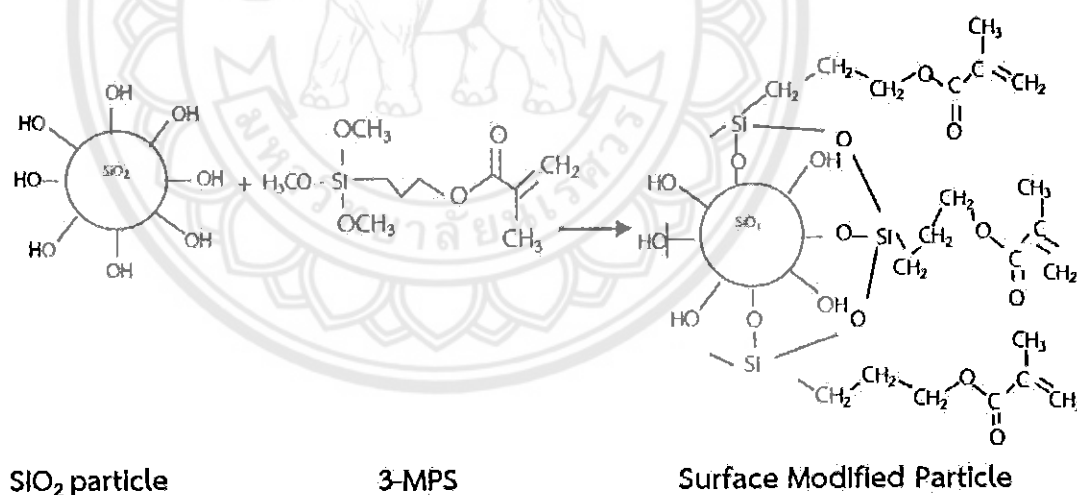


ขั้นที่ 2 ซิลานอลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่พื้นผิวของฟิลเลอร์เกิดเป็นพันธะ $Si-O-Si$ ระหว่างสารคู่ควบกับฟิลเลอร์

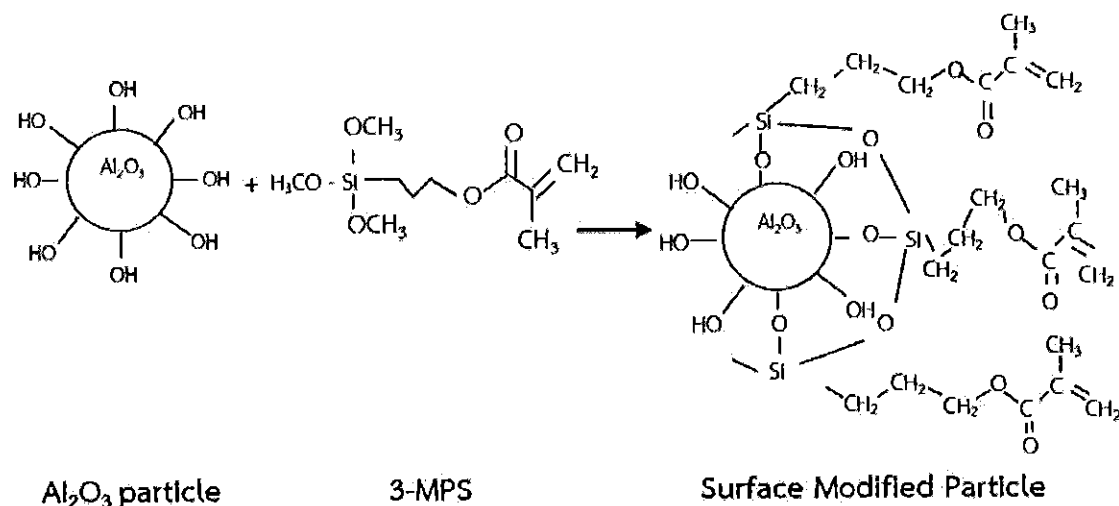


ในขณะที่เดียวกันหมู่อัลคิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ระหว่างสารคู่ควบกับพอลิเมอร์ โดยวิธีการนี้ จึงทำให้ฟิลเลอร์มีแรงยึดติดกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีการใช้สารคู่ควบไซเลนจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อนำไปใช้เป็นสารคู่ควบสำหรับฟิลเลอร์ ต่อไปนี้ คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ แก้ว อะลูมิเนียมออกไซด์ และอะลูมิเนียมซิลิเกต ในทางตรงกันข้าม เมื่อนำไปใช้กับแคลเซียมคาร์บอเนต ไซเลนจะไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่เหมือนกันสารจึงเข้าทำปฏิกิริยาไม่ได้ [3]

ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการใส่ฟิลเลอร์นั้น คอมโพสิตที่ได้จะมีสมบัติดี ถ้าทำให้ฟิลเลอร์กระจายตัวหรือยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี ซึ่งวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมานานแล้ว คือ การเคลือบหรือปรับสภาพพื้นผิวของฟิลเลอร์ด้วยสารที่สามารถเข้ากันได้ดีกับทั้งเนื้อพอลิเมอร์และฟิลเลอร์ โดยงานวิจัยนี้เลือกฟิลเลอร์หรือวัสดุเสริมแรง 2 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยจะแสดงลักษณะการปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุเสริมแรงโดยใช้ 3-MPS เป็นตัวปรับสภาพพื้นผิว ดังรูป



รูปที่ 2.5 การปรับสภาพพื้นผิวของซิลิกอนไดออกไซด์ [3]



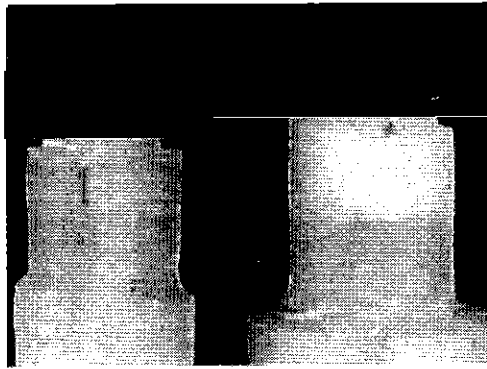
รูปที่ 2.6 การปรับสภาพพื้นผิวของอลูมิเนียมออกไซด์ [3]

2.1.9 ทฤษฎีการทดสอบสมบัติเชิงกล

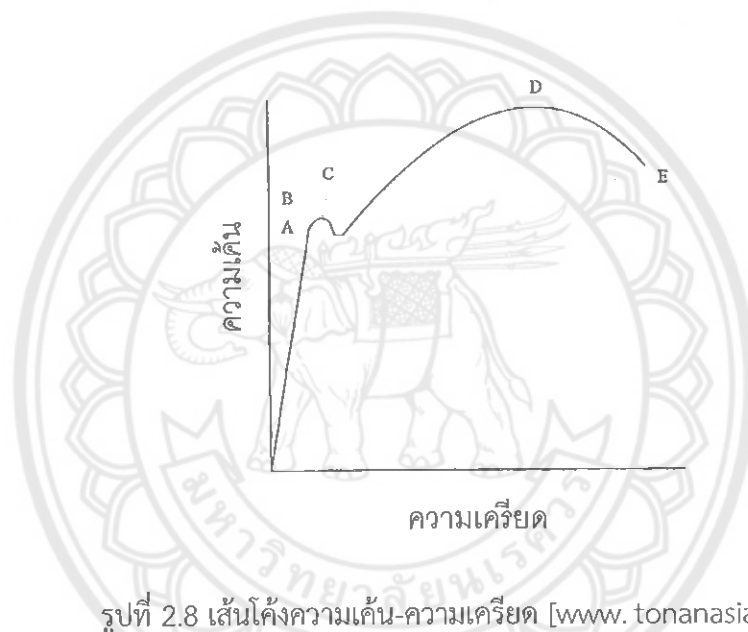
ชิ้นงานทุกชิ้นที่ได้จากการจัดเตรียมชิ้นจะถูกนำไปทดสอบทางกล คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) คือ พฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุ ที่สามารถแสดงออกมาเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีการทดสอบคุณสมบัติทางกลอยู่สามชนิดคือ การต้านทานแรงดึง (Tensile strength), การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) และการต้านทานแรงสึกกร่อน (Wear resistant)

2.1.9.1 การต้านทานแรงดึง (Tensile strength)

วิธีการทดสอบนั้นจะนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึง แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้แล้วมาพล็อตเป็นเส้นโค้งดังรูปขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีความต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุมาตรฐานต่างๆของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society of Testing and Materials), BS (British Standards), JIS (Japanese Industrial Standards) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำ



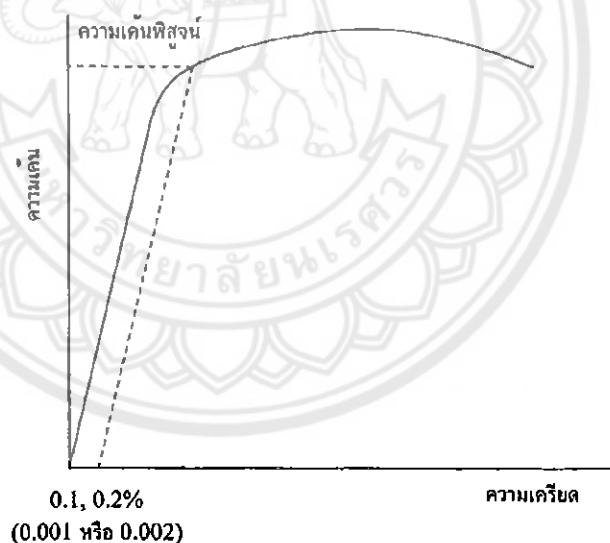
รูปที่ 2.7 แสดงการแตกหักของชิ้นงาน [www. tonanasia.com]



รูปที่ 2.8 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด [www. tonanasia.com]

จากการศึกษาเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดเราพบว่าเมื่อเราเริ่มดึงชิ้นทดสอบขึ้นทดสอบจะค่อยๆยืดออกจนถึงจุดจุดหนึ่งซึ่งในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ทำให้เราได้กราฟที่เป็นเส้นตรงตามกฎของฮุก (Hook's law) ซึ่งกล่าวว่าความเค้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด จุด A นี้ เรียกว่าพิสัยสัดส่วน (Proportional limit) และภายใต้พิสัยสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบอีลาสติก (Elastic behavior) นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำ ชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม เมื่อเราเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิสัยสัดส่วนเส้นกราฟจะค่อยๆโค้งออกจากเส้นตรงวัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุดๆหนึ่ง (จุด B) เรียกว่าพิสัยยืดหยุ่น (Elastic limit) ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดกำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent deformation or offset) กับ

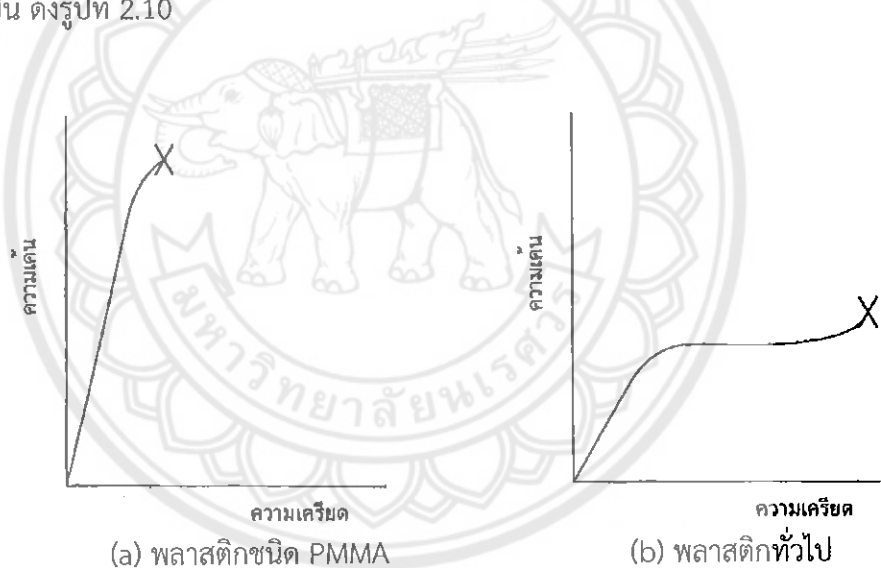
วัสดุนั้นเมื่อผ่านจุดนี้ไปแล้ววัสดุจะมีการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Plastic deformation) ลักษณะการเริ่มต้นของความเครียดแบบพลาสติกนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของวัสดุ โลหะหลายชนิด เช่น พวงเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการเพิ่มความเค้น (บางครั้งอาจจะลดลงก็มี) ที่จุด C ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด C นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield stress) หรือ Yield strength ค่า Yield strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูปและในกรณีของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เราคงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย วัสดุหลายชนิดเช่น อะลูมิเนียม ทองแดง จะไม่แสดงจุดครากอย่างชัดเจน แต่เราก็มีวิธีที่จะหาได้โดยกำหนดความเครียดที่ 0.10 - 0.20% ของความยาวกำหนดเดิมแล้วลากเส้นขนานกับกราฟช่วงแรกไปจนตัดเส้นกราฟที่โค้งไปทางด้านขวา ดังรูปที่ 9 ค่าความเค้นที่จุดตัดนี้จะนำมาใช้แทนค่าความเค้นจุดครากได้ ความเค้นที่จุดนี้บางครั้งเรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) หรือความเค้น 0.1 หรือ 0.2% offset ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบที่ไม่มีจุดคราก [www.tonanasia.com]

หลังจากจุดครากแล้ววัสดุจะเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกโดยความเค้นจะค่อยๆเพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด D) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า Ultimate strength หรือความเค้นแรงดึง (Tensile strength) ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (Fracture) เนื่องจากวัสดุหลายชนิดสามารถเปลี่ยน รูปร่างพลาสติกได้มากกว่าค่า

ความเค้นสูงสุดนี้สามารถนำมาคำนวณใช้งานได้ นอกจากนี้ ค่านี้ยังใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยว่า คำว่า ความแข็งแรง (Strength) ของวัสดุ หรือ กำลังวัสดุนั้น โดยทั่วไป จะหมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้นี้เอง ที่จุดสุดท้าย (จุด E) ของกราฟ เป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน (Fracture) สำหรับโลหะบางชนิด เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือโลหะเหนียว ค่าความเค้นประลัย (Rupture Strength) นี้จะต่ำกว่าความเค้นสูงสุด เพราะเมื่อเลยจุด D ไป พื้นที่ภาคตัดขวางของตัวอย่างทดสอบลดลงทำให้พื้นที่จะต้านทานแรงดึงลดลงด้วยในขณะที่เรายังคงคำนวณค่าของความเค้นจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของวัสดุก่อนที่จะทำการทดสอบแรงดึง ดังนั้นค่าของความเค้นจึงลดลงส่วนโลหะอื่นๆเช่นโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold work) มาแล้วมันจะแตกหักที่จุดความเค้นสูงสุดโดยไม่มีการลดขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางดังรูปทำนองเดียวกับพวกวัสดุเปราะ (Brittle materials) เช่น เซรามิก ที่มีการเปลี่ยนรูปอย่างพลาสติกน้อยมากหรือไม่มีเลย ส่วนกรณีของวัสดุที่เป็นพลาสติกจะเกิดแตกหักโดยที่ต้องการความเค้นสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะและวัสดุพลาสติก

[www.tonanasia.com]

2.1.9.2 การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural Strength) [3]

เป็นค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบ ให้เกิดการงอตัวโดยใช้หัวกด (Indenter) ซึ่งกดลงตั้งฉากกับชิ้นทดสอบที่อยู่ในลักษณะแนวนอน โดยมีตัวรองรับ (Supporting jig) เป็นตัวกำหนดช่วง ของตัวรองรับ (Span) การทดสอบลักษณะนี้ชิ้นทดสอบจะได้รับทั้งแรงเค้นและแรงกด แรงกดจะเกิดบนชิ้นงานทดสอบ ส่วนแรงเค้นจะเกิดได้ชิ้นงานทดสอบค่า Flexural Strength คำนวณได้จากสูตร

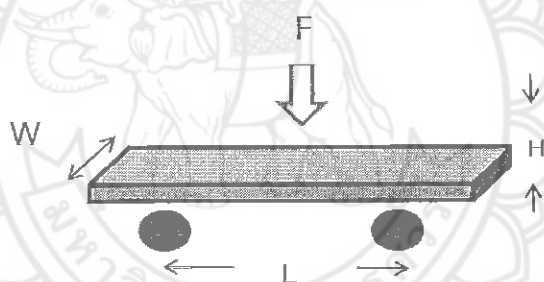
$$\text{Flexural Strength} = \frac{3FL}{2WH^2} \dots\dots\dots (2.7)$$

F= น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์ (KN)

L= ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับ (mm)

W= ความกว้างของตัวอย่าง (mm)

H= ความสูงของตัวอย่าง (mm)



รูปที่ 2.11 แสดงแผนผังการทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง [2]

มอดูลัสยืดหยุ่นแสดงได้จากสมการ

$$\text{Flexural Modulus} = \frac{FL^3}{4WH^3d} \dots\dots\dots (2.8)$$

d = ระยะที่ถูกดัด ณ จุดศูนย์กลางชิ้นทดสอบ (mm)

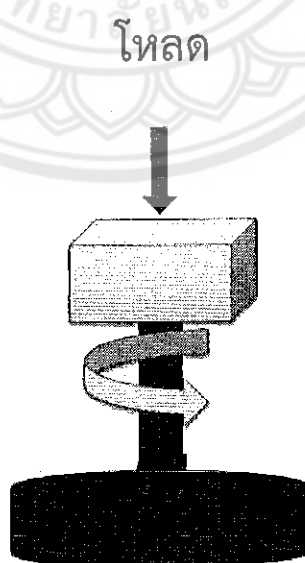
2.1.9.3 การต้านทานแรงสึกกร่อน (Wear resistant) [3]

วิธีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบการสึกกร่อนมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM G-65 (American Society of Testing and Materials G-65) และรูปแบบการทดสอบ สามารถจัดตามกลุ่มรูปแบบการ สึกกร่อน ลักษณะการสัมผัสกันของชิ้นงานทดสอบได้เป็น 4 กลุ่ม คือการทดสอบแบบเลื่อนไถล (Sliding test) การทดสอบแบบขัดถู (Abrasion test) การทดสอบความล้าแบบหมุน (Rolling-contact Fatigue test) และการทดสอบการกัดเซาะจากอนุภาคของแข็ง (Solid-particle Erosion test) ซึ่งในงานวิจัยนี้กลุ่มผู้จัดทำได้เลือกการทดสอบการสึกกร่อนชนิดการทดสอบแบบขัดถู (Abrasion test)

การทดสอบการสึกในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบแบบการทดสอบแบบขัดถู เป็นการทดสอบแบบการให้ชิ้นงานอยู่นิ่งและมีหัวโหลดแรงกดลงมาแล้วหมุนที่ตัวของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการสึกกร่อนโดยสามารถคำนวณหาอัตราการสึกกร่อนได้จากสมการการสึกกร่อนดังสมการที่ 2.9

การคำนวณหาการสึกกร่อน (Wear resistant) มาตรฐาน ASTM (American Society of Testing and Materials) G-65 ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$\text{การสึกกร่อน} = \text{น้ำหนักของวัสดุก่อนการทดสอบ} - \text{น้ำหนักของวัสดุหลังการทดสอบ} \dots\dots\dots (2.9)$$

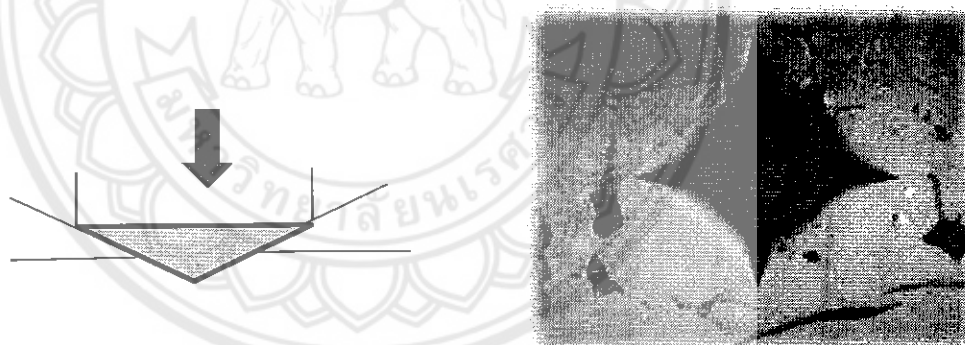


รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบการสึกกร่อน ARKON รุ่น QC-615A

ความต้านทานต่อการสึกกร่อน ของซีฟีนเทียม PMMA เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญที่จะทำให้ผู้ป่วย ที่สูญเสียฟันไปสามารถใช้ฟันเทียมได้นานซีฟีนเทียม PMMA ที่มีความต้านทานต่อการสึกสูงจะทำให้ผู้ป่วยที่ใส่ฟันเทียมคงการสบฟันที่ดีได้นานโดยการทดสอบความสึกกร่อนนี้กลุ่มผู้วิจัยได้ใช้การทดสอบแบบการให้ชิ้นงานอยู่หนึ่งและมีหัวโหลดแรงกดลงมาแล้วหมุนดูที่ตัวของชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเกิดการสึกกร่อนโดยหมุนด้วยแรงกดขนาดโหลดที่ 10 กิโลนิวตัน ด้วยความถี่ 3000 รอบต่อนาที จากนั้นนำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่หายไป

2.1.9.4 การวัดความแข็งวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test-VHN)

วิธีนี้ใช้หัวกดพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมที่ทำมาจากเพชรมีมุม 136 องศา แรงกด 10 กิโลนิวตัน เหมาะสำหรับวัดความแข็งของวัสดุที่มีความเปราะ จึงเหมาะในการวัดความแข็งผิวของฟันธรรมชาติ และฟันปลอม โดยมีหลักการคล้ายคลึงกับการทดสอบความแข็งบูและบริเนลล์ แต่มีความแตกต่างกันตรงที่วิธีนี้ใช้หัวกดรูปพีระมิด แรงกดทำให้รอยกดคล้ายรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนผิววัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ค่าความแข็งของวัสดุจะถูกวัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน นำมาหาค่าความแข็งเฉลี่ยแล้วคำนวณมาเป็นค่าความแข็งวิกเกอร์



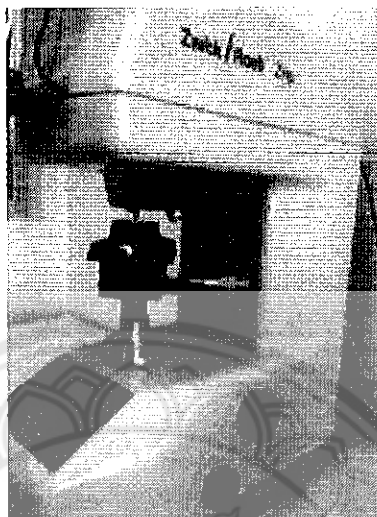
รูปที่ 2.13 ลักษณะหัวกดและรอยกดของการวัดความแข็งวิกเกอร์

$$\text{การคำนวณค่าความแข็ง} \quad HV = \frac{2F \sin(136/2)}{d^2} \dots\dots\dots (2.10)$$

HV = ความแข็งวิกเกอร์ (HV)

F = น้ำหนักที่ใช้กด (N)

d = ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)



รูปที่ 2.14 เครื่องทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อกำหนดของซีฟีนเทียมอะคริลิกตามมาตรฐาน ISO 3360 [5]

ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.2
มอดูลัสของการยืดหยุ่น (GPa)	2.5
ความแข็งผิว (VHN)	20

2.1.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (The Analysis of Variance; ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance; ANOVA) เป็นวิธีการใช้คำนวณทางสถิติที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ผู้ที่พัฒนา คือ R.A. Fisher และได้มีการนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลในสาขาวิชาต่างๆ มากมาย โดยใช้หลักการแยกความผันแปร หรือ ความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทดลองออกเป็นส่วนๆ ตามแหล่งที่ทำให้เกิดความผันแปร (Sources of Variation)

2.1.10.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเป็นการทดสอบโดยพิจารณาเลือกปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวจากหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด แล้วนำมาทำการทดสอบที่วิธีการทดสอบ (Treatment) ที่ต่างกัน แล้วพิจารณาว่าปัจจัยที่นำมาพิจารณานั้นมีผลกระทบต่อการทดลองหรือไม่

ตารางที่ 2.2 การทดลองประเภทวิเคราะห์ปัจจัยเดียว (Experiments with Single Factor)

Treatment	Observations				Total	Average
1	y_{11}	y_{12}	.....	y_{1n}	y_1	y_1
2	y_{21}	y_{22}	.....	y_{2n}	y_2	y_2
:	:	:	:	:	:	:
K	y_{k1}	y_{k1}	.....	y_{k1}	y_k	y_k
					$y_{..}$	$y_{..}$

จากตารางเป็นข้อมูลการทดลองที่มี 1 ปัจจัย ประกอบด้วย k Treatment แต่ละ

Treatment ประกอบด้วย n Observations

y_{ij} = ค่าสังเกต (Observations) จากวิธีปฏิบัติที่ i ตัวอย่างที่ j

y_i = ผลรวมของค่าสังเกต (Observations) ทุกค่าในวิธีปฏิบัติที่ i

y_i = ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต (Observations) ในวิธีปฏิบัติที่ i

$y_{..}$ = ผลรวมของค่าสังเกต (Observations) ทั้งหมดในการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับหนึ่งปัจจัย

1. ตั้งสมมติฐาน

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่}$$

2. ความแปรปรวน (Total Sum of Squares: SST) จะเกิดมาจาก 2 แหล่งคือ

- ความแปรปรวนที่เกิดวิธีปฏิบัติ (Treatment Sum of Squares : SS treat)
- ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่ม (Error Sum of Squares: SSE)

$$\text{ดังนั้น } SST = SS \text{ treat} - SSE \dots\dots\dots (2.11)$$

ตารางที่ 2.3 One-Way ANOVA

Source	SS	df	MS	Fc
Between Treatment	SS _{treat}	k-1	MStreat = SS _{treat} / k-1	MStreat/ MSE
Error (Within Treatment)	SSE	N-k	MSE = SSE/ N-k	
Total	SST	N-1		

ถ้า $F_c > F_{\alpha, k-1, N-k}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

ถ้า $F_c < F_{\alpha, k-1, N-k}$ ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2.1.10.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-Way ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางเป็นการทดสอบโดยพิจารณาเลือก 2 ปัจจัยพร้อมกัน จากหลายๆ ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองมากที่สุด แล้วนำมาทำการทดสอบที่วิธีการทดสอบ (Treatment) ที่ต่างกัน แล้วพิจารณาว่าปัจจัยที่นำมาพิจารณานั้นมีผลกระทบต่อการทดลองหรือไม่

ตารางที่ 2.4 แสดงการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง

Factor A	Factor B				Total
	1	2		1	
1	$y_{111} \ y_{112}$	$y_{121} \ y_{122}$	.....	$y_{111} \ y_{112}$	$y_{1..}$
	... y_{11n}	... y_{12n}	.....	... y_{11n}	
2	$y_{221} \ y_{212}$	$y_{221} \ y_{222}$	.....	$y_{211} \ y_{212}$	$y_{2..}$
	... y_{21n}	... y_{22n}	.....	... y_{21n}	
:	::	::			
:	::	::			
K	$y_{k11} \ y_{k12}$	$y_{k21} \ y_{k22}$	.....	$y_{k11} \ y_{k12}$	k
	... y_{k1n}	... y_{k2n}	.....	... y_{k1n}	
	$y_{.1.}$	$y_{.2.}$	.....	$y_{.1.}$	$y_{...}$

จากตาราง แสดงข้อมูลการทดลองที่มีปัจจัยสองปัจจัย คือ ปัจจัย A ซึ่งประกอบด้วย k Treatment; ปัจจัย B ซึ่งประกอบด้วย l Treatment แต่ละ Treatment มี n Observations และมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด $N = kn$

y_{ijn} = ค่าสังเกตที่ n จากวิธีปฏิบัติที่ ปัจจัย A จากวิธีปฏิบัติที่ j ปัจจัย B

$y_{i..}$ = ผลรวมของค่าสังเกต ln ค่าในวิธีปฏิบัติที่ i ปัจจัย A

$y_{.j..}$ = ผลรวมของค่าสังเกต kn ค่าในวิธีปฏิบัติที่ j ปัจจัย B

y_{ij} = ผลรวมของค่าสังเกต n ค่าในวิธีปฏิบัติที่ ปัจจัย A วิธีปฏิบัติที่ j ปัจจัย B

$y_{...}$ = ผลรวมของค่าสังเกตทุกค่า ($N=kn$) ในการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ทาง

1. ตั้งสมมติฐาน

$$H_0: (\beta)_{ij} = 0_k$$

$$H_1: (\beta)_{ij} \neq 0_k \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

2. ความแปรปรวน (Total Sum of Squares: SST)

$$SST = SSA + SSB + SSAB + SSE \quad (2.12)$$

$$SS_T = \sum_{n=1}^n \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k y_{ijn}^2 - \frac{y^2}{N} \quad (2.13)$$

$$SS_A = \sum_{i=1}^k \frac{y_{i..}^2}{ln} - \frac{y^2}{N} \quad (2.14)$$

โดย

$$SS_B = \sum_{j=1}^l \frac{y_{.j..}^2}{kn} - \frac{y^2}{N} \quad (2.15)$$

$$SS_{\text{subtotal}} = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^k \frac{y_{ij}^2}{n} - \frac{y^2}{N} \quad (2.16)$$

$$SS_{AB} = SS_{\text{subtotal}} - SS_A - SS_B \quad (2.17)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.18)$$

19237613



ตารางที่ 2.5 Two-Way ANOVA

Source	SS	df	MS	Fc
A	SS_A	$k-1$	$SS_A/(k-1)$	MS_A/MS_E^*
B	SS_B	$l-1$	$SS_B/(l-1)$	MS_B/MS_E^{**}
Interaction AB	SS_{AB}	$(k-1)(l-1)$	$SS_{AB}/(k-1)(l-1)$	MS_{AB}/MS_E^{***}
Error	SS_E	$(kl)(n-1)$	$SS_E/(kl)(n-1)$	
Total	SS_T	$N-1$		

สำนักหอสมุด

2561

ถ้า $F^*c > F_{\alpha, k-1, (kl)(n-1)}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

ถ้า $F^{**}c > F_{\alpha, k-1, (kl)(n-1)}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

ถ้า $F^{***}c > F_{\alpha, k-1, (kl)(n-1)}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

ทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เจน รัตนไพศาล (2007) [1] ได้ศึกษาความต้านทานต่อการสึกกร่อนของซีฟันเทียม PMMA ชนิดต่างๆ การศึกษานี้เปรียบเทียบ ความต้านทานต่อการสึกกร่อน ของซีฟันเทียม PMMA 4 ยี่ห้อ ที่มีองค์ประกอบต่างกัน ทดสอบความต้านทานการสึก โดยใช้ซีฟันเทียมยี่ห้อเดียวกันเป็นคู่ ทดสอบกับซีฟัน PMMA ที่ถูกเลือกมาใช้ในการทดสอบได้แก่ซีฟันเทียม แบบ PMMA ชนิดเส้น ยี่ห้อ Major- Dent ยี่ห้อฟันเทียมแบบโครงสร้างตาข่าย ยี่ห้อ Turbyte bioform IPN และยี่ห้อ Excellence IPN ชิ้นตัวอย่างซีฟันเทียมและชิ้นตัวอย่างฟันเทียมคู่สับจะถูกยึด อยู่ในเครื่อง ทดสอบการสึก ซึ่งจำลองการสึกออกเป็น 2 องค์ประกอบ ด้วยแรงกดขนาด 2 กิโลกรัม ถูกถูเป็น ระยะทาง 8 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 60 รอบต่อนาที จำนวน 5000 รอบ โดยการทดสอบชิ้น ตัวอย่างทั้งสองจะถูกแช่อยู่ในน้ำซึ่งมีการหมุนเวียนด้วยปั้มน้ำตลอดการทดสอบ วัดผลการทดสอบ ด้วยการวัดความแข็งของผิวชิ้นตัวอย่าง ซีฟันเทียม PMMA พบว่ายี่ห้อ Major-Dent สูญเสีย ปริมาตรหลังการทดสอบการสึกไปมากที่สุด จึงมีความต้านทานต่ำที่สุด ซีฟันเทียม PMMA ยี่ห้อ Excellence IPN สูญเสียปริมาตรหลังการทดสอบการสึกไปน้อยที่สุด จึงมีค่าความต้านทานสูงสุด เมื่อพิจารณาจากความแข็งผิว

กนกพร ศรีวิชาและ วุฒิชัย มาน้อย (2013) [3] ได้ศึกษาวัสดุเสริมแรง 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมออกไซด์, ซิลิกอนไดออกไซด์และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ต่อความแข็งผิว, ความต้านทาน แรงดัดโค้ง และแรงยึดติดเฉือนของ PMMA นอกจากนี้ยังศึกษาการปรับสภาพของผิวด้วยไซเลนที่ จะส่งผลต่อแรงทางกลทั้งสามชนิด โดยการทดลองใช้วิธีแบบบ่มด้วยความร้อน พบว่า อะลูมิเนียม ออกไซด์ ที่ 1% มีผลต่อความแข็งของผิวถึง 19.43 HV ที่ 5% ไม่มีผลต่อความแข็งผิว ส่วน ซิลิกอนไดออกไซด์ 1% มีผลเรื่องความต้านทานแรงดัดโค้ง แต่ต้องเป็นขนาดนาโนเมตร เนื่องจาก โครงสร้างระดับนาโนมีการเรียงตัวกันได้ดีความแข็งจึงสูง แต่ถ้า เติมมากกว่า 1% ค่าความแข็งจะ ลดลงเนื่องจาก มีการรวมตัวกันสูง นอกจากนี้การแช่ไซเลนยังให้ผลดีกว่าการไม่แช่ไซเลน

S. Hirano (1988) [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของน้ำต่อกำลังแรงโค้งงอของคอมโพสิตเรซิน 3 ชนิดโดยแต่ละชนิดผสมวัสดุอัดแทรกแตกต่างกันคือควอตซ์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วแบบเรียบกลาสและซิลิกาที่มีลักษณะพรุนพบว่าวัสดุอัดแทรกทั้ง 3 ชนิดไม่ได้ช่วยลดอิทธิพลของน้ำต่อกำลังโค้งงอของคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญแต่กลับพบว่าอิทธิพลของน้ำอาจมีผลต่อนื้อคอมโพสิตมากกว่าที่รอยต่อระหว่างอนุภาคของวัสดุอัดแทรกกับเนื้อคอมโพสิตและรอยแตกที่พบบนอนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์พรุนเมื่อแช่น้ำนาน น้ำจะบ่งบอกได้ว่าน้ำมีผลต่อวัสดุอัดแทรกชนิดนี้น้อยมาก

L. Bowen (1963) [8] ได้ทำการทดลองเติมผงซิลิกอนไดออกไซด์ที่ปรับสภาพด้วยไวนิลไซเลนลงในอานกานิกพอลิเมอร์ที่ใช้ในทางทันตกรรมพบว่าพอลิเมอร์ที่ได้มีกายสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อแข็งของฟันธรรมชาติมากกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้เติมผงซิลิกอนไดออกไซด์โดยทำให้ความแข็งแรงการหดตัวและค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงและทำให้กำลังแรงกดมอดูลัสยืดหยุ่นและความต้านทานต่อการเกิดรอยเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังพบว่าการละลายตัวในน้ำน้อยลงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันที่เติมผงซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งไม่ได้รับการปรับสภาพด้วยไวนิลไซเลน

L. Jagger และคณะ (1985) [9] ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณและขนาดของวัสดุอัดแทรกต่อคุณสมบัติของคอมโพสิตโดยเติมวัสดุอัดแทรกแบบเรียบโบโรซิลิเกตที่ทำการปรับสภาพขนาด 2 ไมโครเมตรและ 15 ไมโครเมตรปริมาณต่างๆ กันลงไปในพอลิฟีนิลีนพอลิเมทิลเมทาคริเลตเรซินชนิดแข็งตัวด้วยแสงพบว่าการเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกมีผลให้เพิ่มความแข็งแรงอัดความแข็งดึงและลดการดูดซึมน้ำนอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุอัดแทรกขนาด 15 ไมโครเมตรสามารถปรับปรุงคุณสมบัติความต้านทานการสึกจากการแปรงฟันได้ดีกว่าขนาด 2 ไมโครเมตรและการเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกจะทำให้การสึกลดลง

K. Elizabethb และคณะ (1985) [10] ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของวัสดุอัดแทรกต่อคุณสมบัติต่างๆของวัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์โดยเติมซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้รับการปรับสภาพขนาดอนุภาค 20 และ 40 นาโนเมตรในปริมาณต่างๆพบว่าเมื่อเติมวัสดุอัดแทรกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะสามารถเพิ่มความลึกของแสงในการบ่มความเสถียรของสีความแข็งแรงกำลังแรงอัดความแข็งดึงขณะที่การดูดซึมน้ำและความต้านทานการสึกจะลดลง

O. brien (1986) [11] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการเติมวัสดุอัดแทรกควอตซ์ที่มีขนาดและรูปร่างต่างกันต่อการกระจายแสงและความแตกต่างของความเงา (Scattering and contrast gloss) ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความใสของวัสดุในคอมโพสิตเรซินและหาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสองกับความขรุขระของพื้นผิวคอมโพสิตเรซินโดยเติมผงควอตซ์ที่มีรูปร่างเป็นเส้นสั้น (Short fiber) และเม็ดเล็กๆ (Granular) ขนาด 1.5-3.3 ไมโครเมตรในปริมาณ 5 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักพบว่าผงควอตซ์ที่มีอนุภาคเป็นเม็ดกลมเล็กๆจะสามารถสะท้อนแสงและทำให้เกิดความเงาได้มากกว่าชนิดเส้นโดยคุณสมบัติทั้งสองนี้จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณควอตซ์และขนาดอนุภาคลดลงนอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทั้งสองกับความขรุขระของพื้นผิวคอมโพสิตเป็นแบบผกผันและเชิงเส้นตรง

R. Calais [1990] [12] ทำการศึกษาเกี่ยวกับความต้านทานต่อการสึกของยี่ห้อฟัน PMMA สีหน้า 6 ยี่ห้อ โดนเป็นฟัน PMMA ชนิดปรับปรุง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ไวโวไซต์ (Vivosite) , เอ็นดูรา (Endura) และดูราเด็นท์ (Duradent) และฟัน PMMA ไม่ปรับปรุง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ไบโอเบล็น (Bioblend) , เรียลคราวน์ (Real Crown) , และอะคริลิก ทีท (Acrylic Teeth) ทดสอบการสึกโดยใช้เครื่องแรงฟันร่วมกับยาสีฟัน พบว่าอะคริลิกเรซิน ปรับปรุงมีการต้านทานต่อการสึกมากกว่าฟัน PMMA ไม่ปรับปรุง 5 เท่า นอกจากนี้ฟัน PMMA ความแข็ง 26-36 กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร ซึ่งมีค่าความแข็งผิวของฟัน PMMA ไม่ปรับปรุงซึ่งมีความแข็งผิว 20 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการต้านทานการสึกของฟัน PMMA ชนิดปรับปรุง 3 ยี่ห้อ ได้แก่ เอ็นดูรา (Endura) ดูราเด็นท์ (Duradent) เอสอาร์เบล็น กับฟอร์ชเลน 2 ยี่ห้อ ได้แก่ ไบโอเอช (Bioache) และ แพลเลทอป 12 (Pallatop12) ของบริษัท แซนกิน ซึ่งทำจากโลหะเจือทองผสม แพลเลเดียม และ เงิน ทดสอบการสึกโดยใช้ เครื่องโตเกียว กิเค็น (Tokyo Giken) ที่มีแผ่นโลหะเจือทองผสมกับแพลเลเดียม และ เงิน เป็นตัวขัดสึก เมื่อพิจารณาความต้านทานการสึก โดยเปรียบเทียบ ความลึกของการสึก (Wear depth) ที่เกิดขึ้นพบว่า PMMA ชนิดปรับปรุงมีความต้านทานการสึกมากกว่า ฟัน PMMA ที่ไม่ปรับปรุง 4.7 เท่า และมีความต้านทานต่อการสึกน้อยกว่าฟอร์ชเลน 0.7 เท่า และมากกว่า ฟันโลหะ 8.3 เท่า เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบน้ำหนัก ที่หายไปหลังการทดสอบการสึก พบว่า ฟัน PMMA ชนิดปรับปรุง มีความต้านทานการกัดมากกว่า PMMA ไม่ปรับปรุง 3.3 เท่า น้อยกว่าฟอร์ชเลน 0.2 เท่า และมากกว่าฟันโลหะ 11.4 เท่า

L. Chen (2004) [13] ศึกษาความสามารถในการต้านทานการสึกในซี่ฟันเทียม PMMA 5 ยี่ห้อ โดยมีซี่ฟันเทียมที่เป็นฟัน PMMA ปรับปรุง 3 ยี่ห้อได้แก่ เวอร์ลิลักซ์ (Verilux) , ไบโอฟอรัม ไอพีเอ็น (Bioform IPN) และออสโทซิส พีอี (Othosis PE) กับฟัน PMMA ชนิดไม่ปรับปรุง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ นูฟอรัม (Nuform) และ ไบโอฟอรัม (Bio Form) การทดสอบการสึกจะใช้แปรงร่วมกับยาสีฟัน โดยใช้แรงกด 154 กรัม บนฟันแต่ละซี่ และใช้รอยการแปรง 70 รอบต่อนาที เป็นเวลา 339 ชั่วโมง พบว่าฟัน PMMA ปรับปรุงมีความสามารถในการต้านทานการสึกน้อยกว่าฟัน PMMA ชนิดปรับปรุง

Satoh (1998) [14] ทดสอบเปรียบเทียบความต้านทานการสึก ของฟัน PMMA ชนิดปรับปรุง 5 ยี่ห้อ ได้แก่ ออโทโทปี้ พีอี ทูเบลทเอสแอลเอ็มไบโอโทน ไอพีเอ็นและ ออโทซิส กับเคลือบฟันธรรมชาติโดยใช้เครื่อง เซอร์โว ไฮดรอลิก ภายใต้สภาวะช่องปากเทียม ใช้แรงกดเฉลี่ย 1.5 ปอนด์ แรงกดสูงสุด 5 ปอนด์ ระยะไถ 0.5 มิลลิเมตร รอบการบด 300,000 รอบ ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่า ซี่ฟัน PMMA มีความต้านทานต่อการสึกจากมากไปน้อยดังนี้ ทูเบลเอ็นเอสแอลเอ็ม, ไบโอฟอรัม ไอพีเอ็น ,ออโทโทปี้ พีอี ,ไวตาแพน และ ออโทซิซ

S.winkler [1993] [15] ทดสอบการสึกของซี่ฟัน PMMA 4 ยี่ห้อ เป็น PMMA ชนิดปรับปรุง 2 ยี่ห้อ ได้แก่ ยี่ห้อ เมเจอร์ เด็นท์ (Major-Dent) และ ดีบี พลัส (DB Plus) เปรียบเทียบกับยี่ห้อ เคสัน (Keson) และยี่ห้อ คลาสสิก (Classic) ซึ่งเป็นฟัน PMMA ชนิดไม่ปรับปรุง โดยการทดสอบการสึกจะใช้เคลือบฟันธรรมชาติ เป็นตัวทดสอบ ซึ่งพบว่าซี่ฟันเทียมเรซินชนิด ปรับปรุงมีความต้านทานต่อการสึกมากกว่าซี่ฟันเทียมที่ไม่ปรับปรุง 2 เท่า

W. Douglas [1993] [16] ศึกษาเปรียบเทียบการสึกของฟัน PMMA ยี่ห้อ ไอโซซิก เอสอาร์ (Isosite SR) กับไบโอฟอรัม ไอพีเอ็น (Bioform IPN) ด้วยเครื่องทดสอบการสึก อาร์ อี แอล ของบริษัทแอมตัลยิล (REL, abrasiontester, Hampton Hill, Middlesex, U.K.) พบว่า ฟัน ไอโซซิก มีความต้านทานการสึกสูงกว่า ฟันไบโอฟอรัม ไอพีเอ็น ประมาณ 2 เท่า

Phillips [1998] [17] ได้ทำการศึกษามลของวัสดุอุดแทรก 4 ชนิด ได้แก่ ดินขาวผงแก้ว ซิลิกอนไดออกไซด์และเซอร์โคเนียมไดออกไซด์ต่อคุณสมบัติของ PMMA ที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยพบว่าเมื่อปริมาณวัสดุอุดแทรกเพิ่มขึ้นกำลังแรงกระแทกและกำลังแรงโค้งงอจะลดลงขณะที่ความแข็งผิวจะเพิ่มขึ้นและซิลิกอนไดออกไซด์ 40 เปอร์เซ็นต์จะเพิ่มความแข็งผิวได้มาก

Van Frauhöfer [1998] [18] ศึกษาความต้านทานการสึกของPMMAที่ปริมาณการเติมต่างๆ ได้แก่ Duradent 42%, Endura 68%, Duracross 47% ภายใต้สภาวะช่องปากเทียม ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที ระยะทาง 2 มิลลิเมตร ชิ้นงานจะถูกแช่ในน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในขณะทดลอง จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งผิวหน้าหนักหัวกด 50 กรัม เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปทดสอบการสูญหายไปภายในเนื้อฟันด้วย กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า ยี่ห้อ Duradent 42% เป็นปริมาณการเติมที่ต่ำที่สุดมีความต้านทานต่อการสึกต่ำที่สุด

Thomas Storber [2005] [19] ศึกษาพันธะฟันเทียม PMMA / MMA ด้วยวิธีบ่มด้วยแสงของฐานฟันเทียม และหน้าที่ของตัวทำละลาย โดยในวิธีการทดลองจะมีการปรับสภาพผิวของฟันก่อนการทดลอง ด้วย MMA จากนั้นนำไปบ่มด้วยแสง นำฐานฟันเทียมไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทดสอบแรงดึงแล้วนำไปส่องด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อสังเกตพื้นผิวของชิ้นงาน พบว่าในการบ่มด้วยแสง การปรับสภาพพื้นผิวของฐานฟันเทียมและฟันเทียมด้วย MMA มีผลต่อแรงดึง ทำให้พันธะมีความแข็งแรงมากกว่าการปรับสภาพด้วยสารอื่น



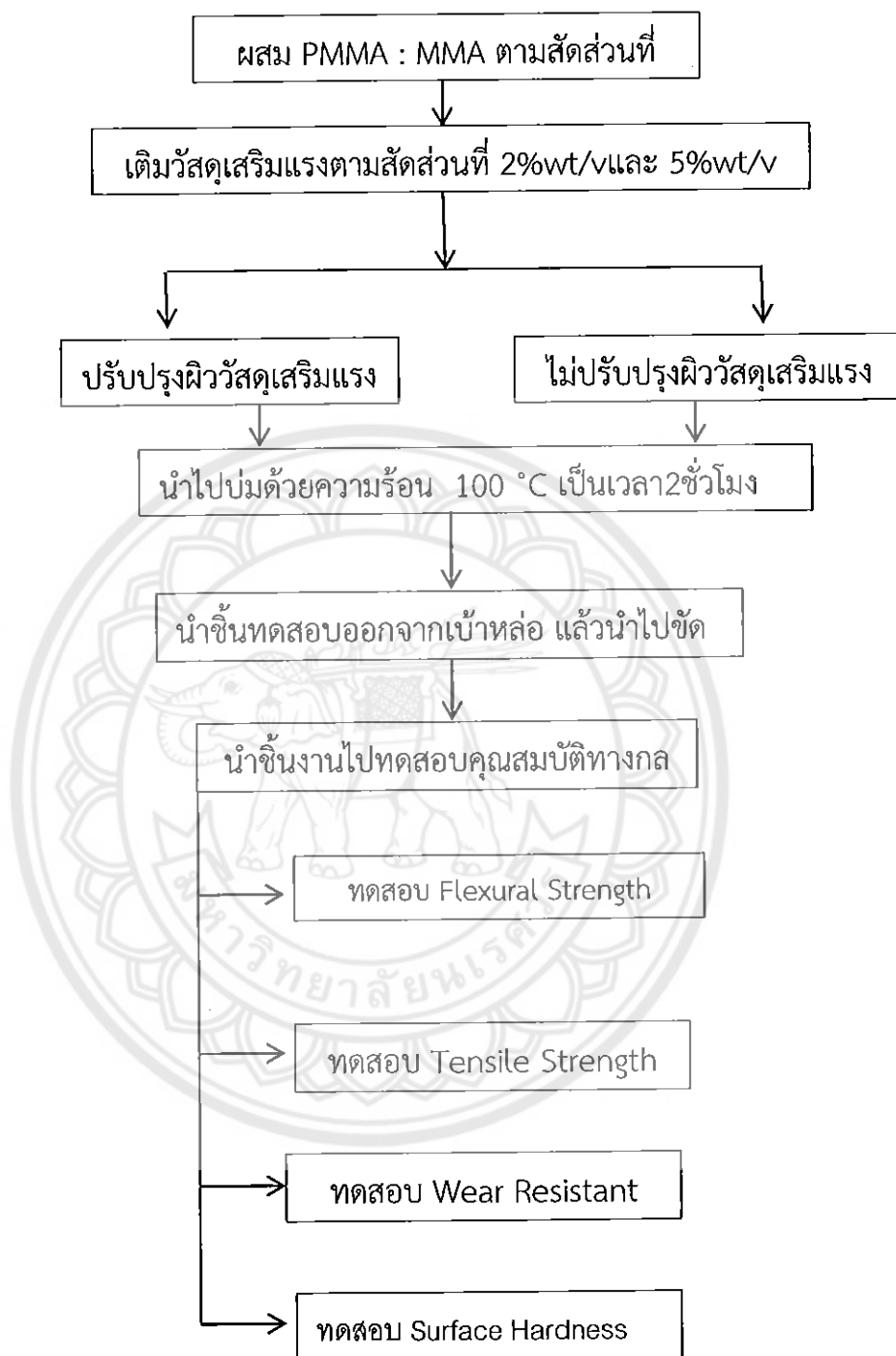
บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณและสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุเสริมแรงในฟันเทียม ชนิดบ่มด้วยความร้อน โดยการเสริมแรงด้วยวัสดุเสริมแรง 2 ชนิด คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ ขนาด 15 นาโนเมตร และ 40 ไมโครเมตร และอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 40 ไมโครเมตร

ปริมาณของวัสดุเสริมแรงชนิดอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ ที่สัดส่วน 1:1, 1:5, 5:1 ที่เปอร์เซ็นต์การเติมที่ 2%wt/v และ 5%wt/v โดยที่อัตราส่วน 1:1 และ 5:1 เป็นขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่ขนาดอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่ อัตราส่วน 1:5 เป็นขนาดอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่ขนาดอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร และทั้งหมดมีการปรับสภาพด้วย สารคู่ควบประเภท 3-MPS เปรียบเทียบกับปริมาณสัดส่วนการเติมสารตัวเติมในอัตราส่วนและขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษา ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) , ความต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength), การสึกกร่อน (Wear resistance) และความแข็งวิกเกอร์ (Vickers hardness test-VHN) ของชิ้นงานทดสอบและจากรูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการดำเนินโครงการ

แผนผังการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 รูปแสดงแผนผังการดำเนินโครงการงานงาน

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พอลิเมทิลเมทาคริเลท (PMMA)

3.1.2 เมทิลเมทาคริเลท (MMA)

3.1.3 ซิลิกอนไดออกไซด์ ขนาด 15 นาโนเมตร และ 40 ไมโครเมตร

3.1.4 อะลูมินียมออกไซด์ ขนาด 40 ไมโครเมตร

3.1.5 ไซเลนชนิด 3-MPS

3.1.6 ปูนปลาสเตอร์

3.1.7 ขี้ผึ้งทางทันตกรรม

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ฟลาสก์โลหะสำหรับทำเข้าหล่อแบบขึ้นงาน

3.2.2 เครื่องอัดฟลาสก์ไฮดรอลิก

3.2.3 เครื่องกำจัดขี้ผึ้ง

3.2.4 เครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน

3.2.5 เครื่องขัดผิววัสดุ

3.2.6 เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal testing machine)

3.2.7 เครื่องมือทดสอบความสึกกร่อน (Wear-testing machine)

3.3 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.3.1 เตรียมโมล

3.3.1.1 ตัดซี่ผึ้งทางทันทกรรมเป็นแม่แบบให้ได้ขนาดที่ต้องการ

3.3.1.2 ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำ ในปริมาณที่พอเหมาะ ไม่ข้นหรือเหลว
จนเกินไปเทลงในเบ้าหล่อด้านล่าง

3.3.1.3 นำเบ้าหล่อไปวางบนเครื่องไล่อากาศ จากนั้นนำแม่แบบซี่ผึ้งทางทันทกรรมวางลงไปบนโมล

3.3.1.4 ผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำเทลงในโมลด้านบนบน จากนั้นนำโมลด้านบน
และด้านล่างประกบกันจนสนิท

3.3.1.5 หลังจากปูนปลาสเตอร์แข็งตัวแล้ว นำเบ้าหล่อแบบไปอบด้วยเครื่อง
กำจัดซี่ผึ้งที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสให้เหลือแต่โมลเพื่อใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.3.1.6 ใช้น้ำร้อนทำความสะอาดเบ้าหล่ออีกครั้งเพื่อความสะดวกของโมล

3.1.2 วิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

3.1.2.1 ผสมพอลิเมทิลเมทาคริเลตกับเมทิลเมทาคริเลต ในอัตราส่วน 2:1 โดย
น้ำหนัก

3.1.2.2 นำอะคริลิกที่ผสมเสร็จแล้วฝังลงในแบบโมลที่เตรียมไว้แล้วนำอัดด้วย
เครื่องอัดฟลาสก์ ไฮโดรลิกที่ 100 bar

3.1.2.3 นำไปต้มในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องเป็นเวลา 2
ชั่วโมง

3.1.3.4 นำชิ้นทดสอบที่ต้มเสร็จเรียบร้อยแล้วออกมาจากเบ้าหล่อแบบไปขัดด้วย
เครื่องขัดชิ้นงานแบบจานหมุนเพื่อให้ได้ชิ้นงานขนาดตามมาตรฐานในแต่ละ
การทดสอบ

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

3.4.1 การทดสอบการต้านทานแรงดึง (Tensile tester)

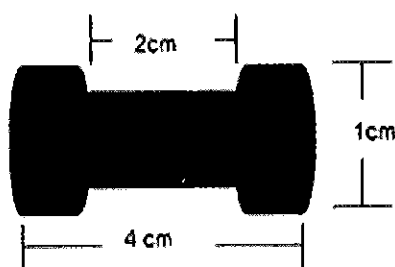
นำชิ้นงานแต่ละกลุ่มมาทำการทดสอบแรงดึง ด้วยเครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 10 กิโลนิวตัน และความเร็วหัวดึง 0.05 มิลลิเมตรต่อวินาที ชิ้นงานจะถูกดึงจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกันจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจัดเป็นกลุ่มกลุ่มละ 3 ชิ้น

ก. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึง
(คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร)

ข. ขนาดของชิ้นทดสอบ



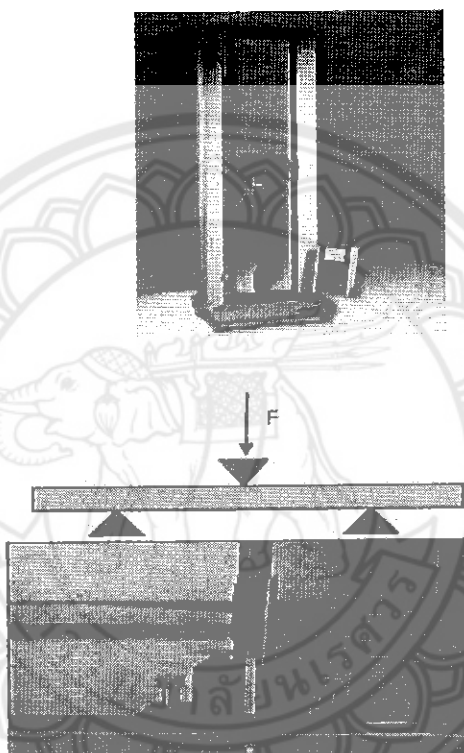
รูปที่ 3.3 ขนาดของชิ้นงานตัวอย่าง

3.4.2 การทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength tester)

การต้านทานแรงดัดโค้ง (Flexural strength) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุเมื่อได้รับแรงกด ด้วยเครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 5 กิโลนิวตัน จำนวนชิ้นทดสอบจัดเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 3 ชิ้น

ก. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

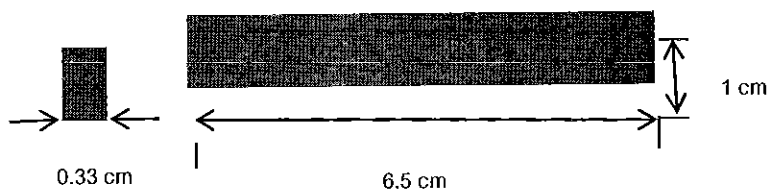
เครื่องทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง



รูปที่ 3.4 การทดสอบการต้านทานแรงดัดโค้ง

(คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร)

ข. ขนาดชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.5 ขนาดชิ้นงานทดสอบ

3.4.3 การทดสอบการต้านทานการสึกกร่อน (Wear resistance tester)

ในการทดสอบการสึกกร่อนเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของฟัน จากการถูกขัดถู โดยการนำชิ้นงานแต่ละกลุ่มมาทดสอบการสึกกร่อนฟันด้วยเครื่องทดสอบการสึกกร่อน ด้วยแรงกดคงที่ขนาด 10 กิโลนิวตัน ด้วยความเร็ว 3000 รอบต่อนาที โดยขณะทดสอบการสึกกร่อนตัวอย่างทั้งสองจะถูกแช่อยู่ในน้ำซึ่งมีการหมุนเวียน ด้วยปั้มน้ำตลอดการทดสอบ วัดผลความต้านทานต่อการสึกจากการหาน้ำหนักของซี่ฟันปลอมที่หายไป หลังการทดสอบการสึก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักที่หายไป จำนวนชิ้นทดสอบกลุ่มละ 3 ชิ้น ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 ขนาดชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ISO 1567-1999

3.4.4 การทดสอบสมบัติความแข็งผิว (Surface hardness tester)

สมบัติความแข็งผิว (Surface hardness) เพื่อศึกษาความแข็งผิวโดยใช้เครื่องวัดความแข็งผิววิกเกอร์รุ่น MXT 70 (Vicker hardness tester) เป็นการทดสอบโดยให้แรงกดลงบนชิ้นทดสอบ กดขึ้นทดสอบด้วยหัวกดวิกเกอร์ (Vicker's indenter) ด้วยแรงกดและเวลาใช้ค่าตามมาตรฐานของเครื่องทดสอบ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบกลุ่มละ 3 ชิ้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็งผิว

ก. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติความแข็งผิวแบบจุลภาค (Micro hardness tester)



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งผิวและชิ้นงานที่รับการทดสอบ

(คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร)

ข. ชิ้นทดสอบรูปทรงกระบอก



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานที่นำไปทดสอบความแข็ง

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งหมด 2 ชนิด (ซิลิกอนไดออกไซด์ 15 นาโนเมตร ซิลิกอนไดออกไซด์ 40 ไมโครเมตร และอลูมิเนียมออกไซด์ 40 ไมโครเมตร) ในวัสดุซีฟันทิยมพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน โดยแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 4 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง

ตอนที่ 2 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง

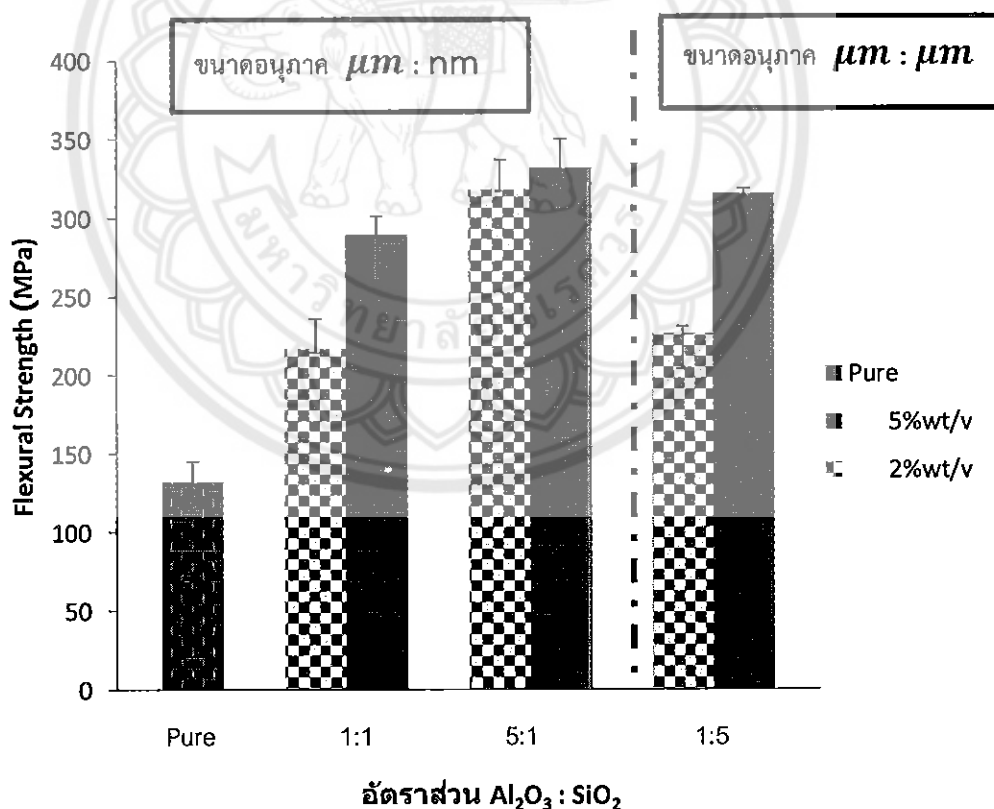
ตอนที่ 3 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงสีกกร่อน

ตอนที่ 4 ศึกษาผลการทดสอบสมบัติความแข็ง

โดยทั้ง 4 ตอนที่กล่าวมา จะมีลำดับขั้นตอนการนำเสนอ ดังนี้ คือ ลำดับแรกจะนำเสนอการวิเคราะห์ผลของการเติมชนิดวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันทิยมอะคริลิกที่นำวัสดุสองชนิดซึ่งได้แก่อลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์มาเป็นวัสดุเสริมแรงที่ปริมาณการเติมที่สามอัตราส่วน 1:1 , 1:5 , 5:1 โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ลำดับที่สองคือการศึกษาผลของขนาดวัสดุเสริมแรงที่ อัตราส่วนทั้งสามชนิด และลำดับสุดท้ายศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของวัสดุเสริมแรงด้วยไซเลนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุซีฟันทิยมอะคริลิกที่อัตราส่วนและร้อยละการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งสามชนิด โดยมีรายละเอียดผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองมีดังนี้

4.1 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง

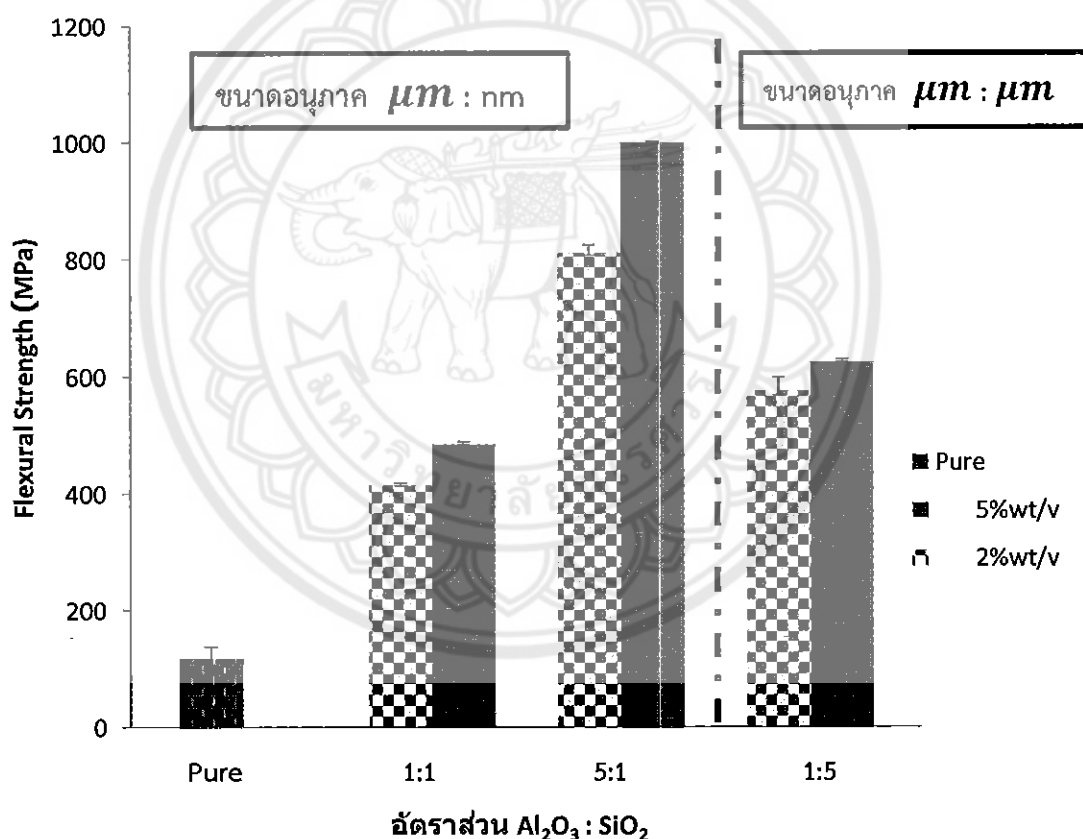
4.1.1 ผลการทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติมปริมาณอลูมิเนียม ออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/V และ 5%wt/V ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/V และ 5%wt/V ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/V และ 5%wt/V ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ไม่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลน และ PMMA บริสุทธิ์ ที่ไม่ได้ผสมอลูมิเนียม ออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์



รูปที่ 4.1.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟฟันเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิม

รูปที่ 4.1.1 แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้งที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนพบว่าเมื่อมีการเติมวัสดุเสริมแรงสองชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ ทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวพอลิเมอร์บริสุทธิ์ที่ซีฟีนเทียมอะคริลิกที่ไม่ได้มีการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งสองชนิด และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งสอง ที่อัตราส่วน 5:1 ที่ 5%wt/v พบว่าค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 342.94 MPa โดยสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของความแตกต่างของขนาดของอนุภาคของสารตัวเติม อะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดไมโครเมตรและซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีทั้งขนาดไมโครเมตร และ นาโนเมตร ซึ่งขนาดของสารตัวเติมมีผลต่อการจับตัวกันระหว่างสารตัวเติมและพอลิเมอร์เมทริกซ์ อนุภาคที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรจะมีปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากกว่าอนุภาคไมโครเมตร ปริมาณการเติมและสัดส่วนในการเติมนั้นมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดัดโค้ง จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ กนกพร ศรีวิชา และ วุฒิชัย มาน้อย (2013) [3] พบว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ 5%wt/v มีผลต่อความแข็งแรงของผิวสูงที่สุด แต่เมื่อเติมที่ปริมาณการเติมที่สูงกว่านั้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารตัวเติมโดยเมื่อพิจารณาจากสูตร โครงสร้างและคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารตัวเติมพบว่าอะลูมิเนียมออกไซด์เข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์มากกว่าซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างของสารที่ต่างกัน พันธะที่เกาะกันของสารตัวเติมหรือแม้กระทั่งจำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันที่มีไม่เท่ากันในโครงสร้างสารนั้น ซึ่งจากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ และรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของอะลูมิเนียมออกไซด์ความแตกต่างระหว่างโครงสร้างมีผลทำให้สารตัวเติมทั้งสองชนิดมีความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ไม่เท่ากัน โดยอะลูมิเนียมออกไซด์จะมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เมทริกซ์มากกว่าเนื่องจากในโครงสร้างนั้นมีพันธะคู่ (double bond) ในขณะที่ซิลิกอนไดออกไซด์โครงสร้างเป็นพันธะเดี่ยว (single bond) ซึ่งพันธะคู่ของอะลูมิเนียมออกไซด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของพอลิเมอร์ เมทริกซ์ได้ดี และนอกจากนั้นอะลูมิเนียมออกไซด์ยังมีจำนวนของธาตุออกซิเจนมากกว่าทำให้เกิดแรงดึงดูดธาตุไฮโดรเจนที่พอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากกว่า ดังนั้นปริมาณการเติมและสัดส่วนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่เติมมากกว่าจึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูง

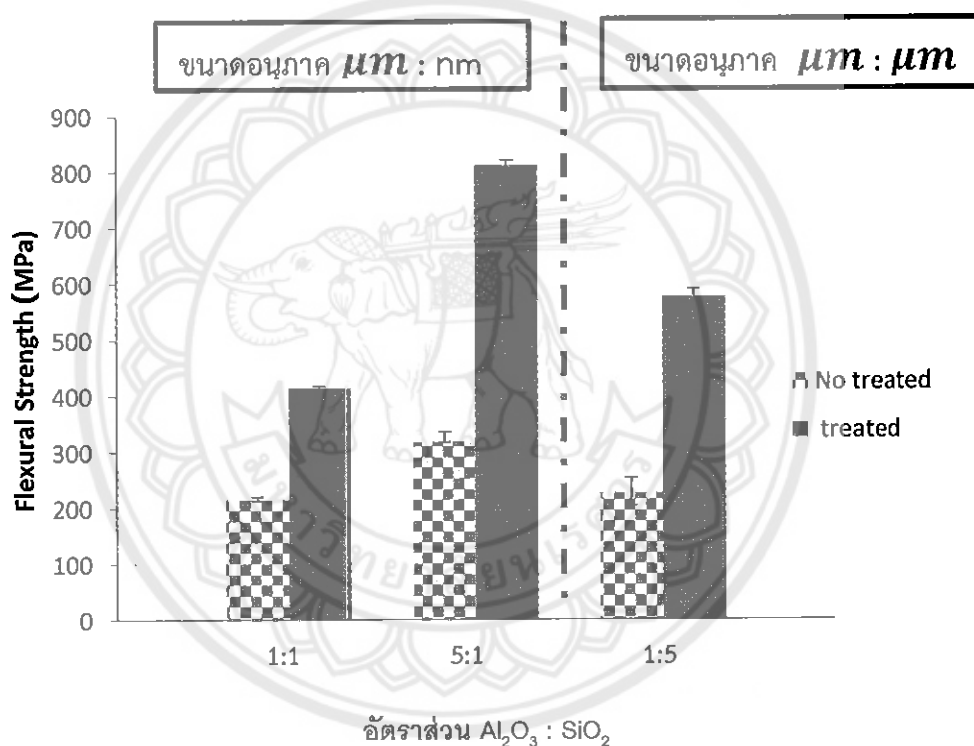
4.1.2 ผลการทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติม อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละ การเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/vตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวด้วย ไฮเลน 3-MPS และ PMMA เมื่อเทียบกับ PMMA ที่ไม่ ใส่สารตัวเติม



รูปที่ 4.1.2 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพินเทียม อะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติ การต้านทานแรงดัดโค้งที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.1.2 แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้งที่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนพบว่าเมื่อมีการเติมวัสดุเสริมแรงสองชนิดที่อัตราส่วนต่างๆ ทำให้ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งสองที่อัตราส่วน 5:1 5%wt/v พบว่าค่าการต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 1035.94 MPa อัตราส่วนการเติมวัสดุเสริมแรงที่ 5:1 5%wt/v มีการเติมอลูมิเนียมออกไซด์มากที่สุดซึ่งส่งผลต่อความสามารถแรงดัดโค้งที่มากที่สุดจากผลการสรุปในกราฟที่ 4.1.1 และเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลน ซึ่งเป็นผลมาจากการจับตัวกันได้ดีของสารตัวเติมและพอลิเมอร์เมทริกซ์จากกราฟผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงผิวของวัสดุด้วยไฮเลนมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนั้นและที่สัดส่วนการเติมที่ 5%wt/v พบว่ามีค่าแรงดัดโค้งเพิ่มมากที่สุดเนื่องจากสารคู่ควบชนิดไฮเลน 3-MPS ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารตัวเติมให้เกิดการจับตัวกันได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของสารปรับผิวสารตัวเติมหรือไฮเลนชนิด 3-MPS ที่เข้าทำปฏิกิริยากับอลูมิเนียมออกไซด์ได้ดีกว่าซิลิกอนไดออกไซด์หรือรวดเร็วกว่าเมื่อเติมสารทั้งสองชนิดพร้อมกัน เนื่องจากอลูมิเนียมออกไซด์เป็นพันธะคู่ที่ไม่อิ่มตัวจะมีความว่างไวในการดึงดูดไฮโดรเจนจากพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารตัวเติมได้ดีกว่าซิลิกอนไดออกไซด์ นอกจากนี้ขนาดของสารตัวเติมก็ส่งผลต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้งอีกด้วย โดยจากงานวิจัยก่อนหน้า กนกพร ศรีวิชา และวุฒิชัย มาน้อย (2013) [3] พบว่า อะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ 1% มีผลต่อความแข็งแรงของผิวมากขึ้น ส่วนซิลิกอนไดออกไซด์ 1% มีผลเรื่องความต้านทานแรงดัดโค้ง แต่ต้องเป็นขนาดนาโนเมตรหากเติมมากกว่า 1% จะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดัดโค้งลดลง ในขณะที่พอลิเมอร์บริสุทธิ์ที่ไม่ได้มีการเติมสารตัวเติมพบว่ามีค่าการต้านทานแรงดัดโค้งได้น้อยที่สุดและนั่นก็แสดงให้เห็นว่าการเติมสารตัวเติมและปรับผิววัสดุสารตัวเติมมีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเมื่อเปรียบเทียบกับกราฟที่ 4.1.1 และ 4.1.2

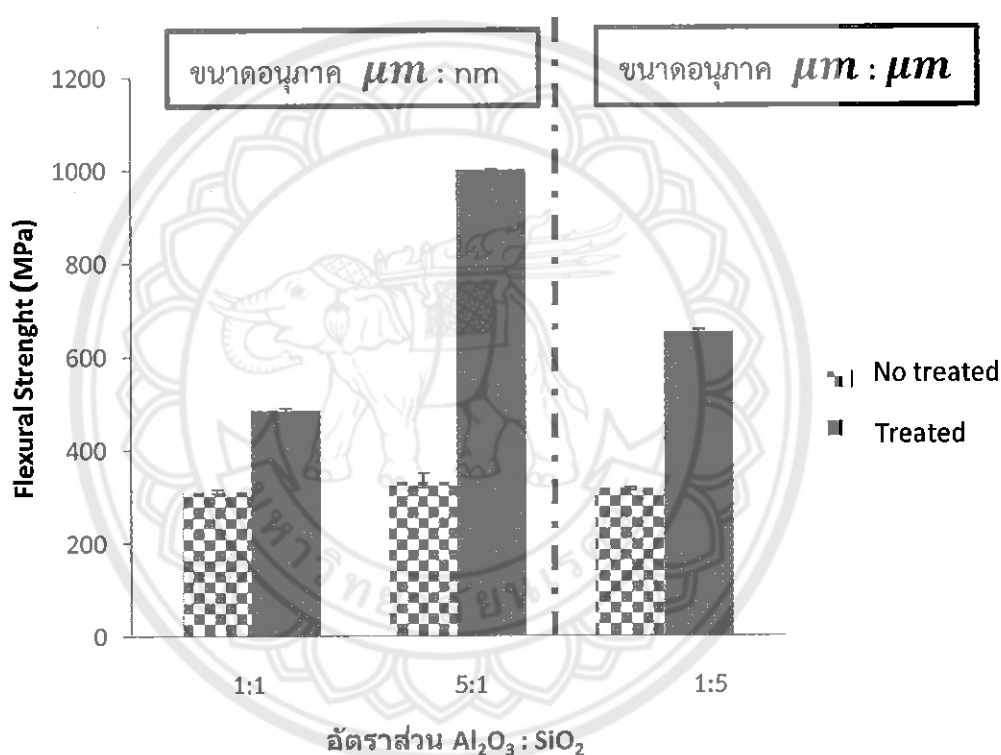
4.1.3 ผลการทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติม อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตรและที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร: 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วย ไฮเลนชนิด 3-MPS



รูปที่ 4.1.3 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้งระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติมด้วยไฮเลนและไม่ได้ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติมที่ 2%

จากรูปที่ 4.1.3 แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้งที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนพบว่าค่าแรงต้านทานการดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญที่ 0.05 โดยจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 5:1 2%wt/v ชนิดปรับปรุงผิวด้วยไฮเลน 3-MPS มีค่ามากที่สุดเนื่องจากคุณสมบัติของไฮเลนที่ใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่หมู่อัลคิลจะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างสารคู่ควบกับพอลิเมอร์โดยทั้งนี้จะทำให้ฟิลเลอร์มีแรงยึดติดกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีดังนั้นก็ทำให้การปรับปรุงคุณสมบัติของ พอลิเมอร์โดยการเติมสารตัวเติมและสารตัวเติมนั้นมีการกระจายตัวยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีแล้วจะช่วยให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้น ซึ่งอนุภาคนาโนเมตรเป็นอนุภาคขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ของการยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากขึ้น รวมทั้งความว่องไวในการทำปฏิกิริยาของอลูมิเนียมออกไซด์ที่เป็นพันธะคู่จะยึดจับทั้งสารปรับผิวและพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีเช่นกัน อีกทั้งการปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนยังส่งผลให้สารตัวเติมไม่จับตัวกันอยู่เป็นกลุ่มและยึดติดกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดียิ่งขึ้น โดยจากงานวิจัยของ K.Hirech และคณะ [2007] ได้ทดลองการกระจายตัวและการยึดจับกันระหว่างสารตัวเติมนาโนเมตรและไมโครเมตรพบว่าขนาดนาโนเมตรมีการกระจายตัวที่ดีแต่เมื่อปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนแล้วพบว่าการกระจายตัวที่ดีขึ้น และเช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ กนกพร ศรีวิชา และ วุฒิชัย มาน้อย (2013) [3] พบว่าซิลิกอนไดออกไซด์ 1% มีผลเรื่องความต้านทานแรงดัดโค้ง ในขณะเดียวกันจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 1:1 2%wt/v ชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงมีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งที่ต่ำที่สุดนั้นเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณการเติมอลูมิเนียมที่น้อยกว่า 5:1 และประกอบกับความว่องไวของซิลิกอนไดออกไซด์และการยึดจับตัวพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ด้อยกว่าอลูมิเนียมออกไซด์ รวมไปถึงปริมาณอัตราส่วนการเติมก็มีผลที่เห็นได้อย่างเด่นชัด ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากงานวิจัยก่อนหน้ากนกพร ศรีวิชา และ วุฒิชัย มาน้อย (2013) [3] พบว่า อะลูมิเนียมซิลิกอนไดออกไซด์ 1%wt/v มีผลเรื่องความต้านทานแรงดัดโค้ง แต่ต้องเป็นขนาดนาโนเมตร หากมีการเติมสูงกว่า 1%wt/v จะทำให้มีผลแรงดัดโค้งที่ลดลง

4.1.4 ผลการทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติม อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 5%wt/v โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 5%wt/v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 5%wt/v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนชนิด 3-MPS

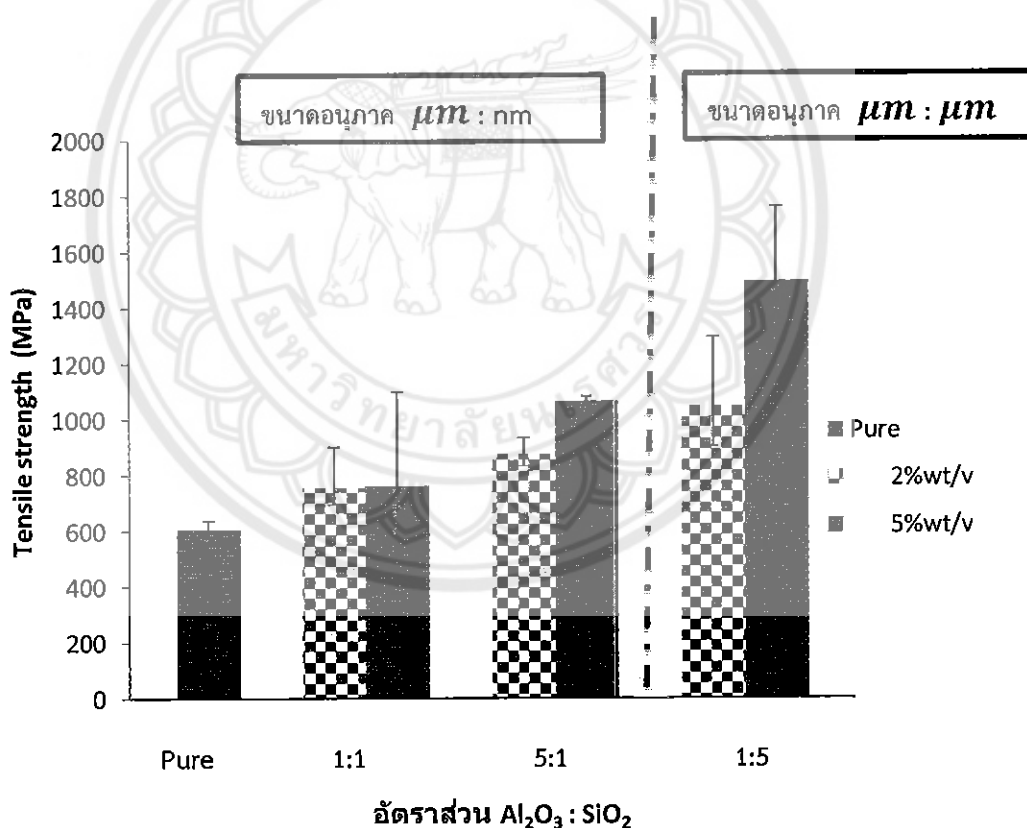


รูปที่ 4.1.4 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่าง อะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง ระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติมด้วยไฮเลนและไม่ได้ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติม ที่ 5%

จากรูปที่ 4.1.4 แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงดัดโค้งที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนพบว่าค่าแรงต้านทานการดัดโค้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างนัยสำคัญที่ 0.05 โดยจะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วน 5:1 5%wt/v ชนิดปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนมีค่ามากที่สุดเช่นเดียวกับที่อัตราส่วน 2%wt/v ในกราฟแสดงผลที่ 4.1.3 และเนื่องจากคุณสมบัติเดียวกันของ ไฮเลนที่ใช้ในการปรับปรุงผิวของวัสดุซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์การปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์โดยการเติมฟิลเลอร์และถ้าฟิลเลอร์นั้นมีการกระจายตัวยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีแล้วจะช่วยให้มีคุณสมบัติทางกลที่ดีขึ้นจากที่กล่าวมาในกราฟที่ 4.1.3 แต่พบว่าในขณะที่เพิ่มอัตราส่วนมากขึ้นถึง 5% ผลที่ได้มีค่าของแรงดัดโค้งได้ถึง 1035.94 Mpa นั้นหมายถึงคุณสมบัติที่โดดเด่นของของสารเติมทั้งสองชนิดนั้นคือ ซิลิกอนไดออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์เช่นซิลิกอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติที่โดดเด่นในเรื่องของความแข็งแรงและอลูมิเนียมออกไซด์มีเสถียรรูปทางเคมีที่สูงนอกจากนั้นขนาดของอนุภาคและการกระจายตัวก็ยังคงมีผลเช่นกัน และอ้างอิงงานวิจัยก่อนหน้านี้เช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ กนกพร ศรีวิชา และคณะ (2013) [3] ที่ได้กล่าวไปแล้วในกราฟแสดงผลก่อนหน้านี้กราฟที่ 4.1.3 และนั่นก็หมายถึงการยึดจับกันได้ดีระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารตัวเติมที่ดีของขนาดอนุภาคนาโนเมตรในพอลิเมอร์นั่นเองและเช่นเดียวกับงานวิจัยของ L.Bowen (1963) [8] ได้ทำการทดลองเติมผงซิลิกอนไดออกไซด์ที่ปรับสภาพด้วยไวโนลไฮเลนลงในออกแกนิกพอลิเมอร์ที่ใช้ในทางทันตกรรมพบว่าพอลิเมอร์ที่ได้มีกายสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อแข็งของฟันธรรมชาติมากกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่ได้เติมผงซิลิกอนไดออกไซด์โดยทำให้ความแข็งแรงการหดตัวและค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิลดลงและทำให้กำลังแรงกดมอดูลัสยืดหยุ่นและความต้านทานต่อการเกิดรอยเพิ่มขึ้น และจากการทดลองนี้เราจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของการเติมวัสดุสารตัวเติมทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นโดยมีความต้านทานการดัดโค้งที่สูงขึ้นซึ่งสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของความเข้ากันได้ดีระหว่างสารตัวเติมพอลิเมอร์เมทริกซ์และไฮเลนชนิด 3-MPS โดยที่ปริมาณของการเติมอลูมิเนียมออกไซด์ที่มากกว่ายังให้ผลที่ดีกว่าซึ่งหมายถึงอลูมิเนียม-ออกไซด์จำนวนมากว่ายังมีการทำปฏิกิริยากับสารตัวเติมและพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากกว่าและเกิดพันธะทางเคมีที่แข็งแรงกว่า

4.2 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึง

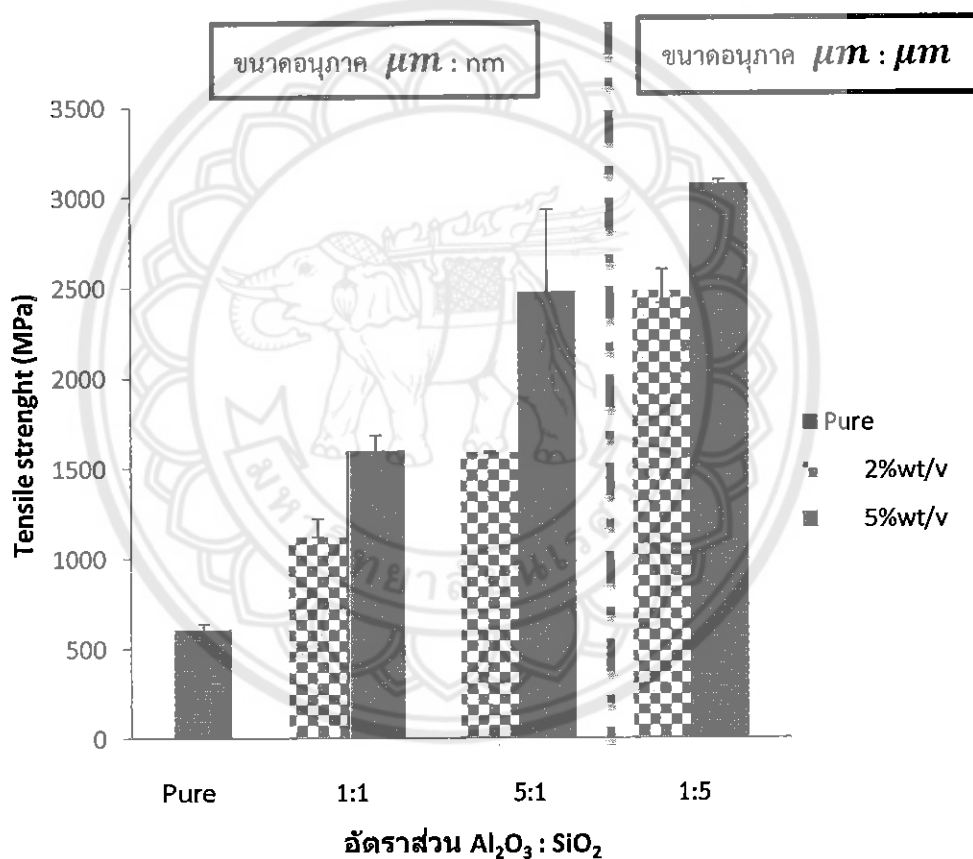
4.2.1 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับโดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ไม่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลน 3-MPS



รูปที่ 4.2.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟฟันเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึงที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.2.1 พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงระหว่างอัตราส่วนที่ 1:1 , 1:5 และ 5:1 ที่ไม่ปรับปรุงผิวพบว่าปริมาณการเติมมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง โดยเมื่อเทียบกับสัดส่วนของซีฟันทิเทียมที่ไม่มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ พบว่าที่ทุกอัตราส่วน 1:1 , 1:5 และ 5:1 ที่การเติมที่ 2%wt/v และ 5%wt/v พบว่ามีค่าสูงกว่าซีฟันทิเทียมที่ไม่ได้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Pure PMMA) เนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความสามารถในการเพิ่มคุณสมบัติทางกลไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด โมดูลัส และความแข็งผิว ทำให้รับแรงได้มากขึ้น อีกทั้งสามารถเพิ่มคุณสมบัติการทนความร้อนได้ดี ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของวัสดุซีฟันทิเทียมพอลิเมทิล เมทาคริเลท โดยจากงานวิจัยก่อนหน้าของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนวรรณ มกรพันธุ์ ได้ทำการเติมวัสดุเสริมแรงชนิด ยางคอมพาวด์ผสมเขม่าดำและซิลิกอนไดออกไซด์ พบว่าที่เติมด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ เมื่อนำไปทดสอบสมบัติทางกลโดยมีปริมาณการเติมไม่ถึง 10 phr ก็สามารถแสดงค่าความแข็งแรงดึงเทียบเท่ากับยางคอมพาวด์ที่เติมเขม่าดำ 20 phr สูงกว่า 90% ทั้งนี้ต้อง คำนึงถึงปริมาณการเติมที่เหมาะสมถ้าเติมปริมาณของอนุภาคนาโนในเมทริกซ์มากเกินไปจะทำให้วัสดุซีฟันทิเทียมเกิดความแข็งเปราะและง่ายต่อการแตกหัก จากงานวิจัยของวีรยา วรพันธ์และคณะ [5] ได้ทดสอบแรงดึงในวัสดุซีฟันทิเทียมพอลิเมทิลเมทาคริเลทที่ผสมด้วยซิลิกอนไดออกไซด์และถ่านลอย ที่ปรับปรุงผิวด้วยไฮดรอกซีเลต SiO_2 มีความต้านทานแรงดึงและค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงถึง 25 เมกะปาสกาล และผลจากการทดสอบในงานวิจัยนี้พบว่าที่อัตราส่วน 1:5 ที่ 5%wt/v มีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดโดยสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของการรับแรงของชิ้นงาน การดึงนี้ทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์เรียงตัวตามแนวทิศทางการดึงทำให้เกิดความแข็งแรงดึง โดยทั่วไปถ้าพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีค่าความยืดตัวมากและเนื่องจากงานวิจัยนี้มีการเติมสารตัวเติมทั้งสองชนิดนั้นคือซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์เมทริกซ์และด้วยคุณสมบัติความแข็งแรงของวัสดุตัวเติมอะลูมิเนียมออกไซด์เมื่อเติมในปริมาณที่มากจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเพราะอนุภาคของอะลูมิเนียมออกไซด์มีความแข็งมากกว่าซิลิกอนไดออกไซด์ จึงทำให้การเสียรูปจากแรงทางกลทำได้ยากกว่า และเนื่องจากความไร้ระเบียบของอนุภาคในสารอนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์นั้นส่งผลให้ยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีและมีความแข็งแรงที่มากกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ดังนั้นจึงส่งผลให้ปริมาณการเติม 1:5 ที่ 5%wt/v มีค่าความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุด

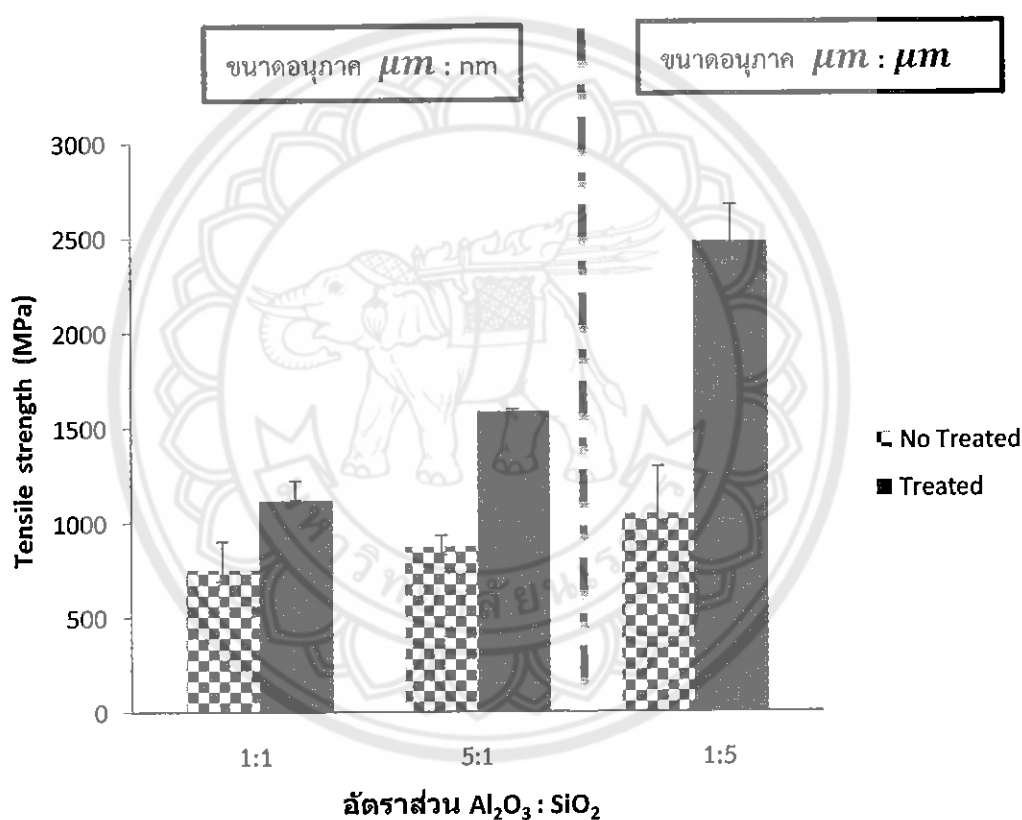
4.2.2 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติม อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับโดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลน3-MPS



รูปที่ 4.2.2 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีพียูเทียม อะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดึงที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.2.2 ผลการทดสอบแรงดึงเปรียบเทียบระหว่างผลการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1 , 1:5 และ 5:1 ที่เปอร์เซ็นต์การเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับ ชนิดที่ปรับปรุงผิว ด้วยไฮเลน พบว่าที่อัตราส่วน 1:5 ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v มีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าอัตราส่วน 1:1 และ 5:1 จากกราฟจะพบว่าที่สัดส่วนการเติมของซิลิกอนไดออกไซด์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนแล้วมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงซึ่งสามารถอธิบายได้บนพื้นฐานของการเข้ากันได้ดีระหว่างสารปรับผิว วัสดุเสริมแรง และพอลิเมอร์เมทริกซ์ นั้นหมายความว่าหมู่คาร์บอนิลในสารสูตรโครงสร้างของสารปรับผิวหรือไฮเลนชนิด 3-MPS เข้าทำปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์ได้ดีว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ เนื่องจากปริมาณการเติมที่มากกว่าส่งผลทำให้มีการยึดเกาะที่ดี แม้ว่าการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์จะจับตัวกับสารตัวเติมได้ดีกว่าเมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของสารตัวเติมทั้งสองชนิด แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดที่เติมในปริมาณของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่น้อยกว่าจึงทำให้ส่งผลน้อยกว่าการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ที่ขนาดเดียวกัน แต่เมื่อเติมปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดิ่งลดลงกว่าปริมาณที่เติมด้วยขนาดไมโครเมตร เนื่องจากปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโน มีขนาดเล็กกว่าขนาดไมโคร เมื่อปรับปรุงผิวก็จะเกิดการจับตัวกันได้มากกว่าซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครเมตร เมื่อเติมซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมากเกินไปทำให้เกิดการขัดขวางการยึดระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์กับพอลิเมอร์เมทริกซ์อีกทั้งยังทำให้วัสดุที่ขึ้นเย็บมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น และนอกจากนั้นแล้วการยึดจับตัวกันได้เป็นอย่างดีด้วยพันธะทางเคมีที่ดีของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ขนาด 5:1 ที่ 5%wt/v ทำให้ผลของการรับแรงทางการการต้านทานแรงดึงนั้นทำได้ยากกว่าเนื่องจากมีพันธะทางเคมีที่แข็งแรงและแตกหักยากกว่าซึ่งเป็นผลมาจากการยึดจับตัวที่ดีระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์วัสดุสารตัวเติมและสารปรับผิวของวัสดุสารตัวเติม

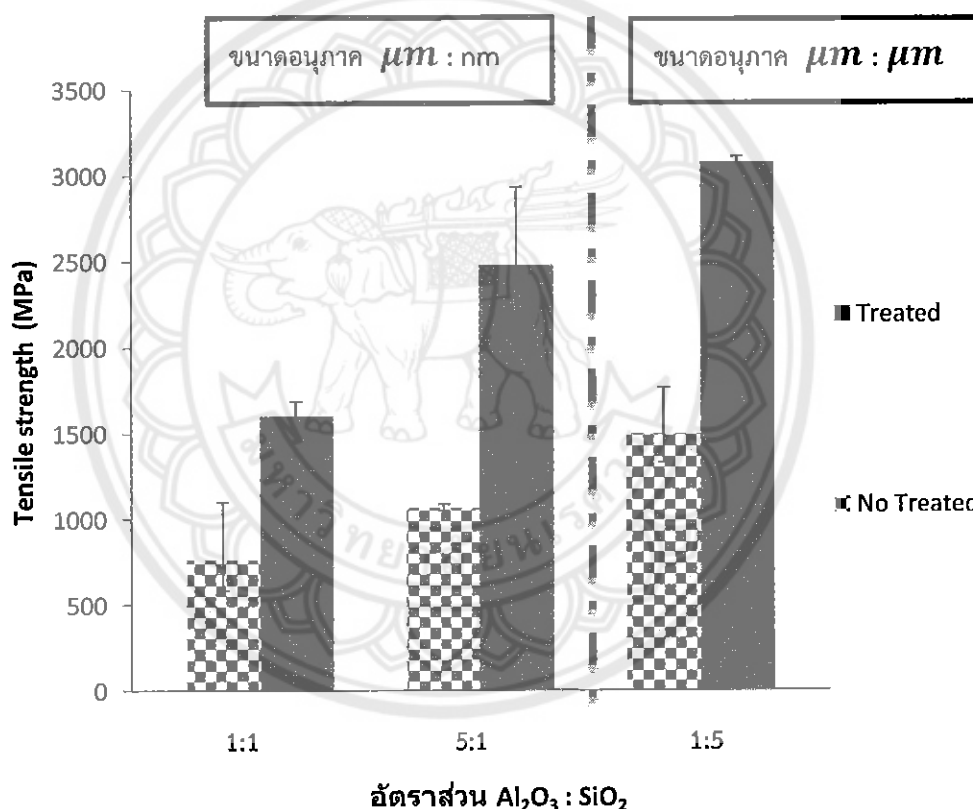
4.2.3 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติม อะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1 , 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วย ไฮเลนชนิด 3-MPS



รูปที่ 4.2.3 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่าง อะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดึง ระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเดิมด้วยไฮเลนและไม่ได้ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติม ที่ 2%

จากรูปที่ 4.2.3 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่เปอร์เซ็นต์การเติม 2%wt/v ชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วย ไฮเลนชนิด 3-MPS ปริมาณการเติมที่ 2%wt/v ที่อัตราส่วน 1:5 ที่ปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าอัตราส่วน 1:1 และ 5:1 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการเติมมีผลต่อค่าแรงดึงโดยอัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ ที่ 1:5 ที่ปริมาณการเติมที่ 2%wt/v ที่ปริมาณการเติมของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดไมโครที่ปริมาณมากกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาดไมโคร ทำให้ทราบว่าปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง เนื่องจากการปรับปรุงผิวของสารตัวเติมทำให้เกิดการจับตัวกันได้ดีระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารตัวเติม นอกจากนี้ ปริมาณการเติมสารตัวเติมก็มีผล เนื่องจากปริมาณของพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโน มีพื้นที่ผิวมาก ในปริมาณสารปรับปรุงผิวเท่ากันจะเคลือบผิวของอนุภาคนาโนได้ครอบคลุมมากกว่า ในขณะที่นาโนพื้นที่ผิวมากและยังมีความสามารถในการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้สารปรับปรุงผิวอาจเคลือบได้ไม่ทั่วถึง ซึ่งต้องมีการหาวิธีทำให้สารเคลือบผิวสามารถปรับผิวให้ดีขึ้นในอนาคต เมื่อเทียบกับอนุภาคนาโนไมโครเมตรซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าและมีการจับตัวกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี แม้ว่าพื้นที่ผิวของอนุภาคจะมีไม่มากเท่าอนุภาคนาโนเมตร แต่เมื่อออกแรงดึงวัสดุซีฟีนเทียมพอลิเมทิลเมทาคริลเลทแล้วพบว่าอนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์ไมโครเมตรสามารถจับตัวกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้อย่างทั่วถึงมากกว่าอนุภาคนาโนเมตรซึ่งผลการทดลองนี้ได้ถูกอธิบายไว้จากกราฟก่อนหน้ากราฟที่ 4.2.2

4.2.4 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติม อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 5%wt./v โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 5%wt./v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละ 5%wt./v เป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วย ไฮเลนชนิด 3-MPS



รูปที่ 4.2.4 แผนภูมิแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบของอัตราส่วนระหว่าง อะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานแรงดึง ระหว่างชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติมด้วยไฮเลนและไม่ได้ปรับปรุงผิว ที่ร้อยละการเติม ที่ 5%

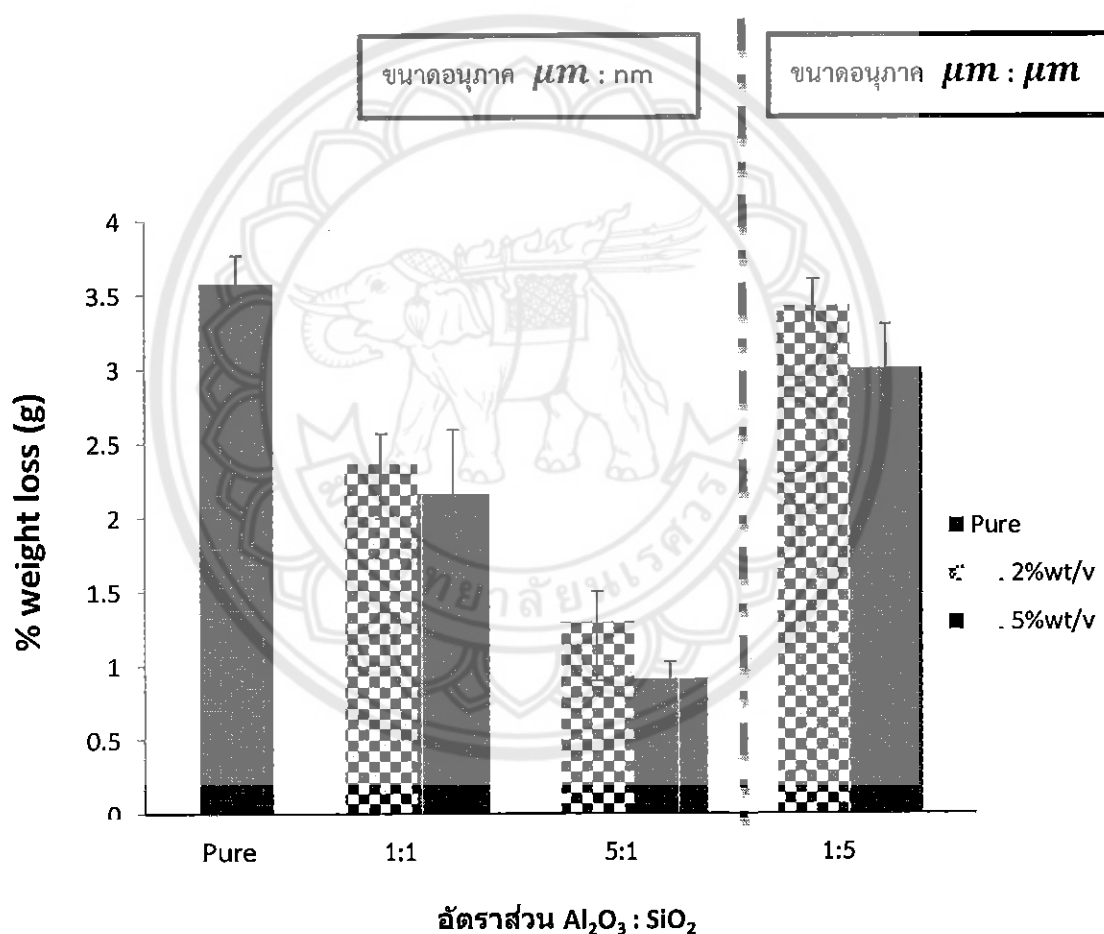
จากรูปที่ 4.2.4 ผลการทดสอบแรงดึง (Tensile Strength) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่เปอร์เซ็นต์การเติม 5%wt/v ชนิดที่ปรับปรุงผิวและไม่ได้ปรับปรุงผิวด้วย ไซเลนชนิด 3-MPS พบว่าที่ปริมาณการเติมที่อัตราส่วนที่ 1:5 ที่ 5%wt/v ของที่ปรับปรุงผิวมีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าอัตราส่วน 1:1 และ 5:1 ทำให้ทราบว่าที่ปริมาณการเติมของอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์มีผลต่อค่าความแข็งแรงดึง เนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรงเมื่อเติมลงในพอลิเมอร์เมทริกซ์ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงซึ่งได้อธิบายไว้ในผลการทดลองกราฟที่ 4.2.1 และ 4.2.2 เมื่อความแข็งแรงมากก็ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงสูงตามไปด้วย จากงานวิจัยของ คุณเกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล และคณะ [6] ได้ศึกษาแนวโน้มของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงดึงพบว่าเมื่อเติมสารเสริมแรงทั้งสองในพอลิเมอร์แล้วพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ปริมาณของสารตัวเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ที่มากเกินไปยังส่งผลทำให้ชิ้นงานเกิดพันธะทางเคมีที่ดีซึ่งยากต่อการให้แรงดึงดังที่ได้อธิบายไว้ในกราฟการทดลอง 4.2.2 และที่ขนาดอนุภาคเดียวกันซิลิกอนไดออกไซด์มีความเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารปรับปรุงผิวได้ดีกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์

4.3 ผลการทดสอบสมบัติการต้านทานแรงสีกกร่อน

เนื่องจากในปัจจุบันฟันเทียมเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อเป็นการทดแทนฟันที่สูญเสียไป ฟันเทียมจะมีหน้าที่คล้ายฟันแท้คือช่วยในการย่อยเชิงกล ดังนั้นในการทดสอบความสึกกร่อนของฟันเทียมจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งเพื่อให้ฟันเทียมนั้นสามารถอยู่กับเราได้นาน และยังเป็นตัวบ่งบอกถึงอายุการใช้งานและการหลีกเลี่ยงที่จะก่อให้เกิดการสูญเสียของฟันเทียม ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้จัดทำจึงเห็นถึงความสำคัญของการต้านทานแรงสีกกร่อนของซี่ฟันเทียม โดยการเติมวัสดุเสริมแรงชนิดที่ปรับปรุงผิวด้วยไซเลน 3-MPS ลงไปใน PMMA เพื่อก่อให้เกิดความคงทนของซี่ฟันเทียมโดยอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมไปถึงผลการทดสอบซึ่งได้แสดงไว้ดังนี้



4.3.1 ผลการทดสอบแรงต้านทานการสึกกร่อน (Wear resistant) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติมอลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวด้วย ไฮเลนชนิด 3-MPS

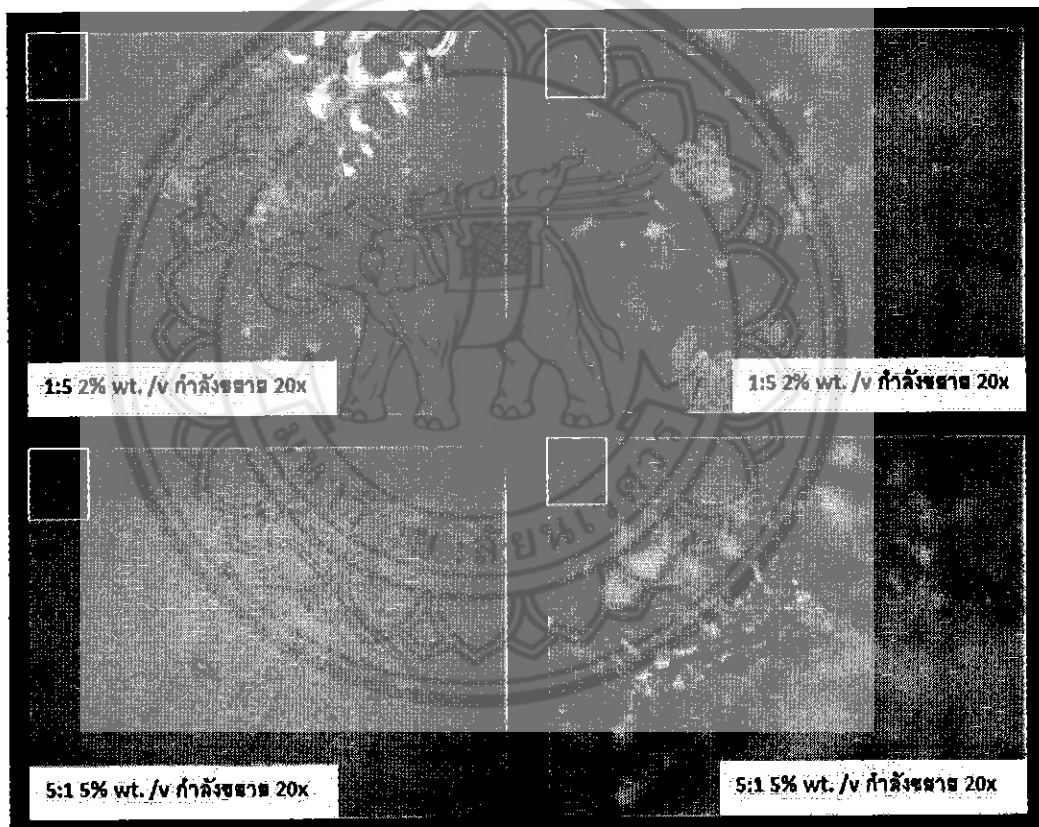


รูปที่ 4.3.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟีนเทียมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติการต้านทานการสึกกร่อนที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติม

จากรูปที่ 4.3.1 แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าการต้านทานแรงสีกกร่อนที่อัตราส่วนการเติมวัสดุเสริมแรงที่ 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนในการเติมวัสดุเสริมแรงที่ 5:1 ที่การเติม 5%wt/v มีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และนั่นเป็นผลมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารตัวเติมที่นำมาใช้งานนั่นคือซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีสมบัติเด่นเฉพาะตัวในเรื่องของความแข็งซึ่งจะสอดคล้องกับความต้านทานแรงสีกกร่อนและอะลูมิเนียมออกไซด์และสัดส่วนปริมาณการเติม ซึ่งจากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติของออลูมิเนียมมีคุณสมบัติแข็งและมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2060 °C ทำให้ทนต่อการกัดกร่อนจากกรด ด่าง และอากาศ ความสามารถในการทนต่อการกัดกร่อนหรือแม้กระทั่งการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ก็มีผลกระทบที่เด่นชัดเนื่องมาจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของซิลิกอนไดออกไซด์เช่นเดียวกันซึ่งเป็นผลมาจากขนาดและการจับตัวกันได้ดีของซิลิกอนไดออกไซด์ในพอลิเมอร์ทำให้วัสดุที่พ่นเทียมนั้นได้มีความแข็งแรง เช่นเดียวกับงานวิจัย L.Chen [2004] [13] ที่มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังนั้นที่อัตราส่วนการเติม 5:1 ที่การเติม 5%wt/v จึงมีค่าการต้านทานความสีกกร่อนได้มากที่สุด ในขณะที่เดียวกันจะเห็นได้ว่าที่ปริมาณการเติมสารตัวเติมที่ 1:5 ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับ ให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักซึ่งไม่แตกต่าง จากตัวบริสุทธิ์ที่ไม่ได้มีการเติมสารตัวเติม นั้นแสดงให้เห็นว่าขนาดของ อนุภาคของสารตัวเติมมีผลต่อการสีกกร่อนโดยที่ขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า จะมีพื้นที่ผิวในการยึดติดกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้มากกว่า แต่เนื่องจากสารตัวเติมขนาดนาโนเมตรชอบจับตัวกันอยู่เป็นกลุ่ม เมื่อทำการปรับปรุงผิวด้วยไฮเลขนทำให้ผลของวัสดุเสริมแรงที่อนุภาคที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าความสามารถในการต้านทานความสีกกร่อนมีค่าแตกต่างกัน และในส่วนของอนุภาคกับการทดสอบการขัดถูเนื่องจากขนาดอนุภาคทำให้อนุภาคของสารตัวเติมจับตัวกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้แน่นมากยิ่งขึ้นด้วยพันธะทางเคมีของอะลูมิเนียมออกไซด์เมื่อถูกปรับผิวจะเข้ากันได้ดีระหว่างสารตัวเติมสารปรับผิวและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ในขณะที่ซิลิกอนไดออกไซด์แสดงพันธะทางเคมีเป็นพันธะเดี่ยวการยึดจับกับตัวพอลิเมอร์และสารตัวเติมจะน้อยกว่าอะลูมิเนียมออกไซด์ เมื่อเรานำไปทดสอบวัสดุที่พ่นเทียมนั้นซึ่งการขัดถูทำให้เนื้อพอลิเมอร์หลุดออก ซึ่งเป็นสาเหตุให้สีพ่นเทียมนั้นน้ำหนักหายไปโดยเฉพาะในสารตัวเติมขนาดไมโครเมตรที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อเกิดการขัดถูจนเนื้อพอลิเมอร์ที่หายไปมากเมื่อเทียบกับขนาดนาโนเมตรเพราะเมื่ออนุภาคมีการหลุดออกอนุภาคที่ใหญ่กว่าก็จะดึงเอา

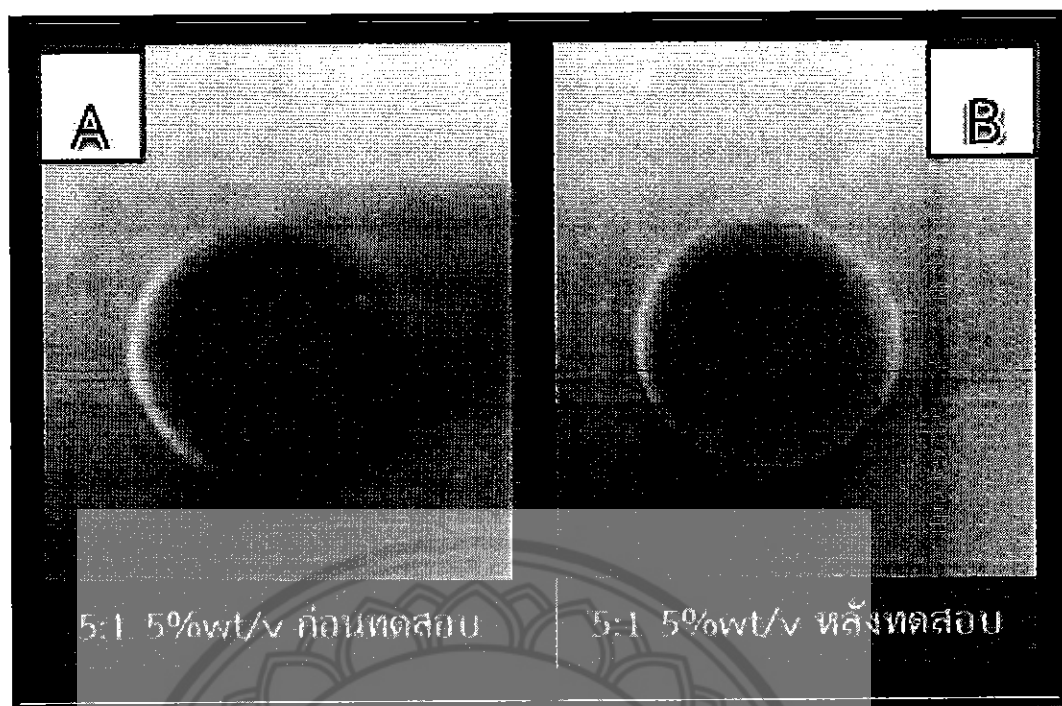
เนื้อ พอลิเมอร์ออกไปมากกว่าส่งผลทำให้น้ำหนักที่หายไปมีปริมาณมาก ดังนั้นผลของการเติมวัสดุเสริมแรงที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกันมีผลทำให้ค่าความสามารถในการต้านทานความสึกกร่อนมีค่าแตกต่างกัน และผลการทดลองนี้ได้ยืนยันว่าที่อัตราส่วนการเติม 5:1 ร้อยละการเติมที่ 5%wt/v มีการสึกกร่อนที่น้อยที่สุด

4.3.2 รูปแสดงพื้นผิวของชิ้นงานเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 20x โดยรูป A แสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิว



รูปที่ 4.3.2 รูปแสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 1:5 2%wt/v และ 5:1 5%wt/v รูป A ,C ก่อนการทดสอบ รูป B,D หลังทำการทดสอบ

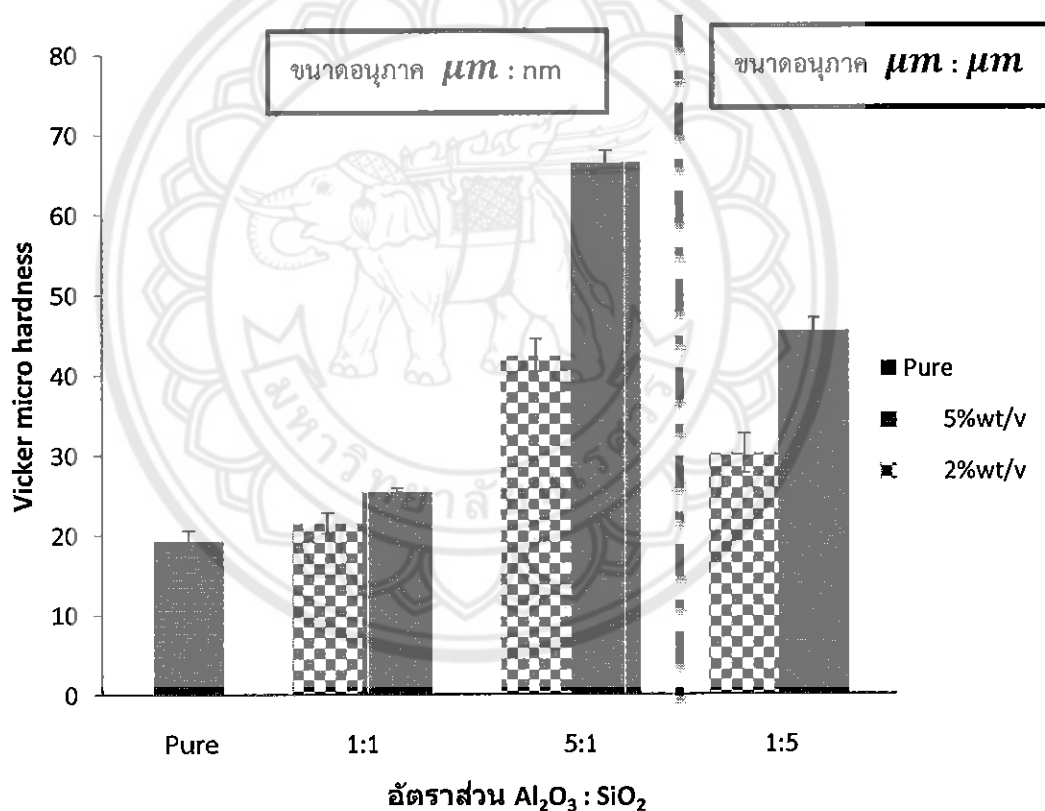
จากรูป 4.3.2 ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงการทดสอบความสึกกร่อนของชิ้นงานก่อน และหลังรูป A แสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 1:5 2%wt/v ก่อนทำการทดสอบความสึกกร่อนพื้นผิวของชิ้นงานมีลักษณะเรียบและมีลักษณะแข็งซึ่งไม่แตกต่างจากชิ้นงานที่อัตราส่วนอื่นๆนักแต่เมื่อนำมาทดสอบความสึกกร่อน รูป B แสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 1:5 2%wt/v หลังทำการทดสอบความสึกกร่อนที่กำลังขยาย 20x จะเกิดหลุมลึกลงไปพื้นผิวของชิ้นงาน ที่อัตราส่วน 1:5 2%wt/v มีการสึกกร่อนมากที่สุดเนื่องมาจากขนาดในการเติมอนุภาคมีผลเนื่องมาจากการทดสอบการขัดถูทำให้ชิ้นงานสึกกร่อนเมื่อขัดถูแล้วอนุภาคที่ใหญ่ เช่น ไมโครเมตรจะหลุดออกจากตัวพอลิเมอร์พร้อมนำเอาพอลิเมอร์ที่ติดรอบๆผิวออกไปด้วยจึงส่งผลให้ชิ้นงานมีการสูญเสียได้อย่างรวดเร็วกว่าในขณะที่รูป C แสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 5:1 5%wt/v ก่อนทำการทดสอบความสึกกร่อนเมื่อนำมาทดสอบความสึกกร่อนรูป D แสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 5:1 5%wt/v หลังทำการทดสอบความสึกกร่อนจะเห็นได้ว่าการจับตัวของสารตัวเติมนั้นทำให้เกิดหลุมลึกที่น้อยกว่าเมื่อมีการปรับผิวของอลูมิเนียมออกไซด์ขนาดไมโครเมตร เนื่องจากคุณสมบัติของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความแข็งแรงและแข็งแกร่งทำให้การสึกกร่อนมีน้อยกว่าและเนื่องจากซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมีอนุภาคขนาดเล็กและชอบจับตัวกันอยู่อย่างเป็นกลุ่มโดยธรรมชาติรวมไปถึงการยึดเกาะตัวกันด้วยดีระหว่างอลูมิเนียมออกไซด์พอลิเมอร์เมทริกซ์และสารปรับผิวของวัสดุตัวเติม ที่การเติม 2%wt/v และ 5%wt/v สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า K.Elizabethb และคณะ (1985) [10] ซึ่งได้ทำการศึกษาอิทธิพลของวัสดุอัดแทรกต่อคุณสมบัติต่างๆของวัสดุบูรณะฟันเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิลล์โดยเติมซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้รับการปรับสภาพขนาดอนุภาค 20 และ 40 นาโนเมตรในปริมาณต่างๆพบว่าเมื่อเติมวัสดุอัดแทรกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะสามารถเพิ่มความสึกกร่อนความแข็งกำลังแรงอัดความแข็งดึงและความต้านทานการสึกกร่อน



รูปที่ 4.3.3 รูปแสดงพื้นผิวของชิ้นงานที่ผสมวัสดุเสริมแรงอลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ชนิดปรับผิววัสดุเสริมแรงที่อัตราส่วน 5:1 5%wt/v โดย รูป A รูปแสดงชิ้นงานก่อนการทำการทดสอบความสึกกร่อน และ รูป B รูปแสดงชิ้นงานหลังทำการทดสอบความสึกกร่อน

4.4 ผลการทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers hardness test-VHN)

4.3.1 ผลการทดสอบความแข็งวิกเกอร์ (Vickers hardness test-VHN) เปรียบเทียบระหว่างผลการเติมอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่อัตราส่วนการเติม 1:1, 1:5 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:1 และ 5:1 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 15 นาโนเมตร และที่อัตราส่วนที่ทำการทดลองที่ 1:5 ที่ร้อยละการเติม 2%wt/v และ 5%wt/v ตามลำดับเป็นผลการการเติมขนาดของอนุภาค 40 ไมโครเมตร : 40 ไมโครเมตร ชนิดที่ปรับปรุงผิวด้วย ไสเลนชนิด 3-MPS



รูปที่ 4.4.1 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงในวัสดุซีฟันทึยมอะคริลิกที่อัตราส่วนระหว่างอะลูมิเนียมออกไซด์ต่อซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อสมบัติของความแข็งวิกเกอร์ที่ร้อยละการเติมที่ 2% และ 5% ชนิดปรับปรุงผิววัสดุสารตัวเติม

จากรูปที่รูปที่ 4.4.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบของอัตราส่วนต่างๆระหว่าง ซิลิกอนไดออกไซด์ต่ออลูมิเนียมออกไซด์ชนิดปรับปรุงผิวด้วยไฮเลนที่อัตราส่วนการเติมที่ 2%wt/v และ 5%wt/v และพบว่าที่อัตราส่วนการเติมที่ 5:1 5%wt/v มีค่าความแข็งผิววิกเกอร์ที่สูงที่สุด ซึ่งมีค่ามากถึง 66.46 HV แสดงผลของปริมาณการเติมวัสดุเสริมแรงต่อค่าความแข็งผิว จากผลการทดลองเมื่อพิจารณาที่อลูมิเนียมออกไซด์พบว่าเมื่อเติมวัสดุเสริมแรงเข้าไป มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ 0.05 และที่อัตราส่วนการเติมที่ 1:1 และ 1:5 5%wt/v ค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 21.43 และ 45.53 HV ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวบริสุทธิ์ ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่อะลูมิเนียมออกไซด์พบว่าเมื่อเติมวัสดุเสริมแรงใน ปริมาณการเติม 5%wt/v จะให้ค่าความแข็ง เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ 2%wt/v เนื่องจากการเติมวัสดุ เสริมแรงเพื่อเพิ่มค่าความแข็ง จำเป็นต้องเติมใน ปริมาณที่เหมาะสมซึ่งจะช่วยเสริมแรงทำให้ ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นแต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้นซึ่งจะเป็น ข้อบกพร่องทำให้สมบัติความแข็งลดลงจากผลการทดลองข้างต้นพบว่าปริมาณที่เหมาะสมของ อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนไดออกไซด์ คือปริมาณการเติม 5:1 ที่ 5%wt/v และในส่วน ของซิลิกอนไดออกไซด์ขนาดนาโนเมตรมีค่าความแข็งเฉลี่ยสูงสุดที่ปริมาณการเติม 1%wt/v และค่าความแข็งจะลดลงเมื่อเติมมากกว่า 1%wt/v จากงานวิจัยก่อนหน้า [3] เนื่องจาก อนุภาคนาโนเมตรมีสมบัติที่ง่ายต่อการรวมตัวกัน ซึ่งจะทำให้วัสดุเกิดความแข็งเปราะเมื่อ เติมในปริมาณที่มาก โดยที่เมื่อพิจารณาความแข็งของสารแต่ละชนิดพบว่าอนุภาคแต่ละชนิดมี ความแข็งที่ต่างกัน โดยที่อลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งมีค่าสเกลความแข็งของโมลล์มากที่สุดเท่ากับ 9 ในขณะที่ซิลิกอนไดออกไซด์มีค่าสเกลความแข็งของโมลล์เพียงแค่ 6-7 ทั้งนี้การปรับผิวของ วัสดุสารตัวเดิมยังมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ช่วยให้มีค่าความแข็งผิวเพิ่มขึ้นโดยสามารถอธิบายบน พื้นฐานโครงสร้างของอลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งแสดงโครงสร้างชนิดพันธะคู่ (double bond) ซึ่งมีความว่องไวใน การทำปฏิกิริยามากกว่าซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งแสดงสูตรโครงสร้างของ ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นพันธะเดี่ยว (single bond) เมื่อนำอลูมิเนียมออกไซด์เข้าทำปฏิกิริยากับ สารปรับผิววัสดุเสริมแรงแล้วส่งผล ให้หมู่แอลคอกซีในไฮเลนชนิด 3-MPS จับตัวกันได้ดีกับ อลูมิเนียมออกไซด์ที่เป็นพันธะคู่และเมื่อพิจารณาสูตรโมเลกุลของสารทั้งสองชนิดพบว่า อลูมิเนียมออกไซด์มีธาตุออกซิเจนที่มากกว่าโดยมีธาตุออกซิเจนในสูตรโมเลกุลถึงสามอะตอม ในขณะที่ซิลิกอนไดออกไซด์มีเพียงแค่สองอะตอม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการที่มีออกซิเจนมากกว่า จะมีแรงในการดึงดูดสารชนิดอื่นที่เข้ามาหาตัวออกซิเจนนั้นมากกว่า ซึ่งโดยปกติแล้วธาตุ

ออกซิเจนมีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity) สูงจึงมีความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนจากธาตุไฮโดรเจนเข้ามาหาได้มาก ซึ่งธาตุไฮโดรเจนที่กล่าวถึงนี้คือโครงสร้างของไซเลนชนิด 3-MPS ที่เกาะอยู่บนหมู่แอลคอกซีที่พร้อมจะทำปฏิกิริยากับสารอื่นนั่นเอง ดังนั้นจึงส่งผลให้การเติมที่สัดส่วนที่ 5:1 ที่การเติม 5%wt/v มีค่าความแข็งแรงผิวที่สูงที่สุดจากสัดส่วนและปริมาณการเติมชนิดอื่นๆ

4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ในงานวิจัยนี้ผู้จัดทำได้นำการวิเคราะห์ผลการทดลองแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบสองทาง (ANOVA 2 WAY) โดยสมมุติฐานที่ตั้งไว้คือ อัตราส่วนและร้อยละการเติมวัสดุเสริมแรงมีผลต่อความต้านทานแรงในทางกลหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้นั้นจะแสดงให้เห็นถึงผลของการเติมวัสดุเสริมแรงในซีฟีนเทียม PMMA โดยจะแสดงรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5.1 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดัดโค้ง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบไม่ปรับผิววัสดุตัวเติม

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	13782.53	2.00	6891.26	32.99*
ร้อยละการเติม	19356.59	1.00	19356.59	92.67*
อัตราส่วนที่มีผลต่อ ร้อยละการเติม	6169.95	2.00	3084.97	14.76*
ค่าความผิดพลาด	2506.41	12.00	208.86	
รวม	41815.49	17.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แรงดัดโค้ง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบไม่ปรับผิว วัสดุตัวเติมพบว่าค่าอัตราส่วน ร้อยละการเติมและ อัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมมีผลต่อ ค่าแรงดัดโค้งที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 4.5.2 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดัดโค้ง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเติม

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	640520.20	2.00	320260.10	3536.53*
ร้อยละการเติม	55995.31	1.00	55995.31	618.33*
อัตราส่วนที่มีผลต่อ ร้อยละการเติม	13487.68	2.00	6743.84	74.47*
ค่าความผิดพลาด	1086.69	12.00	90.55	
รวม	711089.89	17.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแรงดัดโค้ง ที่ 2%wt/vและ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุ ตัวเติมพบว่าค่าอัตราส่วน ร้อยละการเติมและอัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรง ดัดโค้งที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 4.5.3 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดึงที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบไม่ปรับผิววัสดุตัวเดิม

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	794194.35	2.00	397097.18	10.78*
ร้อยละการเติม	209800.82	1.00	209800.82	5.66*
อัตราส่วนที่มีผลต่อ ร้อยละการเติม	147056.79	2.00	73528.39	1.98
ค่าความผิดพลาด	444104.75	12.00	37008.73	
รวม	1595156.72	17.00		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแรงดึง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบไม่ปรับผิววัสดุตัวเดิมพบว่าค่าอัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะที่กลุ่มของอัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมไม่เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 4.5.4 ANOVA 2 WAY การทดสอบแรงดึง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	6038112.38	2.00	3019056.20	90.73*
ร้อยละการเติม	1925901.48	1.00	1925901.50	57.88*
อัตราส่วนที่มีผลต่อ ร้อยละ การเติม	134171.64	2.00	67085.82	2.01
ค่าความผิดพลาด	399266.77	12.00	33272.23	
รวม	8497452.29	17.00		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแรงดึง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิมพบว่าค่าอัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะที่กลุ่มของอัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมไม่เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 4.5.5 ANOVA 2 WAYการทดสอบการสึกกร่อน ที่ 2%wt/v ปรับผิววัสดุตัวเดิมเทียบกับ PMMA บริสุทธิ์

แหล่งความแปรปรวน	ss	Df	Ms	Fc
อัตราส่วน	3.39	2.00	1.69	29.86*
ร้อยละการเติม	6.64	1.00	6.64	116.94*
อัตราส่วนที่มีผลต่อ ร้อยละการเติม	3.39	2.00	1.69	29.16*
ค่าความผิดพลาด	0.68	12.00	0.05	
รวม	14.11	17.00		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติการสึกกร่อนที่ 2%wt./v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิมเทียบกับ PMMAบริสุทธิ์พบว่าค่าอัตราส่วนร้อยละการเติมและอัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมมีผลต่อค่า wear ที่ 2%wt./v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะที่ไม่มีผลต่อการสึกกร่อน PMMA บริสุทธิ์

ตารางที่ 4.5.6 ANOVA 2 WAY การทดสอบ การสีกร่อน ที่ 5%wt/v ปรับผิววัสดุตัวเดิม เทียบกับ PMMA บริสุทธิ์

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	3.32	2.00	1.66	24.04*
ร้อยละการเติม	10.84	1.00	10.84	156.56*
อัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติม	3.32	2.00	1.66	24.02*
ค่าความผิดพลาด	0.83	12.00	0.06	
รวม	18.32	17.00		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติการทดสอบการสีกร่อน 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิมเทียบกับ PMMA บริสุทธิ์พบว่าค่าอัตราส่วนร้อยละการเติมและอัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมมีผลต่อค่า wear ที่ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะที่ไม่มีผลต่อค่าการสีกร่อน PMMA บริสุทธิ์

ตารางที่ 4.5.7 ANOVA 2 WAY การทดสอบการสีกร่อนที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเดิม

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	13.39	2.00	6.69	67.81*
ร้อยละการเติม	0.51	1.00	0.51	5.162*
อัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติม	0.04	2.00	0.02	0.20
ค่าความผิดพลาด	1.18	12.00	0.09	
รวม	15.13	17.00		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติการสีกร่อน ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเติมพบว่าค่าอัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าการสีกร่อน ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ในขณะที่ อัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมไม่เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 4.5.8 ANOVA 2 WAY การทดสอบความแข็งที่ 2%wt/v และ 5%wt/v
แบบปรับผิววัสดุตัวเติม

แหล่งความแปรปรวน	ss	df	Ms	Fc
อัตราส่วน	2886.74	2.00	1443.37	574.43*
ร้อยละการเติม	627.17	1.00	627.17	249.60*
อัตราส่วนที่มีผลต่อ ร้อยละการเติม	618.71	2.00	309.35	123.11*
ค่าความผิดพลาด	30.15	12.00	2.51	
รวม	4162.78	17.00		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติความแข็ง ที่ 2%wt/v และ 5%wt/v แบบปรับผิววัสดุตัวเติมพบว่าค่าอัตราส่วน ร้อยละการเติมและอัตราส่วนที่มีผลต่อร้อยละการเติมมีผลต่อค่าความแข็ง ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

สรุปผลที่ได้จากการคำนวณทางสถิติ

ชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงด้วยใยเลนชนิด3-MPS

แรงดัดโค้ง

- 1 อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรงดัดโค้งที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- 2 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมกันเห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

แรงดึง

- 1 อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- 2 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมกันไม่เห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

การสึกกร่อน

- 1 อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าการสึกกร่อนที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- 2 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมกันไม่เห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ความแข็งวิกเกอร์

- 1 อัตราส่วนและร้อยละการเติม มีผลต่อค่าความแข็งวิกเกอร์ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- 2 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมกันเห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงด้วยใยเลนชนิด 3-MPS

แรงดัดโค้ง

- 1 อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรงดัดโค้งที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- 2 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมกันเห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

แรงดึง

- 1 อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05
- 2 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมรวมกันไม่เห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาการเติมวัสดุเสริมแรงทั้งหมด 2 ชนิด (ซิลิกอนไดออกไซด์ 15 นาโนเมตร ซิลิกอนไดออกไซด์ 40 ไมโครเมตร และอลูมิเนียมออกไซด์ 40 ไมโครเมตร) ในวัสดุซีฟีนเทียม PMMA ชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนที่อัตราส่วนต่างๆ ต่อสมบัติการต้านทานแรงดัดโค้ง สมบัติความต้านทานแรงดึง และสมบัติการต้านทานความสึกกร่อน พบว่าค่าแรงต้านทานแรงดัดโค้งที่ปรับปรุงผิวด้วยไซเลนที่อัตราส่วนการเติมที่ 5:1 (ไมโครเมตร:นาโนเมตร) 5%wt./v มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูงที่สุดที่ 1035.40 MPa สมบัติความต้านทานแรงดึงที่ปรับปรุงผิวด้วยไซเลนที่อัตราส่วนการเติม 1:5 (ไมโครเมตร:ไมโครเมตร) 5%wt./v มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุด 3074.81 Mpa สมบัติความต้านทานแรงสึกกร่อนที่ปรับปรุงผิวด้วยไซเลนที่อัตราส่วนการเติม 5:1 (ไมโครเมตร:นาโนเมตร) 5%wt./v มีค่าความต้านทานการสึกกร่อนดีที่สุด 0.91 g มีค่าความแข็งวิกเกอร์สูงที่สุดที่ 66.46 HV และผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA) จากผลการวิเคราะห์ทาง สถิติซึ่งพบว่า การปรับผิวของวัสดุตัวเติม อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีอิทธิพลต่อแรงทางกลคือ แรงดัดโค้ง แรงดึง การต้านทานแรงสึกกร่อนและความแข็งวิกเกอร์ โดยสรุปได้ดังนี้ แรงดัดโค้งทั้งชนิดปรับผิวและไม่ปรับ ผิววัสดุตัวเติม อัตราส่วน ร้อยละการเติม และอัตราส่วนร้อยละการเติมที่รวมกันมีผลต่อค่าแรงดัดโค้งที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แรงดึงทั้งชนิดปรับผิวและไม่ปรับผิววัสดุตัวเติม อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าแรง ดึงที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนและร้อยละการเติมที่รวมกันไม่เห็นถึงความแตกต่างที่ระดับ นัยสำคัญที่ 0.05 การสึกกร่อนชนิดปรับผิววัสดุตัวเติมเมื่อเทียบกับ PMMA บริสุทธิ์พบว่า อัตราส่วน ร้อยละการเติมและอัตราส่วนร้อยละการเติมที่รวมกันมีผลต่อค่าการสึกกร่อน แต่เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง 2%wt/v และ 5%wt/v อัตราส่วนและร้อยละการเติมมีผลต่อค่าการสึกกร่อนที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อพิจารณา อัตราส่วนและร้อยละการเติมที่รวมกันไม่เห็นถึงความแตกต่างที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ความแข็งวิกเกอร์ชนิด ที่ปรับผิวผิววัสดุตัวเติม อัตราส่วน ร้อยละการเติมและอัตราส่วนร้อยละการเติมรวมกันมีผลต่อค่าความแข็งวิกเกอร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1 จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณการเติมที่อัตราส่วนต่างๆมีผลทำให้สมบัติทางกลดีขึ้น ดังนั้น อาจจะเพิ่มปริมาณการเติมเพื่อให้เห็นผลที่ชัดเจนมากขึ้น

2 สามารถนำสารเคลือบผิวมาประยุกต์กับการทดสอบความต้านทานการสึกกร่อนแบบหัวหมุน เพื่อที่จะทราบว่าสารเคลือบพื้นแบบไหนสามารถทนต่อการสึกได้ดี

3 การทดสอบความต้านทานการสึกมีหลายแบบ แต่ในการทดลองนี้ใช้แบบหัวหมุน อาจจะเปลี่ยนเป็นแบบแรงกดที่ใช้คู่กับยาสีพื้นเพื่อที่จะใกล้เคียงกับชีวิตประจำวันมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] เจน รัตนไพศาล.(2553).พันธุวัสดุศาสตร์.(พิมพ์ครั้งที่สอง).กรุงเทพฯ:บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัดมหานคร.
- [2] Hirano S May KB, Wanger WC, Hacker CH. In vitro wear of resin denture teeth. J Prosthet Dent 79(2) (Feb 1998): 152-5.
- [3] กนกพร ศรีวิชา และคณะ. (2556).ศึกษาวัสดุเสริมแรงในซีฟันอะคริลิก เรซินที่มีผลต่อแรงดัดโค้ง แรงยึด ดัดเฉือน และความแข็ง. : ปรินิพนันท์ วศ.บ.,มหาวิทยาลัยรัตนนคร,พิษณุโลก
- [4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนวรรณ มกรพันธ์. (2557)สมบัติเชิงกลของซีฟันปลอมอะคริลิกเรซิน. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์.
- [5] คุณวิริยา วรพันธ์ และคณะ. (2554) วัสดุเสริมแรงในซีฟันเทียมอะคริลิกเรซิน ต่อสมบัติทางกล. บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัดมหานคร.
- [6] คุณเกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. (2556)แนวโน้มของการเติมซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ส่งผลต่อความแข็งแรงดึงและความแข็งผิว
- [7] ชนิตา ศุภอมรกุล. (2541).ความต้านทานต่อการสึกของซีฟันปลอมอะคริลิก เรซิน ชนิดต่างๆ ปรินิพนันท์มหาบัณฑิต .,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,กรุงเทพมหานคร
- [8] Bowen,E,wilenius,T.,Kinos,T.,Vuorisb,P.and Mastyla,T, 1963.Property of filler SiO₂ and silane,Progress in oorganic coatings,Vol.49No.1.
- [9] Li, Jagger DC, Harrision A, Jandt KD,(1999) .Handley R.W.A review the reinforcement of dental. J Oral Rahabil, (26)185-94.
- [10] K.Elizabeth tanner, Ferranti S.Wong. (2008).Comparison of the viscoelastic behavior of a pre-impregnate reinforced glass fiber composite with resin-based composite.Dental Material,(24),1534-1538.
- [11] O'Brien WJ.(2002). Dental materials and their selection 3 rd ed. St.Louis: Mosby..
- [12] Calias RG, Power JM.(2002). Restorative dental materials: Prosthet applications of polymers. 11th ed. St Louis, Missouri; Mosby.p.636-58.
- [13] L.Chen , Oilo G. Wear machanics of resin and porcelain denture teeth. Actodonatal 47(6) (Dec 1989):3919

- [14] Satoh Y, Ohtani K, Maejima K, Morikawa M, Matszu M, Nagai E, et al. Water of artificial denture teeth by use of toothbrushes, Part 1: Abrasive wear of anterior teeth. *J Nihon Univ Sch Dnt.*, 32(4)(Dec 1990):247-58.
- [15] Winkler S, Monasky GE, Kwok J. Laboratory wear investigation of resin posterior denture teeth. *J Prothet Dent* 67 (6) (Jun 1992):812-4.
- [16] Douglas WH, Delong R, Pintado MR, Latta MA. Wear rates of artificial denture teeth opposed by natural dentition. *J Prosthet Dent.* 4(2)(1993):43-7
- [17] Phillip RW. *Skinner's Science of dental material*. Philadelphia: W B Saunders 1991.
- [18] Van Fraunhofer JA, Razqvi R, Khan Z. Wear Characteristics of high-strength denture teeth. *J Prosthet Dent.* 59(2)(1998):173-5.
- [19] Thomas Storber, Tanja Lutz, Herbert Gilde, Peter Rammelsberg. *Wear of denture teeth by two-body contact*. Academy of dental Materials. Punlished by Elsevier Ltd. (March 2005).
- [20] Jianyu Zeng, DDS, PhD. In Vitro wear resistance of three types of composite resin denture teeth. *J Prosthet Dent.* (Nov 2005);94:453-7.
- [21] Micheal CG, Javid NS, Colaizzi FA, Gibbs CH. Biting strength and chewing forces in complete denture wearers. *J Prosthet Dent.* 63(5)(May 1990) : 156-53.
- [22] Lindquist T J, Ogel RE, Davis EL. Twelve-month results of a clinical wear study of three artificial tooth materials. *J Prosthet Dent.* 74(2)(Aug 2004):156-61.
- [23] Philipp F. Kappert, J. Robert Kellyb. Cyclic fatigue of denture teeth for bulk fracture. *J Prosthet Dent.* (July 2013) .
- [24] Anne Palitschb , Matthias Hanninga , Paul Fergerb, Markus Balkenhola, b, *. Bonding of acrylic denture teeth to MMA/PMMA and light-curing denture base material: The role of conditioning liquids. *J Prosthet Dent.* (December 2012).

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [25] Ana Carolina Pero*, Priscila Mattos Scavassin, Andressa Rosa Perin Leite, Danny Omar Mendoza Marin, Andre Gustavo Paleari, Marco Antonio Compagnoni. Effect of immersion cleansers on the bond strength between a denture base resin and acrylic resin teeth. *J Prosthet Dent.* (March 2013).
- [26] Robert L. Schneider, DDS, MS, a Erik R. Curtis, DDS, b and James M.S. Clancy, DDS, MSc Tensile bond strength of acrylic of resin of denture teeth and denture base resin. *J Prosthet Dent.* (Nov 2012).





ตารางแสดงผลแรงดัดโค้งชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 2%

2%	L(cm)	h(cm)	W(cm)	F(max)	$F=3FL/2WH^2$	average
1:1	6.4.0	0.32	0.95	201.30	198.73	
	6.45	0.33	0.98	245.06	220.44	
	6.50	0.33	1.00	260.90	233.59	217.58
5:1	6.40	0.30	1.00	243.00	259.20	
	6.50	0.33	0.98	387.84	354.32	
	6.50	0.34	0.95	429.23	381.07	317.44
1:5	6.40	0.30	1.00	162.00	172.80	
	6.50	0.34	1.00	334.08	281.77	
	6.35	0.32	1.00	242.22	225.30	226.62

ตารางแสดงผลแรงดัดโค้งชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 2%

2%	L(cm)	h(cm)	W(cm)	F(max)	$F=3FL/2WH^2$	average
1:1	6.50	0.33	0.33	68.20	437.98	
	6.40	0.30	1.00	139.40	363.04	
	6.50	0.33	1.00	208.93	442.76	414.98
5:1	6.50	0.33	1.00	408.80	866.30	
	6.50	0.32	0.98	339.74	781.27	
	6.50	0.35	1.00	519.89	979.38	875.65
1:5	6.50	0.32	1.00	267.51	602.87	
	6.50	0.33	1.00	282.02	597.64	
	6.40	0.33	0.90	237.40	567.71	589.41

ตารางแสดงผลแรงดัดโค้งชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 5%

5%	L(cm)	h(cm)	W(cm)	F(max)	$F=3FL/2WH^2$	average
1:1	6.50	0.33	1.00	368.82	330.21	
	6.49	0.30	0.95	229.17	260.93	
	6.45	0.31	0.98	271.31	278.72	289.95
5:1	6.50	0.33	1.00	379.49	339.76	
	6.40	0.33	1.00	386.49	340.70	
	6.48	0.32	1.00	336.59	348.36	342.94
1:5	6.50	0.33	1.00	374.63	335.41	
	6.50	0.33	0.98	356.03	325.27	
	6.48	0.33	1.00	380.28	337.31	332.66

ตารางแสดงผลแรงดัดโค้งชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 5%

5%	L(cm)	h(cm)	W(cm)	F(max)	$F=3FL/2WH^2$	average
1:1	6.50	0.32	1.00	212.65	479.23	
	6.50	0.33	1.00	243.46	515.91	
	6.50	0.33	1.00	244.26	517.61	504.25
5:1	6.50	0.33	1.00	502.00	1063.79	
	6.40	0.32	1.00	428.85	981.56	
	6.50	0.33	1.00	501.56	1062.86	1035.94
1:5	6.50	0.33	1.00	325.01	688.74	
	6.50	0.33	1.00	328.38	695.88	
	6.50	0.31	1.00	255.06	612.50	665.70

ตารางแสดงผลแรงดึงชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 2%

2%	F(N)	d	A	strength	average
1:1	680.00	0.98	0.18	901.95	
	620.00	1.20	0.28	548.47	
	642.00	1.00	0.19	817.83	756.09
5:1	720.00	1.00	0.19	917.19	
	700.00	1.00	0.19	891.71	
	640.00	1.00	0.19	815.28	874.73
1:5	760.00	1.10	0.23	800.12	
	880.00	0.97	0.18	1191.43	
	903.60	1.00	0.19	1151.08	1047.54

ตารางแสดงผลแรงดึงชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 2%

2%	F(N)	d	A	strength	average
1:1	800.00	1.00	0.19	1019.10	
	920.00	0.98	0.18	1220.29	
	880.00	1.00	0.19	1121.01	1120.14
5:1	1200.00	0.98	0.18	1591.69	
	1240.00	1.00	0.19	1579.61	
	1250.40	1.00	0.19	1592.86	1588.05
1:5	1800.00	1.00	0.19	2292.99	
	2003.60	1.00	0.19	2552.35	
	2040.00	1.00	0.19	2598.72	2481.35

ตารางแสดงผลแรงดึงชนิดไม่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 5%

5%	F(N)	d	A	strength	average
1:1	720.00	1.00	0.19	917.19	
	712.00	0.98	0.18	944.40	
	660.00	1.40	0.38	428.96	763.52
5:1	800.00	0.97	0.18	1083.12	
	840.00	1.00	0.19	1070.06	
	822.00	1.00	0.19	1047.13	1066.77
1:5	1040.00	1.00	0.19	1324.84	
	1120.00	0.90	0.15	1761.42	
	1100.00	1.00	0.19	1401.27	1495.84

ตารางแสดงผลแรงดึงชนิดปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 5%

5%	F(N)	d	A	strength	average
1:1	1200.00	1.00	0.19	1528.66	
	1243.60	0.97	0.18	1683.71	
	1246.00	1.00	0.19	1587.26	1599.87
5:1	1800.00	1.00	0.19	2292.99	
	1840.00	1.03	0.20	2209.39	
	1863.04	0.90	0.15	2929.99	2477.46
1:5	2402.00	1.00	0.19	3059.87	
	2399.20	1.00	0.19	3056.30	
	2440.00	1.00	0.19	3108.28	3074.81

ตารางแสดงผลการต้านทานแรงสีกกร่อนที่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 2%

2%	Before weight(g)	After weight(g)	weight loss(g)	average
1:1	4.29	1.40	3.60	
	5.04	1.65	3.24	
	5.00	1.76	3.44	2.36
5:1	5.00	4.10	0.90	
	5.40	3.90	1.50	
	5.00	3.50	1.50	1.30
1:5	5.00	1.40	3.60	
	4.89	1.65	3.24	
	5.20	1.76	3.44	3.42

ตารางแสดงผลการต้านทานแรงสีกกร่อนที่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 5%

5%	Before weight(g)	After weight(g)	weight loss(g)	average
1:1	6.00	3.40	2.60	
	5.30	3.21	2.09	
	4.80	3.00	1.80	2.16
5:1	5.00	3.98	1.02	
	5.28	4.25	1.03	
	5.00	4.31	0.69	0.91
1:5	5.00	2.40	2.60	
	5.10	1.98	3.12	
	5.00	1.70	3.30	3.00

ตารางแสดงผลการทดสอบความแข็งที่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 2%

2%	HV	average
1:1	25.25	
	26.80	
	24.20	25.41
5:1	40.50	
	42.13	
	44.50	42.37
1:5	32.67	
	30.00	
	28.00	30.22

ตารางแสดงผลการทดสอบความแข็งที่ปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงที่ 5%

2%	HV	average
1:1	21.00	
	21.90	
	21.40	21.43
5:1	67.50	
	66.90	
	65.00	66.46
1:5	45.90	
	44.00	
	46.70	45.53

ประวัติคณะผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายอดิศักดิ์ มณีไส

ภูมิลำเนา 68/137 หมู่ 3 ต.มหาสวัสดิ์

อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม

ประวัติการศึกษา

-จบมัธยมศึกษาจากโรงเรียนไร่จิงวิทยา

จ.นครปฐม

-ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: adisak.toplovely@gmail.com



ชื่อ นางสาวธีรนาถ ทรงอยู่

ภูมิลำเนา 435/72 ซอย ขนโค หมู่ 8 ถ. พิชัยสงคราม

ต.อรัญญิก อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

-จบมัธยมศึกษาจากโรงเรียน โรงเรียน

เฉลิมขวัญสตรี จ.พิษณุโลก

-ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tt_sci@hotmail.co.th