

กำลังจัดวางและความต้านทานการสีของอะคริลิกเรซินชนิดดัดแปรสำหรับผลิตซีพีเอ็มเทียม

นางสาวจินต์จุฑา ใจดำรงค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

FLEXURAL STRENGTH AND WEAR RESISTANCE OF MODIFIED ACRYLIC RESIN
TOOTH MATERIAL

Miss Jinjutha Jaidamrong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Sciences Programe in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : กำลังัดขวางและความต้านทานการสึกของ
อะคริลิกเรซินชนิดดัดแปรสำหรับผลิตซี่ฟันเทียม

ภาษาอังกฤษ : Flexural Strength and Wear Resistance
of Modified Acrylic Resin Tooth Material

โดย

นางสาวจินต์จุฑา ใจดำรงค์

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชรภรณ์ ทศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.มรกต เปี่ยมใจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.นิยม อังรงค์อนันต์สกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.พนารัตน์ ขอดแก้ว)

จินต์จุฑา ใจดำรงค์: กำลังดัดขวางและความต้านทานการสึกของอะคริลิกเรซินชนิดดัดแปรสำหรับผลิตซี่ฟันเทียม. (FLEXURAL STRENGTH AND WEAR RESISTANCE OF MODIFIED ACRYLIC RESIN TOOTH MATERIAL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ทพ. ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล, 122 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนสำหรับผลิตซี่ฟันเทียม เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยวัสดุอัดแทรกแก้วซิลิกา 2 ชนิด คือ ไมโครซิลิกา (BBAS glass) ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และนาโนซิลิกา (Nanosilicate glass) ร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก กลุ่มควบคุม คือ อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน (PMMA) และเพื่อศึกษาความต้านทานการสึกของอะคริลิกเรซินข้างต้นโดยเปรียบเทียบกับซี่ฟันอะคริลิกทางการค้าจำนวน 4 ยี่ห้อ คือ (MajorDent, YamahashiFx, OrtholuxTop และ CosmoHXL) การทดสอบใช้ตัวอย่างกลุ่มละ 8 ซี่ ในตอนที่หนึ่ง เป็นการทดสอบกำลังดัดขวางตามมาตรฐานด้วยวิธี Three-point transverse test โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงอัด บันทึกค่ากำลังดัดขวาง ค่าความต้านทานการแตกหัก และค่าโมดูลัสยืดหยุ่น นำข้อมูลมาทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตอนที่สอง เป็นการทดสอบความต้านทานการสึกตามมาตรฐานด้วยเครื่องทดสอบการแปร่งฟันด้วยแรง 2.0-2.5 นิวตัน จำนวน 20,000 รอบ นำข้อมูลมาทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและเปรียบเทียบเชิงซ้อนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดสอบตอนที่หนึ่ง พบว่ากลุ่มนาโนซิลิการ้อยละ 1 มีค่ากำลังดัดขวาง (88.28 ± 5.23 MPa) และค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก (0.262 ± 0.058 MPa) สูงสุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม ส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าต่ำสุด ($2779.39 + 232.20$ N/mm²) และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม สำหรับผลการทดสอบตอนที่สอง พบว่า กลุ่มนาโนซิลิการ้อยละ 1 สูญเสียมวลจากการแปร่งน้อยที่สุด (0.000525 ± 0.000282 mg) และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม ส่วนการสูญเสียปริมาตร (0.146 ± 0.079 mm³) นั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม รวมถึงฟันอะคริลิก OrtholuxTop และ CosmoHXL ดังนั้นการเติมวัสดุอัดแทรกซิลิกาชนิดนาโนในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีความน่าสนใจที่จะเลือกมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติด้านกำลังดัดขวาง และความต้านทานการสึกได้

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์
ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5276105432 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS : ACRYLIC TEETH / MODIFIED ACRYLIC RESIN MATERIAL / FLEXURAL STRENGTH / WEAR RESISTANCE / TOOTHBRUSH / DENTRIFICE ABRASION

JINJUTHA JAIDAMRONG: FLEXURAL STRENGTH AND WEAR RESISTANCE OF MODIFIED ACRYLIC RESIN TOOTH MATERIAL. ADVISOR : ASSOC.PROF. PIYAWAT PHANKOSOL ,Ph.D., 122 pp.

The aims of this study were to evaluate the flexural strength of clear modified heat-cured acrylic resins which were added by two silica fillers (microbarium glass 5%,10% and 15 % by weight and nanosilicate glass 1% and 3% by weight) and to study the wear resistance of clear modified heat-cured acrylic resins and 4 commercial teeth (Majordent, YamahashiFx, OrtholuxTop and CosmoHXL). Eight samples were prepared for each groups. Part 1: Three-point transverse test was done in 37°C with constant loading rate 5±1 mm/min. Flexural strength, fracture toughness and Young's modulus were calculated. Part 2: Wear test by tooth-brushing was test under loading 2.0-2.5N force for total 20,000 cycles. The wear resistance was evaluated by the volume loss of the surface and the mass loss. The data were submitted to One-way Analysis of Variance (ANOVA) and multiple comparisons. The results of part 1 showed that the highest flexural strength (88.28±5.23 MPa) and the highest fracture toughness (0.262±0.058 MPa) was found in 1%Nano with no statistically significant. In contrast with the flexural modulus (2.78±0.23 GPa) that showed statistically significant. For part 2 the wear results by tooth-brushing test showed that the minimum mass loss was found in 1%Nano (0.000525±0.000282 mg) with no statistically significant while the volume loss of 1%Nano (0.146±0.079 mm³) was not statistically significant with control group, OrtholuxTop and CosmoHXL. Result was suggested that added 1% by weight of nanosilicate glass was interesting to use to improve the flexural strength and wear resistance of clear acrylic resin.

Department : Prosthodontics

Student's Signature

Field of Study : Prosthodontics

Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลือดูแลและความเอาใจใส่ของรองศาสตราจารย์ ทนตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ทำให้การดำเนินงานวิจัยมีความสะดวกรวดเร็วขึ้นด้วยดีมาโดยตลอด จึงกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาทางด้านสถิติ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ บริษัท Esstech, Inc. ที่เชื้อเพื่อวัสดุอัดแทรกแก้วซิลิกา บริษัท Shin-Etsu ประเทศไทย จำกัด ที่เชื้อเพื่อสารไซเลน และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก และหน่วยปฏิบัติการทางทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับเครื่องมือทดสอบต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยนี้

และสุดท้ายขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฑ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
แนวคิดและทฤษฎี.....	6
โครงสร้างของพอลิเมอร์.....	7
ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน.....	8
พอลิเมทิลเมทาคริลิต.....	8
วัสดุผลิตฐานพื้นเทียม.....	10
วัสดุผลิตซีพื้นเทียม.....	11

บทที่	หน้า
วัสดุอุตสาหกรรม.....	12
สารคู่ควบไฮดรอลิก.....	13
วิธีทดสอบกำลังตัดขวาง.....	14
วิธีทดสอบความต้านทานการสึก.....	15
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
3.วิธีดำเนินการวิจัย.....	19
ประชากร.....	19
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	19
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	22
ขั้นตอนการเตรียมขึ้นตัวอย่าง.....	23
การทดสอบกำลังตัดขวาง.....	24
การทดสอบความต้านทานการสึก.....	29
แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบโดยวิธีทางสถิติ.....	35
4.ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	37
ส่วนที่ 1 การทดสอบกำลังตัดขวาง.....	37
ค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวาง.....	38
ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก.....	40
ค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยัง.....	41
ส่วนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึก.....	43
การสูญเสียมวล.....	43
การสูญเสียปริมาตร.....	45
การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....	46

บทที่	หน้า
5.อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	54
อภิปรายผลการวิจัย.....	54
สรุปผลการวิจัย.....	65
ข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก	74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	122

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของซีพ่นเทียมพอร์ซเลนและซีพ่นเทียมอะคริลิกเรซิน.....	11
2	แสดงรายละเอียดของวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครและชนิดนาโน.....	19
3	แสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ซีพ่นอะคริลิกสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดสอบ.....	20
4	แสดงกลุ่มอะคริลิกที่ใช้ในการทดสอบค่ากำลังดัดขวาง.....	22
5	แสดงกลุ่มอะคริลิกที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานการสึก.....	23
6	แสดงปริมาณของส่วนผง ส่วนมอนอเมอร์ของอะคริลิกเรซินใสและวัสดุอัดแทรก.....	25
7	แสดงผลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบความแข็งผิว.....	27
8	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังดัดขวาง (Flexural Strength) พลังงานแตกหัก (Fracture Toughness) และค่าเฉลี่ยมอดุลัสยืดหยุ่น (Young's Modulus)	37
9	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางในกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร.....	38
10	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางในกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน.....	39
11	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร.....	40
12	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน.....	41
13	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร.....	42
14	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮนของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน.....	42
15	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสูญเสียมวล (Weight Loss) และการสูญเสียปริมาตร (Volumn Loss).....	44

ตารางที่	หน้า
16	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของของกลุ่มควบคุมและกลุ่มชี้ฟันอะคริลิกทางการค้า..... 47
17	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร..... 48
18	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน..... 49
19	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวล..... 50
20	แสดงการทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มชี้ฟันอะคริลิกทางการค้า..... 50
21	แสดงการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มชี้ฟันอะคริลิกทางการค้าด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA)..... 51
22	แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร..... 52
23	แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน..... 52
24	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตร..... 54
25	แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Tamhane) ของระยะการโค้งงอสูงสุดก่อนการแตกหัก (mm) ของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน..... 56
26	แสดงปริมาตรของวัสดุอัดแทรกที่ใส่ในแต่ละกลุ่มทดลอง..... 62

ตารางที่	หน้า	
27	แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงแบบนूपส์ (Knoop harness value) ของชั้นเคลือบฟัน ซึ่ฟันคอมโพสิต ซึ่ฟันโลหะ ซึ่ฟันพอร์ซเลนและโลหะโคบอลต์-โครเมียม.....	64
28	แสดงค่าความแข็งแรงจากการศึกษาในปี 2010.....	75
29	แสดงสถิติเชิงพรรณนาของการทดสอบนำร่องเรื่องค่าความแข็งแรง.....	76
30	แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งแรง.....	75
31	แสดงสถิติเชิงพรรณนาของการทดสอบกำลังตัดขวาง.....	79
32	แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของการทดสอบกำลังตัดขวาง.....	80
33	แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบกำลังตัดขวางของกลุ่มวัสดุอุดแทรกไมโคร.....	82
34	แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังตัดขวางของกลุ่มวัสดุอุดแทรกไมโคร.....	82
35	แสดงการทดสอบเชิงซ้อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังตัดขวางของกลุ่มวัสดุอุดแทรกไมโคร.....	83
36	แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบกำลังตัดขวางของกลุ่มวัสดุอุดแทรกนาโน.....	84
37	แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังตัดขวางของกลุ่มวัสดุอุดแทรกนาโน.....	84
38	แสดงการทดสอบเชิงซ้อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังตัดขวางของกลุ่มวัสดุอุดแทรกนาโน.....	85
39	แสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าพลังงานแตกหัก.....	86
40	แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของค่าพลังงานแตกหัก.....	86
41	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอุดแทรกไมโคร.....	88
42	แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลของค่าพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอุดแทรกไมโคร.....	88
43	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอุดแทรกไมโคร.....	89

ตารางที่	หน้า
44	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก ของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน..... 89
45	แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลของค่าพลังงานแตกหัก ของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน..... 90
46	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของ กลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน..... 90
47	แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยัง..... 91
48	แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยัง..... 91
49	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดูลัส ของยังของวัสดุอัดแทรกกลุ่มไมโคร..... 93
50	แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังของวัสดุอัดแทรก กลุ่มไมโคร..... 93
51	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังของ วัสดุอัดแทรกกลุ่มไมโคร..... 94
52	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดูลัส ของยังของวัสดุอัดแทรกกลุ่มนาโน..... 95
53	แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังของวัสดุอัดแทรก กลุ่มนาโน..... 95
54	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังของ วัสดุอัดแทรกกลุ่มนาโน..... 96
55	แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของมูลค่าสูญเสียมวลจากการแปรง..... 97
56	แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปรง..... 97
57	แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าสูญเสียมวลและปริมาตรจากการ แปรง..... 98
58	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ความเท่ากันของค่าเฉลี่ย และการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียมวลจากการแปรง ของกลุ่มซีพีเอ็นอะคริลิกทางการค้า..... 101

ตารางที่	หน้า
59	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไม โคร..... 104
60	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปร ของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร..... 105
61	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนา โน..... 106
62	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปร ของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน..... 108
63	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปรของกลุ่มซีพีนอะคริลิกทาง การค้า..... 108
64	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิด ไมโคร 108
65	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการ แปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร..... 109
66	แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิด นาโน..... 110
67	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการ แปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน..... 111
68	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปร ของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ดีขึ้นและกลุ่มซีพีนอะคริลิกทางการค้า..... 112
69	แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการ แปรของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ดีขึ้นและกลุ่มซีพีนอะคริลิกทางการค้า..... 115
70	แสดงการทดสอบทางสถิติของข้อมูลค่าระยะโค้งงอสูงสุดของกลุ่มวัสดุอัดแทรก ชนิดนาโน..... 119

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต.....	9
2	แสดงซีพีเอ็มเอคริลิกทางการค้า 4 ยี่ห้อ.....	20
3	แสดงสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
4	แสดงซีลิกาชนิดนาโนแซในสารละลายไซเลน.....	24
5	แสดงการลงพลาสติกด้วยแผ่นสแตนเลสต้นแบบ.....	25
6	แสดงชิ้นงานที่ผ่านการบ่มตัวด้วยความร้อนแล้ว.....	25
7	แสดงชิ้นงานที่ตัดและขัดจนได้ขนาดกว้าง 10 ± 0.2 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตร และความหนา 3.3 ± 0.2 มิลลิเมตร.....	26
8	แสดงการเก็บรักษาชิ้นงานในน้ำกลั่น.....	26
9	แสดงการวางขึ้นทดสอบบนแท่นทดสอบ.....	27
10	แสดงเครื่องทดสอบแรงดึงอัดพร้อมอ่างควบคุมอุณหภูมิ.....	28
11	แสดงกลุ่มซีพีเอ็มเอคริลิกสำเร็จรูปที่ขัดผิวด้านแก้มแล้ว.....	29
12	แสดงการเตรียมขึ้นทดสอบการสึกในแม่แบบ.....	30
13	แสดงขึ้นทดสอบการแปรง.....	30
14	แสดงเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง.....	30
15	แสดงชิ้นงานที่ติดเทปเพื่อกำหนดพื้นที่การแปรง.....	31
16	แสดงการติดตั้งขึ้นทดสอบกับแท่นยึด.....	31
17	แสดงการติดตั้งแท่นยึดขึ้นทดสอบบนแท่นวัดของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว.....	31
18	แสดงเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว.....	32
19	แสดงการกำหนดค่าอ่านพื้นผิวทดสอบโดยโปรแกรม Talyscan150.....	32
20	แสดงแปรงสีพื้นในลอนที่เตรียมเพื่อทดสอบการแปรง.....	33
21	แสดงเครื่องทดสอบการแปรงพื้น.....	33
22	แสดงค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตร (Volumn loss) จากการทดสอบการแปรง....	45
23	แสดงร้อยละการสูญเสียมวล (Weight Loss) จากการทดสอบการแปรง.....	46
24	แสดงปฏิกิริยาในระหว่างไซลาโนเซชั่น.....	58
25	แสดงภาพส่วนผงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	59

ภาพที่		หน้า
26	แสดงภาพจำลองวัสดุอัดแทรกที่กระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์.....	63
27	แสดงภาพพื้นผิวหลังการแปรงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด....	65
28	แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของอะคริลิกใสในการทดสอบนำร่อง.....	75

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมสูงอายุ โดยมีประชากรสูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็น 6.7 ล้านคนในปี พ.ศ.2548 และเป็น 14 ล้านคนหรือ 2 เท่าในปี พ.ศ.2568[1] และ จากการสำรวจสุขภาพะทันตสุขภาพแห่งชาติในปี พ.ศ. 2550 พบว่าประชากรสูงอายุไทยยังคงมีความต้องการการใส่ฟันเทียมทั้งปากอยู่มากถึง 250,000 ราย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลหรือมีความลำบากในการเข้าถึงบริการทางทันตกรรม

ซีฟันอะคริลิกเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตฟันเทียมทั้งปากแบบถอดได้ฐานพลาสติก ซึ่งข้อดีของการใช้ซีฟันอะคริลิกคือ มีน้ำหนักเบา มีการยึดติดระหว่างซีฟันเทียมและฐานฟันเทียมได้ดี ซัดแต่งได้ง่าย ทั้งยังซ่อมแซมได้เมื่อเกิดการแตกหักเสียหาย[2] อย่างไรก็ตามซีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปต้องซื้อและนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีราคาสูง นอกจากนี้ในโครงการฟันเทียมพระราชทานฯ ต้องการซีฟันอะคริลิกที่มีคุณภาพใช้งานได้ดีและทำฟันเทียมทั้งปากได้อย่างรวดเร็ว ในราคาที่ต่ำลง ซึ่งหากสามารถผลิตซีฟันเทียมเองได้ก็จะสามารถช่วยลดการนำเข้าจากต่างประเทศและมีซีฟันเทียมรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับใช้ในโครงการฟันเทียมพระราชทาน ฯ

สมบัติที่ต้องการของซีฟันเทียมได้แก่ มีความแข็งแรงที่สามารถต้านทานการบดเคี้ยวได้ดี ด้านทานการสึกสูงทั้งจากการบดเคี้ยวและการทำความสะอาด สามารถซัดแต่งซัดเรียบและขัดเงาได้ ยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดี วัสดุไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย มีสีและรูปร่างลักษณะเหมือนฟันธรรมชาติ[2] สำหรับเป้าหมายของซีฟันอะคริลิกทดลองผลิต คือ เป็นซีฟันเทียมแบบติดกันเป็นชุดเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการเรียงฟันและมีด้านสบฟันแบนราบไม่มียอดฟันใช้สำหรับการเรียงฟันเทียมระนาบเดียว (monoplane occlusion) เนื่องจากสามารถสร้างการสบฟันได้ง่ายในผู้ป่วยที่มีความสัมพันธ์ของขากรรไกรรูปแบบต่าง ๆ เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับผู้ป่วยซึ่งหาความสัมพันธ์ของขากรรไกรบนและล่างได้ลำบาก ช่วยเพิ่มความสะดวกในการแก้ไขการสบฟันภายหลังใส่ฟัน และสามารถใช้ในผู้ป่วยที่ไม่สามารถกลับมาตรวจติดตามผลการรักษาได้[3]

ฟันเทียมอะคริลิก มีองค์ประกอบหลักคือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl - methacrylate , PMMA) ซึ่งเป็นวัสดุชนิดเดียวกันกับที่ใช้ทำฐานฟันเทียม โดยมีการเติมแต่งเม็ด

สีเพื่อให้ใกล้เคียงสีฟันธรรมชาติ เติมแต่งสารเชื่อมขวาง (cross-linking agent) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและป้องกันการแตกราน (craze) และเติมวัสดุอุดแทรก (filler) เพื่อเพิ่มความทนต่อการสี

พอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติที่ไม่เป็นพิษและไม่ละลายในของเหลวภายในช่องปาก แต่ละลายในสารคีโตนและสารอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบางชนิด ความแข็งแรงกด (76 เมกะพาสคาล) โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (1.1-2.2 จิกะพาสคาล) ความแข็ง (18-20 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) กำลังดัดขวาง (78-92 เมกะพาสคาล) ความหนาแน่นจำเพาะ (1.18 กรัมต่อมิลลิกรัม) และต้านทานต่อการขัดสี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุบูรณะอื่นๆ รวมทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟันนั้น อะคริลิกเรซินยังมีสมบัติทางกลต่ำกว่า เนื่องจากสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุพอลิเมอร์ได้ด้วยการเติมสารแทรกในปริมาณที่เหมาะสม การวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุพอลิเมอร์นี้มาปรับปรุงสมบัติด้วยวัสดุอุดแทรกแก้วซิลิกา 2 ชนิด ในปริมาณต่าง ๆ สำหรับทดสอบสมบัติกำลังดัดขวางและความต้านทานการสึกเพื่อหาสูตรวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสีฟันเทียมอะคริลิกเรซินชนิดการสบฟันแบบระนาบเดียวขึ้นใช้เองภายในประเทศ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มร้อนสำหรับผลิตสีฟันเทียม เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยวัสดุอุดแทรกแก้วซิลิกา 2 ชนิด คือ ไมโครซิลิกา (BBAS glass) ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และนาโนซิลิกา (Nanosilicate glass) ร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก กลุ่มควบคุมคืออะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อน (heat-cured acrylic resin) และเพื่อศึกษาความต้านทานการสึกของอะคริลิกเรซินข้างต้นโดยเปรียบเทียบกับสีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้า 4 ชนิด (Majordent, YamahashiFx, OrtoluxTop และ CosmoHXL) เพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการผลิตสีฟันเทียมอะคริลิกต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการใช้วัสดุอุดแทรกซิลิกา 2 ชนิดในอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่มีผลต่อค่ากำลังดัดขวาง โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 20795-1(2008) และ ADA specification No.12
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้วัสดุอุดแทรกซิลิกา 2 ชนิดในอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่มีผลต่อความต้านทานการสึก และเปรียบเทียบกับสีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้าที่มีจำหน่ายในประเทศโดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 14569-1(1999)

สมมติฐานการวิจัย (Hypotheses)

สมมติฐานที่ 1 เรื่องค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวาง

สมมติฐานว่าง : ค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวางของอะคริลิกเรซินใสที่บ่มร้อนและชนิดตัดแปรด้วยการใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกา 2 ชนิดไม่มีความแตกต่างกัน

สมมติฐานแย้ง : ค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวางของอะคริลิกเรซินใสที่บ่มร้อนและชนิดตัดแปรด้วยการใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกา 2 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

สมมติฐานที่ 2 เรื่องค่าการสูญเสียมวลและปริมาตรจากการสึกของอะคริลิกเรซินใส อะคริลิกเรซินใสชนิดตัดแปร และซีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้า

สมมติฐานว่าง : ค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลและปริมาตรจากการสึกของอะคริลิกเรซินใส อะคริลิกเรซินใสชนิดตัดแปรด้วยการใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกา 2 ชนิดและซีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้า ไม่มีความแตกต่างกัน

สมมติฐานแย้ง : ค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลและปริมาตรจากการสึกของอะคริลิกเรซินใส อะคริลิกเรซินใสชนิดตัดแปรด้วยการใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกา 2 ชนิดและซีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้า มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

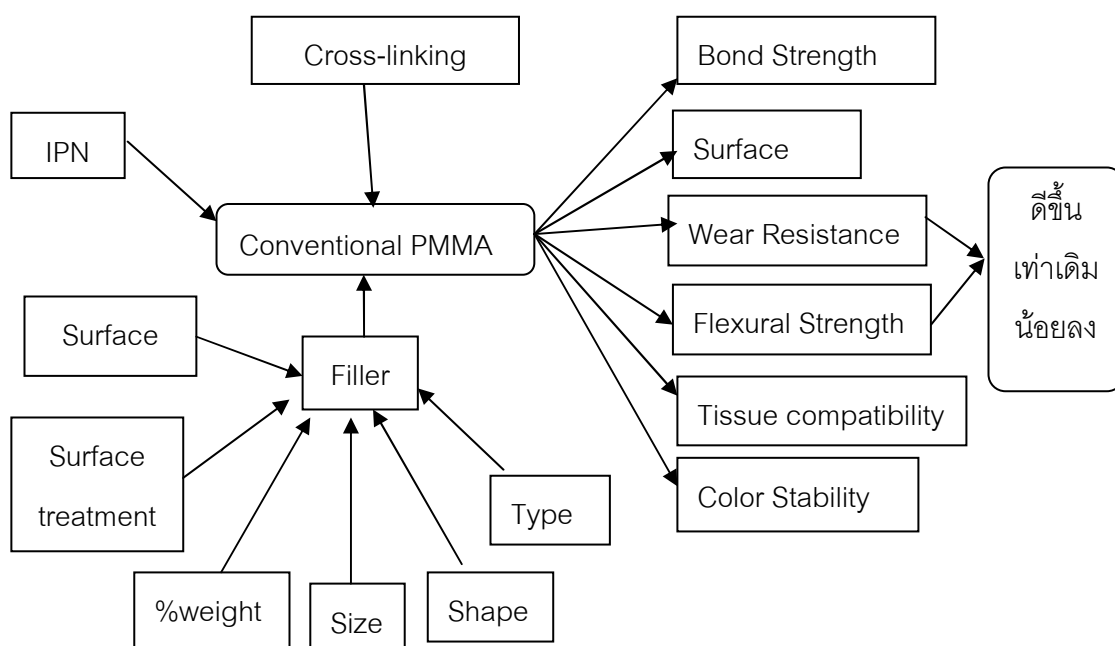
ขอบเขตของการวิจัย

วัสดุและข้อมูลซีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้าที่ใช้ในการวิจัยครอบคลุมเฉพาะสำหรับใช้ทดสอบสมบัติกำลังตัดขวางและความต้านทานการสึกของอะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนและซีฟันอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้าเพื่อเป็นพื้นฐานในการพัฒนาวัสดุสำหรับทำซีฟันอะคริลิกในประเทศเท่านั้น

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. อะคริลิกเรซินที่ใช้สำหรับการทดสอบเป็นอะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนที่ผลิตสำหรับใช้ในทางทันตกรรม ไม่ได้เป็นวัสดุมาตรฐานตาม Reagent grade
2. การผสมและบ่มวัสดุอะคริลิกเรซิน ทำตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต
3. การปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุอัดแทรก ทำตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต
4. ซีฟันอะคริลิกเรซินแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดสอบ มีขนาดเดียวกัน รุ่นเดียวกันและผลิตคราวเดียวกันโดยไม่จำกัดสี
5. การเตรียมวัสดุและชิ้นตัวอย่าง ทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว
6. การเตรียมเครื่องมือและการทดสอบ ทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว

กรอบแนวคิดของการวิจัย



ข้อจำกัดของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลที่ได้จึงเป็นเพียงแนวทางในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่ใช้ในทางทันตกรรม เพื่อใช้เป็นวัสดุทำซี่ฟันเทียม

2. การนำวัสดุไปใช้ผลิตซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปที่สามารถใช้งานทางคลินิกได้จริง จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมากต่อไป

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

Acrylic teeth

ซี่ฟันอะคริลิก

Modified acrylic resin material

วัสดุอะคริลิกเรซินชนิดดัดแปร

Flexural strength

กำลังดัดขวาง

Wear resistance

ความต้านทานการสึก

Toothbrush / Dentifrice abrasion

การสึกเหตุขัดถูด้วยแปรง/ยาสีฟัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรของพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มร้อนที่มีสมบัติกำลังตัดขวางและความต้านทานการสึกเหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุสำหรับผลิตซีฟันเทียมสำเร็จรูปสำหรับใช้ในหน่วยทันตกรรมพระราชทานฯ และในประเทศไทย ซึ่งเป็นซีฟันเทียมที่ช่วยลดเวลาการทำฟันเทียมทั้งปาก และตอบสนองต่อความต้องการฟันเทียมที่มีเป็นจำนวนมาก
2. เมื่อสามารถผลิตเป็นซีฟันเทียมได้จริงก็จะเป็นการลดการนำเข้าซีฟันอะคริลิกจากต่างประเทศ และทำให้การใส่ฟันเทียมในการออกหน่วยทันตกรรมพระราชทานฯทำได้รวดเร็วขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

“พอลิเมอร์” (polymer) คือ สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่เกิดจากการรวมตัวกันของหน่วยย่อยเล็ก ๆ ซ้ำ ๆ กันหลายหน่วย โดยหน่วยเล็ก ๆ เหล่านี้คือ มอนอเมอร์ (monomer) หากมอนอเมอร์ต่อกันเพียง 2 -4 ตัว จะเรียกสารกลุ่มนั้นว่า “โอลิโกเมอร์”(oligomers)[4] โดยพอลิเมอร์คือสารเคมีที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากกว่า 5000 ขึ้นไปจากการรวมตัวของมอนอเมอร์ในรูปแบบซ้ำ ๆ กัน[5] สำหรับพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 ขึ้นไป เรียกว่า ไฮพอลิเมอร์ (high polymer)

พอลิเมอร์ เป็นผลิตภัณฑ์ได้จากกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ซึ่งเป็นกระบวนการเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างมอนอเมอร์ 2 โมเลกุลหรือมากกว่า การทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลขนาดเล็ก ๆ นั้นทำให้เกิดเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น พอลิเมอร์ในทางธรรมชาติซึ่งได้จากพืชหรือสัตว์ มีประโยชน์ต่อมวลมนุษยย์มานานหลายศตวรรษ เช่น ยาง ฝ้าย ขนสัตว์ ไม้ และไหม หรือกลุ่มที่มีประโยชน์ทางชีววิทยา เช่น โปรตีน เอนไซม์ และแป้ง ส่วนพอลิเมอร์กลุ่มที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งเกิดจากการพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของมนุษย์ก็ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ยางรถยนต์ เสื้อผ้าใยสังเคราะห์ และพลาสติก [5]

ในทางทันตกรรม วัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ถูกนำมาใช้ในหลายงาน ส่วนมากเป็นวัสดุกลุ่มเรซิน เช่น วัสดุบูรณะฟัน วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน วัสดุสารยึดติด (bonding material) และวัสดุครอบฟันวีเนียร์ (veneering material) สำหรับในทางทันตกรรมประดิษฐ์พอลิเมอร์ที่มีบทบาทมากคือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl - methacrylate , PMMA) [6] พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต นิยมเรียกว่า “อะคริลิกเรซิน” (acrylic resins) ซึ่งหมายถึงพอลิเมอร์ของกรดอะคริลิก กรดเมทาติก หรืออะไคโลไนไตรท์ หรือ หมายถึงกลุ่มของเทอร์โมพลาสติกที่เกิดจากพอลิเมอร์ไรเซชันของกลุ่มเอสเทอร์ของอะคริลิกหรือกรดเมทิลเมทาคริเลต [7] หรือ หมายถึงอนุพันธ์ของเอทิลีนที่มีหมู่ไวนิล (-C=C-) ในโครงสร้าง โดยอะคริลิกเรซินถูกใช้ในการผลิตฐานฟันเทียมในฟันเทียมทั้งปากและเป็นส่วนคล้ายเหงือกในฟันเทียมฐานโลหะ นอกจากนี้การดัดแปรส่วนประกอบของพอลิเมอร์กลุ่มนี้ยังถูกนำมาใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันโดยตรง วัสดุซ่อมแซมฟันเทียม วัสดุบูรณะฟันเทียมแบบนิ่ม และรวมทั้งผลิตเป็นซี่ฟันเทียม[8] ในทางทันตกรรมมีอนุพันธ์ของอะคริลิกอยู่ 2 ประเภท คือ อนุพันธ์จากกรดอะคริลิก($\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$)และ

อนุพันธ์จากเมทาคริลิก ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOH}$) โดยสารประกอบจากอนุพันธ์ทั้งสองชนิดเกิดจากปฏิกิริยาแบบรวมตัว

โครงสร้างของพอลิเมอร์

ลักษณะและสมบัติของพอลิเมอร์นอกจากจะขึ้นกับขนาดและรูปร่างโมเลกุลยังขึ้นกับการจัดเรียงตัวของอะตอมของสายโซ่โมเลกุลอีกด้วย โดยโครงสร้างพื้นฐานของพอลิเมอร์มีอยู่ 4 ชนิด[4] คือ

1. พอลิเมอร์แบบเส้น (linear polymers) คือ พอลิเมอร์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของมอนอเมอร์เป็นสายยาวตรงสายเดียวไม่มีกิ่งก้าน พอลิเมอร์นี้มีความยืดหยุ่นตัวสูง โดยพอลิเมอร์แบบเส้นนี้ยังแบ่งเป็น พอลิเมอร์ชนิดเดียวแบบเส้น (linear homopolymers) และ พอลิเมอร์ร่วมแบบเส้น (linear copolymers)
2. พอลิเมอร์แบบกิ่งก้าน (branched polymers) คือ พอลิเมอร์ที่มีสายย่อยต่อกับพอลิเมอร์สายหลัก พอลิเมอร์ชนิดนี้อาจเกิดจากการสังเคราะห์ ทำให้มีสมบัติบางอย่างดีกว่าแบบเส้น แบ่งเป็น พอลิเมอร์ชนิดเดียวแบบกิ่ง (branched homopolymers) และ พอลิเมอร์ร่วมแบบกิ่งในรูปแบบสลับ (branched random copolymers) หรือแบบกราฟ (grafted-branched copolymers)
3. พอลิเมอร์แบบร่างแหหรือเชื่อมไขว้ (crosslinked polymers) คือ พอลิเมอร์ที่มีสายพอลิเมอร์ที่อยู่ติดกันเชื่อมต่อกันในหลาย ๆ ตำแหน่งด้วยพันธะโควาเลนต์ เกิดเป็นโครงสร้างสามมิติ โดยกระบวนการเกิดร่างแหจะเกิดจากการสังเคราะห์เป็นส่วนมากที่อุณหภูมิสูง และไม่สามารถเปลี่ยนรูปกลับไปมาได้
4. พอลิเมอร์แบบโครงข่าย (network polymers) คือ พอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่มักประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันสามหมู่ มีพันธะโควาเลนต์ 3 พันธะที่ไวในการเกิดปฏิกิริยา เกิดเป็นโครงข่ายสามมิติ โดยพอลิเมอร์ร่างแหที่มีปริมาณสูงก็จัดเป็นพอลิเมอร์แบบโครงข่ายได้ พอลิเมอร์ชนิดนี้จะมีสมบัติทางกลและความร้อนต่างจากกลุ่มอื่น ๆ

พอลิเมอร์แบบเส้นและพอลิเมอร์แบบกิ่งก้านมีโมเลกุลที่แยกกันอย่างชัดเจน ทำให้มีพันธะทางกายภาพที่ไม่แข็งแรงเชื่อมกันระหว่างโมเลกุล เมื่อได้รับความร้อนพันธะระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์เหล่านี้มักจะแตกออก ทำให้มีการเลื่อนตัวของสายโมเลกุลของพอลิเมอร์วัสดุพอลิเมอร์ชนิดนี้จึงอ่อนตัวลงและหลอมตัวได้ที่อุณหภูมิสูง และเมื่อได้รับความเย็นพันธะเหล่านี้

จะกลับมาเชื่อมสายโมเลกุลของพอลิเมอร์เหล่านี้ใหม่และทำให้วัสดุแข็งขึ้น จึงเรียกวัดวัสดุที่มีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมินี้ว่า “เทอร์โมพลาสติก” (thermoplastic) ตัวอย่างของวัสดุกลุ่มนี้ เช่น พอลิสไตรีน พอลิไวนิลอะคริลิก และ พอลิเมทิลเมทาคริเลต[9]

พอลิเมอร์แบบร่างแห และพอลิเมอร์แบบโครงข่าย มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง และเป็นพันธะหลักที่ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุล มักเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นโมเลกุลเดี่ยวขนาดใหญ่ (single giant macromolecule) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพกลับไปมาได้ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เรียกวัดวัสดุประเภทนี้ว่า “เทอร์โมเซต” (thermoset) ตัวอย่างของวัสดุกลุ่มนี้ เช่น กลุ่มซิลิโคน ซิส-พอลิไอโซพรีน บิสฟีนอล เอ-ไดอะคริเลท และ พอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดร่างแห[9]

ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน

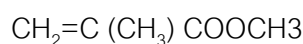
เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมอนอเมอร์ทำปฏิกิริยากัน แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ปฏิกิริยาแบบควบแน่นหรือแบบขั้น (condensation or step growth polymerization) และ ปฏิกิริยาแบบรวมตัวหรือแบบสายโซ่ (addition or chain polymerization)

ปฏิกิริยาแบบควบแน่นหรือแบบขั้น เป็นปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ที่ทำให้มีโมเลกุลเล็กๆ ของสาร (by product) หลุดออกมา เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ หรือ แอมโมเนีย พอลิเมอร์ที่เกิดโดยปฏิกิริยานี้มักใช้ในงานพอลิเมอร์ชีวภาพ ในส่วนทางทันตกรรมนั้น ตัวอย่างเช่น ซิลิโคนชนิดควบแน่น และ วัสดุพิมพ์ปากชนิดพอลิซิลไฟด์[6, 10]

ปฏิกิริยาแบบรวมตัวหรือแบบสายโซ่ เป็นปฏิกิริยาระหว่างมอนอเมอร์ที่ไม่มีโมเลกุลเล็กๆ ของสาร หลุดออกมา เป็นปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันที่พบว่าใช้มากในวัสดุทางทันตกรรม ได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริเลต และ Bis-GMA ซึ่งเป็นส่วนประกอบทั่วไปของส่วนเมทริกซ์ของวัสดุบูรณะฟันคอมโพสิต

พอลิเมทิลเมทาคริเลต

พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl - methacrylate , PMMA) หรือเรียกอีกอย่างว่า อะคริลิกเรซิน เป็นอนุพันธ์ของเอทิลีน และมีกลุ่มไวนิลอยู่ในสูตรโครงสร้าง ที่เขียนได้ดังนี้



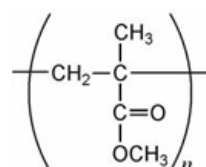
ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นปฏิกิริยาแบบรวมตัวหรือแบบสายโซ่ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ

1. ขั้นเริ่มต้น (Initiation) เป็นขั้นตอนที่มีการกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระ (free radical) โดยตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา คือ ออกแกนิกเปอร์ออกไซด์ ถูกกระตุ้นด้วยความร้อนหรือหมู่เอมีน (ตัวกระตุ้นที่ใช้ในการแยกอนุมูลอิสระมีมากมายขึ้นกับระบบที่เกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ความร้อน รังสี สารเคมี แสง และปฏิกิริยารีดอกซ์) เกิดอนุมูลอิสระซึ่งจะไปกระตุ้นโมเลกุลของมอนอเมอร์ในระบบเกิดเป็นแอกติเวตมอนอเมอร์

2. ขั้นแผ่ขยายห่วงโซ่ (Propagation) เป็นขั้นตอนที่เกิดการรวมตัวของแอกติเวตมอนอเมอร์กับมอนอเมอร์ที่เหลือในระบบจำนวนมากตัวอื่น ๆ เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระติดอยู่ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดได้รวดเร็วมาก

3. ขั้นสิ้นสุดปฏิกิริยา (Termination) เกิดการรวมตัวของพอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ 2 กลุ่ม หรือ พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระกับ อนุมูลอิสระอื่นที่หลงเหลืออยู่ ทำให้ไม่เหลืออนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยาต่อไป

โดยสูตรโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลตเขียนได้ดังรูปที่ 1 นี้



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลต [11]

พอลิเมทิลเมทาคริเลต เป็นเรซินแข็ง เหนียว และโปร่งใส มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง มีความแข็งแรงสูงสุดในวัสดุกลุ่มเดียวกัน สามารถทำให้อ่อนตัวได้ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส จึงเหมาะแก่การอัดขึ้นรูปด้วยแก้วเป็นเทอร์โมพลาสติก แต่เกิดดีพอลิเมอไรเซชันได้ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ เช่น คลอโรฟอร์ม (chloroform) และ อะซิโตน (acetone) นอกจากนี้พอลิเมทิลเมทาคริเลตยังมีการดูดซึมน้ำโดยกระบวนการอมน้ำ (imbibitions) ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นได้ 0.5% ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังแช่นานาน 1 อาทิตย์ แต่กระบวนการนี้สามารถผันกลับได้ [6, 9, 10, 12]

วัสดุผลิตฐานพื้นเทียม

วัสดุผลิตฐานพื้นเทียมส่วนใหญ่เป็นพอลิเมทิลเมทคริเลตที่บ่มตัวด้วยความร้อน (heat-cured or heat-activated polymethyl - methacrylate) ในปัจจุบันผลิตออกมาในรูปส่วนผสมผงและเหลว ที่มีส่วนผสมคือ

ส่วนผสม ประกอบด้วย

1. เม็ดพอลิเมอร์ ที่มีลักษณะใส หรือมีสี โดยในระยะแรกเริ่มจะใช้วิธีบดก้อนพอลิเมทิลเมทคริเลตให้ละเอียด แต่ในระยะต่อมาพบว่าการผลิตเม็ดพอลิเมอร์ให้มีรูปร่างเป็นเม็ดทรงกลมทำให้เกิดก้อนโตที่เนียนและคงที่กว่า ผงพอลิเมอร์ที่ใช้ในปัจจุบันจึงมีลักษณะเป็นเม็ดกลม

2. ตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา มักใช้เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ โดยผสมกับผงร้อยละ 0.2-0.5 โดยน้ำหนัก

3. สารทำให้อ่อนนุ่ม (plasticizer) ช่วยในการก่อตัวเป็นก้อนโต ในอดีตมักใช้สารอินทรีย์ไม่เป็นพิษ ไม่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น dibutylphthalate โดยเป็นสารแทรกที่อยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ในปัจจุบันนิยมใช้สารที่เกิดพันธะเคมีได้กับพอลิเมอร์ทำให้เม็ดพอลิเมอร์อ่อนตัวลงและมอนอเมอร์ซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว เช่น กลุ่มเมทาคริเลต หรือ อะคริลิกมอนอเมอร์ต่างๆ

4. อื่นๆ เช่น สีที่เคลือบผิวเม็ดพอลิเมอร์ สารทึบแสง และ วัสดุอัดแทรกต่างๆ

ส่วนผสม ประกอบด้วย

1. เมทิลเมทาคริเลตมอนอเมอร์ เป็นของเหลวไม่มีสี ใส มีกลิ่น ระเหยง่าย
2. ไฮโดรควิโนน ทำหน้าที่เป็นตัวคงสภาพ (stabilizer) เพื่อป้องกันการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันขึ้นเองในระหว่างเก็บรักษา ร่วมกับการลดการสัมผัสกับแสงโดยบรรจุในขวดสีชา
3. สารเชื่อมขวาง เช่น เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต เพื่อช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงกันของสายโซ่พอลิเมอร์

วัสดุผลิตซี่ฟันเทียม

ข้อกำหนดสมบัติของฟันเทียมที่สังเคราะห์ขึ้นตามข้อกำหนด ANSI/ADA No.15 (มาตรฐาน ISO 22112) นั้นอธิบายสมบัติที่ต้องการของฟันเทียมดังนี้ [12]

1. มีขนาดเหมาะสมโดยมีขนาดที่แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 5 ตามที่ผู้ผลิตกำหนด
2. สีและความกลมกลื่นของฟันหน้าและฟันหลัง และสอดคล้องกับตัวอย่างเทียบสีฟันที่ผู้ผลิตกำหนด
3. ไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ
4. มีการขัดแต่งผิวที่ดีจากการผลิตและไม่ติดสี
5. สามารถขัดแต่งได้และทำให้ผิวมีลักษณะเดียวหรือใกล้เคียงกับผิวเริ่มต้น
6. สามารถยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดี
7. มีความคงทนของสี
8. มีความคงทนต่อการบิดตัว การเกิดริ้วรอย และการกัดกร่อน
9. มีความคงตัวของรูปร่าง

ซี่ฟันเทียมที่ใช้แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ 2 กลุ่มคือ ซี่ฟันเทียมอะคริลิกเรซิน และซี่ฟันเทียมพอร์ซเลน โดยมีข้อต่างกันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติของซี่ฟันเทียมพอร์ซเลนและซี่ฟันเทียมอะคริลิกเรซิน

ซี่ฟันเทียมพอร์ซเลน	ซี่ฟันเทียมอะคริลิกเรซิน
แตกหักได้ง่าย เปราะ	ต้านทานการแตกหักได้มีความยืดหยุ่นตัว
ไม่ยึดติดกับฐานฟันเทียมต้องมีการเจาะรูเพิ่มทางกล	ยึดติดกับฐานฟันเทียมได้
ขัดแต่งได้ยาก	ขัดแต่งได้ง่าย
มีเสียงกระทบกันเวลาใช้งาน	ไม่มีเสียงกระทบกันเวลาพูด
มีความแข็ง ต้านทานสึกกร่อนได้ดี	สึกกร่อนได้จากแรงบดเคี้ยว
สีสวยงาม เป็นธรรมชาติ	ดูคน้ำและกลืน
ไม่ดูคน้ำ	น้ำหนักเบา
น้ำหนักมาก	มักเกิดการแตกรานถ้าไม่มีสารเชื่อมขวาง
ไม่มีการเปลี่ยนรูปร่างจากแรงบดเคี้ยวหรืออุณหภูมิ	เปลี่ยนรูปร่างจากอุณหภูมิได้

ซีฟันเทียมอะคริลิกยังสามารถแบ่งเป็น ซีฟันเทียมอะคริลิกชนิดดั้งเดิม ซีฟันเทียมที่มีสารเชื่อมขวางหรือซีฟันเทียมที่มีโครงข่าย IPN และซีฟันเทียมคอมโพสิต

1. ซีฟันเทียมอะคริลิกชนิดดั้งเดิม วัสดุที่ใช้ผลิตเป็นพอลิเมอร์อะคริลิกชนิดเส้น จึงมีสมบัติ ความแข็งแรงต่ำ ความแข็งผิวต่ำ เช่น Majordent (Major Prodotti Dentari, Italy) Trubyte Biotone (Dentsply)[13] ยามาฮาชิเอฟเอ็กซ์ (Yamahashi FX)[14]

2. ซีฟันเทียมที่มีสารเชื่อมขวาง (cross-linked acrylic resin teeth) เป็นการปรับปรุงโครงสร้างของพอลิเมอร์ด้วยการรวมสายของพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกัน (Double Cross-linking ;DCL) หรือสอดแทรกสายของพอลิเมอร์เข้าด้วยกัน (Interpenetrating Polymer Network; IPN) ทำให้เกิดโครงสร้างซับซ้อนและแข็งแรงขึ้น สารเชื่อมขวางมักเป็นกลุ่มโคพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลต และไดเมทาคริเลต เช่น เอทิลีนไกลคอลลไดเมทาคริเลต (EGDMA) หรือ ไตรเอทิลีนไกลคอลลไดเมทาคริเลต(TEDGMA) ซีฟันเทียมที่เป็น DCL เช่น SR-Postaris (Ivoclar/ Vivadent) และที่เป็น IPN เช่น Trubyte IPN(Dentsply) Genios-P (Dentsply) Creapearl (Klema Dental) Vitapan Physiiodens (Vita/Viden)[15]

3. ซีฟันเทียมคอมโพสิต พัฒนารูปร่างมาจากซีฟันอะคริลิกโดยการเติมวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ขนาดเล็ก (Inorganic microfiller) และเติมพอลิเมอร์ที่เป็นสารเชื่อมขวางและเพิ่มความเหนียวมากขึ้นเข้าไปในพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยการผลิตซีฟันเทียมคอมโพสิตนี้จะผลิตออกมาเป็นชั้น ๆ เพื่อความสะดวกและทนทาน ด้านบดเคี้ยวและริมฝีปากจะเป็นคอมโพสิต ส่วนด้านที่ติดกับฐานฟันเทียมยังคงเป็นอะคริลิกเรซินดั้งเดิมเพื่อให้ยึดอยู่กับฐานฟันเทียม ซีฟันเทียมที่เป็น micro-filled composite เช่น Endura (Shofu) SR-Orthosit(Ivoclar/ Vivadent) Duradent(GC) และ Surpass(GC) ส่วนซีฟันเทียมที่เป็น Nanocomposite เช่น Veracia(Shofu) SR-Orthosit-PE (Ivoclar/ Vivadent) YamahashiPX (Yamahashi Dental)[15, 16]

วัสดุอัดแทรก (Filler)

เนื่องจากการนำพอลิเมอร์เพียงอย่างเดียวไปใช้งานตามต้องการได้เลยนั้นทำได้น้อย จำเป็นต้องมีการใส่สารอื่นในอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมเพื่อเสริมให้พอลิเมอร์มีสมบัติดีขึ้น โดยทั่วไปแล้วสารเติมแต่งที่ใส่ในพอลิเมอร์ควรมีสมบัติดังนี้ [17]

1. มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงสมบัติ
2. เสถียรทั้งในภาวะการขึ้นรูปและการใช้งาน
3. ไม่เป็นพิษ ไม่เกิดการคายสี หรือฝ้าที่ไม่ต้องการ

4. มีราคาไม่แพง
5. ไม่ทำให้สมบัติพอลิเมอร์เสียไป

วัสดุอัดแทรก (fillers) เป็นสารเติมแต่งทางกลชนิดหนึ่ง ส่วนมากใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต และปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น โดยทั่วไปมักใช้กลุ่มอนินทรีย์มากกว่าอินทรีย์ วัสดุอัดแทรกสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลได้หลากหลายแบบ เช่น เพิ่มความแข็งแรง เพิ่มความต้านทานการสึก เพิ่มค่ากำลังดัดขวาง ความแข็งตึง การคืบ กำลังอัด กำลังดึง ลดการขยายของพอลิเมอร์จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ลดการหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงมิติ เพิ่มความสามารถในการทนความร้อน ปรับปรุงการนำไฟฟ้า หรือฉนวนความร้อน เปลี่ยนแปลงสมบัติที่มองเห็นได้เช่น ความทึบแสง สี ความหยาบละเอียด เป็นต้น[17]

วัสดุอัดแทรกแต่ละชนิดมีคุณภาพต่าง ๆ กัน และมีขนาดอนุภาคที่ไม่เท่ากัน ซึ่งวัสดุอัดแทรกที่สามารถใช้งานในด้านการปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้นั้นจะต้องมีอนุภาคที่ละเอียดมาก คือมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร ยิ่งวัสดุอัดแทรกมีอนุภาคที่ละเอียดก็ยิ่งทำให้พลาสติกมีความแข็งแรงสูงขึ้น[5] อย่างไรก็ตามการใส่ในปริมาณมากจะทำให้ความหนืดของระบบมากขึ้นไป ทำให้ผสมและขึ้นรูปทำได้ยาก และทำให้พอลิเมอร์มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นวัสดุอัดแทรก ที่มีน้ำหนักเบาจึงมีความน่าสนใจ นอกจากนี้การกระจายของอนุภาควัสดุอัดแทรกก็มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ โดยการใส่วัสดุอัดแทรกที่สามารถกระจายขนาดอนุภาคที่กว้างจะทำให้มีสมบัติดีกว่าวัสดุอัดแทรกที่กระจายอนุภาคได้แคบ และการเพิ่มการยึดติดของวัสดุอัดแทรกด้วยสารคู่ควบไซเลนจะทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าพอลิเมอร์ก่อนผสมวัสดุอัดแทรกหรือพอลิเมอร์ที่ผสมวัสดุอัดแทรกที่ไม่ได้ใช้สารคู่ควบไซเลน ในงานวิจัยนี้ได้นำวัสดุอัดแทรกแก้วซิลิกา ที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันสองชนิด มาศึกษาเพิ่มเติม

สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent)

เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีซิลิกอน (Si) เป็นส่วนประกอบ ใช้เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างสารอินทรีย์และอนินทรีย์เข้าด้วยกัน เช่น พอลิเมอร์กับวัสดุอัดแทรกหรือเส้นใยเสริมแรง มีสูตรโครงสร้างทั่วไปคือ $X-Si(OR)_3$ โดย X จะเป็นหมู่ทำงานอินทรีย์ (organic functional group) ที่จะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในระบบ เช่น อะคริลิเกรซิน ตัวอย่างหมู่ X คือ กลุ่ม อัลคิล (alkyl: $-CH_2CH=CH_2$) ไวนิล (vinyl: $-CH=CH_2$) อีพอกซี (epoxy) อะมิโน (amino: $-NH_2$) เมอแคปโท (mercapto) หรือ เมทาคริล (methacryl) ส่วนหมู่ OR จะเป็นหมู่ที่สามารถเกิดการไฮโดรไลซิสได้ เช่น หมู่เมทอกซี (methoxy : $-O-CH_3$) และ เอทอกซี (ethoxy : $-O-CH_2-CH_3$) จะเป็นตัวทำ

ปฏิกิริยาเกิดพันธโควาเลนต์กับออกซิเจนอะตอมของซิลิกา นอกจากนี้ยังทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของไซเลนด้วยกันได้ด้วย[18, 19]

ปฏิกิริยาเคมีของสารคู่ควบไซเลน[19]

ระยะเริ่มต้น จะเกิดการไฮโดรไลซ์ของไซเลนเพื่อเป็นการกระตุ้น โดยหมู่ -OR จะทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นอนุพันธ์ของกรดไซลานอลและได้แอลกอฮอล์อิสระเป็นผลข้างเคียง

ระยะที่สอง จะเกิดการควบแน่นในโมเลกุลของสารไซเลนกันเอง เกิดเป็นไดเมอร์ โดยการเกิดปฏิกิริยานี้จะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีการทำปฏิกิริยากับสารอนินทรีย์เช่นซิลิกา เกิดเป็นพันธะไซลอกเซน (-Si-O-Si-) ที่แข็งแรงกับผิวซิลิกา

สารคู่ควบไซเลนที่นิยมใช้ในทางทันตกรรม คือ γ -methacryloxy-propyltrimethoxy silane หรือย่อว่า γ -MPS เป็นสารไซเลนที่นิยมใช้กับกลุ่มอะคริลิกเรซิน เนื่องจากวัสดุอุดแทรกส่วนมากในคอมโพสิตคือกลุ่มเส้นใยแก้ว หรือผงซิลิกา การปรับสภาพพื้นผิวของวัสดุอุดแทรกด้วยสารยึดคู่ควบไซเลนเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของวัสดุอุดแทรกกับเนื้ออะคริลิก และถ่ายทอดแรงจากอะคริลิกมาสู่วัสดุอุดแทรกที่แข็งแรงกว่า

วิธีทดสอบกำลังตัดขวาง

ตามมาตรฐานนานาชาติหมายเลข 20795-1 สำหรับวัสดุฐานฟันเทียมพอลิเมอร์ทางทันตกรรม (ISO 20795-1 : 2008) [20] และข้อกำหนดหมายเลข 12 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (ANSI/ADA specification No.12) [21] ได้กำหนดให้วัสดุพอลิเมอร์ชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนชนิดที่หนึ่งซึ่งอยู่ในรูปผงและน้ำก่อนใช้งาน

การเตรียมชิ้นทดสอบทำโดยเตรียมชิ้นอะคริลิกทดสอบอย่างน้อย 6 ชิ้นในรูปแผ่นและนำมาตัดด้วยเครื่องตัดโดยต้องมือน้ำหล่อเย็นไว้ และไม่ทำให้อุณหภูมิขณะตัดสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส การขัดทำด้วยกระดาษทรายน้ำที่มีขนาดผงขัดไม่เกิน 30 ไมโครเมตร (500FEPA) และตามด้วย 14 ไมโครเมตร (1200FEPA) วัดความหนาด้วยเครื่องไมโครมิเตอร์ หรือ คาลิปเปอร์ ที่ความแม่นยำ 0.1 มม. และการเบี่ยงเบนระหว่างชิ้นงานตามยาวไม่ควรเกิน 0.02 มม. แล้วเก็บรักษาชิ้นทดสอบในน้ำกลั่นที่ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ก่อนทดสอบ 50 ± 2 ชั่วโมง

การทดสอบใช้เครื่องกดที่มีความเร็วการเคลื่อนหัวกด 5 ± 1 มม.ต่อนาที โดยแทนวางชิ้นทดสอบมีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอกเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. และมีความยาว 10.5 มม. มีระยะห่างระหว่างแท่งทั้งสองเท่ากับ 50 ± 0.1 มม.

ลักษณะชิ้นทดสอบมีขนาดเป็นแท่งแบนยาวเท่าๆกัน ขนาด ยาว 64 มม. กว้าง 10 ± 2 มม. และหนา 3.3 ± 2 มม. ทำการทดสอบในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส กัดจนชิ้นงานแตกหักออกจากกัน คำนวณตามสูตรเพื่อหาค่ากำลังตัดขวาง

$$\delta = \frac{3fL}{2bd^2}$$

δ = Flexural strength , f= fracture force ,

L= ระยะห่างระหว่างแท่งรองรับ

b = ความกว้างชิ้นตัวอย่าง d = ความหนาชิ้นตัวอย่าง

โดยวัสดุที่ผ่านมาตรฐานต้องมีชิ้นทดสอบ 4 ใน 5 ชิ้นที่มีค่ากำลังตัดขวางมากกว่า 65 MPa และถ้า 3 ใน 5 ชิ้นงานมีค่ากำลังตัดขวางน้อยกว่า 65 MPa ถือว่าไม่ผ่านมาตรฐาน และหากพบว่า 2 ใน 5 ชิ้นงานมีค่ากำลังตัดขวางน้อยกว่า 60 MPa ให้เตรียมชิ้นทดสอบใหม่และหากพบว่า 5 ชิ้นงานมีค่ากำลังตัดขวางไม่น้อยกว่า 65 MPa จึงผ่านตามมาตรฐาน

วิธีทดสอบความต้านทานการสึก

การทดสอบความต้านทานการสึกของวัสดุทางทันตกรรมด้วยการแปรตามมาตรฐานนานาชาติหมายเลข 14569 -1 (ISO/TS 14569 -1: 1999) เป็นการทดสอบสำหรับวัสดุกลุ่มฟันเทียม วัสดุบูรณะฟันเคลือบกระเบื้อง สะพานฟัน โดยการเตรียมชิ้นทดสอบอย่างน้อย 6 ชิ้น ให้มีขนาด 5×8 มม.² และแต่ละชิ้นมีขนาดไม่ต่างกันมากกว่า 0.2 มม. ขัดผิวหน้าตัดด้วยกระดาษทรายน้ำขนาด 1000 ให้เรียบมัน วางให้ผิวหน้าทดสอบสูงขึ้นจากฐานยึดแม่แบบ 2-3 มม. ทำความสะอาดชิ้นทดสอบก่อนด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเก็บรักษาชิ้นงานในน้ำปราศจากอ็อกซิเจน อย่างน้อย 7 วันก่อนทดสอบ (ในกรณีที่ต้องการหาความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ) ซึ่งมวลก่อนทดสอบโดยนำทำความสะอาดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง ชุบด้วยกระดาษให้แห้งแล้วแขวนในอากาศ 15 วินาทีแล้วชั่งน้ำหนักที่ความแม่นยำ 0.1 mg (M_1) จากนั้นนำมาทดสอบการแปรด้วยเครื่องแปรระบบดิจิตอล (V-8 cross brushing machine) ทดสอบความตึงขนแปรให้ตั้งฉากกับผิวทดสอบ

ใช้แปรในลอนที่มีขนแปร 4 แถวและได้มาตรฐานตาม ISO 11609 (1995) ทำการทดสอบการแปรที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส โดยมีแรงกดขนแปรระหว่าง 0.5-2.5 นิวตัน วัดวิเคราะห์ความแม่นยำที่ ± 0.1 mg ทดสอบในน้ำแขวนลอยของยาสีฟัน ด้วยอัตราส่วนยาสี

พืชน้ำ 1 กรัมต่อน้ำปราศจากอิออน 2 กรัม แต่ครั้งที่ทดสอบควรมีก้อนตัวอย่างและกลุ่มอ้างอิงอยู่ด้วยกัน หลังจากทดสอบล้างทำความสะอาดขึ้นทดสอบด้วยวิธีเช่นเดียวกับก่อนทดสอบแล้วชั่งน้ำหนักหามวลการสึกโดยคำนวณความแตกต่างของมวลก่อนและหลังทดสอบโดยใช้สูตร

$$(\Delta M) = \text{มวลก่อนแปรง } (M_1) - \text{มวลหลังแปรง } (M_2)$$

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรดอะคริลิกที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี 1843 คือ เมทาลิกเอซิด ที่เปลี่ยนรูปมาจาก อะคริลิกเอซิดที่ค้นพบในปี 1865 ปฏิกริยาระหว่างเมทาลิกเอซิดและเมทานอลทำให้เกิดกลุ่มเอสเทอร์ คือเมทิลเมทาคริเลต ต่อมาในปี 1877 นักวิทยาศาสตร์เคมีชาวเยอรมัน Fittig และ Paul ค้นพบกระบวนการพอลิเมอไรส์เซชันที่เปลี่ยนเมทิลเมทาคริเลตเป็น พอลิเมทิลเมทาคริเลต [22]

อะคริลิกเรซินถูกใช้อย่างแพร่หลายในทางทันตกรรมตั้งแต่ปี 1937 และปัจจุบันยังไม่มีวัสดุกลุ่มอื่นมาทดแทนได้ [23, 24] ค่าความแข็งแรงของพอลิเมทิลเมทาคริเลตยังขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอไรต์ด้วยโดยค่าความแข็งแรงจะเริ่มคงที่เมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมทิลเมทาคริเลตตั้งแต่ 60,000 ขึ้นไป[25]

ในปี 1978 Harrison และคณะ[26] ศึกษา การเติมสารเชื่อมขวางชนิดเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตลงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตพบว่า สามารถเพิ่มสมบัติทั้งในการต้านทานการสึกและกำลังแรงอัดได้ เช่นเดียวกับ Phillips ในปี 1991[6] พบว่า มีผลของสารเชื่อมขวางต่อค่ากำลังดัดขวางของวัสดุเรซิน คือ สามารถเพิ่มความแข็งแรง ลดการดูดซึมน้ำและการละลายน้ำ โดยผลของสารเชื่อมขวางจะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของสารนั้น และแตกต่างตามส่วนประกอบและความเข้มข้นของสารและในระบบพอลิเมอไรต์ แต่อย่างไรก็ตาม การที่มีสารเชื่อมขวางมากเกินไปจะทำให้ความเหนียวของพอลิเมอไรต์ลดลง

ความต้านทานการสึกเป็นสมบัติสำคัญในการบูรณะฟันฟูและคงสภาพการสบฟัน ถ้ามีการสูญเสียมิติแนวตั้งจากการสึกที่เร็วเกินไป เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ของขากรรไกร ทำให้การใช้งานและกระจายแรงในฟันหลังไม่ดีเพียงพอ และทำให้อายุการใช้งานฟันเทียมสั้น[27]

การศึกษาเพื่อปรับปรุงพอลิเมอไรต์ด้วยวัสดุอัดแทรกมีมาอย่างต่อเนื่อง ในปี 1963 Bowen[28] ได้ศึกษาการเติมผงซิลิกาที่ปรับสภาพด้วยไวนิลไซเลน ลงในพอลิเมทิลเมทาคริเลตทางทันตกรรม พบว่า สมบัติของพอลิเมอไรต์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับสมบัติของเนื้อเยื่อแข็งในฟัน

ธรรมชาติมากกว่าพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ไม่ได้เติมวัสดุอัดแทรกซิติกา โดยมีค่ากำลังแรงกด ค่าต้านทานการสึกและมอดูลัสของยังสูงขึ้น การละลายน้ำลดลง

ต่อมาในปี 1985 Li และคณะ[29] ได้ทดสอบผลการเติมวัสดุอัดแทรกชนิดแก้วแบบเรียบโบโรซิติเกตที่ปรับสภาพผิวแล้วด้วยไซเลนที่มีขนาดอนุภาค 2 และ 15 ไมโครเมตร ในปริมาณต่าง ๆ กันพบว่า การเติมวัสดุอัดแทรกมีผลให้พอลิฟีนิล พอลิเมทิลเมทาคริเลต แข็งแรงขึ้น โดยเพิ่มความแข็งดึง ลดการดูดน้ำ และเพิ่มกำลังแรงอัด โดยวัสดุอัดแทรกขนาดอนุภาค 15 ไมโครเมตรมีค่าความต้านทานการสึกจากการแปรงฟันสูงกว่า และการเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกมีผลให้วัสดุมีการสึกลดลงด้วย เช่นเดียวกันกับ Germain และคณะในปี 1985[30] ได้ทดสอบการเติมซิติกาขนาด 20 และ 40 นาโนเมตรในวัสดุบูรณะฟันชนิดไมโครฟิลล์คอมโพสิต ด้วยปริมาณต่างๆ พบว่าสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลได้ เพิ่มความเสถียรของสี และเพิ่มความต้านทานการสึก

ค่ากำลังดัดขวางของวัสดุขึ้นกับชนิดของสารเชื่อมขวาง น้ำหนักโมเลกุล ปริมาณมอนอเมอร์ที่เหลืออยู่ในวัสดุ สัดส่วนมอนอเมอร์ต่อพอลิเมอร์[31] ความเป็นรูปนูนของวัสดุ [32] กระบวนการแข็งตัวของพอลิเมอร์ และการดูดซึมน้ำ[33]

การศึกษาผลของปริมาณและรูปร่างของวัสดุอัดแทรกต่อสมบัติทางกลของคอมโพสิตชนิดดั้งเดิมในปี 2002 ของ Kim, Ong และ Okuno พบว่า คอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกชนิดพรีพอลิเมอร์ไรซ์ (prepolymerized) มีปริมาณที่ผสมได้น้อยที่สุดและมีค่ากำลังดัดขวางต่ำสุด ส่วนคอมโพสิตที่มีวัสดุอัดแทรกรูปร่างกลมสามารถใส่ปริมาณผสมได้มากที่สุด รวมถึงมีค่ากำลังดัดขวางและความแข็งผิวสูงสุด อย่างไรก็ตามพบว่าการใส่ปริมาณวัสดุอัดแทรกได้มากไม่มีความสัมพันธ์กับค่าพลังงานแตกหักของวัสดุ[34]

วัสดุอัดแทรกชนิดนาโนได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทางการค้าในวัสดุคอมโพสิต ซึ่งสมบัติทางกลของคอมโพสิตขึ้นกับปริมาณของวัสดุอัดแทรกเป็นสำคัญ โดยทั่วไปวัสดุอัดแทรกนาโนทำให้เพิ่มความเหนียว เพิ่มขีดจำกัดความยืดหยุ่น มีความต้านทานการแตกหักดีขึ้น และทำให้ผิวของลักษณะการสึกดีขึ้น[35] การใช้วัสดุอัดแทรกขนาดนาโนปริมาณเพียงเล็กน้อยสามารถเพิ่มสมบัติทางกลและทางอุณหภูมิต่างกันได้เทียบเท่ากับการใส่วัสดุอัดแทรกขนาดไมโครเมตรร้อยละ 30-50[36] การศึกษาเกี่ยวกับพอลิเมอร์นาโนคอมโพสิตให้ความสำคัญกับการศึกษาปริมาณวัสดุอัดแทรกที่ใส่โดยไม่มีผลต่อกระบวนการแข็งตัวและสมบัติทางกลที่ต้องการของพอลิเมอร์ และไม่ทำให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปมาก มีรายงานพบว่าการใส่วัสดุอัดแทรกนาโนคอมโพ

ลิตสามารถเพิ่มความต้านทานการสึกได้ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต การปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ด้วยวัสดุอัดแทรกชนิดนาโนสามารถทำได้โดยการใช้ปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 1-5 เท่านั้น สามารถเพิ่มความทนการแตกหัก เพิ่มมอดุลัสของยัง เพิ่มการทนแรงกระแทก และมีการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดี ในปี 2004 พบว่าความแข็งผิวและความต้านทานการสึกในพื้นเทียมชนิดนาโนคอมโพสิต มีค่าสูงกว่าพื้นอะคริลิกชนิดดั้งเดิมมาก ทำได้โดยการเติมวัสดุอัดแทรกขนาดเล็ก และการเชื่อมติดที่ดีต่อโพลิเมอร์เมทริกซ์

เป็นเวลากว่า 70 ปีที่หลักการทางเคมีของสารควบไซเลนเป็นส่วนหนึ่งของเรื่องทางเคมีของพอลิเมอร์ สารควบไซเลนเป็นสารประสานที่นิยมใช้มากที่สุดกับพอลิเมอร์ที่เสริมแรงด้วยใยแก้ว[17] โดยระบบนี้ใช้ได้กับสารกลุ่ม Si-O เท่านั้น และเนื่องจากวัสดุอัดแทรกที่ใช้มากมาในทางทันตกรรมคือ กลุ่มซิลิกา สารควบไซเลนจึงได้รับความนิยมอย่างมาก โดยการเชื่อมต่อของพันธะเคมีระหว่างส่วนเมทริกซ์กับส่วนวัสดุอัดแทรก ทำให้เกิดพื้นผิวที่มีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดแรง และเบี่ยงเบนรอยแตกไปสู่ส่วนของวัสดุอัดแทรกที่แข็งแรงกว่าได้[37] ในปี 2004 Takahashi และคณะได้ศึกษาผลของปริมาณสารควบไซเลนต่อสมบัติทางกลของคอมโพสิตเรซิน พบว่า การใส่ปริมาณสารควบไซเลนเพียงเล็กน้อย (0.17% โดยมวล) สามารถเพิ่มสมบัติด้านกำลังดัดขวางให้กับคอมโพสิตเรซินได้[38] การนำไซเลนมาใช้ทางทันตกรรมเป็นไปอย่างกว้างขวางทั้งในการช่วยการยึดติดกับเซรามิกหรือโลหะ และการซ่อมแซมฟันพอร์ซเลน การยึดติดกับวัสดุบูรณะฟัน หรือการเติมสารควบไซเลนลงในส่วนเหลวของวัสดุทำฐานฟันเทียมชนิดแข็งตัวด้วยความร้อน เพื่อให้ฐานฟันเทียมนั้นสามารถยึดอยู่กับซี่ฟันเทียมที่เป็นพอร์ซเลนหรือโลหะโคบอลต์-โครเมียมได้ จากการศึกษาพบว่าการเติมสารควบไซเลนที่ปริมาณ 0-6% โดยมวลลงในมอนอเมอร์เมทาคริเลตไม่ทำให้สมบัติด้านกำลังดัดขวางของวัสดุทำฐานฟันเทียมเปลี่ยนแปลง[39]

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร

1. กลุ่มควบคุมอะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อน
2. กลุ่มทดลองอะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อน ที่ดัดแปลง โดยเติมวัสดุอัดแทรก
3. กลุ่มที่พื้นเทียบอะคริลิกเรซินสำเร็จรูปทางการค้าที่มีจำหน่ายในประเทศไทย จำนวน 4 ผลิตภัณฑ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

1. อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อน ที่ใช้ในทางทันตกรรม (Rodex, Rodont S.r.l., Milan, Italy)
2. วัสดุอัดแทรกชนิดไมโครและชนิดนาโน ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครและชนิดนาโน

รายละเอียด	วัสดุอัดแทรกไมโครซิลิกา	วัสดุอัดแทรกนาโนซิลิกา
ชื่อการค้า	Silanated barium borosilicate glass 0.7 μm , Esstech inc.,USA (BBAS glass)	Silica nanopowder 10-20nm, Sigma-Aldrich, USA (Nanosilicate glass)
ส่วนประกอบ	ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide) 50% , แบเรียมออกไซด์ (Barium Oxide) 33% , โบรอนออกไซด์ (Boron oxide) 9%	ซิลิกอนไดออกไซด์ 99.5% trace metals basis
ลักษณะทางกายภาพ	ผงละเอียดสีขาวขุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ, reflective index 1.553 ความหนาแน่น 3.049 กรัมต่อมิลลิเมตร	ผงสีขาวขุ่น น้ำหนักโมเลกุล 60.08 กรัมต่อโมล มีพื้นที่ผิว 140-180 ตารางเมตรต่อกรัม, ความหนาแน่น 2.2-2.6 กรัมต่อมิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ
ขนาด median particle	0.75 ไมโครเมตร	10-20 นาโนเมตร
การปรับสภาพผิว	จากบริษัทผู้ผลิต โดยวิธี TGA มีปริมาณไฮดรอกซิลอยู่ ร้อยละ 1	ยังไม่ได้ผ่านการปรับผิวด้วยสารควบแน่นไฮดรอกซิล

3. สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) (γ -methacryloxy-propyltrimethoxysilane : γ -MPS ,KBM 503 Shin-Etsu Chemical ,Tokyo ,Japan) มีน้ำหนักโมเลกุล 248.4 กรัมต่อโมล มีความถ่วงจำเพาะ 1.04 กรัมต่อมิลลิลิตรที่ 25 องศาเซลเซียส ความสามารถปกคลุมพื้นผิว (minimum covering area) 314 ตารางเมตรต่อกรัม
4. ซีฟฟันเทียมอะคริลิกชนิดไร้ปุ่ม 4 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ซีฟฟันอะคริลิกสำเร็จรูปที่ใช้ในการทดสอบ

รายละเอียด	เมเจอร์เด็นท์ (Majordent)	ออร์โธลักซ์ท็อป (Ortolux Top)	ยามาฮาชิเอฟเอ็กซ์ (Yamashashi FX)	คอสโมเอชเอ็กซ์เอล (Cosmo HXL)
ชนิด	อะคริลิกชนิดดั้งเดิม	อะคริลิกชนิดเชื่อมไขว้[40]	อะคริลิกชนิดดั้งเดิม	อะคริลิกชนิดเชื่อมไขว้[41]
ขนาด	M78	33M	M34	95Y
สี	4F	A3	A3	A3



ก. เมเจอร์เด็นท์ (Majordent)



ข. ออร์โธลักซ์ท็อป (Ortolux Top)



ค. ยามาฮาชิเอฟเอ็กซ์ (Yamashashi FX)



ง. คอสโมเอชเอ็กซ์เอล (Cosmo HXL)

รูปที่ 2 แสดงซีฟฟันเทียมอะคริลิกทางการค้า 4 ยี่ห้อ

5. อะคริลิกเรซินสีชมพูชนิดบ่มเอง (Unifast Trad ,Pink, GC Corp.Tokyo,Japan) ซึ่งส่วน ผงประกอบด้วย Methyl methacrylate และ Ethyl methacrylate copolymer และส่วน เหลวประกอบด้วย Methyl methacrylate และ N,N dimethyl-p-toluidine
6. พลาสติกออร์หิน (stone plaster)
7. แปรงฟันชนิดขนแปรงไนลอน 4 แถวหน้าตัดเรียบที่ได้มาตรฐาน มอก.42 – 2525 (Premium , Accord ,Thailand)
8. ยาสีฟันคอลเกตสูตรมาตรฐาน (Colgate-Palmolive, Thailand)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Coolant Proof Digimatic Caliper - Series 500, Mitutoyo, Japan)
2. เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (Electronic Semi-micro-, Analytical and Precision Balance ,Sartorius รุ่น BP110s ,Germany)
3. ฟลลัสก์ทิงของเหลือ (Hanau flask ejector)
4. เครื่องกำจัดขี้ผึ้งด้วยน้ำร้อน (Labormat SD, Dreve, Germany)
5. แทนอัดพลาสติกไฮดรอลิก (Hydraulic flask press, รุ่น EWL 5414, Kavo, West Germany)
6. เครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน (Curing unit, รุ่น 5518, Kavo, West Germany)
7. เครื่องตัดฟัน (Low speed cutting machine, รุ่น Isomet 4000, Buehler, USA)
8. เครื่องขัดผิววัสดุ (Polishing machine, รุ่น Ecomet 250, Buehler, USA)
9. เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาค (Micro-hardness Tester, รุ่น FM-700e, TYPE D, Future-tech CORP, Tokyo, Japan, Vicker indenter No.33906 HV)
10. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียง (Digital Ultrasonic cleansing Unit, Elma ,Germany)
11. เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (Universal testing machine, Lloyd รุ่น LR 10K plus, UK) พร้อมอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิและแท่นทดสอบ
12. เครื่องวัดแรงตึง (Push pull gauge , Sundoo SH-10, China)
13. เครื่องแปรงฟันระบบดิจิตอล (V-8 Cross Brushing machine, SABRI Dental Express , Inc.,USA)

14. เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Surface roughness tester ,Talyscan 150,Germany)
พร้อมโปรแกรมวิเคราะห์ (Talyscan 150)
15. เครื่องกวนแบบแตกตัว (Dispension Mixer, Ultra Turrax รุ่น T25 basic, IKA
Labortechnik, Malaysia)



ก. วัสดุอัดแท่งชนิดนาโน



ข. วัสดุอัดแท่งชนิดไมโคร



ค. สารควบไซเลน



ง. อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อน



จ. อะคริลิกเรซินสีชมพูชนิดบ่มเอง

รูปที่ 3 แสดงสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนที่ 1 การทดสอบกำลังกัดขวาง

ตารางที่ 4 แสดงกลุ่มอะคริลิกที่ใช้ในการทดสอบค่ากำลังกัดขวาง

รายละเอียด	ตัวอย่าง
กลุ่มควบคุม	
1) อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อน	PMMA
กลุ่มทดลอง	
1) อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนดัดแปรด้วยไมโครซิลิกา	
1.1) ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก	5%BBAS
1.2) ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	10%BBAS
1.3) ปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก	15%BBAS
2) อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนดัดแปรด้วยนาโนซิลิกา	
2.1) ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1%Nano
2.2) ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	3%Nano

ส่วนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึก

ตารางที่ 5 แสดงกลุ่มอะคริลิกที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานการสึก

รายละเอียด	ตัวย่อ
กลุ่มควบคุม	
1) อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อน	PMMA
กลุ่มทดลอง	
1) อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนดัดแปรด้วยไมโครซิลิกา	
1.4) ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก	5%BBAS
1.5) ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก	10%BBAS
1.6) ปริมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก	15%BBAS
2) อะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนดัดแปรด้วยนาโนซิลิกา	
2.1) ปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก	1%Nano
2.2) ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก	3%Nano
กลุ่มซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูป	
1) Majordent	MD
2) Ortolux Top	OR
3) Yamahashi FX	YH
4) Cosmo HXL	CM

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

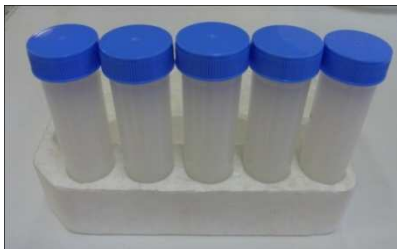
การปรับสภาพผิววัสดุอัดแทรกนาโนซิลิกา

การเตรียมพื้นผิวให้กับซิลิกาชนิดนาโนด้วยสารคู่ควบไฮโดรเจน กระทำตามกรรมวิธีที่บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำไว้ในคู่มือการใช้ ดังนี้

- คำนวณปริมาณสารคู่ควบไฮโดรเจนตามจำนวนปริมาณซิลิกาที่ใช้ในแต่ละครั้ง จากสูตร

$$\text{ปริมาณไฮโดรเจน(กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณวัสดุอัดแทรก(กรัม)} \times \text{พื้นที่ผิวของวัสดุอัดแทรก (เมตร}^2\text{/กรัม)}}{\text{พื้นที่ผิวดำสุดของไฮโดรเจนที่คลุมผิววัสดุอัดแทรก(เมตร}^2\text{/กรัม)}}$$
- เตรียมสารละลายกรดอะซิติก (Acetic acid solution) ที่มีค่า pH 4.2 จากนั้นค่อย ๆ หยดสารคู่ควบไฮโดรเจนตามปริมาณที่คำนวณไว้ด้วยหลอดหยดขนาดไมโคร (Transferpette 1000 ไมโครเมตร) ทีละหยดอย่างช้า ๆ ลงในบีกเกอร์สารละลายที่ตั้งไว้บนเครื่องคนสารแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ตั้งคนทิ้งไว้ 30-60 นาที จนสารละลายเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส

- นำซิลิกาชนิดนาโนใส่ในสารละลายไฮเลนโดยตั้งในเครื่องทำความสะอาดด้วยเสียง (Digital Ultrasonic cleansing Unit) ที่ความถี่ 40 กิโลเฮิรทซ์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วพักแช่ไว้ข้ามคืนดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงซิลิกาชนิดนาโนใส่ในสารละลายไฮเลน

- ทำการแยกซิลิกาออกจากสารละลายไฮเลนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Sigma Laboratory Centrifuges , 6K15 ,UK) ที่แรงหมุนเหวี่ยง (RCF) 3000 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แยกวัสดุอุ้ดแทรกใส่ปีกเกอร์ แล้วต้มล้างด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 15 นาที ที่ 100 องศาเซลเซียสแล้วจึงนำไปแยกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง
- เทซิลิกาที่แยกออกมาแล้วใส่ใน glass plate แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบความร้อน เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่ 110 องศาเซลเซียส
- นำซิลิกาที่อบแห้งแล้วมาบดด้วยโม่ให้ละเอียดแล้วนำไปกรองแยกขนาดอนุภาค (เครื่องแยกสารด้วยตะแกรง A200 digit , Retch, Germany) โดยกรองได้ขนาดเล็กที่สุดที่ 45 ไมโครเมตร เก็บไว้ในขวดปิดสนิทและแห้งเพื่อใช้งานต่อไป

ส่วนที่ 1 การทดสอบกำลังตัดขวาง

การทดสอบกำลังตัดขวาง ทำตามมาตรฐานของ ISO 20795-1(2008)[20] และ ADA specification No.12[21] ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับวัสดุฐานฟันเทียมพอลิเมอร์ทางทันตกรรมโดยเตรียมชิ้นทดสอบรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 10 ± 0.2 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตรและหนา 3.3 ± 0.2 มิลลิเมตรจำนวน 8 ชิ้นสำหรับแต่ละกลุ่ม

การเตรียมชิ้นทดสอบ

- เตรียมแม่แบบจากแผ่นสแตนเลสที่ขัดมันขนาด 61x64x5 มิลลิเมตรและทำส่วนยื่นขนาด 10x20 มิลลิเมตร ออกมาเพื่อเป็นที่ยึดกับเครื่องตัดชิ้นงาน โดยก่อนลงพลาสติกให้ทาสารคั่นกลางและยึดรอบด้วยซีเมนต์เพื่อให้แกะออกจากพลาสติกได้ง่าย ลงพลาสติกด้วยพลาสติกเตอร์หิน จากนั้นวางแผ่นสแตนเลสให้ขนานและห่างจากขอบพลาสติกส่วนล่างเท่า ๆ กัน ขัดและตัดแต่ง

พลาสติกหีนส่วนเกินดังรูปที่ 5(ก) แล้วลงพลาสติกส่วนบน เมื่อแข็งตัวดีแล้วนำไปฉีดล้างไล่ซีเมนต์ด้วยเครื่องต้มความร้อน ล้างน้ำให้สะอาดและทิ้งพลาสติกไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องดังรูปที่ 5(ข)



(ก) ตำแหน่งแผ่นสแตนเลสต้นแบบ

(ข) หลังแกะแผ่นสแตนเลสต้นแบบ

รูปที่ 5 แสดงการลงพลาสติกด้วยแผ่นสแตนเลสต้นแบบ

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณของส่วนผง ส่วนมอนอเมอร์ของอะคริลิกเรซินใสและวัสดุอัดแทรก

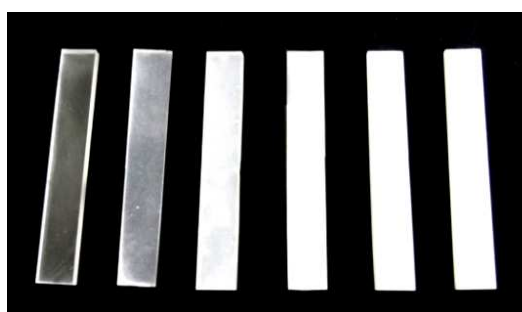
% Filler	PMMA (g)	Filler (g)	Monomer (ml)
PMMA	35	0	15
5%BBAS	33.25	1.75	15
10%BBAS	31.5	3.5	15
15%BBAS	29.75	5.25	15
1%Nano	34.65	0.35	15
3%Nano	33.95	1.05	15

2. เตรียมส่วนผงตามอัตราส่วนของบริษัทผู้ผลิต (ส่วนผง 35 กรัมต่อมอนอเมอร์ 15 มิลลิลิตร) และวัสดุอัดแทรกซิลิกาสำหรับแต่ละกลุ่มโดยคำนวณตามน้ำหนักดังตารางที่ 6 จากนั้นเทส่วนวัสดุอัดแทรกลงในมอนอเมอร์ ทำให้กระจายตัวด้วยเครื่อง vertex mixer และเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเพื่อให้วัสดุอัดแทรกกระจายในมอนอเมอร์ ทั้งหมด เทส่วนผงลงในมอนอเมอร์ ผสมเข้าด้วยกัน รอจนระยะโด (dough stage) ประมาณ 5-8 นาทีขึ้นกับกลุ่มทดลอง นวดด้วยมือบนกระดาษแก้วใส แล้วนำไปอัดในพลาสติกที่เตรียมไว้ด้วยแท่นอัดพลาสติกไฮดรอลิกด้วยวิธีลองอัด 2-3 ครั้ง (trial pack) ด้วยแรงอัด 20 MPa (200 Bar) นำชิ้นงานไปบ่มในเครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อนด้วยวิธีการบ่มระยะยาว ในน้ำอุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส ต่อเนื่องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องจึงแกะชิ้นงานออกจากพลาสติกตัดแต่งส่วนเกินจนได้ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 6



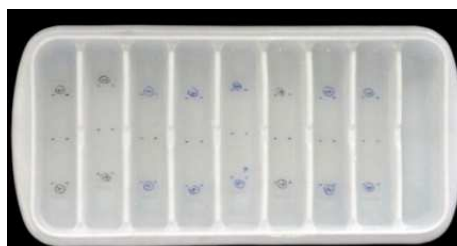
รูปที่ 6 แสดงชิ้นงานที่ผ่านการบ่มตัวด้วยความร้อนแล้ว

3. นำชิ้นงานมาตัดด้วยเครื่องตัดพื้น (low speed cutting machine, รุ่น Isomet 4000, Buehler, USA) ให้มีขนาดกว้าง 10 ± 0.2 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตรและขัดผิวด้วยกระดาษทรายขัดโลหะที่มีขนาด P400 , P800 และ P1200 ตามลำดับ ให้ได้ความหนา 3.3 ± 0.2 มิลลิเมตร โดยขณะขัดมีน้ำหล่อเย็นไหลผ่านตลอดเวลา จากนั้นขัดมันด้วยหัวผ้าสักหลาด 1 นาที่ที่ความเร็วไม่เกิน 350-650 รอบต่อนาที วัดขนาดของชิ้นงานด้วยเครื่องวัดเวอร์เนียคาลิเปอร์ที่มีความแม่นยำ 0.1 มิลลิเมตร โดยขนาดความหนาแตกต่างกันได้ไม่เกิน ± 0.02 มิลลิเมตร ตลอดความยาวชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงชิ้นงานที่ตัดและขัดจนได้ขนาด กว้าง 10 ± 0.2 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตร และความหนา 3.3 ± 0.2 มิลลิเมตร

4. เก็บรักษาชิ้นงานแต่ละกลุ่มโดยแช่ในน้ำกลั่นและเก็บที่อุณหภูมิ 37.0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 วันดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการเก็บรักษาชิ้นงานในน้ำกลั่น

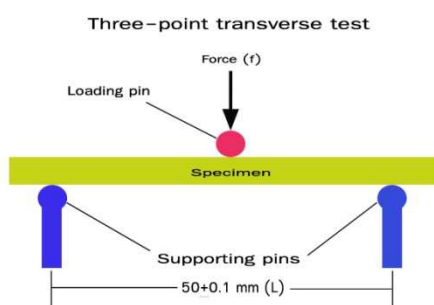
5. นำส่วนที่เหลือจากการตัดมาทดสอบความแข็งผิว ซึ่งงานที่ได้รับคัดเลือก สำหรับทดสอบกำลังดัดขวางต้องมีค่าความแข็งผิวอยู่ในช่วงเดียวกันกับการทดสอบค่าความแข็งผิวแบบวิกเกอร์ส ด้วยแรงหัวกด 300 กรัม เป็นเวลา 15 วินาทีในงานวิจัยก่อนหน้า[42] ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงผลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบความแข็งผิว

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยความแข็งผิว (SD)
PMMA	21.36 (0.529)
5%BBAS	22.38 (0.432)
10%BBAS	22.11(0.387)
15%BBAS	21.71(0.352)
1%Nano	21.78 (0.410)
3%Nano	23.33 (0.399)

การทดสอบ

1. นำชิ้นงาน มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงอัด โดยวิธี Three -point transverse test โดยมีแกนรองรับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ยาว 10.5 มิลลิเมตรวางขนานกันไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตรตั้งฉากกับแกนกดในแนวตั้งที่อยู่กึ่งกลางระหว่างแท่นรองรับที่ห่างกัน 50 ± 0.1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แสดงการวางชิ้นทดสอบบนแท่นทดสอบ

2. ทำการทดสอบในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37.0 ± 1 องศาเซลเซียสดังแสดงในรูปที่ 10 โดยวางชิ้นงานให้อยู่กึ่งกลางบนแท่นรองรับ และหัวกดอยู่กึ่งกลาง ทดสอบโดยกดด้วยความเร็วหัวจับ 5 ± 1 มิลลิเมตรต่อวินาที



รูปที่ 10 แสดงเครื่องทดสอบแรงดึงอัดพร้อมอ่างควบคุมอุณหภูมิ¹

3. กัดจนชิ้นงานแตกหักออกจากกัน บันทึกผลค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานหักออกจากกันและความหนาชิ้นงานที่ตำแหน่งที่แตกหัก

4. นำผลค่าแรงสูงสุดมาคำนวณ ค่าความแข็งแรงดัดขวางตามสูตร

$$\delta = \frac{3fL}{2bd^2}$$

δ = Flexural strength , f = fracture force ,

L = ระยะห่างระหว่างแท่งรองรับ

b = ความกว้างชิ้นตัวอย่าง d = ความหนาชิ้นตัวอย่าง

5. บันทึกค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง (Flexural Strength) ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก (Fracture Toughness) ของวัสดุ และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง (Young's Modulus)

หมายเหตุ ก : เครื่องทดสอบแรงดึงอัด (Universal testing machine, Lloyd รุ่น LR 10K plus, UK) หน่วยทันตวัสดุศาสตร์ ชั้น 9
ตึกสมเด็จย่าฯ93 คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึก

การทดสอบความต้านทานการสึก ทำตามมาตรฐาน ISO/TS 14569 -1 ในปี 1999[43] ซึ่งเป็นการสึกจากแปรงฟัน โดยเตรียมชิ้นทดสอบรูปร่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตรและยาว 7 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้นสำหรับแต่ละกลุ่ม

การเตรียมชิ้นทดสอบ

1. กลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง ได้นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการการทดสอบค่ากำลัง ดัดขวางแล้วมาเตรียม โดยใช้เครื่องตัดฟันตัดตามแนวขวางของชิ้นงานเดิมที่เป็นแท่งสี่เหลี่ยมยาว จากด้านที่ไม่ใช่รอยหัก แล้วขัดส่วนเกินจนได้ชิ้นทดสอบมีขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตรและยาว 7 มิลลิเมตร และหนา 3.3 ± 0.2 มิลลิเมตรนำมาล้างน้ำแล้วซับแห้งด้วยกระดาษซับ

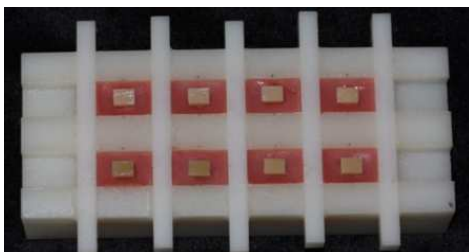
2. ในกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มทดลองฟันอะคริลิกในท้องตลาด นำกลุ่มฟันอะคริลิกโดยใช้ฟันกรามหลังล่างซี่ที่หนึ่งซ้ายขวาทั้งหมด มาขัดผิวด้านแก้มออก 1/3 ของความหนาดังแสดงใน รูปที่ 11 ด้วยเครื่องขัดผิว ใช้กระดาษทรายชนิดขัดโลหะขนาดความหยาบ P400 ขัดเรียบด้วย P1200 ตามลำดับ ไม่เกิน 10 วินาทีและขัดมันด้วยหัวขัดผ้าสักหลาดไม่เกิน 15 วินาที จากนั้น นำมายึดด้วยซี่ฝังชนิดแข็งด้วยด้ามจับ แล้วตัดด้านบดเคี้ยว ด้านใกล้กลางและไกลกลางด้วย เครื่องตัดฟัน ทำให้ได้ชิ้นทดสอบมีขนาดกว้าง 5 มิลลิเมตรและยาว 7 มิลลิเมตร แล้วจึงล้างซี่ฝังที่ ติดอยู่ออกโดยต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้งด้วยกระดาษซับ



รูปที่ 11 แสดงกลุ่มซี่ฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปที่ขัดผิวด้านแก้มแล้ว

3. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมขึ้นสำหรับแต่ละกลุ่ม มายึดกับอะคริลิกเรซินสีชมพู ชนิดบ่มเอง ในแม่แบบแทฟลอนขนาด สูง 8.5 กว้าง 13 ยาว 19 มิลลิเมตร สำหรับทดสอบการสึก ด้วยเครื่องแปรงฟันระบบดิจิตอล (V-8 Cross Brushing machine, SABRI Dental Express , Inc.,USA) โดยผสมอะคริลิกเรซินให้มีลักษณะเหลวเทลงไปถึงระดับความสูง 2/3 ของแม่แบบที่ ทาวาสลินเคลือบไว้ เมื่อถึงระยะโคไประมาณ 1 นาทีให้วางชิ้นฟันตัวอย่างที่ตัดไว้ลงในตำแหน่ง กึ่งกลางและระนาบขนานพื้นโดยผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างสูงขึ้นมาจากขอบบนสุดของแม่แบบ 2 มิลลิเมตร[44] โดยค่อยๆวางที่ละชิ้นจนครบทุกช่อง ดังแสดงในรูปที่ 12 จากนั้นผสมอะคริลิกเรซิน ให้มีลักษณะเหลวเทลงอีกชั้นจนเต็มความสูงของแม่แบบ เมื่อแข็งตัวดีแล้วจึงแกะออกจากแม่แบบ

แล้วตัดแต่งส่วนเกินด้านข้างด้วยหัวกรรขชนิดคาร์ไบด์ที่ต่อกับเครื่องกรอช้า เก็บรักษาแช่น้ำปราศจากประจุ (de-ionized water) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 วัน ก่อนการทดสอบ



รูปที่ 12 แสดงการเตรียมชิ้นทดสอบการสึกในแม่แบบ

การหามวลน้ำหนักก่อนทดสอบ

นำชิ้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 13 ไปล้างด้วยน้ำปราศจากประจุและทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเป็นเวลา 1 นาที ซับด้วยกระดาษให้แห้ง แกว่งในอากาศ 15 วินาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนักมวลแห้งที่ความแม่นยำ 0.1 มิลลิกรัมใน 1 นาที ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 14 บันทึกค่ามวลน้ำหนักก่อนทดสอบ (M_1)



รูปที่ 13 แสดงชิ้นทดสอบการแปรง



รูปที่ 14 แสดงเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง^๑ (Electronic Semi-micro-, Analytical and Precision Balance ,Sartorius รุ่น BP110s ,Germany)

หมายเหตุ ข : เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง^๑ (Electronic Semi-micro-, Analytical and Precision Balance, Sartorius รุ่น BP110s, Germany) หน่วยชีววิทยาช่องปาก ชั้น 9 ตึกสมเด็จย่าฯ 93 คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

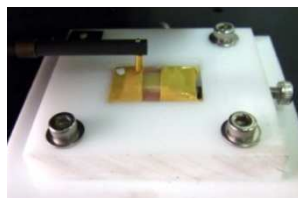
การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวก่อนทดสอบ

1. นำเทปการชนิดเหนียวและบาง (3M, USA) ติดห่างจากขอบชิ้นทดสอบ ข้างละ 1 มิลลิเมตร เพื่อเป็นตำแหน่งอ้างอิงในการหาความเรียบก่อนการแปรง และกำหนดพื้นที่การแปรง ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงชิ้นงานที่ติดเทปเพื่อกำหนดพื้นที่การแปรง

2. นำแท่นยึดชิ้นทดสอบไปยึดกับแท่นยึดดังรูปที่ 16 ของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิวดังรูปที่ 17,18 เพื่อบันทึกลักษณะพื้นผิวอ้างอิงก่อนการทดสอบโดยโปรแกรม Talyscan150 กำหนดพื้นที่ตามแนวแกน $X=5.5$ มิลลิเมตร แกน $Y=3.5$ มิลลิเมตร ความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่าง ตามแนวแกน $X=1$ ไมโครเมตร แกน $Y=50$ ไมโครเมตร ดังรูปที่ 19 บันทึกลักษณะพื้นผิวก่อนการแปรง ($Surf_1$) เสร็จแล้วแช่น้ำปราศจากประจุไว้ 1 คืนก่อนทำการทดสอบด้วยการแปรง



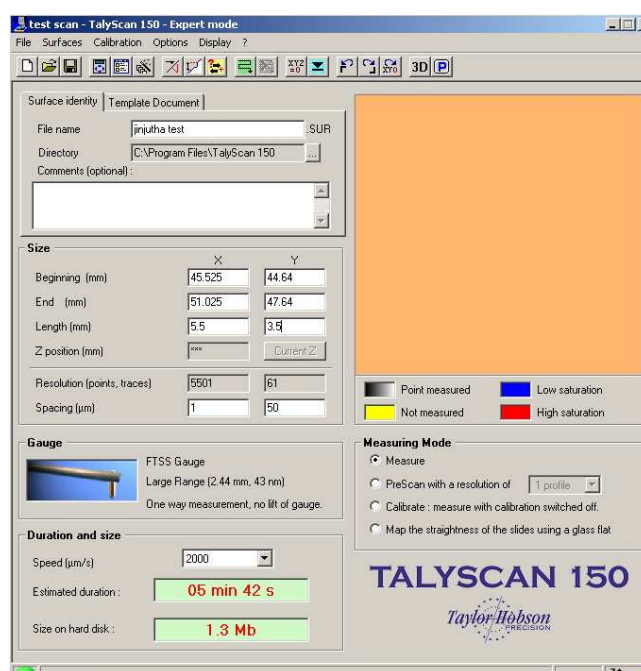
รูปที่ 16 แสดงการติดตั้งชิ้นทดสอบกับแท่นยึด



รูปที่ 17 แสดงการติดตั้งแท่นยึดชิ้นทดสอบบนแท่นวัดของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว



รูปที่ 18 แสดงเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว



รูปที่ 19 แสดงการกำหนดค่าอ่านพื้นผิวทดสอบโดยโปรแกรม Talyscan150

การทดสอบการแปร่งพื้น

1. นำแปร่งพื้นชนิดขนแปรงไนลอน 4 แถวหน้าตัดเรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนแปรง 0.01 นิ้ว และได้รับมาตรฐานตามการสำรวจของกรมอนามัยในปี 2541 มีด้ามจับตรงมาเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-5 มิลลิเมตรที่ตำแหน่ง 67 มิลลิเมตรวัดจากปลายหัวแปรงและที่ 50.8 มิลลิเมตรจากตำแหน่งรูแรกดังรูปที่ 20 จากนั้นตัดความยาวส่วนเกินออกให้สามารถยึดกับแขนแปรงของเครื่องทดสอบได้ แล้วนำไปแช่น้ำปราศจากประจุไว้ 1 คืนก่อนทดสอบ

หมายเหตุ ค : เครื่องวัดความหยาบพื้นผิว (Profilometer) หน่วยพันตัววัสดุศาสตร์ ชั้น 9 ตึกสมเด็จย่าฯ 93 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20 แสดงแปรงฟันชนิดขนแปรงไนลอน

2. นำแปรงฟันมายึดกับแขนของเครื่องทดสอบและนำชิ้นทดสอบมาล้างด้วยน้ำปราศจากประจุแล้ว ยึดกับแขนของเครื่องแปรงดังรูปที่ 21 กำหนดแรงกดหัวแปรง 2.0-2.5 นิวตัน ด้วยเครื่องวัดความตึง ทำการแปรงด้วยอัตราเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นจำนวน 20,000 รอบซึ่งเท่ากับการแปรงในระยะเวลา 2 ปี [45,46] โดยแปรงอยู่ในน้ำที่เป็นส่วนผสมของยาสีฟันและน้ำปราศจากประจุที่ผสมด้วยเครื่องกวนแบบแตกตัว ในอัตราส่วนยาสีฟัน 1 กรัม ต่อน้ำปราศจากประจุ 2 มิลลิลิตร



รูปที่ 21 แสดงเครื่องทดสอบการแปรงฟัน

การหามวลน้ำหนักหลังทดสอบ

เมื่อครบจำนวนรอบการแปรง นำชิ้นตัวอย่างออกมาล้างด้วยน้ำปราศจากประจุแล้วทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเป็นเวลา 10 นาที แกะเทปกาวที่ปิดผิวชิ้นตัวอย่างออกล้างน้ำปราศจากประจุแล้วทำความสะอาดด้วยคลื่นเหนือเสียงเป็นเวลา 1 นาที ซับด้วยกระดาษให้แห้งแล้วแกว่งในอากาศ 15 วินาที จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างแต่ละกลุ่มมาชั่งน้ำหนักมวลแห้งที่ความแม่นยำ 0.1 มิลลิกรัมใน 1 นาที ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง บันทึกค่ามวลน้ำหนักรหลังทดสอบ (M_2)

หมายเหตุ : เครื่องแปรงฟันระบบดิจิตอล (V-8 Cross Brushing machine, SABRI Dental Express , Inc.,USA) หน่วยชีววิทยาช่องปาก ชั้น 9 ตึกสมเด็จย่าฯ 93 คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การตรวจสอบลักษณะพื้นผิวหลังทดสอบ

นำไปบันทึกลักษณะพื้นผิวหลังการทดสอบด้วยเครื่องวัดความหยาบ (Surf₂) โดยนำขึ้นทดสอบยึดด้วยแท่นยึดขึ้นทดสอบแล้วไปยึดกับแท่นวัดดังรูปที่ 17 ของเครื่องวัดความหยาบพื้นผิว เพื่อบันทึกลักษณะพื้นผิวอ้างอิงหลังการทดสอบโดยโปรแกรม Talyscan150 โดยใช้จุดอ้างอิงเดิมของพื้นผิวก่อนการแปรง และกำหนดค่าการอ่านพื้นผิวเช่นเดียวกับก่อนการแปรงคือ กำหนดพื้นที่ตามแนวแกน X=5.5 มิลลิเมตร แกน Y=3.5 มิลลิเมตร ความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะห่าง ตามแนวแกน X= 1 ไมโครเมตร แกน Y = 50 ไมโครเมตร

การวิเคราะห์หาปริมาตรที่หายไปหลังการทดสอบ

1. วิเคราะห์ผลปริมาตรที่หายไปของพื้นผิวโดยใช้โปรแกรม Talyscan150 แล้วคำนวณแบบสองมิติ จากพื้นผิวที่ได้หลังการแปรง (Surf₂) โดยกำหนดตำแหน่งการแปลผลจำนวน 10 แนว ต่อพื้นผิวหนึ่งขึ้นทดสอบ

2. หาค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรในแต่ละชั้น โดย
ปริมาตรที่สูญเสียไปแต่ละพื้นผิว (ΔV) = ค่าเฉลี่ยของพื้นที่ผิวที่สูญเสียแต่ละตำแหน่งในแนวยาวที่วัดจากเครื่องทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร) X ความกว้างของขึ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

3. หาค่าปริมาณมวลที่สูญเสียไปเนื่องจากการสึกโดย

$$\text{ค่าปริมาณมวลที่สูญเสีย}(\Delta M) = \text{มวลก่อนแปรง} (M_1) - \text{มวลหลังแปรง} (M_2)$$

$$\text{ร้อยละการสูญเสียมวลไป} = \frac{\text{ปริมาณมวลที่สูญเสียไป} (\Delta M)}{\text{มวลก่อนแปรง} (M_1)} \times 100$$

มวลก่อนแปรง (M_1)

แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดสอบโดยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติใช้โปรแกรมเอสพีเอสเวอร์ชันที่ 17 (SPSS version 17, SPSS Inc., Chicago, Illinois)

ส่วนที่ 1 ผลการทดสอบกำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินชนิดโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่บ่มตัวด้วยความร้อน

1. แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนา ด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของค่ากำลังดัดขวาง (Flexural Strength) ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก (Fracture Toughness) ของวัสดุ และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง (Young's Modulus)

2. ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง (Flexural Strength) ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก (Fracture Toughness) ของวัสดุ และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

3. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลเป็นปกติ ทดสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูล (Test of Homogeneity of Variances) ทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) ถ้าพบว่า

3.1 กรณีค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง ในแต่ละค่าของข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Multiple comparisons: Tukey HSD)

3.2 กรณีค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง ในแต่ละค่าของข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Robust Tests of Equality of Means : Brown – Forsythe หรือ Weish พบว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง แตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Multiple comparisons: Tamhane's T2)

4. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ให้ใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ชนิดคาสคาลวอลล์เฮซ (Kruskal-Wallis H)

ส่วนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึกของซีพินอะคริลิกในสำเร็จรูปทางการค้าและอะคริลิกเรซินชนิดไฮพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่บ่มตัวด้วยความร้อน

1. แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนา ด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของค่าการสูญเสียมวล (Weight Loss) และค่าปริมาตรที่สูญเสียไป (Volumn Loss) ของพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง

2. ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวล (Weight Loss) และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่สูญเสียไป (Volumn Loss) ของพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test)

3. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลเป็นปกติ ทดสอบค่าความแปรปรวนของข้อมูล (Test of Homogeneity of Variances) ทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance : ANOVA) ถ้าพบว่า

3.1 กรณีค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวล (Weight Loss) และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่สูญเสียไป (Volumn Loss) ของพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างในแต่ละค่าของข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ และความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Multiple comparisons: Tukey HSD)

3.2 กรณีค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวล (Weight Loss) และค่าเฉลี่ยปริมาตรที่สูญเสียไป (Volumn Loss) ในแต่ละค่าของข้อมูลมีการกระจายตัวของข้อมูลปกติ แต่ความแปรปรวนของข้อมูลแตกต่างกัน ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Robust Tests of Equality of Means: Brown – Forsythe หรือ Weish พบว่ามีค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาความแตกต่างด้วยวิธีเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Multiple comparisons: Tamhane's T2)

4. ในกรณีที่การกระจายตัวของข้อมูลไม่ปกติ ให้ใช้สถิติแบบนอนพาราเมตริกซ์ชนิดคาสคาลวอลล์ฮิสเชซ (Kruskal-Wallis H)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มร้อน สำหรับผลิตซี่ฟันเทียม เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วยวัสดุอุดแทรกแก้วซิลิกา 2 ชนิด คือ ไมโครซิลิกา (BBAS glass) ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และนาโนซิลิกา (Nanosilicate glass) ร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก กลุ่มควบคุมคืออะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อน (heat-cured acrylic resin) และเพื่อศึกษาความต้านทานการสึกของอะคริลิกเรซินข้างต้นโดยเปรียบเทียบกับซี่ฟันอะคริลิก สำเร็จรูปทางการค้า 4 ชนิด (Majordent YamahashiFx OrtoluxTop และ CosmoHXL)

ส่วนที่ 1 การทดสอบกำลังดัดขวาง

ผล

จากการทดสอบกำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินชนิดบ่มร้อนด้วยวิธี Three-point transverse test พบว่าแต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังดังแสดงในตารางที่ 8 โดยพบว่า ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังดัดขวาง (Flexural Strength) พลังงานแตกหัก (Fracture Toughness) และค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง (Young's Modulus)

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวาง (MPa±SD)	ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก (MPa±SD)	ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง (GPa±SD)
กลุ่มควบคุม : อะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อน			
PMMA	87.65±6.46	0.243±0.052	3.66±0.46
กลุ่มทดลอง : อะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนดัดแปรด้วยวัสดุอุดแทรกซิลิกา			
5%BBAS	80.04±5.64	0.189±0.049	3.94±0.18
10%BBAS	79.29±4.12	0.151±0.029	4.29±0.11
15%BBAS	66.50±3.18	0.106±0.011	4.22±0.22
1%Nano	88.28±5.23	0.262±0.058	2.78±0.23
3%Nano	72.88±2.98	0.132±0.010	3.29±0.57

1. ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางและค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักมีความสอดคล้องกันจากมากไปน้อยของแต่ละกลุ่มทดสอบ นั่นคือเมื่อวัสดุมีกำลังดัดขวางมาก ย่อมต้องใช้พลังงานในการแตกหักมากขึ้นเช่นกัน โดยมีลำดับจากมากไปน้อย คือ 1%Nano PMMA 5%BBAS 10%BBAS

3%Nano และ 15%BBAS ค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังของอะคริลิกกลุ่ม 10%BBAS มีค่าสูงสุด รองลงมาได้แก่ 15%BBAS 5%BBAS PMMA 3%Nano และ 1%Nano ตามลำดับ

2. การผสมวัสดุอัดแทรกชนิดนาโนมีผลให้อะคริลิกใสชนิดบ่มร้อนมีค่ามอดูลัสของยังลดลง ขณะที่วัสดุอัดแทรกชนิดไมโครมีผลให้อะคริลิกใสชนิดบ่มร้อนมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวาง

จากการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครโดยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ ($p > 0.05$) จึงทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ จึงทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) พบว่าค่าสถิติ $p < 0.05$ นั่นคือ ค่ากำลังตัดขวางเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มอะคริลิกเรซินนั้นมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) เพื่อดูว่ามีคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวางในกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Flexural Strength				
Tukey HSD ^a				
Type	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4 15%BBAS	8	66.5000		
3 10%BBAS	8		79.2902	
2 5%BBAS	8		80.0400	
1 PMMA	8			87.6500
Sig.		1.000	.991	1.000

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

และจากการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโนโดยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอโนฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ ($p > 0.05$) จึงทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ จึงทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) พบว่าค่าสถิติ $p < 0.05$ นั่นคือ ค่ากำลังตัดขวางเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มอะคริลิกเรซินนั้นมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) เพื่อดูว่ามีคู่ใดบ้างที่แตกต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวางในกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Flexural Strength			
Tukey HSD ^a			
Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6 3%Nano	8	72.8836	
1 PMMA	8		87.6500
5 1%Nano	8		88.2800
Sig.		1.000	.967

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

กำลังตัดขวางของวัสดุเป็นสมบัติสำคัญที่บอกได้ถึงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างภายใต้แรงกระทำบนวัสดุ เป็นตัวชี้วัดความแข็งแรงได้ในวัสดุที่มีความเปราะเช่น เซรามิก หรือ วัสดุฐานพินเทียมอะคริลิก[6, 12] ซึ่งวัสดุที่มีกำลังตัดขวางสูงอาจจะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงหรือเหนียวมากส่วนวัสดุที่มีกำลังตัดขวางน้อย อาจเป็นวัสดุที่อ่อนตัวและเปราะมาก ซึ่งต้องการการพิจารณาจากค่ามอดุลัสของยังเพิ่มเติม การดัดแปรอะคริลิกไฮซินิดบ่มร้อนด้วยซิลิกา มีผลให้วัสดุเกือบทุกกลุ่มมีกำลังตัดขวางลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม (PMMA) โดยมีเพียงกลุ่ม 1%Nano เท่านั้นที่พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม และเมื่อมีการผสมวัสดุอัดแทรกชนิดเดียวกันในปริมาณมากขึ้น มีผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังตัดขวางมีค่าต่ำลง

2. ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหัก

เมื่อทดสอบสถิติของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครโดยทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทดสอบด้วยโรบัสเทสท์ (Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe) พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดที่แตกต่างกันบ้าง ได้ผลดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Toughness (MPa±SD)				
Tamhane				
type	N	Subset* for alpha = 0.05		
		1	2	3
15%BBAS	8	0.106±0.011		
10%BBAS	8		0.151±0.029	
5%BBAS	8		0.189± 0.049	0.189±0.049
PMMA	8			0.243 ±0.052

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

และเมื่อทดสอบสถิติของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโนโดยทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทดสอบด้วยโรบัสเทสท์ (Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe) พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดที่แตกต่างกันบ้าง ได้ผลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Toughness (MPa±SD)			
Tamhane			
type	N	Subset* for alpha = 0.05	
		1	2
3%Nano	8	0.132±0.010	
PMMA	8		0.243 ±0.052
1%Nano	8		0.262±0.058

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

พลังงานแตกหัก เป็นการวัดค่าพลังงานทั้งหมดที่วัสดุนั้นใช้ในเพื่อเกิดการแตกหัก ใช้พิจารณาแรงเค้นสูงสุดที่วัสดุสามารถทนได้ก่อนการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรหรือแตกหัก[6, 10] วัสดุจะมีความทนแรงเค้นสูงได้เมื่อมีค่ามอดุลัสของยังสูง ค่าความทนแรงดึงสูงสุดมาก (high ultimate strength) และ กำลังแตกร้าวสูง (high strain of rupture)[12] การดัดแปรอะคริลิกชนิดบ่มร้อนด้วยซิลิกา มีผลต่อค่าพลังงานแตกหัก โดยพบว่า 3%Nano 10%BBAS 15%BBAS และ 5%BBAS มีค่าพลังงานแตกหักต่ำกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม (PMMA) ขณะที่พบว่า 1%Nano และ 5%BBAS มีค่าพลังงานแตกหักไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้แล้วยังพบว่ากลุ่ม 15%BBAS มีค่าพลังงานแตกหักต่ำสุดและแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อมีการผสมวัสดุอัดแทรกชนิดเดียวกันในปริมาณมากขึ้นมีผลให้ค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักมีค่าต่ำลง

3. ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง

จากการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครโดยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า มีการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ ($p > 0.05$) จึงทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ จึงทดสอบความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) พบว่าค่าสถิติ $p < 0.05$ นั่นคือ ค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังในแต่ละกลุ่มอะคริลิกเรซินนั้นมีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) เพื่อดูว่ามีคู่ใดที่แตกต่างกันบ้าง ได้ผลดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบพู่กันของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Young's Modulus (GPa)			
Tukey HSD ^a			
Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1 PMMA	8	3.6563	
2 5%BBAS	8	3.9400	3.9400
4 15%BBAS	8		4.2263
3 10%BBAS	8		4.2900
Sig.		.191	.075

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

เมื่อทดสอบสถิติของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโนโดยทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทดสอบด้วยโรบัสต์เทสต์ (Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe) พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดที่แตกต่างกันบ้าง ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮนของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Young's Modulus (GPa)			
Tamhane			
type	N	Subset* for alpha = 0.05	
		1	2
1%Nano	8	2.78±0.23	
3%Nano	8	3.29±0.57	3.29±0.57
PMMA	8		3.66±0.46

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

ค่ามอดูลัสของยังเป็นอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดหดตัวของวัสดุ ณ จุดต่างๆบนเส้นสัมพันธ์ซึ่งของกราฟความเค้นและความเครียด[10] สามารถบ่งบอกถึงความแข็งตึงของวัสดุที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนรูปภายใต้แรงกระทำก่อนจะเกิดการแตกหัก วัสดุที่มีค่ามอดูลัสของยังสูงจะมีความเปราะมาก เปลี่ยนรูปได้ยากและในวัสดุที่มีความเหนียวน้อยนี้จะเกิดการแตกหักทันทีโดยไม่มีการยืดหยุ่น[12] ในทางตรงกันข้ามวัสดุที่มีค่ามอดูลัสของยังต่ำจะมีความยืดหยุ่นก่อนแตกหักได้มากกว่าทำให้ต้องใช้กำลังมากกว่าเพื่อให้เกิดการแตกหัก การดัดแปรอะคริลิกไซซินดิมร้อนด้วยวัสดุอัดแทรกนาโนมีผลให้ค่ามอดูลัสของยังมีการเปลี่ยนแปลง โดยพบว่า 3%Nano และ 5%BBAS มีค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม (PMMA) โดยมี 1%Nano เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังเฉลี่ยต่ำสุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกลุ่มควบคุม และมี 10%BBAS 15%BBAS ที่มีค่าเฉลี่ยมากกว่าและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม และปริมาณที่ผสมวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครและนาโนทำให้ค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันสำหรับกลุ่มควบคุม แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มทดลองชนิดเดียวกัน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่มีสมบัติกำลังดัดขวางที่น่าสนใจคือ 1%Nano ที่มีค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางและค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักสูงสุดและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม

ส่วนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึก

ผล

จากการทดสอบการความต้านทานการสึกของอะคริลิกเรซินชนิดโพลีเมทิลเมทาคริเลตที่ป่นตัวด้วยความร้อนด้วยวิธี tooth-brushing test ด้วยอัตราเร็ว 90 รอบต่อนาที เป็นจำนวน 20,000 รอบ แต่ละกลุ่มมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสูญเสียมวล (Weight Loss) และการสูญเสยปริมาตร (Volumn Loss) ดังตารางที่ 15 และแผนภูมิที่ 22-23 ดังนี้

การสูญเสียมวล

การสูญเสียมวลหมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างน้ำหนักก่อนและหลังจากการทดสอบการสึก โดย

- เมื่อเรียงลำดับข้อมูลจากน้อยไปมากพบว่า กลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลต่ำสุด คือ 1%NaNo สูงสุด คือ ซีฟันอะคริลิกเมเจอร์เด็นท์ (MD)

2. เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม (PMMA) พบว่า การดัดแปรอะคริลิกไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริลิกด้วยวัสดุอุดแทรกนาโนมีผลให้วัสดุมีการสูญเสียมวลลดลง ขณะที่กลุ่มที่ดัดแปรด้วยวัสดุอุดแทรกไมโครมีผลให้วัสดุมีการสูญเสียมวลมากขึ้น

3. ในกลุ่มที่มีปริมาณของวัสดุอุดแทรกนาโนสูงขึ้นไปมีค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลมากขึ้น

4. ในกลุ่มที่มีปริมาณของวัสดุอุดแทรกไมโครสูงขึ้นไปมีค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลลดลง

5. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูป พบว่า MD มีค่าสูงสุดรองลงมาคือ ยามาฮาชิเอฟเอ็กซ์ (YH) ออร์โธลักซ์ท็อป (OR) และคอสมิเอชเอ็กซ์แอล (CM) ตามลำดับ โดยพบว่า YH OR และ CM มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลค่อนข้างใกล้เคียงกัน และมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง กลุ่มควบคุม และ กลุ่มที่ดัดแปรด้วยวัสดุอุดแทรกไมโคร

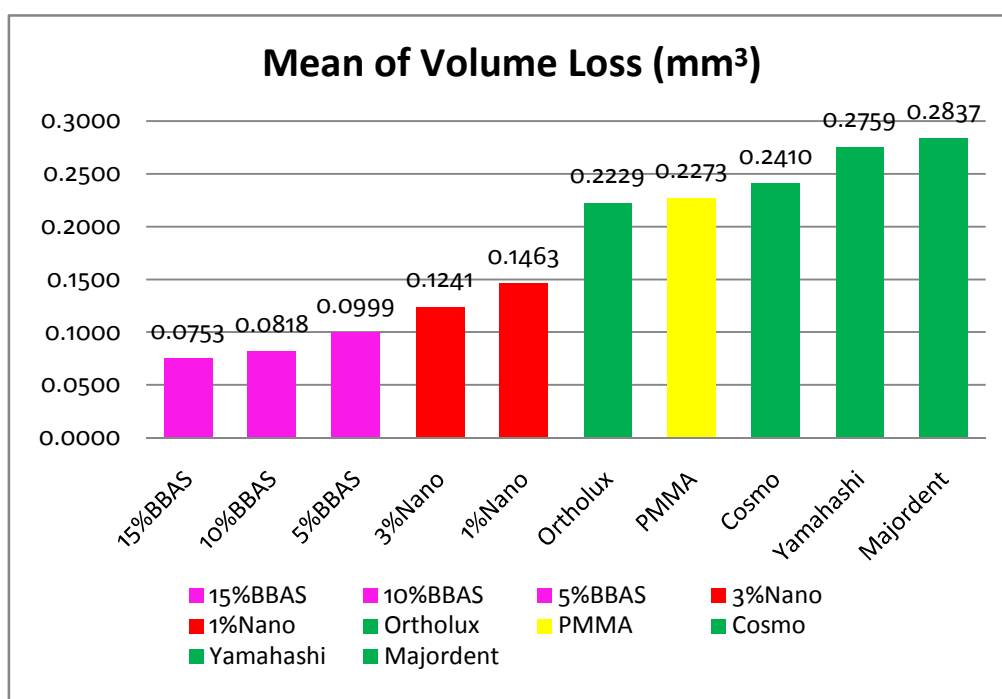
ตารางที่ 15 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสูญเสียมวล (Weight Loss) และการสูญเสียปริมาตร (Volumn Loss)

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวล (mg ± SD)	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตร (mm ³ ± SD)
กลุ่มควบคุม : อะคริลิกเรซินไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริลิก		
PMMA	0.003413±0.002325	0.227255±0.054603
กลุ่มทดลอง : อะคริลิกเรซินไฮดรอกซีเมทิลเมทาคริลิกดัดแปรด้วยซิลิกา		
5%BBAS	0.006425±0.001159	0.099928±0.059674
10%BBAS	0.004100±0.001074	0.081816±0.045347
15%BBAS	0.003775±0.001563	0.075268±0.038743
1%Nano	0.000525±0.000282	0.146320±0.079712
3%Nano	0.000825±0.000384	0.124101±0.067827
กลุ่มซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูป		
1) Majordent	0.009613±0.001919	0.283672±0.067614
2) Ortolux Top	0.003500±0.000845	0.222860±0.058188
3) Yamahashi FX	0.003888±0.001577	0.275864±0.049424
4) Cosmo HXL	0.003313±0.001393	0.241013±0.085295

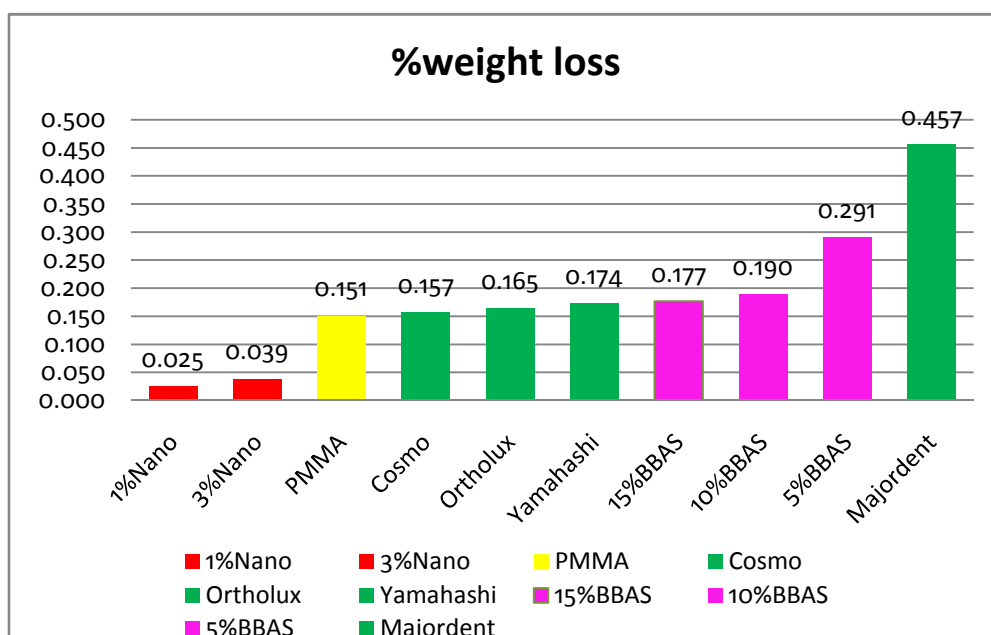
การสูญเสียปริมาตร

การสูญเสียปริมาตรคือ ปริมาณพื้นผิวที่สูญเสียไปหลังการทดสอบทั้งระนาบ คำนวณจากพื้นที่ในแนวดิ่งจากการวัดความหนาของพื้นผิวและความกว้างของรอยสึก พบว่า

1. เมื่อเรียงลำดับการสูญเสียปริมาตรจากน้อยไปมาก พบว่า กลุ่ม 15%BBAS นั้นมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด และซีฟันอะคริลิกเมเจอร์เด็นท์ (MD) มีค่าการสูญเสียปริมาตรสูงสุด
2. เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่าการดัดแปรรอะคริลิกใส ชนิดบ่มร้อนด้วยวัสดุอัดแทรกนาโนและไมโครทำให้วัสดุมีการสูญเสียปริมาตรลดลง
3. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูป พบว่า MD มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรสูงสุด รองลงมาคือ YH CM และ OR ตามลำดับ โดยมีเพียงกลุ่ม OR เท่านั้นที่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มควบคุม
4. เมื่อมีปริมาณของวัสดุอัดแทรกนาโนและไมโครสูงขึ้นมีผลค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรลดลงทั้งสองชนิด



แผนภูมิที่ 22 แสดงค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตร (Volume loss) จากการทดสอบการแปรง



แผนภูมิที่ 23 แสดงร้อยละการสูญเสียมวล (Weight Loss) จากการทดสอบการแปรง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวล

การทดสอบสถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มซีฟันอะคริลิกทางการค้า ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติของโรบัสเทสท์ (Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe) และเวลช์ (Welch) พบว่า $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดที่แตกต่างกันบ้าง ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ฟันอะคริลิกทางการค้า

% Weight Loss (mg \pm SD)			
Tamhane			
type	N	Subset* for alpha = 0.05	
		1	2
PMMA	8	0.15138 \pm 0.101258	
Cosmo	8	0.15675 \pm 0.065356	
Ortholux	8	0.16475 \pm 0.03795	
Yamahashi	8	0.17413 \pm 0.069925	
Majordent	8		0.45738 \pm 0.074680

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

นั่นคือค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลของกลุ่ม MD แตกต่างจากกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ฟันอะคริลิก CM OR และ YH อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ฟันอะคริลิก CM OR และ YH

เมื่อทดสอบสถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติของโรบัสเทสท์ (Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe) และเวลช์ (Welch) พบว่า $p < 0.05$ นั่นคือค่าเฉลี่ยร้อยละของข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันได้ผลสรุปตามตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

% Weight Loss (mg \pm SD)			
Tamhane			
type	N	Subset* for alpha = 0.05	
		1	2
PMMA	8	0.15138 \pm 0.101258	
15%BBAS	8	0.17675 \pm 0.072208	
10%BBAS	8	0.19038 \pm 0.052156	
5%BBAS	8		0.29113 \pm 0.051643

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า

1. กลุ่ม 15%BBAS มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ
2. กลุ่ม 5%BBAS มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลมากที่สุดและแตกต่างกับกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ
3. ในขณะที่มีการเพิ่มปริมาณ BBAS กลับมีการลดลงของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของอะคริลิกใส

เมื่อทดสอบสถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติของโรบัสต์เทสท์ (Robust Tests of Equality of Means : Brown-Forsythe) และเวลช์ (Welch) พบว่า $p < 0.05$ นั่นคือค่าเฉลี่ยร้อยละของข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดบ้างที่แตกต่างกันได้ผลสรุปตามตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

% Weight Loss (mg \pm SD)			
Tamhane			
type	N	Subset* for alpha = 0.05	
		1	2
1%Nano	8	0.0255 \pm 0.013763	
3%Nano	8	0.0385 \pm 0.018024	
PMMA	8		0.15138 \pm 0.101258

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

จากการศึกษาพบว่า กลุ่ม 1%Nano มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลน้อยที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม แต่ไม่แตกต่างกับ 3%Nano

ในประเด็นเรื่องค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่น่าสนใจของวัสดุอัดแทรกซิติกาทั้งสองชนิด คือ กลุ่ม 15%BBAS ซึ่งมีค่าการสูญเสียมวลน้อยที่สุดในกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร และกลุ่ม 1%Nano เนื่องจากมีค่าการสูญเสียมวลน้อยที่สุดในกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม

จากนั้นจึงศึกษาทางสถิติของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่น่าสนใจและกลุ่มซีฟัน อะคริลิกทางการค้า โดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p < 0.05$ จึงทดสอบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยสถิติของเวลช์ (Welch) พบว่า $p < 0.05$ นั่นคือค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน เปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) เพื่อดูว่ามีคู่ใดแตกต่างกัน ได้ผลตามตารางที่ 19 พบว่า

ตารางที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบเทมแฮน (Tamhane) ของค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวล

% Weight Loss (mg \pm SD)				
Tamhane				
type	N	Subset* for alpha = 0.05		
		1	2	3
1%Nano	8	0.0255 \pm 0.013763		
PMMA	8	0.15138 \pm 0.101258	0.15138 \pm 0.101258	
Cosmo	8		0.15675 \pm 0.065356	
Ortolux	8		0.16475 \pm 0.03795	
15%BBAS	8		0.17675 \pm 0.072208	
Yamashashi	8		0.17413 \pm 0.069925	
Majordent	8			0.45738 \pm 0.074680

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$)

กลุ่ม 1%Nano มีค่าเฉลี่ยร้อยละการสูญเสียมวลน้อยที่สุด และไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม แต่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มซีฟันอะคริลิกทางการค้า

2. ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตร

ทดสอบสถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มซีฟันอะคริลิกทางการค้า ด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ ดังตารางที่ 20 จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) พบว่า $p > 0.05$ ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 20 แสดงการทดสอบความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มซีฟันอะคริลิกทางการค้า

Test of Homogeneity of Variances			
VolumnLoss			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.036	4	35	.402

ตารางที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มที่พินอะคริลิกทางการค้าด้วยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA)

ANOVA					
VolumnLoss					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.025	4	.006	1.519	.218
Within Groups	.145	35	.004		
Total	.170	39			

นั่นคือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรในระหว่างกลุ่มที่พินอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้าทั้ง 4 ยี่ห้อ

เมื่อวิเคราะห์สถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโครด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) พบว่า $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) เพื่อดูว่ามีคู่ใดแตกต่างกัน ได้ผลตามตารางที่ 22 พบว่า

1. การตัดแปรรอะคริลิกใสชนิดบ่มร้อนด้วยวัสดุอัดแทรกชนิดไมโครทำให้ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มทดลองแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม (PMMA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

2. กลุ่ม 15%BASS มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรน้อยที่สุดและน้อยกว่ากลุ่มควบคุมโดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างกับกลุ่ม 5%BBAS และ 10%BBAS

ตารางที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

VolumnLoss			
Tukey HSD ^a			
Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4 15%BBAS	8	.0752675	
3 10%BBAS	8	.0818163	
2 5%BBAS	8	.0999275	
1 PMMA	8		.2272550
Sig.		.761	1.000

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

เมื่อศึกษาสถิติเพื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมอะคริลิกใสและกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโนด้วยวิธีโคลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) พบว่า $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) เพื่อดูว่ามีคู่ใดแตกต่างกัน ได้ผลตามตารางที่ 23

ตารางที่ 23 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่มควบคุมและกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

VolumnLoss			
Tukey HSD ^a			
Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
3%Nano	8	.1241013	
1%Nano	8	.1463200	.1463200
PMMA	8		.2272550
Sig.		.793	.067

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

พบว่า อะคริลิกเรซินไฮซนิตบ่มร้อนที่ดัดแปรด้วย 3%Nano มีค่าเฉลี่ยการสูญเสีย ปริมาณน้อยกว่ากลุ่ม 1%Nano และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่แตกต่างกับกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น ในประเด็นเรื่องค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรจะเห็นได้ว่ากลุ่มที่น่าสนใจของ วัสดุอัดแทรกซิติกาทั้งสองชนิด คือ กลุ่ม 15%BBAS ซึ่งมีค่าการสูญเสียปริมาตรน้อยที่สุดในกลุ่ม วัสดุอัดแทรกซิติกาไมโคร และกลุ่ม 3%Nano เนื่องจากมีค่าการสูญเสียปริมาตรน้อยที่สุดในกลุ่ม วัสดุอัดแทรกซิติกาโน และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม สำหรับกลุ่ม 1%Nano แม้ จะมีค่าการสูญเสียปริมาตรมากกว่า 3%Nano แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งมีการ สูญเสียมวลน้อยที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรทางสถิติของกลุ่มทดลองที่น่าสนใจคือ 15%BBAS 1%Nano 3%Nano กับกลุ่มควบคุมและกลุ่มซีฟ่อนอะคริลิกทางการค้าด้วยวิธีโคโลโมโกรอฟ-สเมอนอฟ (One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test) พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวเป็น ปกติ ($p > 0.05$) และเมื่อทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนด้วย Levene's test พบว่า ค่าสถิติ $p > 0.05$ จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way Analysis of Variance: ANOVA) พบว่า $p < 0.05$ จึงทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทูกี้ (Tukey HSD) เพื่อดูว่ามีคู่ใด แตกต่างกันได้ผลตามตารางที่ 24

ตารางที่ 24 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบทู่กี (Tukey HSD) ของค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตร

VolumnLoss					
Tukey HSD ^a					
Type	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4 15%BBAS	8	.0752675			
6 3%Nano	8	.1241013	.1241013		
5 1%Nano	8	.1463200	.1463200	.1463200	
14 Ortholux	8		.2228600	.2228600	.2228600
1 PMMA	8			.2272550	.2272550
13 Cosmo	8			.2410125	.2410125
11 Yamahashi	8				.2758643
12 Majordent	8				.2836719
Sig.		.362	.061	.083	.563

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

จะพบได้ว่า อะคริลิกเรซินไฮซินิดบ่มร้อนที่ดัดแปรด้วย 3%Nano และ 15%BBAS มีค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรน้อยกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มซีฟันอะคริลิกทางการค้า โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น กลุ่มออร์โธลักซ์ที่ออปที่มีการสูญเสียปริมาตรไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่ม 1%Nano และ 3% Nano

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการทดสอบค่ากำลังดัดขวางและความต้านทานการสึก พบว่ากลุ่มวัสดุอัดแทรกที่น่าสนใจนำมาดัดแปรอะคริลิกเรซินไฮซินิดบ่มร้อนคือ 1%Nano เนื่องจาก สามารถปรับปรุงสมบัติค่ากำลังดัดขวางได้มากขึ้น การสูญเสียมวลน้อยลง และ มีการสูญเสียปริมาตรอยู่ในกลุ่มที่น้อยที่สุด

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยทั้งสองส่วนพบว่า

จากสมมติฐานที่ 1 การศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่ใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกาปรับปรุงสมบัติ ต่อค่ากำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ ตามมาตรฐาน ISO 20795-1(2008) และ ADA specification No.12 จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ยอมรับสมมติฐานแย้ง คือ ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่ใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกาปรับปรุงสมบัติแต่ละกลุ่มกับชนิดไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ มีความแตกต่างกัน โดยกลุ่ม 1%Nano นั้นให้ค่ากำลังดัดขวางสูงสุดและมากกว่ากลุ่มควบคุม (PMMA) แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ส่วน 5%BBAS 10%BBAS 15%BBAS และ 3%Nano นั้นให้ค่ากำลังดัดขวางต่ำลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากสมมติฐานที่ 2 การศึกษาเปรียบเทียบค่าการสูญเสียมวลและปริมาตรจากการสึกของอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่ใช้วัสดุอัดแทรกซิลิกาปรับปรุงสมบัติต่อค่าของอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่ไม่ได้ปรับปรุงสมบัติ และพินเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปจำนวน 4 ยี่ห้อ ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยวิธีการแปร่งพิน ตามมาตรฐาน ISO 14569-1(1999) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ยอมรับสมมติฐานแย้ง คือ ค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลและปริมาตรจากการสึกของอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนที่มีวัสดุอัดแทรกซิลิกาปรับปรุงสมบัติแต่ละกลุ่มและอะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนชนิดไม่ได้ปรับปรุงสมบัติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลของกลุ่ม 5%BBAS เท่านั้นที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม ส่วนการสูญเสียปริมาตร มีเพียงค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรของกลุ่ม 1%Nano เท่านั้นที่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มควบคุม

จากผลการศึกษาเรื่องความแข็งผิวในปี 2010 และการศึกษาในร่อง พบว่า กลุ่มอะคริลิกที่ผสมวัสดุอัดแทรก 3%Nano นั้นมีค่าความแข็งผิวสูงที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกลุ่มอะคริลิกเรซินใส รองลงมาคือ อะคริลิกที่ผสมวัสดุอัดแทรก 5%BBAS 10%BBAS 1%Nano และ 15%BBAS ตามลำดับ อย่างไรก็ตามทุกกลุ่มมีค่าความแข็งผิว

มากกว่ากลุ่มอะคริลิกเรซินใส และอะคริลิกที่ผสมวัสดุอุดแทรก 1%Nano นั้นมีความแข็งแรงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับอะคริลิกใส ดังนั้น อะคริลิกที่ผสมวัสดุอุดแทรก 5%BBAS 10%BBAS 15%BBAS 1%Nano และ 3%Nano จึงเป็นกลุ่มที่น่าสนใจที่นำมาพัฒนาต่อได้โดยพิจารณาสมบัติด้านอื่น ๆ เพิ่มเติม ในการศึกษาค่ากำลังดัดขวางนี้ผู้วิจัยได้ใช้อะคริลิกเรซินใสสำหรับเป็นตัวแทนของอะคริลิกเรซินสำหรับทำซีฟันเทียม โดยการผสมสารเติมแต่งเข้าไปในเรซินอะคริลิกใสนั้นไม่ควรทำให้ค่ากำลังดัดขวางเปลี่ยนแปลงจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพื่อไม่ให้เกิดการแยกตัวของซีฟันเทียมออกจากฐานฟันเทียมเกิดขึ้นได้โดยง่าย

เมื่อดูผลการศึกษาในตอนต้นที่ 1 พบว่า กลุ่มที่น่าสนใจคือ กลุ่ม 1%Nano เนื่องจากมีค่ากำลังดัดขวางและค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักสูงที่สุดและไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม แม้ว่าค่าเฉลี่ยมอดูลัสของยังมีค่าต่ำกว่าอะคริลิกเรซินใสและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญแต่เมื่อดูค่าระยะการโค้งงอสูงสุดก่อนการแตกหักจากตารางที่ 25 กลับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มควบคุมที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 25 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติจากการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมแฮน (Tamhane) ของระยะการโค้งงอสูงสุดก่อนการแตกหัก (mm) ของกลุ่มวัสดุอุดแทรกชนิดนาโน

Maximum Deflection (mm)			
Tamhane			
		Subset* for alpha = 0.05	
type	N	1	2
3%Nano	8	3.751	
PMMA	8		5.211
1%Nano	8		5.780

(* กลุ่ม subset เดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ $\alpha = 0.05$)

และสมบัติที่น่าสนใจของกลุ่ม 1%Nano คือมีลักษณะชิ้นงานที่ใสสามารถนำมาปรับปรุงสีให้ใกล้เคียงสีเหมือนฟันได้ง่าย สำหรับ 5%BBAS เนื่องจากมีค่ากำลังดัดขวางลดลงมาเป็นอันดับสองแต่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักที่มีค่าน้อยกว่าแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากกลุ่มควบคุม

การศึกษานี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกลที่น่าสนใจของวัสดุอะคริลิกเรซินชนิดใสพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มร้อนซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มอะคริลิกเรซินที่ใช้ในการผลิตฐานฟัน

เทียมและซีฟีนเทียม เปรียบเทียบกับพื้นเทียมอะคริลิกสำเร็จรูป 4 ยี่ห้อ โดยศึกษาผลของวัสดุอัดแทรกซilikาสองชนิดคือ วัสดุอัดแทรกแก้วชนิดไมโคร BBAS ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.7 ไมโครเมตร ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักและ วัสดุอัดแทรกแก้วซilikาสีนาโน 10-20 นาโนเมตร ในปริมาณร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก ซึ่งการเลือกปริมาณร้อยละในการปรับปรุงสมบัติมีแนวทางมาจากผลการวิจัยในอดีต ได้แก่ การศึกษาของ Unalan และ Dikbas ในปี 2007 พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกชนิดเส้นใยแก้ว (glass fiber) ขนาดไมโครในปริมาณ ร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตได้อย่างมีนัยสำคัญ[47]

จากการพัฒนาความก้าวหน้าเรื่องนาโนเทคโนโลยีในหลายสิบปีที่ผ่านมา มีการพัฒนาวัสดุกลุ่มนาโนคอมโพสิต วัสดุอัดแทรกซilikานาโนได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายทางการค้าในวัสดุบูรณะฟันคอมโพสิต ซึ่งสมบัติทางกลของคอมโพสิตขึ้นกับปริมาณของวัสดุอัดแทรกเป็นสำคัญ โดยทั่วไปวัสดุอัดแทรกนาโนทำให้เพิ่มความเหนียว เพิ่มขีดจำกัดความยืดหยุ่น มีความต้านทานการแตกหักดีขึ้น และทำให้ผิวของลักษณะการสึกัดขึ้น การเติมวัสดุอัดแทรกนาโนในปริมาณเพียงเล็กน้อยในปริมาณไม่เกิน 5% นั้นสามารถเพิ่มสมบัติทางกลได้ดี จากการศึกษาผลของวัสดุอัดแทรกซilikานาโนในปี 2010 พบว่า กลุ่มอะคริลิกที่ผสมวัสดุอัดแทรก 3%Nano สามารถเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุอะคริลิกเรซินใสชนิดบ่มร้อนได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนกลุ่มอะคริลิกที่ผสมวัสดุอัดแทรก 1%Nano นั้น มีค่าความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มวัสดุอะคริลิกเรซินใสแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ[42]

ในการศึกษานำร่องผู้วิจัยได้ทดลองผสมวัสดุอัดแทรกในปริมาณมากกว่า 3% แต่ไม่เกิน 5% ซึ่งพบว่าเนื่องจากผงซilikาสีนาโนมีขนาดเล็กและเบามาก ทำให้การใช้วัสดุอัดแทรกในปริมาณมากไม่สามารถผสมเข้ากับอะคริลิกส่วนผงและส่วนเหลวตามสัดส่วนที่บริษัทกำหนดได้ โดยส่วนผสมมีลักษณะแห้ง ร่วน ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน การผสมด้วยมือทำได้ยาก ซึ่งหากต้องการให้ส่วนผสมเป็นก้อนได้ต้องใส่ปริมาณส่วนเหลวมาก เมื่อบ่มร้อนแล้วพบว่าวัสดุมีความเปราะ ไม่แข็งแรง และมีรูพรุนมาก มีการศึกษาก่อนหน้าพบว่าการเพิ่มผงอะคริลิกที่น้ำหนักโมเลกุลสูงหรือการผสมระหว่างวัสดุอัดแทรกซilikาสองขนาด (Hybrid) ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้[42]

สำหรับวัสดุอัดแทรกซilikาสีนาโนที่นำมาทดลองมีขนาด 10-20 นาโนเมตร (silica nanopowder 10-20nm, Sigma-Aldrich, USA) ประกอบด้วย ซิลิกอนไดออกไซด์ 99.5 % เป็นผงสีขาวขุ่น ยังไม่ได้ผ่านกรรมวิธีการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไฮเลนเพื่อเพิ่มการยึดติดจากบริษัทซึ่งแตกต่างจากวัสดุอัดแทรกแก้วชนิดไมโคร 0.7 ไมโครเมตร (silanated barium borosilicate glass 0.7 μm , Esstech inc., USA) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวและผ่านการปรับสภาพผิวแล้วจากบริษัทผู้ผลิต มีปริมาณไฮเลนอยู่ ร้อยละ 1 ซึ่งหลังจากปรับสภาพผิววัสดุอัด

แทรกซิลิกานาโนแล้ว ทำให้อนุภาคมีการเกาะกลุ่มกันหลังจากการอบแห้งเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกิน ผู้วิจัยต้องนำผงแห้งนั้นมาบดละเอียดด้วยโม่ และทำการกรองด้วยเครื่องกรองแยกขนาดอนุภาคหลายขนาด ซึ่งมีขนาดความละเอียดการกรองละเอียดสูงสุดที่ 45 ไมโครเมตร ซึ่งยังพบเห็นการเกาะกลุ่มกันได้ ซึ่งเกิดจากแรงยึดติดระหว่างอนุภาคนาโน ยิ่งอนุภาคเล็กพื้นที่ผิวยิ่งมากทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันมาก[48]

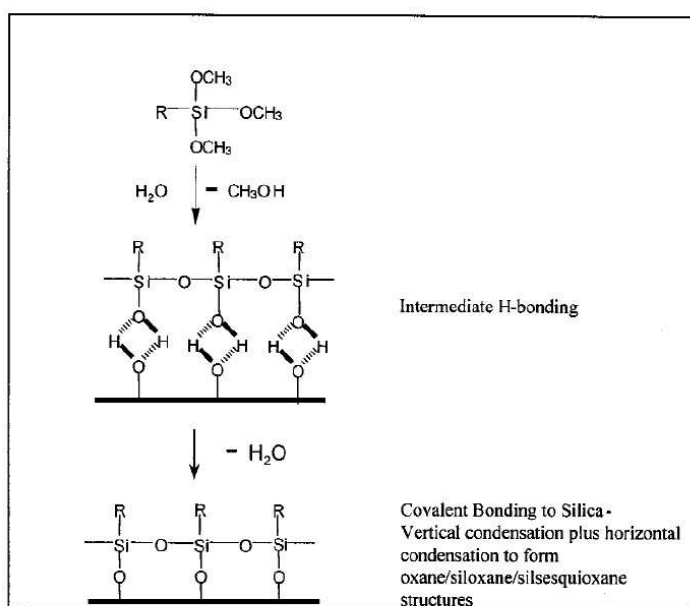
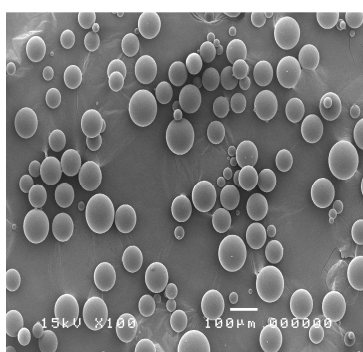


Fig. 3. Simplified reaction of organotrialkoxysilanes with silica surfaces.

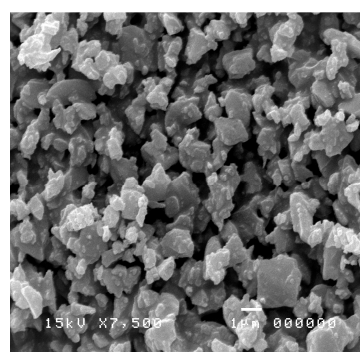
รูปที่ 24 แสดงปฏิกิริยาในระหว่างซิลานาโนเซชัน[6]

กระบวนการซิลานาโนเซชัน (silanization) ดังรูปที่ 24 ช่วยส่งเสริมการยึดติดระหว่างส่วนเรซินเมทริกซ์ที่เป็นกลุ่มอินทรีย์และ ส่วนของวัสดุอัดแทรกที่เป็นกลุ่มอินทรีย์ได้ โดยสารคู่ควบไฮเลนที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกเกิดโครงสร้างเป็นผิวสองชั้น คือ ชั้น chemisorbed ที่เป็นชั้นที่ยึดติดด้วยพันธะโควาเลนต์ เกิดจากกลุ่มฟังก์ชันนอลในสารละลายไฮเลนทำปฏิกิริยากับกลุ่มซิลานอลบนพื้นผิวแก้วหรือออกไซด์ของผิวโลหะและชั้น physisorbed ที่เป็นชั้นที่เกาะกันอย่างหลวมบนพื้น chemisorbed ด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล์ว [38] แต่การศึกษาของ Wang และ Jones พบว่า เกิดโครงสร้าง 3 ชั้นบนพื้นผิวแก้ว คือ มีการแบ่งออกเป็น 2 ชั้น ของชั้น chemisorbed โดยมีชั้นที่มีความต้านทานต่อน้ำสูงเกาะติดด้านใน (high hydrolytic resistance grafted interfacial layer) และชั้นที่มีการขยับได้ของ chemisorbed ซึ่งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของโครงสร้างนี้ขึ้นกับลักษณะของสารคู่ควบไฮเลนที่เกาะติดบนพื้นผิวด้วย เช่น ปริมาณของสารคู่ควบไฮเลนที่ใช้ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติก และ ปฏิกิริยาควบแน่น และสภาวะที่ทำให้แห้งของกระบวนการซิลานาโนเซชัน [49]

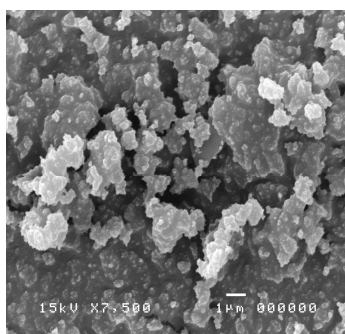
ในงานวิจัยนี้บริษัทผู้ผลิตสารไซเลน แนะนำให้เตรียมสารละลายไซเลนในสารละลายกรดอะซิติก ที่มีค่า pH 4.2 ซึ่งมีงานวิจัยที่พบว่า ในสภาวะความเป็นกรดต่างของสารละลายเท่ากับ 4 นี้ สารไซเลนจะมีการจับตัวระหว่างโมเลกุลน้อย ทำให้โอกาสเกิดการจับตัวเป็นโพลิโเมอร์เกิดได้ยาก และเมื่อนำวัสดุอัดแทรกชนิดซิลิกาที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์ (-OH) อยู่ที่พื้นผิว จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลติกได้ดี เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (by product) เป็นเมทานอล และเมื่อสภาวะความเป็นกรดต่างสูงขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาควบนั่นได้ต่อไป[50]



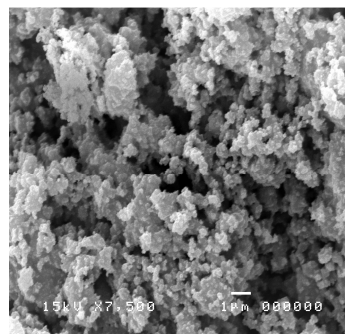
(น) PMMA powder (Rodex)



(ข) BBAS glass powder



(ค) Silica nanopowder



(ง) Silanated silica nanopowder

รูปที่ 25 แสดงภาพส่วนผงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM, JSM-5410LV , Jeol, Japan) (น) PMMA powder (Rodex) ขยาย 100 เท่า (ข) BBAS glass powder ขยาย 7,500 เท่า (ค) Silica nanopowder ขยาย 7,500 เท่า (ง) Silanated silica nanopowder ขยาย 7,500 เท่า

จากการศึกษาส่วนผงของอะคริลิกเรซินใสและวัสดุอัดแทรกที่ใช้ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดดังรูปที่ 25 พบว่า เม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) นั้นมีลักษณะกลม (spherical) ขนาดระหว่าง 10-100 ไมโครเมตร ส่วนวัสดุอัดแทรก BBAS และ Nanosilica มีรูปร่างไม่แน่นอน และมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคใน Nanosilica สำหรับ Nanosilica ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารควบไซเลนแล้วพบว่า มีขนาดและเกาะกลุ่มกันใกล้เคียงกับอนุภาคที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว

จากการศึกษาตอนที่ 1 การทดสอบค่ากำลังดัดขวางของชิ้นทดสอบกระทำภายใต้ภาวะที่คล้ายคลึงกับในช่องปากคือที่อุณหภูมิ 37.0 ± 1 องศาเซลเซียส การเตรียมชิ้นทดสอบกระทำโดยบุคคลเดียวและอุปกรณ์รูปแบบเดียวตลอดการวิจัย โดยอ้างอิงการทดสอบตามอะคริลิกที่ผลิตเป็นฐานฟันเทียมโดยวิธีทดสอบตามมาตรฐานของ ISO 20795-1(2008)[20] และ ADA specification No.12[21] เนื่องจากเป็นวัสดุกลุ่มเดียวกัน ผลการทดสอบนอกจากจะได้ค่ากำลังดัดขวางของวัสดุแล้วยังทราบถึงพลังงานทั้งหมดที่ใช้สำหรับทำให้วัสดุแตกหัก และค่ามอดุลัสของยังที่ใช้เพื่ออธิบายลักษณะความแข็งตึงได้

งานวิจัยนี้สนใจศึกษากำลังดัดขวางแทนที่จะเป็นกำลังแรงกด (compressive stress) เนื่องจากซี่ฟันเทียมที่ออกแบบเป็นฟันหลังติดกันเป็นชุดเพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการเรียงฟันในงานออกหน่วยทันตกรรมพระราชทาน

ขณะบดเคี้ยวฐานฟันเทียมจะมีการบิดตัวจากแรงที่เกิดบนขากรรไกรทั้งสองด้าน ซึ่งแรงเหล่านี้จะส่งผลต่อซี่ฟันเทียมเช่นกัน หากซี่ฟันเทียมมีการบิดตัวที่แตกต่างจากฐานฟันเทียมมากจะทำให้เกิดการแยกตัวออกจากกันได้ การผสมสารเติมแต่งเข้าไปในอะคริลิกเรซินใสจึงไม่ควรทำให้ค่ากำลังดัดขวางเปลี่ยนแปลงจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอะคริลิกเรซินใส ซึ่งในที่นี้ใช้สำหรับเป็นตัวแทนของอะคริลิกเรซินสำหรับทำฐานฟันเทียม

โดยปกติแล้วแรงบดเคี้ยวที่กระทำต่อฟันเทียมไม่เป็นแรงคงที่ และมีเป็นช่วง ๆ แตกต่างตามชนิดของอาหารในขณะที่กำลังเคี้ยวและกลืนอาหาร ซึ่งแรงบดเคี้ยวสูงสุดที่เกิดในฟันเทียมทั้งปาก มีค่าระหว่าง 60-80 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่าฟันธรรมชาติ 5-6 เท่า[51] จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าวัสดุอัดแทรกไมโคร 10 และ 15% และนาโน 1 และ 3% โดยน้ำหนักสามารถเพิ่มความแข็งแรงของอะคริลิกเรซินใสได้[42] และจากการศึกษานี้พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกนาโน 1% โดยน้ำหนัก ให้ค่ากำลังดัดขวางและค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของอะคริลิกเรซินสูงสุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับอะคริลิกเรซินใส วัสดุสามารถทนต่อแรงดัดขวางได้เช่นเดียวกับกลุ่มอะคริลิกเรซินใสก่อนจะเกิดการแตกหัก แต่วัสดุอัดแทรกซิลิกานาโน 1% นั้นทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนผงอะคริลิกใสและมอนอเมอร์ที่กำหนดจะทำให้ค่ากำลังดัดขวางมีแนวโน้มลดลงทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาพบว่าเมื่อใส่ปริมาณวัสดุอัดแทรก (กลุ่มเซอร์โคเนีย หรือ ซิลิกา) มากเกินไปในเมทิลเมทาคริเลต ไม่ว่าจะมีการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน (γ -MPS) หรือไม่ ทำให้มีการลดลงของร้อยละการเกิดโครงข่ายพอลิเมอร์ของพอลิเมทิลเมทาคริเลต เนื่องจากวัสดุอัดแทรกที่มากเกินไปจะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสารเกิดปฏิกิริยา และจำกัดการเคลื่อนที่ของปลายสายไซโมเลกุล [52]

จากการศึกษาตอนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึกที่ดัดแปลงมาจากวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO/TS 14569 -1(1999)[43] ซึ่งเป็นการทดสอบความต้านทานการสึกด้วยการแปรงฟัน แม้ว่า การสึกของซี่ฟันปลอมส่วนมากมาจากการใช้งานบดเคี้ยว แต่ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดด้านเครื่องมือ และผู้วิจัยต้องการศึกษาเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลระหว่างชั้นทดสอบได้เท่านั้นจึงใช้การทดสอบนี้เพื่อศึกษาความต้านทานการสึก โดยวิธีนี้สามารถนำไปใช้กับการศึกษาการสึกของวัสดุบูรณะอื่น ๆ เช่น วัสดุส่วนวีเนียร์ ของครอบฟันหรือสะพานฟัน วัสดุบูรณะฟันหน้าได้ด้วย

เครื่องทดสอบการสึกด้วยการแปรงฟันนี้ถูกพัฒนาให้ใช้ประเมินผลการสึกแบบ three-body wear ได้ในห้องปฏิบัติการโดยมีสารตัวกลางเป็นยาสีฟันยี่ห้อหนึ่งที่เป็นชนิดเดียวกัน และผลิตในคราวเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดสอบชนิดหนึ่ง ๆ เท่านั้น โดยไม่ได้เป็นการจำลองการสึกที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก เนื่องจากกระบวนการสึกจากการบดเคี้ยวนั้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน มีปัจจัยจากภายนอก เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อบดเคี้ยว ลักษณะรูปร่างฟัน การเรียงตัวของฟัน สภาวะกรดต่างในช่องปาก รวมทั้งสารคั่นกลางเมื่อมีแรงบดเคี้ยว

การศึกษาคความต้านทานการสึก มีการศึกษาในหลายลักษณะ เช่น การสูญเสียมวลหรือน้ำหนัก การสูญเสียปริมาตร ความลึกหรือความกว้างของรอยขีดสี ทั้งนี้ขึ้นกับเครื่องมือที่ใช้วัดผลด้วย

การเลือกยี่ห้อของฟันเทียมอะคริลิกเรซินในงานวิจัยนี้เลือกจากซี่ฟันเทียมที่มีขายชนิดระนาบเดียว หรือ ฟันไร้ปุ่มในท้องตลาดจำนวน 4 ยี่ห้อ ซึ่งเป็นยี่ห้อที่หาซื้อได้และเป็นที่ยอมรับ โดยต้องเป็นฟันสีเดียวกัน ขนาดเดียวกัน และวันเดือนปีที่ผลิตเดียวกัน (Lot No.) งานวิจัยนี้สนใจในการศึกษาวัสดุผลิตซี่ฟันเทียมอะคริลิกชนิดระนาบเดียว เป็นฟันหลังติดกัน จึงเลือกใช้ฟันกรามหลังล่างซี่ที่ 1 ขนาดโมเดลใหญ่ที่สุดของแต่ละยี่ห้อ การเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดนั้นมาจากการศึกษานำร่องแล้วว่าทำให้ง่ายที่สุดในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากต้องการระนาบที่เรียบขนาดกว้างมากกว่า 5 มม.และยาวมากกว่า 7 มม. และหนาอย่างน้อย 3 มม.เพื่อการยึดติดในแม่แบบสำหรับยึดชิ้นงานทดสอบการแปรง ซึ่งเมื่อขัดเอาผิวและร่องฟันออกให้เรียบตามที่กำหนดแล้ว หากเป็นด้านบดเคี้ยวพบว่าจะเหลือความหนาน้อยเกินไป จึงเลือกใช้ด้านแก้มของฟันกรามหลังในการเตรียมชิ้นงาน เมื่อขัดผิวออกประมาณ 0.5 มม. จะได้ระนาบตามต้องการจึงนำไปตัดด้วยเครื่องตัด 2 ระนาบ จนได้ขนาดผิวหน้าทดสอบเท่ากันทุกกลุ่ม

การศึกษาคความต้านทานการสึกจากการแปรงนี้มีการสังเกตจากการสูญเสียมวลและการสูญเสียปริมาตร พบว่า ผลการทดลองเรื่องการสูญเสียน้ำหนักและการสูญเสียปริมาตรไม่มีความสัมพันธ์กันของค่าผลลัพธ์ที่ได้ และจะเห็นได้ว่าไม่สามารถคาดคะเนความ

ด้านทานการสึกได้จากลักษณะความแข็งผิว หรือ ลักษณะความแข็งแรงได้ ทั้งนี้อาจมีผลมาจากลักษณะการเชื่อมตติระหว่างพื้นผิววัสดุอัดแทรกและพอลิเมอร์เมทริกซ์ จากรายงานในคำแนะนำการเลือกใช้สารควบไซเลนของบริษัทว่าประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างไซเลนและวัสดุอัดแทรกในชนิดซิลิกา (Nanosilica) สูงกว่าชนิดแก้ว (BBAS glass) [60]

มีการศึกษา พบว่าการสึกของคอมโพสิตเกิดได้สองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการสึกบางตำแหน่งของส่วนพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่อ่อนกว่าทำให้ส่วนของวัสดุอัดแทรกที่แข็งกว่าโผล่พ้นขึ้นมา ต่อมาเมื่อมีแรงกระทำมากขึ้น ส่วนของวัสดุอัดแทรกนั้นจึงหลุดออก และพบว่ามีรอยแยกในวัสดุคอมโพสิตเรซินในส่วนของเรซินเมทริกซ์เป็นส่วนใหญ่[53] ซึ่ง Kawai สนับสนุนว่าเกิดได้จากความแข็งแรงแตกหักในส่วนของเรซินเมทริกซ์มีค่าน้อยกว่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างวัสดุอัดแทรกและเมทริกซ์[54] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hurt, Lutz และ Roulet ที่พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสึกของวัสดุกลุ่มคอมโพสิต คือ คุณภาพของพอลิเมอร์เมทริกซ์ ลักษณะของวัสดุอัดแทรกและผิวรอยต่อระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับวัสดุอัดแทรก [55] แต่อย่างไรก็ตามเป็นการทำนายได้ยาก ว่าส่วนพื้นผิวการสึกที่สูญเสียไปบนพื้นผิวหนึ่ง ๆ เป็นส่วนพอลิเมอร์เมทริกซ์หรือวัสดุอัดแทรกมากกว่ากัน

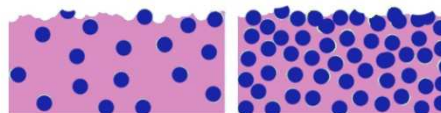
เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของวัสดุอัดแทรก ในกลุ่มวัสดุอัดแทรกแก้วชนิดไมโคร มีปริมาตรของวัสดุอัดแทรกมากกว่ากลุ่มวัสดุอัดแทรกซิลิกาชนิดนาโนมากดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 แสดงปริมาตรของวัสดุอัดแทรกที่ใส่ในแต่ละกลุ่มทดลอง

% Filler	PMMA (g)	Filler (g)	Monomer (ml)	Density (g/ml)	Vol of filler (ml)
PMMA	35	0	15	1.18	0
5%BBAS	33.25	1.75	15	3.049	0.574
10%BBAS	31.5	3.5	15	3.049	1.148
15%BBAS	29.75	5.25	15	3.049	1.722
1%Nano	34.65	0.35	15	2.4	0.146
3%Nano	33.95	1.05	15	2.4	0.438

ในการศึกษาเรื่องการสูญเสียปริมาตรพบว่า PMMA มีปริมาตรเสียไปมากที่สุด รองลงมาเป็นกลุ่ม 1%Nano 3%Nano 5%BBAS 10%BBAS และ 15%BBAS ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีลำดับการสูญเสียปริมาตรลดลงในขณะที่ปริมาตรของวัสดุอัดแทรกมีมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อวัสดุอัดแทรกมีมากขึ้นทำให้ผิวหน้าสัมผัสแปร่งที่เป็นส่วนพอลิเมอร์เมทริกซ์มีน้อยลง

และแรงยึดเกาะระหว่างวัสดุอัดแทรกและพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ดีสามารถลดการสูญเสียอนุภาคของวัสดุอัดแทรกได้ดังรูปที่ 26



รูปที่ 26 แสดงภาพจำลองวัสดุอัดแทรกที่กระจายตัวในพอลิเมอร์เมทริกซ์

ในปี 2001 มีการศึกษาเกี่ยวกับการสึกของวัสดุที่พื้นเทียมในพื้นหลังต่อชั้นผิวเคลือบพื้น โดยกลุ่มทดสอบได้แก่ พอลิเมทิลเมทาคริลเลท ที่พื้นคอมโพสิต ที่พื้นโลหะ ที่พื้นพอร์ซเลนและโลหะโคบอลต์-โครเมียม พบว่ามีค่าความแข็งผิวแบบนูนส์ดังตารางที่ 27

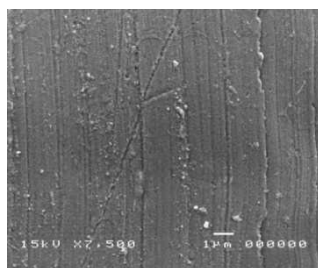
โดย Abe และคณะพบว่าค่าความสูงของผิวปุ่มพื้นวัสดุที่เสียบไปกับค่าความแข็งผิวแบบนูนส์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นกลุ่มที่พื้นคอมโพสิต (HR) ซึ่งมีความแข็งผิวสูงกว่า PMMA มาก แต่กลุ่ม HR มีการสึกของผิววัสดุมากกว่ากลุ่ม PMMA และทำให้ผิวของชั้นเคลือบพื้นสึกเท่า ๆ กับ PMMA[56] ดังนั้น จากผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่าไม่สามารถคาดคะเนความต้านทานการสึกได้จากลักษณะความแข็งผิว หรือ ลักษณะความแข็งแรง และมีหลายงานวิจัยที่พบว่าไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงของความต้านทานการสึกและความแข็งผิว แต่พบว่าค่าความแข็งผิวของเรซินเมทริกซ์เป็นดัชนีที่ดีที่สามารถทำนายความต้านทานการสึกของเรซินที่ไม่มีการเติมแต่งวัสดุอัดแทรกได้ [57, 58]

ผลการทดสอบความต้านทานการสึก พบว่า การสูญเสียมวลจากการสึกของกลุ่ม 1%Nano มีค่าน้อยที่สุด และ 3%Nano มีค่าน้อยรองลงมา เมื่อดูความแข็งผิวของกลุ่ม 1%Nano มีความแข็งผิวต่ำกว่ากลุ่ม 3%Nano และกลุ่ม 5%BBAS มีความแข็งผิวและกำลังดัดขวางเป็นอันดับสามแต่กลับมีการสูญเสียมวลและปริมาณมากกว่า กลุ่ม 10%BBAS และ 15% BBAS อย่างไรก็ตามสามารถเปรียบเทียบระหว่างชนิดกลุ่มวัสดุอัดแทรกได้ โดยมีความเป็นไปได้ว่าการที่กลุ่ม 1%Nano 3%Nano และกลุ่มควบคุมมีปริมาณการสูญเสียมวลน้อยกว่ากลุ่ม BBAS เนื่องจากมีปริมาณของวัสดุอัดแทรกที่เล็ก จำนวนน้อยกว่าหรือไม่มีเลย และมีการกระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ทำให้น้ำหนักของส่วนที่หลุดไปน้อยกว่า

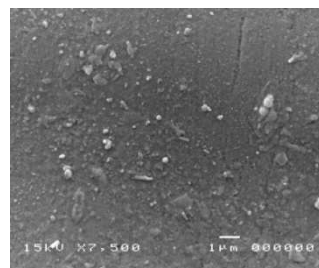
ตารางที่ 27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งผิวแบบนูปลัส (Knoop harness value) ของชั้นเคลือบฟัน ซีฟันคอมโพสิต ซีฟันโลหะ ซีฟันพอร์ซเลนและโลหะโคบอลต์-โครเมียม

Materials (brand)	ตัวย่อ	ผู้ผลิต	HK (s.d.)
พอลิเมทิลเมทาคริลเลท (Semi-Crown Posteriors)	PMMA	Nissin Dental Products, Kyoto, Japan	16.6 (0.8)
High-strength resin UDMA/TEGDMA/NPGDMA= 75/10/15wt% 70 wt% TMPT-type filler (Duracross Posteriors)	HR	Nissin Dental Products, Kyoto, Japan	37.0(3.3)
12% Au-Ag-Pd-Cu alloy (Castwell M.C. 12% gold)	Pd	GC., Tokyo, Japan	260.4 (10.1)
Co-Cr alloy	Co	Jelenko, Armmonk, New York	447.5 (22.3)
Porcelain Feldspa/Silica = 100/6 wt. %	Po	Nissin Dental Products, Kyoto, Japan	567.5 (19.5)
Human Enamel	-	-	337.3 (18.3)

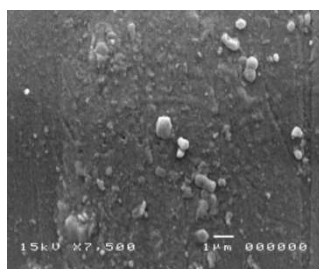
ผลการสูญเสียมวลและปริมาตรของซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้าทั้ง 4 ยี่ห้อ มีผลสอดคล้องกับการศึกษาค่าความแข็งผิวในปี 2003 ที่ศึกษาค่าความแข็งผิวของซีฟันเทียมชนิดฟันกรามหลังล่างซีที่ 1 ยี่ห้อต่างๆ ไว้ โดยพบว่า ยี่ห้อเมเจอร์เด็นท์และยามาฮาชิเอฟเอ็กซ์ มีค่าความแข็งผิวในระดับต่ำกว่า ยี่ห้อออโรโรดักซ์ทีอปและคอสโมเอชเอ็กซ์เอลที่มีค่าความแข็งผิวในระดับสูง[59]



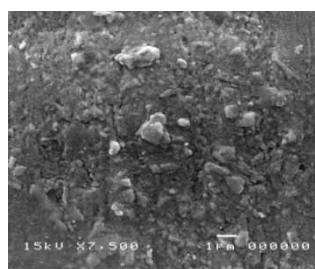
(ก) PMMA



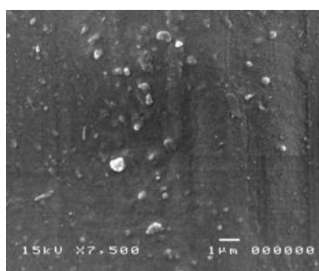
(ข) 5% BBAS



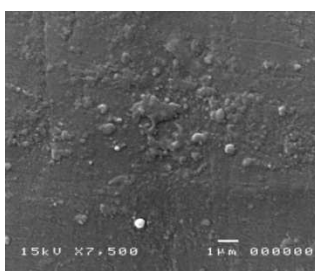
(ค) 10%BBAS



(ง) 15%BBAS



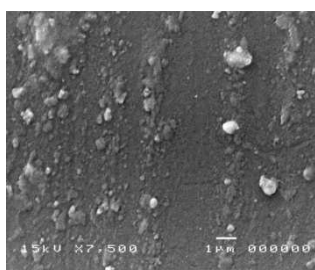
(จ) 1%Nano



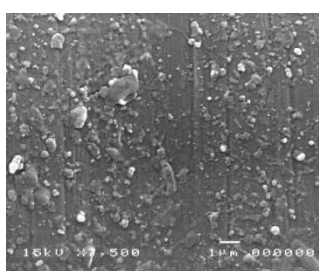
(ฉ) 3%Nano



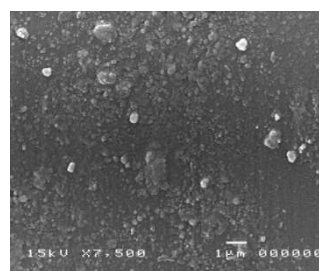
(ช) Majordent



(ซ) Yamahashi



(ญ) Cosmo



(ฎ) Ortolux

รูปที่ 27 แสดงภาพพื้นผิวหลังการแปรงจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM, JSM-5410LV , Jeol, Japan) ขยาย 7,500 เท่า ของพื้นผิวขึ้นทดสอบหลังการทดสอบด้วยการแปรงด้วยแรงกด 2.0-2.5 นิวตัน จำนวน 20,000 รอบ (ก) PMMA (ข) 5% BBAS(ค)10%BBAS(ง) 15%BBAS (จ) 1%Nano (ฉ) 3%Nano (ช) Majordent (ซ) Yamahashi Fx (ญ) CosmoHXL (ฎ) Ortolux Top

เมื่อศึกษาพื้นผิวที่เกิดจากการแปรงด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ดังรูปที่ 27 พบว่า วัสดุกลุ่มควบคุมเกิดรอยการแปรงได้ชัดเจนที่สุด และกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโครที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.7 ไมโครเมตร สามารถเห็นขนาดอนุภาคโผล่บนพื้นผิวได้ชัดเจนกว่ากลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน แต่อย่างไรก็ตามยังสามารถเห็นการเกาะกลุ่มกันของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโนได้ ซึ่งอาจมาจากเมื่อปรับสภาพผิววัสดุอัดแทรกนาโนแล้ว หลังจากการอบแห้งเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกิน ผู้วิจัยต้องนำผงแห้งนั้นมาบดละเอียดด้วยโกร่ง และทำการกรองด้วยเครื่องกรองแยกขนาดอนุภาคหลายขนาด แต่ด้วยข้อจำกัดของอุปกรณ์ซึ่งมีขนาดความละเอียดการกรองสูงสุดที่ 45 ไมโครเมตร ทำให้เกาะกลุ่มกันดูใหญ่ขึ้น

การดัดแปรวัสดุอัดแทรกทั้งสองชนิดทำให้อะคริลิกเรซินในชนิดบ่มร้อนนี้มีการสูญเสียปริมาตรลดลงในทุกกลุ่ม แม้ว่ากลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโนมีการสูญเสียน้อยกว่ากลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร แต่กลับมีการสูญเสียปริมาตรมากกว่า โดยในทางคลินิกการสูญเสียปริมาตรมีความสำคัญเนื่องจากมีผลต่อการรักษาระดับความสูงใบหน้าในแนวตั้ง อย่างไรก็ตามกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโนยังมีค่าการสูญเสียในระดับต่ำ ดังนั้นจากการทดลองเรื่องความต้านทานการสึกยังสนับสนุนว่ากลุ่ม 1%Nano นั้น มีความน่าสนใจในการนำมาศึกษาต่อเพื่อผลิตซีฟันอะคริลิกเรซินเพื่อใช้ในประเทศต่อไป

ส่วนพื้นผิวของซีฟันเทียมอะคริลิกสำเร็จรูปทางการค้านั้นสามารถเห็นสารเติมแต่งในยี่ห้อเมเจอร์เด็นท์และยามาฮาซีเอฟเอ็กซ์ได้ชัดเจน และมีขนาดใหญ่กว่ายี่ห้อออริโธลักซ์ทีโอปและคอสโมเอสเอ็กซ์เอล สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่ายี่ห้อเมเจอร์เด็นท์และยามาฮาซีเอฟเอ็กซ์มีการสูญเสียปริมาตรจากการทดสอบมากกว่ายี่ห้อออริโธลักซ์ทีโอปและคอสโมเอสเอ็กซ์เอล ซึ่งในกลุ่มที่มีวัสดุอัดแทรกขนาดใหญ่ หากมีการหลุดออกจากการแปรง ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียปริมาตรได้มากกว่าวัสดุอัดแทรกขนาดเล็ก ดังนั้นการปรับปรุงการต้านทานการสึกของพื้นผิวหากเพิ่มความแข็งผิวของพอลิเมอร์เมทริกซ์ลดขนาดของวัสดุอัดแทรกและเพิ่มประสิทธิภาพการยึดอยู่ของผิวรอยต่อระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับวัสดุอัดแทรกและการยึดระหว่างวัสดุอัดแทรกด้วยกันได้ ย่อมทำให้ความต้านทานการสึกเพิ่มมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

จากข้อจำกัดต่างๆของการศึกษานี้ พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกเพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุผลิตซีพินเทียมอะคริลิกเรซินไฮซินิคมรؤون ในเรื่องกำลังดัดขวางและการต้านทานความลึกล้นสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะ ปริมาณ และการเตรียมพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกที่แตกต่างกันมีผลต่อสมบัติกำลังดัดขวางและการต้านทานความลึกล้นของอะคริลิกเรซินไฮซินิคมรؤون
2. การดัดแปรอะคริลิกเรซินไฮซินิคมรؤونด้วยวัสดุอัดแทรกซิลิกาทั้งสองชนิดด้วยปริมาณที่เหมาะสมสามารถเพิ่มสมบัติกำลังดัดขวางและความต้านทานการลึกล้นได้
3. ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียมวลและค่าการสูญเสียปริมาตรจากการแปรทั้งในอะคริลิกเรซินไฮซินิคมรؤونที่ดัดแปรด้วยวัสดุอัดแทรกและซีพินอะคริลิกทางการค้าทั้ง 4 ยี่ห้อ
4. อะคริลิกเรซินไฮซินิคมรؤونที่ดัดแปรด้วยวัสดุอัดแทรกนาโนในปริมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักนั้นให้ค่าเฉลี่ยกำลังดัดขวางของอะคริลิกเรซินสูงที่สุด ค่าเฉลี่ยการสูญเสียมวลจากการแปรลดลงและไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าเฉลี่ยการสูญเสียปริมาตรจากการแปรลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สรุปโดยรวมพบว่า อะคริลิกเรซินไฮซินิคมรؤونที่ดัดแปรด้วยเติมวัสดุอัดแทรกนาโนในปริมาณร้อยละ 1 มีค่ากำลังดัดขวางและความต้านทานการลึกล้นที่ดีมีความน่าสนใจสำหรับเป็นวัสดุผลิตซีพินเทียม ซึ่งยังต้องการการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้เริ่มทดสอบที่ส่วนผสมของวัสดุเติมแต่งเพียงหนึ่งชนิดคือวัสดุอัดแทรก ซึ่งการผลิตซีพินเทียมได้ต้องมีการเติมแต่งสารกลุ่มอื่นๆอีก ซึ่งควรศึกษาเพิ่มเติมเมื่อผสมส่วนผสมมากกว่าหนึ่งชนิดในแง่ของสมบัติโดยรวม และผลกระทบจากส่วนผสมอื่นๆ และ การทดสอบเรื่องค่ากำลังดัดขวางและความต้านทานการลึกล้นของวัสดุผลิตซีพินเทียมนี้เป็นเพียงสมบัติหนึ่งที่สนใจจากหลาย ๆ สมบัติ เช่น การดูดซึมน้ำ แรงยึดติดกับฐานพื้นเทียม ความโปร่งแสง ความต้านทานการละลายจากสารเคมี ความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ และการทดสอบการใช้ทางคลินิก ซึ่งต้องการการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปอีกในอนาคต

รายการอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ ชุณหรัศมิ์. สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ.2552 [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.thaitgri.org/images/stories/report/52/thai/Situation_of_the_Thai_Elderly_2552.pdf 2552 [13 มิถุนายน 2554].
- [2] McCabe J.F. and Walls A. Applied dental materials. Oxford, UK ; Ames, Iowa: Blackwell Pub., 2008.
- [3] Levin B. Monoplane teeth. J Am Dent Assoc. 85 (Oct 1972): 781.
- [4] Callister W.D. Materials Science And Engineering (วัสดุศาสตร์และวิศวกรรมวัสดุพื้นฐาน) : an introduction, Polymer Structure. แปลโดย สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์ กรุงเทพมหานคร, 2548.
- [5] พิเชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์ 2545.
- [6] Anusavice K.J. and Phillips R.W. Phillips' science of dental materials. St. Louis, Mo. : Saunders, 2003.
- [7] The glossary of prosthodontics term. J Prosthet Dent. 94 (2005): 10-92.
- [8] Darvell B.W. Materials Science for Dentistry. Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [9] O'Brien W.J. Dental materials and their selection. Quintessence Pub. Co., 2008.
- [10] เจน รัตน์ไพศาล. ทันตวัสดุศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : บริษัทโรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด ,2533.
- [11] The Bowers and group. Research Project : Synthetic Polymer [Online]. Department of Chemistry and Biochemistry ,UCSB. Available from http://bowers.chem.ucsb.edu /research /synthetic_polymers /pmma_ps /index.shtml [2012, March 17].
- [12] Craig R.G., Powers J.M. and Wataha J.C. Dental materials : properties and manipulation. St. Louis, Mo.: Mosby, 2004.

- [13] Freitas K.M.d. and Paranhos H.d.F.O. Weight loss of five commercially available denture teeth after toothbrushing with three different dentifrices. Journal of Applied Oral Science. 14 (2006): 242-246.
- [14] Suwannaroop P., Chaijareenont P., Koottathape N., Takahashi H. and Arksornnukit M. In vitro wear resistance, hardness and elastic modulus of artificial denture teeth. Dent Mater J. 30 (Jul 2011): 461-8.
- [15] Suzuki S. In vitro wear of nano-composite denture teeth. J Prosthodont. 13 (Dec 2004): 238-43.
- [16] Stober T., Lutz T., Gilde H. and Rammelsberg P. Wear of resin denture teeth by two-body contact. Dent Mater. 22 (Mar 2006): 243-9.
- [17] อรุษา สรวารี สารเติมแต่งโพลีเมอร์ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [18] Matinlinna J.P., Lassila L.V., Ozcan M., Yli-Urpo A. and Vallittu P.K. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. Int J Prosthodont. 17 (Mar-Apr 2004): 155-64.
- [19] Shin-Etsu, Chemical and Co., L. Silane Coupling Agents. [Online]: Available from : http://www.silicone.jp/e/catalog/pdf/SilaneCouplingAgents_e.pdf [2012, June 28].
- [20] The International Organization for Standardization. Reference number ISO/TS 20795-1:Dentistry - Base polymers, *Part 1: Denture base polymers*. Thai Industrial Standards Institute, 2008.
- [21] Reports of Council and Bureaus. ANSI/ADA Specification No. 12 Denture Base Polymers. J Am Dent Assoc. 90 (Febrary,1975): 451-458.
- [22] Wikipedia. Poly(methyl methacrylate)[Online]. 2012.: Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/Poly%28methyl_methacrylate%29 [2012, July 17].

- [23] Victor HS. Developments in the denture field during the past half century. The Journal of Prosthetic Dentistry. 8 (1958): 61-67.
- [24] Peyton F.A. History of Resins in Dentistry Dent Clin North Am. 19 (1975): 211-22.
- [25] Ruyter IE, S.S. Flexural properties of denture base polymers. J Prosthet Dent 1980. 43 (1980): 95-104.
- [26] Harrison A., Huggett R. and Jagger R.C. The effect of a cross-linking agent on the abrasion resistance and impact strength of an acrylic resin denture base material. J Dent. 6 (Dec 1978): 299-304.
- [27] Mahalick J.A., Knap, F.J. and Weiter, E.J. Occusal wear in prosthodontics. J Am Dent Assoc. 82 (Jan 1971): 154-9.
- [28] Bowen R.L. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. J Am Dent Assoc. 66 (Jan 1963): 57-64.
- [29] Li Y., Swartz M.L., Phillips, R.W., Moore, B.K. and Roberts, T.A. Effect of filler content and size on properties of composites. J Dent Res. 64 (Dec 1985): 1396-401.
- [30] St Germain H., Swartz M.L., Phillips R.W., Moore B.K. and Roberts T.A. Properties of microfilled composite resins as influenced by filler content. J Dent Res. 64 (Feb 1985): 155-60.
- [31] Dogan A., Bek B. Cevik N.N. and Usanmaz A. The effect of preparation conditions of acrylic denture base materials on the level of residual monomer, mechanical properties and water absorption. J Dent. 23 (Oct 1995): 313-8.
- [32] Keller J.C. and Lautenschlager E.P. Porosity reduction and its associated effect on the diametral tensile strength of activated acrylic resins. J Prosthet Dent. 53 (Mar 1985): 374-9.

- [33] Takahashi Y., Chai J. and Kawaguchi, M. Equilibrium strengths of denture polymers subjected to long-term water immersion. Int J Prosthodont. 12 (Jul-Aug 1999): 348-52.
- [34] Kim K.H., Ong J.L. and Okuno, O. The effect of filler loading and morphology on the mechanical properties of contemporary composites. J Prosthet Dent. 87 (Jun 2002): 642-9.
- [35] Bayne S.C., Heymann H.O. and Swift, E.J., Jr. Update on dental composite restorations. J Am Dent Assoc. 125 (Jun 1994): 687-701.
- [36] Mai Y. and Yu Z. Polymer nanocomposites. Cambridge, UK : Woodhead Publishing Ltd., 2006.
- [37] Bayne S.C. Dental biomaterials: where are we and where are we going? J Dent Educ. 69(May 2005): 571-85.
- [38] Arksornnukit M., Takahashi H. and Nishiyama N. Effects of silane coupling agent amount on mechanical properties and hydrolytic durability of composite resin after hot water storage. Dent Mater J. 23 (Mar 2004): 31-6.
- [39] May K.B., Fox J., Razzoog M.E. and Lang, B.R. Silane to enhance the bond between polymethyl methacrylate and titanium. J Prosthet Dent. 73 (May 1995): 428-31.
- [40] Uhlerdental.com. The ORTOLUX-Top Mould Chart. [Online],2012.: Available from : [http://www.uhlerdental.com /images/broch_ortolux.pdf](http://www.uhlerdental.com/images/broch_ortolux.pdf) [2012, 9 April].
- [41] DENTSPLY and Ltd. Mould Charts : Cosmo [Online]. 2012.: Available from : <http://www.dentsply.com.au/secure/downloadfile.asp?fileid=1019098> [2012, April 9].
- [42] กาญจนานพร มิ่งมงคลชัย. ความแข็งแรงการยึดติดแบบดิ่งและความแข็งแรงผิวของซีฟ่อนปลอม. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

- [43] The International Organization for Standardization. Reference number ISO/TS 14569-1: Dental materials - Guidance on testing of wear, *Part 1: Wear by toothbrushing*. Thai Industrial Standards Institute, 1999.
- [44] The International Organization for Standardization. Reference number ISO/TS 11609: Dentistry-Toothpaste, *Requirements, test methods and marking*. Thai Industrial Standards Institute, 1995.
- [45] Ambjornsen E. and Holland R.I. In vitro abrasion of two acrylic veneers. Dent Mater. 10 (Mar 1994): 107-10.
- [46] Tanoue N., Matsumura H. and Atsuta M. Wear and surface roughness of current prosthetic composites after toothbrush/dentifrice abrasion. J Prosthet Dent. 84 (Jul 2000): 93-7.
- [47] Unalan F. and Dikbas I. Effects of mica and glass on surface hardness of acrylic tooth material. Dent Mater J. 26 (Jul 2007): 545-8.
- [48] Friedrich K., Fakirov S. and Zhang Z. Polymer Composite From Nano-to Macro-Scale. New York, USA: Springer 2005.
- [49] Wang D. and Jones F.R. ToF-SIMS and XPS studies of the interaction of silanes and matrix resins with glass surfaces. Surface and Interface Analysis. 20 (1993): 457-467.
- [50] Norstrom A., Watson H., Engstrom B. and Rosenholm J. Treatment of E-glass fibres with acid, base and silanes. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 194 (2001): 143-157.
- [51] Zarb G.A., Bolender C.L. and Eckert S.E. Prosthetic treatment for edentulous patients : complete dentures and implant-supported prostheses. St. Louis: Mosby, 2004.

- [52] Halvorson R.H., Erickson R.L. and Davidson C.L. The effect of filler and silane content on conversion of resin-based composite. Dental Materials. 19 (2003):327-333.
- [53] Kawaguchi M., Fukushima T. and Horibe T. Effect of monomer structure on the mechanical properties of light-cured composite resins. Dent Mater J. 8 (June1989): 40-5.
- [54] Kawai K., Iwami Y. and Ebisu S. Effect of resin monomer composition on toothbrush wear resistance. J Oral Rehabil. 25 (Apr 1998): 264-8.
- [55] Hirt T., Lutz F. and Roulet J.F. In vivo evaluation of occlusal wear of two experimental composites versus amalgam. J Oral Rehabil. 11 (Nov 1984): 511-20.
- [56] Abe Y., Sato Y., Taji T., Akagawa Y., Lambrechts P. and Vanherle G. An in vitro wear study of posterior denture tooth materials on human enamel. J Oral Rehabil. 28 (May 2001): 407-12.
- [57] Harrison A. and Draughn R.A. Abrasive wear, tensile strength, and hardness of dental composite resins--is there a relationship? J Prosthet Dent. 36 (Oct 1976): 395-8.
- [58] Willems G., Celis J.P., Lambrechts P., Braem M., Roos J.R. and Vanherle G. In vitro vibrational wear under small displacements of dental materials opposed to annealed chromium-steel counterbodies. Dent Mater. 8 (Nov 1992): 338-44.
- [59] จตุพร ตียะพรัญชัย. ผลของวัสดุอุดแทรกต่อความแข็งผิวและการสึกของวัสดุผลิตซีฟันปลอม
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรม
ประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [60] Gelest and Inc. Silane Coupling Agents: Connecting Across
Boundaries.[Online],2006: Available from :
http://www.gelest.com/goods/pdf/coupling_agents.pdf [2012, 9 April].

ภาคผนวก

ภาคผนวก

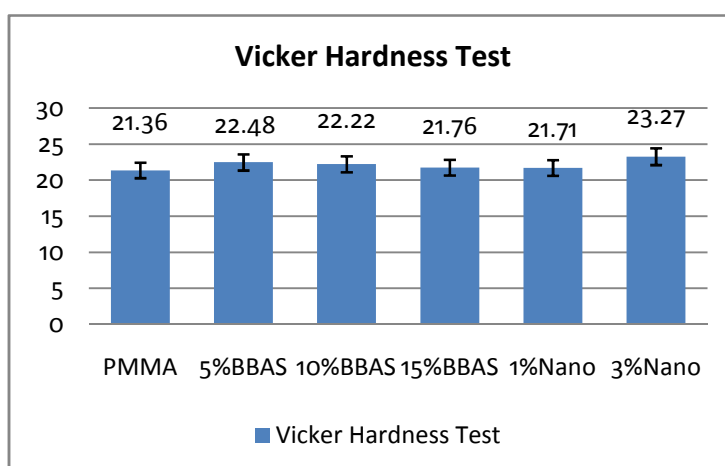
การทดสอบค่าความแข็งผิว

ตารางที่ 28 แสดงค่าความแข็งผิวจากการศึกษาในปี 2010

ชนิดวัสดุ	ค่าความแข็งผิว
control 0%	21.30
BBAS 10%	22.29
BBAS 15%	21.95
Nano 1%	21.73
Nano 3%	23.09
Majordent	22.90
Ortolux	23.71

เนื่องจากการทดสอบความแข็งผิวของวัสดุอะคริลิกเรซินชนิดดัดแปรเดียวกันนี้ ในปี 2010 พบว่ามีค่าความแข็งผิว ดังตารางที่ 17 โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้วัสดุและวิธีการเตรียมชิ้นทดสอบของอะคริลิกเรซินใสชนิดดัดแปรด้วยวิธีเดียวกัน ภายใต้วัสดุและอุปกรณ์เหมือนกัน

พบว่าค่าความแข็งผิวของอะคริลิกที่ผสมวัสดุอัดแทรกซิลิกาชนิดนาโนร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (3% Nano) ให้ค่าความแข็งผิวมากที่สุด รองลงมาได้แก่ อะคริลิกที่ผสมวัสดุอัดแทรก BBAS 5%, BBAS 10%, Nanosilica 1% BBAS 15% และ PMMA ตามลำดับ



รูปที่ 27 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของอะคริลิกใสในการทดสอบนำร่อง

เมื่อทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้า โดย Pair T-test ดังตารางในภาคผนวกที่ 19 พบว่า ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงผิวของกลุ่มทดลองทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำวัสดุกลุ่มนี้มาทดสอบเรื่องกำลังตัดขวางและความต้านทานการสึกต่อไป

ตารางที่ 29 แสดงสถิติเชิงพรรณนาของการทดสอบนำร่องเรื่องค่าความแข็งแรง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		PMMA	BBAS5	BBAS10	BBAS15
Normal Parameters ^{a,b}	N	10	10	10	10
	Mean	21.3600	22.4800	22.2200	21.7600
	Std. Deviation	.46714	.44422	.41042	.32728
Most Extreme Differences	Absolute	.266	.136	.170	.188
	Positive	.266	.136	.121	.188
	Negative	-.166	-.118	-.170	-.136
	Kolmogorov-Smirnov Z	.841	.429	.536	.593
Asymp. Sig. (2-tailed)		.479	.993	.936	.873

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Nano1	Nano3
Normal Parameters ^{a,b}	N	10	10
	Mean	21.7100	23.2700
	Std. Deviation	.38715	.37133
Most Extreme Differences	Absolute	.206	.176
	Positive	.206	.176
	Negative	-.188	-.134
	Kolmogorov-Smirnov Z	.652	.558
Asymp. Sig. (2-tailed)		.789	.915

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 30 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งผิว

ตารางที่ 30-1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งผิวของ PMMA

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PMMA	10	21.3600	.46714	.14772

One-Sample Test

	Test Value = 21.3					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
PMMA	.406	9	.694	.06000	-.2742	.3942

ตารางที่ 30-2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งผิวของ 10%BBAS

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BBAS10	10	22.2200	.41042	.12979

One-Sample Test

	Test Value = 22.29					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
BBAS10	-.539	9	.603	-.07000	-.3636	.2236

ตารางที่ 30-3 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งผิวของ 15%BBAS

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BBAS15	10	21.7600	.32728	.10349

One-Sample Test

	Test Value = 21.95					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
BBAS15	-1.836	9	.100	-.19000	-.4241	.0441

ตารางที่ 30-4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งผิวของ 1%Nano

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Nano1	10	21.7100	.38715	.12243

One-Sample Test

	Test Value = 21.73					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
Nano1	-.163	9	.874	-.02000	-.2970	.2570

ตารางที่ 30- 5 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Pair T-test ของค่าความแข็งผิวของ 3%Nano

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Nano3	10	23.2700	.37133	.11743

One-Sample Test

	Test Value = 23.09					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
Nano3	1.533	9	.160	.18000	-.0856	.4456

ตารางที่ 31 แสดงสถิติเชิงพรรณนาของการทดสอบกำลังดัดขวาง

Descriptives

FlexStrength

					95% Confidence Interval for Mean	
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	8	87.6500	6.46175	2.28457	82.2478	93.0522
2 5%BBAS	8	80.0400	5.64129	1.99450	75.3238	84.7562
3 10%BBAS	8	79.2902	4.11863	1.45615	75.8469	82.7334
4 15%BBAS	8	66.5000	3.18136	1.12478	63.8403	69.1597
5 1%Nano	8	88.2800	5.22941	1.84888	83.9081	92.6519
6 3%Nano	8	72.8836	2.97934	1.05336	70.3928	75.3744
Total	48	79.1073	8.99620	1.29849	76.4951	81.7195

Descriptives

FlexStrength

	Minimum	Maximum
1 PMMA	77.40	95.71
2 5%BBAS	72.82	88.19
3 10%BBAS	72.08	84.25
4 15%BBAS	62.35	71.71
5 1%Nano	81.23	95.82
6 3%Nano	66.29	75.37
Total	62.35	95.82

ตารางที่ 32 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของการทดสอบกำลังดัดขวาง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

type		FlexStrength	
1 PMMA	N	8	
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	87.6500
		Std. Deviation	6.46175
	Most Extreme Differences	Absolute	.200
		Positive	.149
		Negative	-.200
	Kolmogorov-Smirnov Z	.564	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.908	
2 5%BBAS	N	8	
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	80.0400
		Std. Deviation	5.64129
	Most Extreme Differences	Absolute	.215
		Positive	.215

	Negative	-.135
	Kolmogorov-Smirnov Z	.607
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.854
3 10%BBAS	N	8
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	79.2902
	Std. Deviation	4.11863
Most Extreme Differences	Absolute	.181
	Positive	.114
	Negative	-.181
	Kolmogorov-Smirnov Z	.511
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.956
4 15%BBAS	N	8
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	66.5000
	Std. Deviation	3.18136
Most Extreme Differences	Absolute	.164
	Positive	.164
	Negative	-.132
	Kolmogorov-Smirnov Z	.465
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.982
5 1%Nano	N	8
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	88.2800
	Std. Deviation	5.22941
Most Extreme Differences	Absolute	.154
	Positive	.154
	Negative	-.131
	Kolmogorov-Smirnov Z	.434
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.992
6 3%Nano	N	8
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	72.8836

	Std. Deviation	2.97934
Most Extreme Differences	Absolute	.290
	Positive	.202
	Negative	-.290
	Kolmogorov-Smirnov Z	.821
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.510

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 33 แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบกำลังดัดขวางของกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

Test of Homogeneity of Variances

FlexStrength

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.423	3	28	.257

ตารางที่ 34 แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังดัดขวางของกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

ANOVA

FlexStrength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1845.208	3	615.069	24.441	.000
Within Groups	704.637	28	25.166		
Total	2549.844	31			

Robust Tests of Equality of Means

FlexStrength

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	31.307	3	15.049	.000
Brown-Forsythe	24.441	3	22.544	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 35 แสดงการทดสอบเชิงซ้อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังดัดขวางของกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

FlexStrength

Tukey HSD

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	2 5%BBAS	7.61000*	2.50827	.025	.7617	14.4583
	3 10%BBAS	8.35982*	2.50827	.012	1.5115	15.2082
	4 15%BBAS	21.15000*	2.50827	.000	14.3017	27.9983
2 5%BBAS	1 PMMA	-7.61000*	2.50827	.025	-14.4583	-.7617
	3 10%BBAS	.74982	2.50827	.991	-6.0985	7.5982
	4 15%BBAS	13.54000*	2.50827	.000	6.6917	20.3883
3 10%BBAS	1 PMMA	-8.35982*	2.50827	.012	-15.2082	-1.5115
	2 5%BBAS	-.74982	2.50827	.991	-7.5982	6.0985
	4 15%BBAS	12.79018*	2.50827	.000	5.9418	19.6385
4 15%BBAS	1 PMMA	-21.15000*	2.50827	.000	-27.9983	-14.3017
	2 5%BBAS	-13.54000*	2.50827	.000	-20.3883	-6.6917
	3 10%BBAS	-12.79018*	2.50827	.000	-19.6385	-5.9418

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

FlexStrength

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
4 15%BBAS	8	66.5000		
3 10%BBAS	8		79.2902	
2 5%BBAS	8		80.0400	
1 PMMA	8			87.6500
Sig.		1.000	.991	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตารางที่ 36 แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของข้อมูลการทดสอบกำลังดัดขวางของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

Test of Homogeneity of Variances

FlexStrength

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.657	2	21	.215

ตารางที่ 37 แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังดัดขวางของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

ANOVA

FlexStrength

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1214.647	2	607.323	23.365	.000
Within Groups	545.842	21	25.992		
Total	1760.488	23			

Robust Tests of Equality of Means

FlexStrength

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	34.330	2	12.554	.000
Brown-Forsythe	23.365	2	16.561	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 38 แสดงการทดสอบเชิงซ้อนของค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดสอบกำลังดัดขวางของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

FlexStrength

Tukey HSD

					95% Confidence Interval	
(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	-.63000	2.54914	.967	-7.0553	5.7953
	6 3%Nano	14.76640*	2.54914	.000	8.3411	21.1917
5 1%Nano	1 PMMA	.63000	2.54914	.967	-5.7953	7.0553
	6 3%Nano	15.39640*	2.54914	.000	8.9711	21.8217
6 3%Nano	1 PMMA	-14.76640*	2.54914	.000	-21.1917	-8.3411
	5 1%Nano	-15.39640*	2.54914	.000	-21.8217	-8.9711

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

FlexStrength

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6 3%Nano	8	72.8836	
1 PMMA	8		87.6500
5 1%Nano	8		88.2800
Sig.		1.000	.967

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตารางที่ 39 แสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าพลังงานแตกหัก

Descriptive Statistics

Type	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 PMMA Toughness	8	.24291	.052069	.159	.335
2 5%BBAS Toughness	8	.18851	.049064	.133	.265
3 10%BBAS Toughness	8	.15101	.029040	.106	.199
4 15%BBAS Toughness	8	.10598	.010505	.090	.121
5 1%Nano Toughness	8	.26200	.058328	.210	.373
6 3%Nano Toughness	8	.13243	.009888	.120	.151

ตารางที่ 40 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของค่าพลังงานแตกหัก

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Type	Toughness
1 PMMA	8
Normal Parameters ^{a,b}	
Mean	.24291
Std. Deviation	.052069
Most Extreme Differences	
Absolute	.188
Positive	.188
Negative	-.168
Kolmogorov-Smirnov Z	.533
Asymp. Sig. (2-tailed)	.939
2 5%BBAS	8
Normal Parameters ^{a,b}	
Mean	.18851
Std. Deviation	.049064
Most Extreme Differences	
Absolute	.188
Positive	.188
Negative	-.145
Kolmogorov-Smirnov Z	.533

		Asymp. Sig. (2-tailed)	.939
3 10%BBAS	N		8
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	.15101
		Std. Deviation	.029040
	Most Extreme Differences	Absolute	.206
		Positive	.206
		Negative	-.120
		Kolmogorov-Smirnov Z	.582
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.888
4 15%BBAS	N		8
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	.10597
		Std. Deviation	.010505
	Most Extreme Differences	Absolute	.177
		Positive	.177
		Negative	-.157
		Kolmogorov-Smirnov Z	.501
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.963
5 1%Nano	N		8
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	.26200
		Std. Deviation	.058328
	Most Extreme Differences	Absolute	.281
		Positive	.281
		Negative	-.188
		Kolmogorov-Smirnov Z	.796
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.550
6 3%Nano	N		8
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	.13243
		Std. Deviation	.009888
	Most Extreme Differences	Absolute	.197

Positive	.197
Negative	-.138
Kolmogorov-Smirnov Z	.557
Asymp. Sig. (2-tailed)	.916

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 41 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

Test of Homogeneity of Variances

Toughness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.770	3	28	.022

ตารางที่ 42 แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลของค่าพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

ANOVA

Toughness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.081	3	.027	17.744	.000
Within Groups	.043	28	.002		
Total	.123	31			

Robust Tests of Equality of Means

Toughness

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	25.206	3	13.017	.000
Brown-Forsythe	17.744	3	18.610	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 43 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกไมโคร

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Toughness

Tamhane

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	2 5%BBAS	.054400	.025294	.263	-.02300	.13180
	3 10%BBAS	.091900*	.021079	.007	.02449	.15931
	4 15%BBAS	.136938*	.018780	.001	.07074	.20314
2 5%BBAS	1 PMMA	-.054400	.025294	.263	-.13180	.02300
	3 10%BBAS	.037500	.020157	.428	-.02649	.10149
	4 15%BBAS	.082538*	.017740	.011	.02019	.14488
3 10%BBAS	1 PMMA	-.091900*	.021079	.007	-.15931	-.02449
	2 5%BBAS	-.037500	.020157	.428	-.10149	.02649
	4 15%BBAS	.045038*	.010918	.016	.00823	.08184
4 15%BBAS	1 PMMA	-.136938*	.018780	.001	-.20314	-.07074
	2 5%BBAS	-.082538*	.017740	.011	-.14488	-.02019
	3 10%BBAS	-.045038*	.010918	.016	-.08184	-.00823

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 44 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

Test of Homogeneity of Variances

Toughness

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.312	2	21	.014

ตารางที่ 45 แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลของค่าพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

ANOVA

Toughness

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.078	2	.039	18.909	.000
Within Groups	.043	21	.002		
Total	.122	23			

Robust Tests of Equality of Means

Toughness

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	33.232	2	9.909	.000
Brown-Forsythe	18.909	2	14.262	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 46 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยพลังงานแตกหักของกลุ่มวัสดุอัดแทรกนาโน

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Toughness

Tamhane

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	-.019087	.027643	.876	-.09410	.05593
	6 3%Nano	.110488*	.018738	.001	.05324	.16773
5 1%Nano	1 PMMA	.019087	.027643	.876	-.05593	.09410
	6 3%Nano	.129575*	.020916	.001	.06544	.19371
6 3%Nano	1 PMMA	-.110488*	.018738	.001	-.16773	-.05324
	5 1%Nano	-.129575*	.020916	.001	-.19371	-.06544

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 47 แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง

Descriptive Statistics

Type	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 PMMA FlexModulus	8	3.6563	.45850	2.69	4.21
2 5%BBAS FlexModulus	8	3.9400	.18000	3.70	4.16
3 10%BBAS FlexModulus	8	4.2900	.10717	4.06	4.41
4 15%BBAS FlexModulus	8	4.2263	.22328	3.99	4.59
5 1%Nano FlexModulus	8	2.7800	.23262	2.39	3.10
6 3%Nano FlexModulus	8	3.2888	.57202	2.68	3.95

ตารางที่ 48 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยัง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Type	FlexModulus
1 PMMA	8
Normal Parameters ^{a,b}	
Mean	3.6563
Std. Deviation	.45850
Most Extreme Differences	
Absolute	.279
Positive	.129
Negative	-.279
Kolmogorov-Smirnov Z	.790
Asymp. Sig. (2-tailed)	.560
2 5%BBAS	8
Normal Parameters ^{a,b}	
Mean	3.9400
Std. Deviation	.18000
Most Extreme Differences	
Absolute	.157
Positive	.157
Negative	-.151
Kolmogorov-Smirnov Z	.443
Asymp. Sig. (2-tailed)	.989

3 10%BBAS	N	8	
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	4.2900
		Std. Deviation	.10717
	Most Extreme Differences	Absolute	.265
		Positive	.131
		Negative	-.265
	Kolmogorov-Smirnov Z	.749	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.629	
4 15%BBAS	N	8	
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	4.2263
		Std. Deviation	.22328
	Most Extreme Differences	Absolute	.242
		Positive	.242
		Negative	-.170
	Kolmogorov-Smirnov Z	.684	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.738	
5 1%Nano	N	8	
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	2.7800
		Std. Deviation	.23262
	Most Extreme Differences	Absolute	.199
		Positive	.136
		Negative	-.199
	Kolmogorov-Smirnov Z	.562	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.910	
6 3%Nano	N	8	
	Normal Parameters ^{a,,b}	Mean	3.2888
		Std. Deviation	.57202
	Most Extreme Differences	Absolute	.294
		Positive	.294

Negative	-213
Kolmogorov-Smirnov Z	.831
Asymp. Sig. (2-tailed)	.495

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 49 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของวัสดุอัดแท่งกลุ่มไมโคร

Test of Homogeneity of Variances

FlexModulus

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.651	3	28	.068

ตารางที่ 50 แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของวัสดุอัดแท่งกลุ่มไมโคร

ANOVA

FlexModulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.031	3	.677	8.909	.000
Within Groups	2.128	28	.076		
Total	4.159	31			

Robust Tests of Equality of Means

FlexModulus

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	10.190	3	14.346	.001
Brown-Forsythe	8.909	3	13.513	.002

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 51 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยางของวัสดุอัด
แทรกกลุ่มไมโคร

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

FlexModulus

Tukey HSD

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
151	2 5%BBAS	-.28375	.13783	.191	-.6601	.0926
	3 10%BBAS	-.63375*	.13783	.000	-1.0101	-.2574
	4 15%BBAS	-.57000*	.13783	.002	-.9463	-.1937
2 5%BBAS	1 PMMA	.28375	.13783	.191	-.0926	.6601
	3 10%BBAS	-.35000	.13783	.075	-.7263	.0263
	4 15%BBAS	-.28625	.13783	.185	-.6626	.0901
3 10%BBAS	1 PMMA	.63375*	.13783	.000	.2574	1.0101
	2 5%BBAS	.35000	.13783	.075	-.0263	.7263
	4 15%BBAS	.06375	.13783	.967	-.3126	.4401
4 15%BBAS	1 PMMA	.57000*	.13783	.002	.1937	.9463
	2 5%BBAS	.28625	.13783	.185	-.0901	.6626
	3 10%BBAS	-.06375	.13783	.967	-.4401	.3126

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

FlexModulus

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1 PMMA	8	3.6563	
2 5%BBAS	8	3.9400	3.9400
4 15%BBAS	8		4.2263
3 10%BBAS	8		4.2900
Sig.		.191	.075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

FlexModulus

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1 PMMA	8	3.6563	
2 5%BBAS	8	3.9400	3.9400
4 15%BBAS	8		4.2263
3 10%BBAS	8		4.2900
Sig.		.191	.075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตารางที่ 52 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของวัสดุอัดแทรกกลุ่มนาโน

Test of Homogeneity of Variances

FlexModulus

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.943	2	21	.009

ตารางที่ 53 แสดงการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยังของวัสดุอัดแทรกกลุ่มนาโน

ANOVA

FlexModulus

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.098	2	1.549	7.855	.003
Within Groups	4.141	21	.197		
Total	7.239	23			

Robust Tests of Equality of Means

FlexModulus

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	12.124	2	12.119	.001
Brown-Forsythe	7.855	2	15.886	.004

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 54 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าเฉลี่ยมอดุลัสของยางของวัสดุอัด
แทรกกลุ่มนาโน

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

FlexModulus

Tamhane

					95% Confidence Interval	
(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	.87625*	.18178	.002	.3600	1.3925
	6 3%Nano	.36750	.25919	.447	-.3391	1.0741
5 1%Nano	1 PMMA	-.87625*	.18178	.002	-1.3925	-.3600
	6 3%Nano	-.50875	.21833	.126	-1.1431	.1256
6 3%Nano	1 PMMA	-.36750	.25919	.447	-1.0741	.3391
	5 1%Nano	.50875	.21833	.126	-.1256	1.1431

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ส่วนที่ 2 การทดสอบความต้านทานการสึก

ตารางที่ 55 แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของมูลค่าสูญเสียมวลจากการแปรง

Type		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
1 PMMA	PercentWt	8	.15138	.101258	.028	.298
2 5%BBAS	PercentWt	8	.29113	.051643	.224	.357
3 10%BBAS	PercentWt	8	.19038	.052156	.113	.251
4 15%BBAS	PercentWt	8	.17675	.072208	.099	.292
5 1%Nano	PercentWt	8	.02550	.013763	.005	.049
6 3%Nano	PercentWt	8	.03850	.018024	.013	.056
11 Yamahashi	PercentWt	8	.17413	.069925	.036	.285
12 Majordent	PercentWt	8	.45738	.074680	.359	.592
13 Cosmo	PercentWt	8	.15675	.065356	.060	.226
14 Ortholux	PercentWt	8	.16475	.037950	.109	.231

ตารางที่ 56 แสดงข้อมูลสถิติเชิงพรรณนาของมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปรง

Descriptives

VolumnLoss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1 PMMA	8	.2272550	.05460315	.01930513
2 5%BBAS	8	.0999275	.05967422	.02109802
3 10%BBAS	8	.0818163	.04534774	.01603285
4 15%BBAS	8	.0752675	.03874364	.01369795
5 1%Nano	8	.1463200	.07971156	.02818229
6 3%Nano	8	.1241013	.06782728	.02398056
11 Yamahashi	8	.2758643	.04942482	.01747431
12 Majordent	8	.2836719	.06761428	.02390526
13 Cosmo	8	.2410125	.08529523	.03015642
14 Ortolux	8	.2228600	.05818804	.02057258
Total	80	.1778096	.09696707	.01084125

Descriptives

VolumnLoss

	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
	Lower Bound	Upper Bound		
1 PMMA	.1816056	.2729044	.14391	.30307
2 5%BBAS	.0500386	.1498164	.03341	.19571
3 10%BBAS	.0439046	.1197279	.02899	.13399
4 15%BBAS	.0428770	.1076580	.03002	.13955
5 1%Nano	.0796795	.2129605	.05255	.32286
6 3%Nano	.0673962	.1808063	.04132	.23496
11 Yamahashi	.2345441	.3171845	.21601	.37552
12 Majordent	.2271450	.3401989	.21292	.41162
13 Cosmo	.1697039	.3123211	.08961	.33439
14 Ortolux	.1742136	.2715064	.13805	.30671
Total	.1562307	.1993886	.02899	.41162

ตารางที่ 57 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าสูญเสียยวมวลและปริมาตรจากการแปรง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Type		PercentWt	VolumnLoss	
1 PMMA	N	8	8	
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.15138	.2272550
		Std. Deviation	.101258	.05460315
	Most Extreme Differences	Absolute	.234	.132
		Positive	.234	.127
		Negative	-.188	-.132
	Kolmogorov-Smirnov Z	.663	.374	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.772	.999	
2 5%BBAS	N	8	8	
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.29113	.0999275
		Std. Deviation	.051643	.05967422
	Most Extreme Differences	Absolute	.185	.240

		Positive	.159	.240
		Negative	-.185	-.132
		Kolmogorov-Smirnov Z	.523	.679
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.947	.746
3 10%BBAS	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.19038	.0818163
		Std. Deviation	.052156	.04534774
	Most Extreme Differences	Absolute	.188	.251
		Positive	.188	.213
		Negative	-.182	-.251
		Kolmogorov-Smirnov Z	.532	.711
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.940	.693
4 15%BBAS	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.17675	.0752675
		Std. Deviation	.072208	.03874364
	Most Extreme Differences	Absolute	.192	.147
		Positive	.180	.128
		Negative	-.192	-.147
		Kolmogorov-Smirnov Z	.544	.416
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.929	.995
5 1%Nano	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.02550	.1463200
		Std. Deviation	.013763	.07971156
	Most Extreme Differences	Absolute	.155	.286
		Positive	.155	.286
		Negative	-.128	-.202
		Kolmogorov-Smirnov Z	.439	.809
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.990	.529
6 3%Nano	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.03850	.1241013
		Std. Deviation	.018024	.06782728
	Most Extreme Differences	Absolute	.256	.149
		Positive	.166	.149
		Negative	-.256	-.111

		Kolmogorov-Smirnov Z	.724	.421
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.671	.994
11 Yamahashi	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.17413	.2758643
		Std. Deviation	.069925	.04942482
	Most Extreme Differences	Absolute	.278	.262
		Positive	.211	.262
		Negative	-.278	-.158
		Kolmogorov-Smirnov Z	.787	.740
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.565	.644
12 Majordent	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.45738	.2836719
		Std. Deviation	.074680	.06761428
	Most Extreme Differences	Absolute	.162	.227
		Positive	.162	.227
		Negative	-.102	-.148
		Kolmogorov-Smirnov Z	.458	.641
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.985	.806
13 Cosmo	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.15675	.2410125
		Std. Deviation	.065356	.08529523
	Most Extreme Differences	Absolute	.281	.154
		Positive	.170	.137
		Negative	-.281	-.154
		Kolmogorov-Smirnov Z	.795	.437
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.553	.991
14 Ortholux	N		8	8
	Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.16475	.2228600
		Std. Deviation	.037950	.05818804
	Most Extreme Differences	Absolute	.128	.174
		Positive	.128	.163
		Negative	-.128	-.174
		Kolmogorov-Smirnov Z	.363	.491
		Asymp. Sig. (2-tailed)	.999	.969

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

ตารางที่ 58 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ความเท่ากันของค่าเฉลี่ย และการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปรปรวนของกลุ่มซีพีเอสครีติกทางการค้า

Oneway

Descriptives

PercentWt

					95% Confidence Interval for Mean	
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	8	.15138	.101258	.035800	.06672	.23603
11 Yamahashi	8	.17413	.069925	.024722	.11567	.23258
12 Majordent	8	.45738	.074680	.026403	.39494	.51981
13 Cosmo	8	.15675	.065356	.023107	.10211	.21139
14 Ortholux	8	.16475	.037950	.013417	.13302	.19648
Total	40	.22088	.138370	.021878	.17662	.26513

Descriptives

PercentWt

	Minimum	Maximum
1 PMMA	.028	.298
11 Yamahashi	.036	.285
12 Majordent	.359	.592
13 Cosmo	.060	.226
14 Ortholux	.109	.231
Total	.028	.592

Test of Homogeneity of Variances

PercentWt

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.780	4	35	.042

ANOVA

PercentWt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.562	4	.140	26.563	.000
Within Groups	.185	35	.005		
Total	.747	39			

Robust Tests of Equality of Means

PercentWt

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	24.223	4	16.907	.000
Brown-Forsythe	26.563	4	27.100	.000

a. Asymptotically F distributed.

Oneway

ANOVA

PercentWt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.562	4	.140	26.563	.000
Within Groups	.185	35	.005		
Total	.747	39			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

PercentWt

Tamhane

(I) Type	(J) Type			
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1 PMMA	11 Yamahashi	-.022750	.043507	1.000
	12 Majordent	-.306000 [*]	.044483	.000
	13 Cosmo	-.005375	.042609	1.000
	14 Ortholux	-.013375	.038232	1.000

11 Yamahashi	1 PMMA	.022750	.043507	1.000
	12 Majordent	-.283250*	.036171	.000
	13 Cosmo	.017375	.033840	1.000
	14 Ortholux	.009375	.028129	1.000
12 Majordent	1 PMMA	.306000*	.044483	.000
	11 Yamahashi	.283250*	.036171	.000
	13 Cosmo	.300625*	.035086	.000
	14 Ortholux	.292625*	.029617	.000
13 Cosmo	1 PMMA	.005375	.042609	1.000
	11 Yamahashi	-.017375	.033840	1.000
	12 Majordent	-.300625*	.035086	.000
	14 Ortholux	-.008000	.026720	1.000
14 Ortholux	1 PMMA	.013375	.038232	1.000
	11 Yamahashi	-.009375	.028129	1.000
	12 Majordent	-.292625*	.029617	.000
	13 Cosmo	.008000	.026720	1.000

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

PercentWt

Tamhane

(I) Type	(J) Type	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	11 Yamahashi	-.17025	.12475
	12 Majordent	-.45577	-.15623
	13 Cosmo	-.15101	.14026
	14 Ortholux	-.15421	.12746
11 Yamahashi	1 PMMA	-.12475	.17025
	12 Majordent	-.40322	-.16328
	13 Cosmo	-.09487	.12962
	14 Ortholux	-.08906	.10781
12 Majordent	1 PMMA	.15623	.45577
	11 Yamahashi	.16328	.40322
	13 Cosmo	.18397	.41728

	14 Ortholux	.18800	.39725
13 Cosmo	1 PMMA	-.14026	.15101
	11 Yamahashi	-.12962	.09487
	12 Majordent	-.41728	-.18397
	14 Ortholux	-.10061	.08461
14 Ortholux	1 PMMA	-.12746	.15421
	11 Yamahashi	-.10781	.08906
	12 Majordent	-.39725	-.18800
	13 Cosmo	-.08461	.10061

ตารางที่ 59 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน ความเท่ากันของค่าเฉลี่ยและการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปรปรวนของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Descriptives

PercentWt

					95% Confidence Interval for Mean	
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	8	.15138	.101258	.035800	.06672	.23603
2 5%BBAS	8	.29113	.051643	.018258	.24795	.33430
3 10%BBAS	8	.19038	.052156	.018440	.14677	.23398
4 15%BBAS	8	.17675	.072208	.025529	.11638	.23712
Total	32	.20241	.087290	.015431	.17093	.23388

Descriptives

PercentWt

	Minimum	Maximum
1 PMMA	.028	.298
2 5%BBAS	.224	.357
3 10%BBAS	.113	.251
4 15%BBAS	.099	.292
Total	.028	.357

Test of Homogeneity of Variances

PercentWt

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
5.388	3	28	.005

ANOVA

PercentWt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.090	3	.030	5.769	.003
Within Groups	.146	28	.005		
Total	.236	31			

Robust Tests of Equality of Means

PercentWt

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	7.445	3	15.201	.003
Brown-Forsythe	5.769	3	20.734	.005

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 60 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียมวลจากการแปรของ
กลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

PercentWt

Tamhane

(I) Type	(J) Type				95% Confidence Interval	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	2 5%BBAS	-.139750*	.040187	.033	-.26973	-.00977
	3 10%BBAS	-.039000	.040270	.928	-.16909	.09109
	4 15%BBAS	-.025375	.043970	.994	-.16215	.11140
2 5%BBAS	1 PMMA	.139750*	.040187	.033	.00977	.26973
	3 10%BBAS	.100750*	.025950	.010	.02139	.18011
	4 15%BBAS	.114375*	.031387	.018	.01677	.21198

3 10%BBAS	1 PMMA	.039000	.040270	.928	-.09109	.16909
	2 5%BBAS	-.100750*	.025950	.010	-.18011	-.02139
	4 15%BBAS	.013625	.031492	.999	-.08422	.11147
4 15%BBAS	1 PMMA	.025375	.043970	.994	-.11140	.16215
	2 5%BBAS	-.114375*	.031387	.018	-.21198	-.01677
	3 10%BBAS	-.013625	.031492	.999	-.11147	.08422

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 61 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียสัมมูลจากการแปรของของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Descriptives

PercentWt

					95% Confidence Interval for Mean	
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	8	.15138	.101258	.035800	.06672	.23603
5 1%Nano	8	.02550	.013763	.004866	.01399	.03701
6 3%Nano	8	.03850	.018024	.006372	.02343	.05357
Total	24	.07179	.081307	.016597	.03746	.10612

Descriptives

PercentWt

	Minimum	Maximum
1 PMMA	.028	.298
5 1%Nano	.005	.049
6 3%Nano	.013	.056
Total	.005	.298

Test of Homogeneity of Variances

PercentWt

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
39.576	2	21	.000

ANOVA

PercentWt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.077	2	.038	10.682	.001
Within Groups	.075	21	.004		
Total	.152	23			

Robust Tests of Equality of Means

PercentWt

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	6.609	2	12.260	.011
Brown-Forsythe	10.682	2	7.709	.006

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 62 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปลงของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

PercentWt

Tamhane

					95% Confidence Interval	
(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	.125875*	.036129	.029	.01448	.23727
	6 3%Nano	.112875*	.036363	.047	.00154	.22421
5 1%Nano	1 PMMA	-.125875*	.036129	.029	-.23727	-.01448
	6 3%Nano	-.013000	.008018	.339	-.03492	.00892
6 3%Nano	1 PMMA	-.112875*	.036363	.047	-.22421	-.00154
	5 1%Nano	.013000	.008018	.339	-.00892	.03492

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 63 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาณจากการแปรของกลุ่มซีพีอะคริลิกทางการค้า

Test of Homogeneity of Variances

VolumnLoss

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.036	4	35	.402

ANOVA

VolumnLoss

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.025	4	.006	1.519	.218
Within Groups	.145	35	.004		
Total	.170	39			

Robust Tests of Equality of Means

VolumnLoss

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	1.656	4	17.377	.205
Brown-Forsythe	1.519	4	29.825	.222

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 64 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาณจากการแปรของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Test of Homogeneity of Variances

VolumnLoss

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.835	3	28	.486

ANOVA

VolumnLoss

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.123	3	.041	16.223	.000
Within Groups	.071	28	.003		

Test of Homogeneity of Variances

VolumnLoss

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Total	.194	31	

Robust Tests of Equality of Means

VolumnLoss

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	14.304	3	15.360	.000
Brown-Forsythe	16.223	3	25.455	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 65 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูล ค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปลงของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดไมโคร

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

VolumnLoss

Tukey HSD

(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	2 5%BBAS	.12732750*	.02512469	.000	.0587293	.1959257
	3 10%BBAS	.14543875*	.02512469	.000	.0768405	.2140370
	4 15%BBAS	.15198750*	.02512469	.000	.0833893	.2205857
2 5%BBAS	1 PMMA	-.12732750*	.02512469	.000	-.1959257	-.0587293
	3 10%BBAS	.01811125	.02512469	.888	-.0504870	.0867095
	4 15%BBAS	.02466000	.02512469	.761	-.0439382	.0932582
3 10%BBAS	1 PMMA	-.14543875*	.02512469	.000	-.2140370	-.0768405
	2 5%BBAS	-.01811125	.02512469	.888	-.0867095	.0504870
	4 15%BBAS	.00654875	.02512469	.994	-.0620495	.0751470
4 15%BBAS	1 PMMA	-.15198750*	.02512469	.000	-.2205857	-.0833893
	2 5%BBAS	-.02466000	.02512469	.761	-.0932582	.0439382
	3 10%BBAS	-.00654875	.02512469	.994	-.0751470	.0620495

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

VolumnLoss

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
4 15%BBAS	8	.0752675	
3 10%BBAS	8	.0818163	
2 5%BBAS	8	.0999275	
1 PMMA	8		.2272550
Sig.		.761	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตารางที่ 66 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนและความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปรของกุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Test of Homogeneity of Variances

VolumnLoss

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.160	2	21	.853

ANOVA

VolumnLoss

	Sum of Squares	df	Mean Square	F
Between Groups	.047	2	.024	5.076
Within Groups	.098	21	.005	
Total	.145	23		

Robust Tests of Equality of Means

VolumnLoss

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	6.114	2	13.667	.013
Brown-Forsythe	5.076	2	19.303	.017

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 67 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปลงของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

VolumnLoss

Tukey HSD

					95% Confidence Interval	
(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	.08093500	.03407831	.067	-.0049618	.1668318
	6 3%Nano	.10315375*	.03407831	.017	.0172570	.1890505
5 1%Nano	1 PMMA	-.08093500	.03407831	.067	-.1668318	.0049618
	6 3%Nano	.02221875	.03407831	.793	-.0636780	.1081155
6 3%Nano	1 PMMA	-.10315375*	.03407831	.017	-.1890505	-.0172570
	5 1%Nano	-.02221875	.03407831	.793	-.1081155	.0636780

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

VolumnLoss

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
6 3%Nano	8	.1241013	
5 1%Nano	8	.1463200	.1463200
1 PMMA	8		.2272550
Sig.		.793	.067

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตารางที่ 68 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียรวมจากการแปรของ
กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ขึ้นและกลุ่มที่พ้นอะคริลิกทางการค้า

Test of Homogeneity of Variances

PercentWt

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.337	6	49	.001

ANOVA

PercentWt

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.817	6	.136	29.944	.000
Within Groups	.223	49	.005		
Total	1.040	55			

Robust Tests of Equality of Means

PercentWt

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	57.455	6	19.991	.000
Brown-Forsythe	29.944	6	34.159	.000

a. Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

PercentWt

Tamhane

(I) Type	(J) Type			
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
1 PMMA	4 15%BBAS	-.025375	.043970	1.000
	5 1%Nano	.125875	.036129	.184
	11 Yamahashi	-.022750	.043507	1.000
	12 Majordent	-.306000*	.044483	.000
	13 Cosmo	-.005375	.042609	1.000

	14 Ortholux		-.013375	.038232	1.000
4 15%BBAS	1 PMMA		.025375	.043970	1.000
	5 1%Nano		.151250 ⁺	.025989	.010
	11 Yamahashi		.002625	.035538	1.000
	12 Majordent		-.280625 ⁺	.036727	.000
	13 Cosmo		.020000	.034433	1.000
	14 Ortholux		.012000	.028840	1.000
5 1%Nano	1 PMMA		-.125875	.036129	.184
	4 15%BBAS		-.151250 ⁺	.025989	.010
	11 Yamahashi		-.148625 ⁺	.025197	.009
	12 Majordent		-.431875 ⁺	.026848	.000
	13 Cosmo		-.131250 ⁺	.023614	.013
	14 Ortholux		-.139250 ⁺	.014273	.000
11 Yamahashi	1 PMMA		.022750	.043507	1.000
	4 15%BBAS		-.002625	.035538	1.000
	5 1%Nano		.148625 ⁺	.025197	.009
	12 Majordent		-.283250 ⁺	.036171	.000
	13 Cosmo		.017375	.033840	1.000
	14 Ortholux		.009375	.028129	1.000
12 Majordent	1 PMMA		.306000 ⁺	.044483	.000
	4 15%BBAS		.280625 ⁺	.036727	.000
	5 1%Nano		.431875 ⁺	.026848	.000
	11 Yamahashi		.283250 ⁺	.036171	.000
	13 Cosmo		.300625 ⁺	.035086	.000
	14 Ortholux		.292625 ⁺	.029617	.000
13 Cosmo	1 PMMA		.005375	.042609	1.000
	4 15%BBAS		-.020000	.034433	1.000
	5 1%Nano		.131250 ⁺	.023614	.013
	11 Yamahashi		-.017375	.033840	1.000
	12 Majordent		-.300625 ⁺	.035086	.000
	14 Ortholux		-.008000	.026720	1.000
14 Ortholux	1 PMMA		.013375	.038232	1.000
	4 15%BBAS		-.012000	.028840	1.000

5 1%Nano	.139250*	.014273	.000
11 Yamahashi	-.009375	.028129	1.000
12 Majordent	-.292625*	.029617	.000
13 Cosmo	.008000	.026720	1.000

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Multiple Comparisons

PercentWt

Tamhane

(I) Type	(J) Type	95% Confidence Interval	
		Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	4 15%BBAS	-.19118	.14043
	5 1%Nano	-.03807	.28982
	11 Yamahashi	-.18748	.14198
	12 Majordent	-.47306	-.13894
	13 Cosmo	-.16825	.15750
	14 Ortholux	-.17295	.14620
4 15%BBAS	1 PMMA	-.14043	.19118
	5 1%Nano	.03509	.26741
	11 Yamahashi	-.12843	.13368
	12 Majordent	-.41607	-.14518
	13 Cosmo	-.10722	.14722
	14 Ortholux	-.10194	.12594
5 1%Nano	1 PMMA	-.28982	.03807
	4 15%BBAS	-.26741	-.03509
	11 Yamahashi	-.26103	-.03622
	12 Majordent	-.55211	-.31164
	13 Cosmo	-.23612	-.02638
	14 Ortholux	-.19911	-.07939
11 Yamahashi	1 PMMA	-.14198	.18748
	4 15%BBAS	-.13368	.12843
	5 1%Nano	.03622	.26103
	12 Majordent	-.41673	-.14977
	13 Cosmo	-.10751	.14226

	14 Ortholux		-.10116	.11991
12 Majordent	1 PMMA		.13894	.47306
	4 15%BBAS		.14518	.41607
	5 1%Nano		.31164	.55211
	11 Yamahashi		.14977	.41673
	13 Cosmo		.17078	.43047
	14 Ortholux		.17495	.41030
13 Cosmo	1 PMMA		-.15750	.16825
	4 15%BBAS		-.14722	.10722
	5 1%Nano		.02638	.23612
	11 Yamahashi		-.14226	.10751
	12 Majordent		-.43047	-.17078
	14 Ortholux		-.11183	.09583
14 Ortholux	1 PMMA		-.14620	.17295
	4 15%BBAS		-.12594	.10194
	5 1%Nano		.07939	.19911
	11 Yamahashi		-.11991	.10116
	12 Majordent		-.41030	-.17495
	13 Cosmo		-.09583	.11183

ตารางที่ 69 แสดงการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบเชิงซ้อนของข้อมูลค่าสูญเสียปริมาตรจากการแปลงของกลุ่มควบคุม กลุ่มทดลองที่ดีขึ้นและกลุ่มซีฟีนอะคริลิกทางการค้า

Descriptives

VolumnLoss

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error
1 PMMA	8	.2272550	.05460315	.01930513
4 15%BBAS	8	.0752675	.03874364	.01369795
5 1%Nano	8	.1463200	.07971156	.02818229
6 3%Nano	8	.1241013	.06782728	.02398056
11 Yamahashi	8	.2758643	.04942482	.01747431
12 Majordent	8	.2836719	.06761428	.02390526
13 Cosmo	8	.2410125	.08529523	.03015642

14 Ortholux	8	.2228600	.05818804	.02057258
Total	64	.1995441	.09352098	.01169012

Descriptives

VolumnLoss

	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
	Lower Bound	Upper Bound		
1 PMMA	.1816056	.2729044	.14391	.30307
4 15%BBAS	.0428770	.1076580	.03002	.13955
5 1%Nano	.0796795	.2129605	.05255	.32286
6 3%Nano	.0673962	.1808063	.04132	.23496
11 Yamahashi	.2345441	.3171845	.21601	.37552
12 Majordent	.2271450	.3401989	.21292	.41162
13 Cosmo	.1697039	.3123211	.08961	.33439
14 Ortholux	.1742136	.2715064	.13805	.30671
Total	.1761832	.2229049	.03002	.41162

Test of Homogeneity of Variances

VolumnLoss

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.789	7	56	.599

ANOVA

VolumnLoss

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.319	7	.046	11.018	.000
Within Groups	.232	56	.004		
Total	.551	63			

Robust Tests of Equality of Means

VolumnLoss

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	15.686	7	23.864	.000
Brown-Forsythe	11.018	7	46.816	.000

Robust Tests of Equality of Means

VolumnLoss

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	15.686	7	23.864	.000
Brown-Forsythe	11.018	7	46.816	.000

a. Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

VolumnLoss

Tukey HSD

					95% Confidence Interval	
(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	4 15%BBAS	.15198750*	.03216786	.000	.0507140	.2532610
	5 1%Nano	.08093500	.03216786	.210	-.0203385	.1822085
	6 3%Nano	.10315375*	.03216786	.043	.0018802	.2044273
	11 Yamahashi	-.04860931	.03216786	.798	-.1498828	.0526642
	12 Majordent	-.05641694	.03216786	.653	-.1576904	.0448566
	13 Cosmo	-.01375750	.03216786	1.000	-.1150310	.0875160
	14 Ortholux	.00439500	.03216786	1.000	-.0968785	.1056685
4 15%BBAS	1 PMMA	-.15198750*	.03216786	.000	-.2532610	-.0507140
	5 1%Nano	-.07105250	.03216786	.362	-.1723260	.0302210
	6 3%Nano	-.04883375	.03216786	.795	-.1501073	.0524398
	11 Yamahashi	-.20059681*	.03216786	.000	-.3018703	-.0993233
	12 Majordent	-.20840444*	.03216786	.000	-.3096779	-.1071309
	13 Cosmo	-.16574500*	.03216786	.000	-.2670185	-.0644715
	14 Ortholux	-.14759250*	.03216786	.001	-.2488660	-.0463190
5 1%Nano	1 PMMA	-.08093500	.03216786	.210	-.1822085	.0203385
	4 15%BBAS	.07105250	.03216786	.362	-.0302210	.1723260
	6 3%Nano	.02221875	.03216786	.997	-.0790548	.1234923
	11 Yamahashi	-.12954431*	.03216786	.004	-.2308178	-.0282708
	12 Majordent	-.13735194*	.03216786	.002	-.2386254	-.0360784
	13 Cosmo	-.09469250	.03216786	.083	-.1959660	.0065810

	14 Ortholux	-.07654000	.03216786	.272	-.1778135	.0247335
6 3%Nano	1 PMMA	-.10315375*	.03216786	.043	-.2044273	-.0018802
	4 15%BBAS	.04883375	.03216786	.795	-.0524398	.1501073
	5 1%Nano	-.02221875	.03216786	.997	-.1234923	.0790548
	11 Yamahashi	-.15176306*	.03216786	.000	-.2530366	-.0504896
	12 Majordent	-.15957069*	.03216786	.000	-.2608442	-.0582972
	13 Cosmo	-.11691125*	.03216786	.013	-.2181848	-.0156377
	14 Ortholux	-.09875875	.03216786	.061	-.2000323	.0025148
11 Yamahashi	1 PMMA	.04860931	.03216786	.798	-.0526642	.1498828
	4 15%BBAS	.20059681*	.03216786	.000	.0993233	.3018703
	5 1%Nano	.12954431*	.03216786	.004	.0282708	.2308178
	6 3%Nano	.15176306*	.03216786	.000	.0504896	.2530366
	12 Majordent	-.00780763	.03216786	1.000	-.1090811	.0934659
	13 Cosmo	.03485181	.03216786	.958	-.0664217	.1361253
	14 Ortholux	.05300431	.03216786	.720	-.0482692	.1542778
12 Majordent	1 PMMA	.05641694	.03216786	.653	-.0448566	.1576904
	4 15%BBAS	.20840444*	.03216786	.000	.1071309	.3096779
	5 1%Nano	.13735194*	.03216786	.002	.0360784	.2386254
	6 3%Nano	.15957069*	.03216786	.000	.0582972	.2608442
	11 Yamahashi	.00780763	.03216786	1.000	-.0934659	.1090811
	13 Cosmo	.04265944	.03216786	.885	-.0586141	.1439329
	14 Ortholux	.06081194	.03216786	.563	-.0404616	.1620854
13 Cosmo	1 PMMA	.01375750	.03216786	1.000	-.0875160	.1150310
	4 15%BBAS	.16574500*	.03216786	.000	.0644715	.2670185
	5 1%Nano	.09469250	.03216786	.083	-.0065810	.1959660
	6 3%Nano	.11691125*	.03216786	.013	.0156377	.2181848
	11 Yamahashi	-.03485181	.03216786	.958	-.1361253	.0664217
	12 Majordent	-.04265944	.03216786	.885	-.1439329	.0586141
	14 Ortholux	.01815250	.03216786	.999	-.0831210	.1194260
14 Ortholux	1 PMMA	-.00439500	.03216786	1.000	-.1056685	.0968785
	4 15%BBAS	.14759250*	.03216786	.001	.0463190	.2488660
	5 1%Nano	.07654000	.03216786	.272	-.0247335	.1778135
	6 3%Nano	.09875875	.03216786	.061	-.0025148	.2000323
	11 Yamahashi	-.05300431	.03216786	.720	-.1542778	.0482692

12 Majordent	-.06081194	.03216786	.563	-.1620854	.0404616
13 Cosmo	-.01815250	.03216786	.999	-.1194260	.0831210

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Homogeneous Subsets

VolumnLoss

Tukey HSD^a

Type	N	Subset for alpha = 0.05			
		1	2	3	4
4 15%BBAS	8	.0752675			
6 3%Nano	8	.1241013	.1241013		
5 1%Nano	8	.1463200	.1463200	.1463200	
14 Ortholux	8		.2228600	.2228600	.2228600
1 PMMA	8			.2272550	.2272550
13 Cosmo	8			.2410125	.2410125
11 Yamahashi	8				.2758643
12 Majordent	8				.2836719
Sig.		.362	.061	.083	.563

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.000.

ตารางที่ 70 แสดงการทดสอบทางสถิติของข้อมูลค่าระยะโค้งงอสูงสุดของกลุ่มวัสดุอัดแทรกชนิดนาโน

Descriptives

MaxDeflex

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	8	5.2107	.69561	.24594	4.6291	5.7922
5 1%Nano	8	5.7802	.77900	.27542	5.1289	6.4314
6 3%Nano	8	3.7509	.13375	.04729	3.6390	3.8627
Total	24	4.9139	1.04859	.21404	4.4711	5.3567

Descriptives

MaxDeflex

--	--

	Minimum	Maximum
1 PMMA	4.16	6.28
5 1%Nano	5.02	7.32
6 3%Nano	3.57	3.96
Total	3.57	7.32

Test of Homogeneity of Variances

MaxDeflex

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.767	2	21	.020

ANOVA

MaxDeflex

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	17.529	2	8.765	23.718	.000
Within Groups	7.760	21	.370		
Total	25.290	23			

Robust Tests of Equality of Means

MaxDeflex

	Statistic ^a	df1	df2	Sig.
Welch	39.399	2	9.923	.000
Brown-Forsythe	23.718	2	14.274	.000

a. Asymptotically F distributed.

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

MaxDeflex

Tamhane

(I) Type	(J) Type				95% Confidence Interval	
		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	-.56949	.36924	.376	-1.5715	.4325
	6 3%Nano	1.45982 [*]	.25044	.001	.6951	2.2246
5 1%Nano	1 PMMA	.56949	.36924	.376	-.4325	1.5715
	6 3%Nano	2.02931 [*]	.27945	.000	1.1727	2.8859
6 3%Nano	1 PMMA	-1.45982 [*]	.25044	.001	-2.2246	-.6951
	5 1%Nano	-2.02931 [*]	.27945	.000	-2.8859	-1.1727

Multiple Comparisons

MaxDeflex

Tamhane

					95% Confidence Interval	
(I) Type	(J) Type	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
1 PMMA	5 1%Nano	-.56949	.36924	.376	-1.5715	.4325
	6 3%Nano	1.45982*	.25044	.001	.6951	2.2246
5 1%Nano	1 PMMA	.56949	.36924	.376	-.4325	1.5715
	6 3%Nano	2.02931*	.27945	.000	1.1727	2.8859
6 3%Nano	1 PMMA	-1.45982*	.25044	.001	-2.2246	-.6951
	5 1%Nano	-2.02931*	.27945	.000	-2.8859	-1.1727

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว จินต์จุฑา ใจดำรงค์ เกิดเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม พ .ศ. 2525 ที่ จังหวัดยะลา สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2550 เข้ารับราชการตำแหน่งทันตแพทย์ 4 ที่วิทยาลัยการสาธารณสุขจังหวัดตรัง เป็นเวลา 1 ปี และรับราชการตำแหน่งทันตแพทย์ระดับปฏิบัติการที่ฝ่ายทันตสาธารณสุข โรงพยาบาลกันตัง จังหวัดตรัง เป็นเวลา 1 ปี ก่อนลาศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ ที่คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2552