ความแข็งแรงการยึดติดแบบดึงและความแข็งผิวของซี่ฟันเทียม

นางสาว กาญจนาพร มิ่งมงคลชัยกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TENSILE BOND STRENGTH AND SURFACE HARDNESS OF ARTIFICIAL TEETH

Miss Kanjanaporn Mingmongkolchaikul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Sciences Programs in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความแข็งแรงการยึดติดแบบดึงและความแข็งผิวของซี่ฟันเทียม
โดย	นางสาว กาญจนาพร มิ่งมงคลชัยกุล
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง วัชราภรณ์ ทัศจันทร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. อรพินท์ แก้วปลั่ง)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.พนารัตน์ ขอดแก้ว)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กาญจนาพร มิ่งมงคลชัยกุล : ความแข็งแรงการยึดติดแบบดึงและความแข็งผิวของซี่ฟันเทียม. (TENSILE BOND STRENGTH AND SURFACE HARDNESS OF ARTIFICIAL TEETH) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ทพ.ดร. ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล, 89 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน และศึกษาสัดส่วน ชนิดของวัสดุอัดแทรกและปริมาณของสารเชื่อมขวางที่สามารถปรับปรุงสมบัติของอะคริลิกใสสำหรับใช้เป็นวัสดุทำซี่ฟันเทียม โดยแบ่งออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 เปรียบเทียบอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับซี่ฟันเทียมอะคริลิกทางการค้าได้แก่ ฟันเมเจอร์เดนท์ (Mj) ฟันออร์โทลักซ์ท็อป (Or) ฟันเทอร์โมพลาสติก (PCP) อะคริลิกใส (clear) และอะคริลิกสีเหมือนฟัน(4F) ตอนที่ 2 เปรียบเทียบการเติมวัสดุอัดแทรกในอะคริลิกใส คือ แก้วขนาดไมโครร้อยละ 10 (BBAS 10%) และร้อยละ 15 (BBAS 15%) และซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 (Si 1%)และร้อยละ 3 (Si 3%) เลือกสูตรที่ให้ค่าแข็งวิกเกอร์ส(VHN)สูงสุดมาศึกษาต่อในตอนที่ 3 คือ เปรียบเทียบการเติมซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ร่วมกับสารเชื่อมขวางเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลตร้อยละ 10 (Si 3%+EG 10%) และร้อยละ 20 (Si 3%+EG 20%) โดยมีชิ้นตัวอย่างกลุ่มละ 10 ชิ้น นำมาทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส 5 ครั้งด้วยแรง 300 กรัมเป็นเวลา 15 วินาที โดยนำค่ากึ่งกลางมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าความแข็งวิกเกอร์ส (VHN) และทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึง (TBS) กับฐานฟันเทียม นำข้อมูลมาทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวและทำการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน และแบบทูกีย์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดลองตอนที่ 1 พบว่า clear (21.30±0.29) มีค่า VHN ต่ำสุด ส่วน PCP (22.41±0.64) มีค่า VHN ปานกลางเทียบเท่า 4F (22.14±0.50) และ Mj (22.90±0.70) ส่วน TBS พบว่า PCP(8.55±2.70) ให้ค่า TBS มีค่าต่ำสุด clear (26.59±7.19) มีค่าTBS ใกล้เคียงกับ 4F (21.40±6.37) และ Or (40.65±9.01) มีค่า TBS ใกล้เคียงกับ Mj (38.25±6.96) ตอนที่ 2 พบว่า BBAS 10% (22.29±0.21) BBAS 15% (21.95±0.41) และ Si 3% (23.09±0.23) เพิ่ม VHN ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่า TBS ใกล้เคียงกัน โดย Si1% และ Si3% ไม่พบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟ แต่ BBAS 15% พบรูปแบบการแตกหักในซี่ฟันเทียม และตอนที่ 3 พบว่า Si 3%+EG 20% (23.34±0.43) มีค่า VHN สูงกว่า Si 3% อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การเติมวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวางทำให้ TBS ต่ำลงได้อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติและพบรูปแบบการแตกหักในซี่ฟันเทียมสูงขึ้นในกลุ่ม Si 3%+EG 20%

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อนิสิต กาญจนาพร มิ่งมงคลชัยกุล
สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก [signature]
ปีการศึกษา 2553

5176102432 : MAJOR PROSTHODONTICS
KEYWORDS : SURFACE HARDNESS/ TENSILE BOND STRENGTH/ ARTIFICIAL TEETH

KANJANAPORN MINGMONGKOLCHAIKUL: TENSILE BOND STRENGTH AND SURFACE HARDNESS OF ARTIFICIAL TEETH. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. PIYAWAT PHANKOSOL, Ph.D., 89 pp.

The purpose of this study was to examine the tensile bond strength (TBS) and surface hardness (Vicker's hardness: VHN) of commercial teeth and heat-cured acrylic resin and examine the effect of additives in modified acrylic resin for artificial teeth. There are two commercial teeth; Majordent (Mj) and Ortolux Top (Or), thermoplastic teeth(PCP), clear heat-cured acrylic resin (clear) and tooth color heat-cured acrylic resin (4F) for part 1. Clear heat-cured acrylic resin was modified by adding two fillers; microbarium glass 10% (BBAS10%) and 15% (BBAS15%) and nanosilica 1% (Si1%) and 3% (Si3%) for part 2. The best result group of VHN (Si 3%) from part 1 was modified by adding filler combined with cross-linking agent; 10% (Si3%+EG10%) and 20% EGDMA (Si3%+EG20%) for part 3. Each group of materials consisted of 10 samples. Vickers hardness tests (300 gm force for 15 seconds) were tested for 5 times each. The median value of each sample was used as Vickers Hardness Number (VHN).The tensile bond strength (TBS) tests were performed with heat-cured denture base in according to ADA No.15 specification. One-way analysis of variance (ANOVA) was used for statistical analysis. Multiple comparison Tamhane's T2 and Tukey HSD ($P<0.05$). The VHN result of part 1 showed the lowest VHN is clear (21.30±0.29) while PCP (22.41±0.64) is nearing to 4F (22.14±0.50) and Mj (22.90±0.70). The TBS showed that the lowest TBS is PCP whereas clear (26.59±7.19) is nearing to 4F (21.40±6.37) and the highest is Or (40.65±9.01) nearing to Mj (38.25±6.96). The result of part 2 showed that BBAS 10% (22.29±0.21), BBAS 15% (21.95±0.41) and Si 3%(23.09±0.23) increased VHN to PMMA significantly but there was no statistically significant differences increased TBS. There were no adhesive failure in Si1% and Si3% but cohesive failure in tooth material was found only in BBAS15%. The result of part 3 showed that no statistically significant differences between Si 3% and Si 3%+EG 20% (23.34±0.43). There was no statistically significant differences decreased TBS but the cohesive failure in denture tooth was found in Si 3%+EG 20%.

Department : Prosthodontics
Field of Study : Prosthodontics
Academic Year : 2010

Student's Signature K. Mingmongkolchaikul
Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจาก ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ของรองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร . ปิยวัฒน์ พันธุ์โกศล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยด้วยดีมาโดยตลอด จึงขอขอบพระคุณอา จารย์เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม ธำรงค์อนันต์สกุล ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาทางด้านพอลิเมอร์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาทางด้านสถิติ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณมูลนิธิ ทันตนวัตกรรม หน่วยทันตกรรมพระราชทานในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เอื้อเฟื้อสารเคมีและเครื่องมือในการวิจัย

บริษัท Esstech, Inc.เอื้อเฟื้อวัสดุอัดแทรกแก้วและสารเชื่อมขวางเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต

บริษัท Shin-Etsu ประเทศไทย จำกัด เอื้อเฟื้อสารไซเลน

และขอขอบ คุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์ ศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก และหน่วยงานปฏิบัติการทันตกรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฌ

สารบัญภาพ .... ฐ

บทที่

1. บทนำ

   ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

   วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

   คำถามของการวิจัย 2

   สมมติฐานการวิจัย 2

   กรอบแนวความคิดในการวิจัย 3

   ขอบเขตของการวิจัย 3

   ข้อตกลงเบื้องต้น 3

   ข้อจำกัดการวิจัย 4

   คำสำคัญ 4

   ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

   การออกแบบการวิจัย 4

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

   พอลิเมอร์ 5

   วัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำซี่ฟันเทียม 9

   กระบวนการผลิตซี่ฟันเทียม 14

   วิธีทดสอบความแข็ง 15

   วิธีทดสอบการยึดติดกับฐานฟันเทียม 18

3. วิธีดำเนินการวิจัย

   กลุ่มตัวอย่าง 20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.. 20
วิธีการวิจัย.. 24
การวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยวิธีทางสถิติ... 33
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล... 35
5. อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ... 45
รายการอ้างอิง... 54
ภาคผนวก.. 61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์... 89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 กลุ่มซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.................... 24

ตารางที่ 2 กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก.................................... 24

ตารางที่ 3 กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง.................. 25

ตารางที่ 4 ปริมาณของส่วนผง ส่วนน้ำของอะคริลิกและวัสดุอัดแทรก.......................... 27

ตารางที่ 5 ปริมาณของส่วนผง ส่วนน้ำของอะคริลิก วัสดุอัดแทรกและสารเชื่อมขวาง........ 27

ตารางที่ 6 ข้อมูลจากการทดสอบความแข็งผิวเรียงจากค่าน้อยไปมาก........................ 35

ตารางที่ 7 ข้อมูลจากการทดสอบ ความแข็ง แรงการยึดติดกับฐานฟันเทียม เรียงจากน้อยไปมาก.. 36

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความ แข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.. 37

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความ แข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก.. 39

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความ แข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง.................................... 42

ตารางที่ 11 ผลค่าความแข็งผิวจากการศึกษานำร่อง.. 61

ตารางที่ 12 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.. 62

ตารางที่ 13 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.. 62

ตารางที่ 14 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มใน การทดสอบความแข็ง ของ ซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.. 64

ตารางที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.......................... 64

ตารางที่ 16 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของ ซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.. 65

หน้า

ตารางที่ 17 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก........................ 66

ตารางที่ 18 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก........................ 66

ตารางที่ 19 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก........................ 68

ตารางที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก........................ 68

ตารางที่ 21 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก........................ 68

ตารางที่ 22 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง........................ 70

ตารางที่ 23 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง........................ 70

ตารางที่ 24 การทดสอบความเท่ากันของควา มแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในกา ร ทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง........................ 71

ตารางที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง........................ 72

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง........................ 72

ตารางที่ 27 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียม ของ ของ ซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน........................ 74

ตารางที่ 28 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของ ของ ซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน........................ 74

หน้า

ตารางที่ 29 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน…………………………..……….………….. 76

ตารางที่ 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน…………………………………………………..…………..……. 76

ตารางที่ 31 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของ ของ ซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน…………………………………………………………………………..……. 77

ตารางที่ 32 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก…………………………..........….. 78

ตารางที่ 33 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก………..………………..…. 78

ตารางที่ 34 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก……………………………………………………………..…....…. 80

ตารางที่ 35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรก…..………………………………………………………..…...….. 80

ตารางที่ 36 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก……………….…..… 80

ตารางที่ 37 ค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง……….…. 82

ตารางที่ 38 การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง……………………………………………………..………………..... 83

หน้า

ตารางที่ 39 การทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของอะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง... 84
ตารางที่ 40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของอะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง.. 85
ตารางที่ 41 การเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง.. 86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างพอลิเมทิลเมทาคริเลต.. 7
ภาพที่ 2 โครงสร้างอย่างง่ายของสารคู่ควบไซเลน.. 11
ภาพที่ 3 ขั้นตอนการปรับสภาพผิวด้วยไซเลนของบริษัท Shin-Etsu.............................. 13
ภาพที่ 4 การเกิดปฏิกิริยาของสารไซเลนบนวัสดุอัดแทรกซิลิกา.................................... 13
ภาพที่ 5 แม่พิมพ์ฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก.. 14
ภาพที่ 6 การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส.. 16
ภาพที่ 7 ซี่ฟันเทียมอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก เมเจอร์เดนท์และออร์โทลักซ์ท็อป.................. 21
ภาพที่ 8 โครงสร้างวัสดุอัดแทรกแก้วแบเรียมบอโรซิลิเกต.. 21
ภาพที่ 9 โครงสร้างสารคู่ควบไซเลนแกมม่าเอ็มพีเอส... 22
ภาพที่ 10 โครงสร้างสารเชื่อมขวางเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลท.................................. 22
ภาพที่ 11 อะคริลิกและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย 23
ภาพที่ 12 การลงฟลาสก์แม่แบบโลหะไร้สนิมรูปทรงกระบอก.. 26
ภาพที่ 13 การอัดอะคริลิกชนิดดัดแปรเป็นรูปทรงกระบอก.. 26
ภาพที่ 14 ชิ้นตัวอย่างอะคริลิกชนิดดัดแปรรูปทรงกระบอก.. 27
ภาพที่ 15 ซี่ฟันเทียมที่เตรียมสำหรับทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส...................................... 28
ภาพที่ 16 รอยกดความแข็งวิกเกอร์ส.. 28
ภาพที่ 17 ซี่ฟันเทียมที่เตรียมสำหรับการทดสอบการยึดติดกับวัสดุฐานฟันเทียม 29
ภาพที่ 18 การเตรียมแม่แบบปูนปลาสเตอร์หินรูปทรงกระบอก...................................... 30
ภาพที่ 19 การเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงการยึดติด.. 31
ภาพที่ 20 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกลึงเป็นรูปดัมเบลล์.................................. 31
ภาพที่ 21 แผนภูมิแสดงการเตรียมชิ้นงานรูปดัมเบล.. 31
ภาพที่ 22 การเตรียมชิ้นงานรูปดัมเบล... 32
ภาพที่ 23 ที่จับชิ้นงานการทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึง....................................... 32
ภาพที่ 24 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วย
ความร้อน.. 38

หน้า

ภาพที่ 25 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูป และอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน.. 38
ภาพที่ 26 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก................ 40
ภาพที่ 27 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มี วัสดุอัดแทรก.. 40
ภาพที่ 28 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับ สารเชื่อมขวาง.. 43
ภาพที่ 29 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มี วัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง... 43
ภาพที่ 30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของส่วนผง........... 46
ภาพที่ 31 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของอะคริลิก ชนิดดัดแปร.. 48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ปัจจุบันซี่ฟันเทียม สำเร็จรูปที่ใช้ในงานผู้ป่วยทันตกรรมประดิษฐ์มีจำหน่าย หลากหลายยี่ห้อ ต้องใช้งบประมาณในการสั่งซื้อและ นำเข้าจากต่างประเทศ ในแต่ละปีจำนวนมาก และผู้ป่วยสูงอายุส่วนมาก ยังมีความจำเป็นในการ ใส่ฟันเทียม ทดแทนฟันธรรมชาติที่สูญเสียไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ป่วยสันเหงือกว่างทั้งปากที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกล ได้รับโอกาสในการ เข้ารับการรักษาได้น้อย จึงต้องมีการออกหน่วยทันตกรรมเคลื่อนที่ นอกจากนี้โครงการฟันเทียมพระราชทาน ยังต้องการซี่ฟันเทียมที่มีคุณภาพใช้งานได้ดี ในราคาที่ต่ำ ลงและช่วยลดการนำเข้า สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ และเหมาะสมกับผู้สูงอายุชาวไทย

การวิจัยในครั้งนี้ได้ทำต้นแบบสำหรับผลิตซี่ฟันเทียม เพื่อใช้ในงานออกหน่วยทันตกรรม เป็นซี่ฟันหลังล่างติดกันเป็นชุด เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการเรียงฟัน รูปแบบการสบฟันเป็นการสบฟันแบบระนาบเดียว (monoplane occlusion) เนื่องจากสามารถสร้างการสบฟันได้ง่ายในผู้ป่วยที่มีความสัมพันธ์ของขากรรไกรรูปแบบต่าง ๆ ช่วยเพิ่มความสะดวกในการแก้การสบฟัน สามารถใช้ในผู้ป่วยที่ไม่สามารถกลับมา ตรวจติดตามผลการรักษา ได้[1] ทำจากพอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethylmethacrylate, PMMA) ชนิดเทอร์โมพลาสติก เนื่องจาก พอลิเมทิลเมทาคริเลตมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม ในการใช้ผลิตซี่ฟันเทียม ไม่เป็นพิษ และไม่ละลายในของเหลวภายในช่องปาก มีสมบัติทางกลได้แก่ ความแข็งแรงกด (76 เมกะปาสคาล) การต้านทานต่อการขัดสี มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (2,700 เมกะปาสคาล) และความแข็งนูป (18-20 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุบูรณะอื่น ๆ รวมทั้งเคลือบฟันและเนื้อฟันยังมีค่าต่ำ[2]

การวิจัยนี้จึงต้องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลตให้มีความแข็งผิวสูงขึ้น และยังสามารถยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดีเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุทำซี่ฟันเทียมที่มีสมบัติดีขึ้น

โดยแบ่งเป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 เปรียบเทียบฟันอะคริลิกชนิดดั้งเดิม ได้แก่ ฟันอะคริลิก ทางการค้าคือเมเจอร์เดนท์และออร์โทลักซ์ท็อป ฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก อะคริลิกสีเหมือนฟันชนิดบ่มด้วยความร้อนและอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อน

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบอะคริลิกชนิดดัดแปรด้วยการเติมวัสดุอัดแทรกต่าง ๆ ในอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อนเพื่อปรับปรุงเป็นชั้นเคลือบฟัน โดยวัสดุอั ดแทรกที่ใช้เป็นกลุ่มที่มี

ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบหลัก เนื่องจาก เป็นวัสดุอัดแทรกที่นิยมใช้เป็นสารเสริมความแข็งแรงในซี่ฟันเทียม [3]

ตอนที่ 3 เปรียบเทียบอะคริลิกชนิดดัดแปรด้วยการเติมวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวางในอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อน โดยนำผลจากการศึกษาตอนที่ 2 เลือกกลุ่มที่มีวัสดุอัดแทรกที่เพิ่มความแข็งวิกเกอร์สได้สูงสุดมาเติมสารเชื่อมขวางเพิ่ม คือ เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต ซึ่งใช้เป็นสารเชื่อมขวางในเครือข่ายไอพีเอ็น [4, 5]

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่ต้องการนำมาปรับปรุงสมบัติ
2. เพื่อศึกษาสัดส่วน ชนิดของวัสดุอัดแทรกและปริมาณของสารเชื่อมขวางที่สามารถปรับปรุงสมบัติความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อนสำหรับใช้เป็นวัสดุทำซี่ฟันเทียม

คำถามของการวิจัย

1. อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมเทียบเคียงกับซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปหรือไม่
2. การเติมวัสดุอัดแทรกในอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนมีผลต่อความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมหรือไม่
3. การเติมวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวางในอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนมีผลต่อความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมหรือไม่

สมมติฐานการวิจัย

<u>สมมติฐานที่ 1</u>

สมมติฐานว่าง = อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับซี่ฟันเทียมทางการค้ามี ค่าความแข็งผิว และการยึดติดกับฐานฟันเทียมไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานแย้ง = อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับซี่ฟันเทียมทางการค้ามี ค่าความแข็งผิว และการยึดติดกับฐานฟันเทียมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

<u>สมมติฐานที่ 2</u>

สมมติฐานว่าง = อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่เติมวัสดุอัดแทรกมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานแย้ง = อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่เติมวัสดุอัดแทรกมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

<u>สมมติฐานที่ 3</u>

สมมติฐานว่าง = อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่เติมวัสดุอัดแทรกและสารเชื่อมขวางมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมไม่แตกต่างกัน

สมมติฐานแย้ง = อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่เติมวัสดุอัดแทรกและสารเชื่อมขวางมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย

ซี่ฟันเทียมทางการค้าในการศึกษานี้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาวัสดุเท่านั้น

ข้อตกลงเบื้องต้น

การทดลองดำเนินการโดยผู้ทำการทดลอง 1 คนและใช้อุปกรณ์เดียวกันตลอดการทดลอง

ข้อจำกัดการวิจัย

1. การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถเปรียบเทียบกับในสภาพช่องปากจริง การนำมาใช้ทางคลินิคจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป
2. การปรับสภาพผิววัสดุอัดแทรกซิลิกาด้วยสารคู่ควบไซเลนโดยผู้ วิจัยทำเองในห้องปฏิบัติการ จึงอาจแตกต่างจากวัสดุอัดแทรกแก้วที่ปรับสภาพผิวแล้วจากบริษัทผู้ผลิต

คำสำคัญ

Artificial teeth	ซี่ฟันเทียม
Surface hardness	ความแข็งผิว
Tensile bond strength	ความแข็งแรงการยึดติดแบบดึง
Mode of failure	รูปแบบการแตกหัก
Polymethylmethacrylate	พอลิเมทิลเมทาคริเลต
Filler	วัสดุอัดแทรก
Cross-linking agent	สารเชื่อมขวาง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วัสดุในการทำซี่ฟันเทียม ทีมีสมบัติ ความแข็ง ผิวสูง และ ยึดติด กับฐานฟันเทียมได้ ดีเทียบเคียงได้กับซี่ฟันเทียมทางการค้า
2. นำสูตรไป พัฒนาวัสดุในการผลิตซี่ ฟันเทียม ให้มีประสิทธิภาพที่ดีต่อไป ลดการนำเข้าซี่ฟันเทียมจากต่างประเทศ ช่วยให้ประหยัดงบประมาณ

การออกแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พอลิเมอร์

พอลิเมอร์เป็นศัพท์ที่มาจากภาษากรีก พอลิ (poly) แปลว่า มาก ส่วน เมอร์ (mer) แปลว่า ส่วนหรือหน่วย ดังนั้น พอลิเมอร์จึงหมายถึงสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ ที่เรียกว่า เมอร์ หรือหน่วยซ้ำ ต่อซ้ำ ๆกัน[6, 7]

พอลิเมอร์ที่มีความสำคัญทางการค้าส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ มีทั้งที่เกิดในธรรมชาติ ได้แก่ พอลิแซคคาไรด์ โปรตีน เส้นใยธรรมชาติ กาวธรรมชาติและยางธรรมชาติ เป็นต้น ส่วนที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ พลาสติก ยางสังเคราะห์ เส้นใยสังเคราะห์ กาว และสี เป็นต้น มีพอลิเมอร์ อีกหลายชนิดที่เป็นสารอนินทรีย์ หรืออาจประกอบด้วยส่วนผสมของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

พอลิเมอร์อาจแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 4 กลุ่มใหญ่ ๆ [6]ดังนี้

1. อิลาสโตเมอร์หรือยาง (elastomers/rubbers)
2. พลาสติก (plastics)
3. เส้นใย (fibers)
4. สารเคลือบผิว (surface coating)

พอลิเมอร์แบบเส้นและแบบร่างแหจะมีพฤติกรรมแตกต่างกันเมื่อได้รับความร้อนและ /หรือความดัน จึงสามารถแบ่งพอลิเมอร์เป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก [8]

<u>เทอร์โมเซต</u> <u>(thermosets)</u> พลาสติกประเภทนี้ มีโครงสร้างเป็นแบบเชื่อมขวางหรือแบบร่างแหที่หนาแน่น ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพมาก ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแห แรงยึดเห นี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ คือ เกิดการเชื่อมขวางต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว ไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน แต่จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และส่วนมากต้องการแรงอัดด้วย เทอร์โมเซตติงพลาสติก ได้แก่ เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) , ฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ อีพ็อกซี (epoxy), โพลิเอสเตอร์ (polyester), ยูรีเทน (urethane), โพลิยูรีเทน (polyurethane) [8]

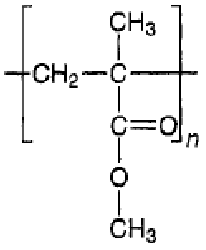
เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างแบบเส้นหรือแบบกิ่งสั้น ๆ สามารถละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดที่อุณหภูมิสูง ๆ และเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวได้อีก ซึ่งการหลอมเหลวและการเย็นตัวนี้ สามารถเกิดซ้ำไปซ้ำมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพเปลี่ยนไป คือ โครงสร้างของ พอลิเมอร์ไม่เปลี่ยนไป โดยที่โมเลกุลของ พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อได้รับความร้อน ทั้งนี้เพราะมีเพียงพันธะทุติยภูมิระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์เท่านั้น ซึ่งความร้อนและความเครียดเฉือน จะสามารถไปทำลายพันธะทุติยภูมิระหว่างโมเลกุลเหล่านี้ได้ อุณหภูมิยิ่งสูงก็ยิ่งเร่งให้เกิดการไหลได้มากขึ้น และลดผลของพันธะทุติยภูมิให้น้อยลง ในทางกลับกัน เมื่อพอลิเมอร์เย็นลงอัตราการไหลจะลดลงจนเกิดการแข็งตัวอีกครั้งหนึ่ง ชนิดของพลาสติกใน ตระกูลเทอร์โมพลาสติก [8] เช่น พอลิเอทิลีน (polyethylene: PE), พอลิโพรพิลีน (polypropylene: PP), พอลิสไตรีน (polystyrene: PS),พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinylchloride: PVC), ไนลอน (nylon), พอลิคาร์บอเนต (polycarbonate: PC), พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate : PMMA)

พอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate : PMMA) สูตรเคมีของพลาสติกชนิดนี้คือ $C_5H_8O_2$ มีชื่อทางการค้าหลายชื่อด้วยกัน เช่น Plexiglas, Lucite, Perspex เป็นต้น พลาสติกชนิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายอย่าง เช่น กระจกใสบนเครื่องบิน ป้ายโฆษณา กระจกตู้ปลา วัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น เนื่องจากวัสดุมีสมบัติ เด่นในเรื่องความเหนียว (toughness) ความโปร่ง ใส (transparent) สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีความหนาแน่นต่ำซึ่งเป็นสมบัติประจำตัวของวัสดุประเภทพลาสติก ทนแสงอุลตราไวโอเลตได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า อะคริลิกพลาสติกจึงเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้แทนแก้วในงานหลายอย่าง อะคริลิกยังทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ ทั้งชนิดใส ฝ้า และทึบแสง[7, 9]

สมบัติของพอลิเมทิลเมทาคริเลต [2, 10]

1.	ความแข็งแรงกด	76	เมกะปาสคาล
2.	ความแข็งแรงดึง	60	เมกะปาสคาล
3.	มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น	2,400-2,700	เมกะปาสคาล
4.	ความแข็งนูป	18-20	กิโลกรัมฟอร์ซต่อตารางมิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1 โครงสร้างพอลิเมทิลเมทาคริเลต

เทอร์โมพลาสติก ยังอาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. **เทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน** (amorphous or noncrystalline thermoplastic) ซึ่งมีสมบัติแข็งและเปราะ ได้แก่ PMMA, PS, PVC, และ ABS เป็นต้น
2. **เทอร์โมพลาสติกกึ่งผลึก** (semicrystalline thermoplastic) ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอ ทำให้มีการจัดเรียงตัวที่ดี สามารถเกิดผลึกได้บ้างบางส่วน จึงมีลักษณะที่อ่อนตัวและเหนียวพอสมควร ได้แก่ PE, PP, Nylon เป็นต้น

พลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกนั้นสามารถนำมา ขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆ ได้ดังนี้ [7, 11]

1.วิธีรีด (extrusion) วิธีนี้จะนำเม็ดพลาสติกใส่ลงไปในเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ที่จะหลอมพลาสติกจน เหลวด้วยความร้อน จากนั้นจะบีบผ่านหัวฉีดที่มีรูปทรงตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

2.วิธีเป่า (blow moulding) เป็นการขึ้นแบบโดยการเป่า การขึ้นรูปชนิดนี้จะทำได้โดยใช้พลาสติกที่หลอมเหลวแล้วฉีดลงไป ในแผ่นแม่พิมพ์ จากนั้นเป่าลมเข้าไปในแม่พิมพ์ซึ่งพลาสติกจะกระจายไปกระทบผนังแม่พิมพ์ที่ เย็นและจะแข็งตัวเป็นรูปร่างตามต้องการ วิธีการขึ้นรูปนี้มักใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ประเภทขวด กระป๋องและของเล่น

3.วิธีฉีด (injection moulding) เป็นการขึ้นรูปโดยทำให้พลาสติกหลอมเหลวในห้องที่คล้ายกับเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์ และฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์เหล็กที่เย็น ซึ่งพลาสติกก็จะแข็งตัวตามรูปทรงในแม่พิมพ์ตามต้องการ

ส่วนพลาสติกชนิดเทอร์โม เซตหรือเทอร์โมพลาสติก ที่สามารถเกิดการเชื่อมขวางได้ ขึ้นรูปด้วยวิธีต่าง ๆ [12] เช่น

1.วิธีอัด (compression moulding)

2.วิธีการอัดส่ง (transfer moulding)

3.วิธีหล่อ (casting)

4.วิธีฉีด (injection moulding)

5.วิธีหล่อโฟม (foam moulding)

<u>พอลิเมอร์คอมโพสิต</u>[13]

คอมโพสิต เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยการรวมวัสดุมากกว่า 2 ประเภทเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นแมทริกซ์ (matrix) และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในแมทริกซ์นั้น วัสดุที่เป็นแมทริกซ์ จะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแมทริกซ์ให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อ น อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก (base materials) อย่างโลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์ ผลของการรวมวัสดุต่างกัน 2 ประเภทเข้าด้วยกันทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรง โดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุแต่ละประเภทโดยลำพัง วัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. พอลิเมอร์คอมโพสิต (polymer matrix composites- PMCs)
2. เซรามิกคอมโพสิต (ceramic matrix composites- CMCs)
3. เมทัลคอมโพสิต (metal matrix composites- MMCs)

วัสดุนาโนคอมโพสิต

วัสดุนาโนคอมโพสิตเป็นวัสดุผสมที่มีองค์ประกอบขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุเสริมแรงนาโนอยู่ในช่วงที่ต่ำมาก คือ น้อยกว่าร้อยละ 5 [14]

อนุภาคนาโนที่เติมเข้าไปในคอมโพสิตทำให้มีสมบัติที่ดีขึ้นกว่าตัวพอลิเมอร์เพียงอย่างเดียว ระดับของการเสริมแรงขึ้นอยู่กับสมบัติของตัววัสดุอัดแทรกและตัวแมทริกซ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติของอนุภาคนาโนซึ่งมีพื้นที่ผิวที่มากกว่าเมื่อสัมผัสกับพอลิเมอร์แมทริกซ์ เป็นผลให้ วัสดุคอมโพสิตนี้มีผิวหน้าสัมผัส (interface) ที่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบวัสดุคอมโพสิตที่มีอนุภาคขนาดไมโครกับ มีอนุภาคขนาดนาโน ในปริมาณร้อยละ ที่เท่ากัน อนุภาคนาโนนั้นจ ะมีพื้นที่ผิวหน้าสัมผัสที่สูง กว่ามากเมื่อเทียบกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ สามารถเรียกได้ว่าเป็น Interface-dominated materials [15] หรือ Dispersion-strengthened composites การแพร่ของรอยร้าวขนาดเล็ก (crack propagation) ในวัสดุที่มีโครงสร้างต่างกันเช่นนี้ รอยร้าวจะเกิดปฏิกิริยากับอนุภาคตลอดเวลาในนาโนคอมโพสิต อนุภาคนาโนจะหยุดการเคลื่อนที่ของรอยร้าว เหมือนกับว่ามันมองไม่เห็นตัวอนุภาค ต่างจากแบบที่เกิดในวัสดุที่มีอนุภาค ใหญ่ซึ่งจะหน่วงเหนี่ยวการเคลื่อนที่ของรอยร้าว อนุภาคนาโนอนินทรีย์สามารถเสริมแรงให้กับแมทริกซ์พอลิเมอร์ที่เป็นเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการปรับปรุงสมบัติทางกลและทางไตรโบโลจี (tribology) สามารถทำได้โดยใช้ปริมาณวัสดุอัดแทรกที่ต่ำมาก คือ ร้อยละ 1 ถึง 5 การเสริมแรงนี้สามารถปรับปรุงมอดุลัสยืดหยุ่น โดยไม่สูญเสียความแข็งแรง ช่วยเพิ่มความเหนียวทนต่อการแตกหัก (fracture toughness) และการกระแทก (impact) โดยการทนความเค้นขึ้นกับปริมาณอนุภาค และที่สำคัญคือการกระจายตัว (dispersion) ของวัสดุอัดแทรก โดยไม่มีการเกาะกลุ่มหรือรวมตัวกัน การที่มีโครงสร้างที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous microstructure) นี้ช่วยเพิ่ม

สมบัติต้านทานต่อการสึกในอีพ็อกซี่นาโนคอมโพสิตที่มีอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ หรือ อะลูมินา ส่วนการแจกแจง (distribution) ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดของอนุภาค พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ปริมาณของอนุภาค และขั้นตอนการผสม [15] โดยการแจกแจงอธิบายถึงความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity) ทั่วทั้งชิ้นงาน ส่วน การกระจาย อธิบาย ถึงระดับของการเกิด การรวมกลุ่มกัน (agglomeration)[16]

วัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำซี่ฟันเทียม ได้แก่ เรซินอะคริลิก และ เรซิน คอมโพสิต

<u>เรซินอะคริลิก</u> แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เรซินอะคริลิกชนิดดั้งเดิม (conventional acrylic resin) และ เรซินอะคริลิกที่มีการเชื่อมขวางสูง (highly cross-linked acrylic resin) เรซินอะคริลิก ชนิดดั้งเดิมที่ไม่มีการเชื่อมขวาง มีความแข็งแรงและความแข็งผิว ต่ำ (16.6 ถึง 18.3 กิโลกรัมฟอร์ซต่อตารางมิลลิเมตร)[17] เกิดการสึกกร่อนได้ง่าย แต่สามารถปรับแต่งรูปร่างได้ง่าย ข้อดี-ข้อด้อยของฟันอะคริลิก ได้แก่ มีการสึกสูงกว่าฟันคอมโพสิต อย่างมีนัยสำคัญทางคลินิก [18, 19] มีการสูญเสียมิติในแนวดิ่ง เนื่องจากการสึก ที่มีลักษณะเป็นรอยโค้งกลับ (reverse curve) ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพในการบดเคี้ยวอาหาร มีเสียงกระทบที่เบา เกิดการปรับแต่งและขัดเงาโดยตัววัสดุเอง สามารถกรอแต่งง่าย สามารถยึดติดกับวัสดุฐาน ฟันเทียม ฟันคู่สบที่เป็นฟันธรรมชาติ เกิดการสึกได้น้อย [20] ปัจจุบันมีการพัฒนาปรับปรุงสมบัติของซี่ฟันเทียมเรซินอะคริลิก โดยใช้เทคโนโลยีทางพอลิเมอร์ต่าง ๆ เพื่อให้มีการต้านทานต่อการสึกมากขึ้นโดยเพิ่มระดับของ การเชื่อมขวางระหว่าง พอลิเมอร์ เช่น ร่างแหพอลิเมอร์แบบสอดไขว้(ไอพีเอ็น) (interpenetrating polymer network, IPN) และการเชื่อมขวางแบบคู่ (double cross-linking, DCL) ตัวอย่างซี่ฟันเทียมเรซินเหล่านี้ เช่น ทรูไบท์ ไอพีเอ็น (Trubyte IPN ,Dentsply International, New York, USA) และ เอสอาร์ โพสทาริส ดีซีแอล (SR-Postaris-DCL ,Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) [19, 21]

<u>เรซิน คอมโพสิต</u> ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาจากการสึกกร่อนง่ายของฟันอะคริลิก ทั้งด้านความแข็ง (24.0 ถึง 47.0 กิโลกรัมฟอร์ซต่อตารางมิลลิเมตร)[3] พื้นผิวที่มีความเป็นมันเงา และความคงทนของ สีสูง [1] นอกจากนี้ยังไ ด้พัฒนาวัสดุ คอมโพสิต โดยการเติม วัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ (inorganic fillers) เข้าไปในส่วนของพอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix) เช่น วิต้าแพน (Vitapan, Vita Zahnfabrik, Germany) และ เอสอาร์ออร์โธสิตพีอี (SR-Orthosit-PE, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งเติมกรดซิลิสิกแบบอสัณฐาน (amorphous silicic acid) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล และการต้านทานการสึกกร่อน [22] แต่คอมโพสิตยังมีปัญหาในเรื่องของการเชื่อมติดกับฐาน ฟันเทียม และการติดสี (stain) ฟันคอมโพสิตจึงมีส่วนฐานซี่ฟันที่ยังคงเป็นเรซินอะคริลิกเพื่อให้เกิดการยึดติดกับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฐานฟันเทียมอะคริลิกได้ ปัจจุบันมีการ พัฒนาสมบัติของซี่ ฟันเทียม เรซินคอมโพสิต ชนิดต่าง ๆ เช่น เรซินคอมโพสิตชนิดไมโคร ฟิล เรซินคอมโพสิตชนิดนาโนฟิล เรซินคอมโพสิตชนิดเสริมแรงด้วยเส้นใย โดยเรซินคอมโพสิตชนิดไมโครฟิล มีสมบัติต้านการสึกกร่อนได้ดี ขึ้น ส่วนเรซิน คอมโพสิตชนิดนาโนฟิลได้พัฒนาขึ้นมาให้มีสมบัติสามารถขัดขึ้นเงาได้สูง ต้านทานต่อการติดสีและทน ต่อแรงบดเคี้ยวได้ มีส่วนประกอบของ มอนอเมอร์ยูรีเทนไดเมทาคริ เลต (urethane dimethacrylate) เมทิลเมทาคริเลต (methylmethacrylate) พอลิเมทิลเมทาคริเลตและสารอัดแทรกขนาดนาโนที่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นระเบียบ (uniform dispersed nano-sized filler) [19]

การวิจัยนี้ได้นำอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนมาปรับปรุงสมบัติ โดยองค์ประกอบของอะคริลิกพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดบ่มด้วยความร้อน มี 2 ส่วน คือ ส่วนผง และส่วนเหลว [2]

<u>ส่วนผง</u> ประกอบด้วย

พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่ผ่านการพรีพอลิเมอร์ไรซ์

สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator) เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide)

รงควัตถุ (pigments) สี (dyes) และเส้นใย (dyed organic fibers) เพื่อเลียนแบบเนื้อเยื่อช่องปาก

สารทึบรังสี (radiopaque) เช่น แบเรียม

สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizer) เช่น ไดบิวทิลพทาเลต (dibutyl phthalate)

สารเติมแต่งอนินทรีย์อื่น ๆ (inorganic particles) เช่น เส้นใยแก้ว อลูมินา

<u>ส่วนเหลว</u> ประกอบด้วย

เมทิลเมทาคริเลต

สารยับยั้ง (inhibitor) เช่น ไฮโดรควิโนน (hydroquinone)

ตัวกระตุ้น (acceralator) เช่น tertiary amine

สารเชื่อมขวาง (cross-linking agent) เช่น เอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต (ethylene glycol dimethacrylate)

การปรับปรุง สมบัติความแข็งของพอลิเมทิลเมทาคริเลตโดยการเติมวัสดุอัดแทรก มีการศึกษาพบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกไมกา (mica) และวัสดุอัดแทรกเส้นใยแก้ว (glass fiber) ขนาดไมโครร้อยละ 5, 10 และ 15 ช่วยเพิ่มความแข็งผิวให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตอย่างมีนัยสำคัญโดยที่ปริมาณร้อยละ 10 ของวัสดุอัดแทรกไมกาและวัสดุอัดแทรกเส้นใยแก้วให้ผลค่าความแข็งดีที่สุด และในปริมาณร้อยละที่เท่ากัน วัสดุอัดแทรกเส้นใยแก้วยังให้สมบัติที่สูงกว่าวัสดุอัดแทรกไมกาเล็กน้อย [23]

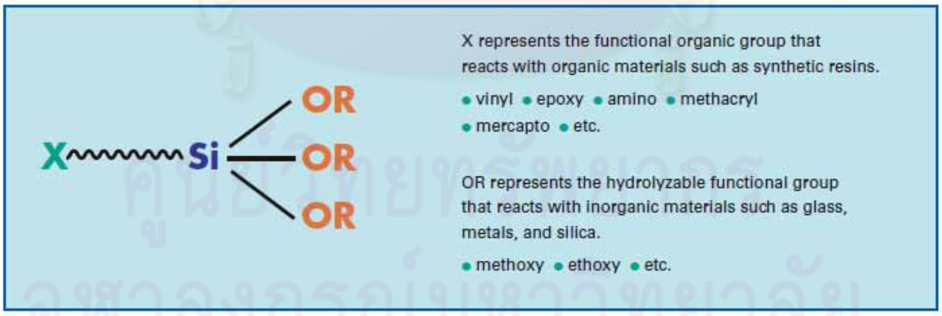
วัสดุอัดแทรกในเรซินคอมโพสิตสำหรับบูรณะฟัน มีหลายชนิดและหลายขนาด เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ขนาด 10-40 นาโนเมตร แก้วแบเรียมหรือสตรอนเซียมซิลิเกต ซึ่งใช้เป็นสารทึบรังสี

ขนาด 0.7 1.0 1.5 ไมครอนหรือใหญ่กว่า แก้วควอร์ตซ์ขนาด 1.0 ถึง 1.5 ไมครอน ไททาเนียมหรือเซอร์โคเนียมและอะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งใช้เป็น สารทึบแสง (opacifier) ขนาด 250-500 นาโนเมตร[24] ตัวอย่าง เรซินคอมโพสิต บูรณะฟัน เช่น Premise, Kerr ประกอบด้วยพรีโพลีเมอไรซ์ฟิลเลอร์ (prepolymerized filler, PPF) 30-50 ไมครอน แก้วแบเรียม ขนาด 0.4 ไมครอน และซิลิกา 0.02 ไมครอน[25]

ปริมาณของวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ที่ พบในซี่ฟันเทียมผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อยู่ในช่วงร้อยละ 0 ถึง 42.9 โดยมวล ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารซิลิก อน[3] และในซี่ฟันเทียมที่ส่วนเมทริกซ์เป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตหรือไดเมทาคริเลต พบว่ามีปริมาณวัสดุอัดแทรกอยู่ในช่วงร้อยละ 11.4 ถึง 25.1[3] ค่าความแข็งโมห์ (Mohs hardness) ของซิลิกอนไดออกไซด์หรือซิลิกาอยู่ในช่วง 6-7 โดยควอร์ตซ์จะมีความแข็งสูงที่สุด (Mohs hardness = 7)[26]

<u>สารคู่ควบ (coupling agent)</u> ทำหน้าที่เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับวัสดุอัดแทรกหรือเส้นใยเสริมแรง โดยสร้างพันธะที่แข็งแรงกับทั้งสอง ทำให้มีการยึดเกาะระหว่างกันดีขึ้น[26]

สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) เป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้มากที่สุดกับผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้ว มีสูตรทั่วไปคือ $X\text{-}Si(OR)_3$ โดยหมู่ OR ซึ่งเกิดการไฮโดรไลซ์ได้ เช่น หมู่เมทธ็อกซี่ หรือหมู่เอทธ็อกซี่ ($-OCH_3$, $-OC_2H_5$) จะเข้าทำปฏิกิริยาเกิดพันธะกับ แก้ว โลหะหรือซิลิกา ในขณะที่หมู่ทำงาน X เช่น หมู่ไวนิล หมู่อะมิโน หมู่อีพอกซี หมู่เมอร์แคปโต จะทำปฏิกิริยากับ พอลิเมอร์ ทำให้ใยแก้วยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี



ภาพที่ 2 โครงสร้างอย่างง่ายของสารคู่ควบไซเลน[27]

การปรับปรุงพื้นผิววัสดุอัดแทรกด้วยสารคู่ควบไซเลน ทำให้เกิดสมบัติดัง ต่อไปนี้ [12]

1. เพิ่ม dimensional stability
2. ปรับลักษณะพื้นผิวความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity)
3. เพิ่มความสามารถในการเปียกระหว่างเรซินและวัสดุอัดแทรก
4. ลดการระเหยของน้ำ

5. ควบคุมสมบัติการไหล (เพิ่มปริมาณวัสดุอัดแทรกได้สูงขึ้นโดยไม่เพิ่มความหนืด)
6. เพิ่มการกระจายของวัสดุอัดแทรก (ไม่เกิด filler agglomerates)
7. เพิ่มสมบัติทางกลและสมบัติการนำไฟฟ้า

การใช้สารไซเลนจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อนำไปใช้เป็น สารคู่ควบ สำหรับวัสดุอัดแทรก ต่อไปนี้ คือ ซิลิกา แก้ว อะลูมินา และอะลูมิโนซิลิเกต

ไซเลนที่ผลิตออกจำหน่ายในทางการค้ามีหมู่ ทำงาน (หมู่ X) แตกต่างกันหลายแ บบเพื่อให้เหมาะสมในการใช้งานกับ พอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ เช่น ไซเลนที่ประกอบด้วยหมู่ไวนิล จะถูกนำ ไปใช้งานกับพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว ไซเลนที่ประกอบด้วยหมู่อีพอกซี หรือหมู่อะมิโนก็จะนำไปใช้งานกับพอลิเอไมด์ อีพอกซีเรซินหรือพอลิยูรีเทนชนิดเทอร์โมเซต[26]

ไซเลนทางการค้าที่ใช้ เช่น vinyltrichlorosilane, γ-methacryloxypropyl trimethoxysilane, γ-aminopropyl triethoxysilane, γ-mercaptopropyl trimethoxysilane

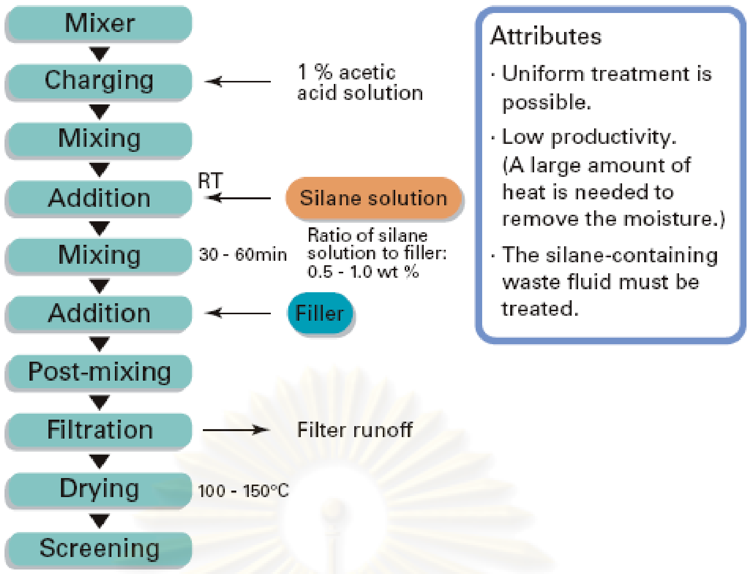
สำหรับปริมาณไซเลนที่เหมาะสมในการใช้ คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณไซเลน(กรัม)} = \frac{\text{ปริมาณวัสดุอัดแทรก (กรัม)} \times \text{พื้นที่ผิววัสดุอัดแทรก (ตารางเมตร/กรัม)}}{\text{ความสามารถปกคลุมพื้นผิววัสดุอัดแทรกของไซเลน(ตารางเมตร/กรัม)}}$$

วิธีการเชื่อมยึดไซเลนกับวัสดุอัดแทรกมี 4 วิธี ได้แก่ [12]

1. Neat silane (Dry method I)
2. Silane solution (Slurry method II)
3. Integral silane blending, *in situ* coation (Method III)
4. Silane concentrates (Method IV)

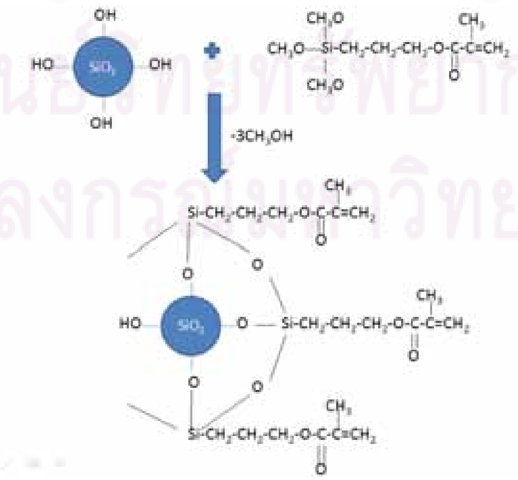
การวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้วิธีแช่ในสารละลายไซเลน (silane solution) ตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการปรับสภาพผิวด้วยไซเลนของบริษัท Shin-Etsu[27]

จากภาพที่ 3 เตรียมสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้นร้อยละ 1 ผสมในน้ำกลั่น ค่อย ๆ หยดไซเลนลงในสารละลายกรดผสมจนไซเลนละลายเป็นสารละลายที่ค่อนข้างใส

ผสมสารละลายไซเลนเป็นเวลา 30 ถึง 60 นาทีบนเครื่องผสม จนสารไซเลนละลายเกิดการไฮโดรไลซ์ในน้ำเป็นหมู่ไซลานอล (-SiOH) นำวัสดุอัดแทรกเติมลงในสารละลายไซเลน หลังจากผสมเข้ากันดีจนสารไซเลน ทำปฏิกิริยา ควบแน่นกับแก้วเป็นพันธะไซลอกเซน Si-O-Si-(siloxane bond) กับพื้นผิวของวัสดุอัดแทรกดังภาพที่ 4 จึงกรองแยกวัสดุอัดแทรกออกจากสารละลายไซเลน กำจัดผลพลอยได้ (by product) ซึ่งก็คือ เมทานอล นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส จึงนำวัสดุอัดแทรกที่อบแห้งแล้วมาใช้ต่อไป



ภาพที่ 4 การเกิดปฏิกิริยาของสารไซเลนบนวัสดุอัดแทรกซิลิกา [28]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการผลิตซี่ฟันเทียมเทอร์โมพลาสติก

การผลิตฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติกในการวิจัยนี้ จัดทำขึ้นเพราะมีความต้องการซี่ฟันเทียมใช้ในงานออกหน่วยทันตกรรม มีกระบวนการผลิตที่สามารถทำขึ้นเองได้ในประเทศและเป็นประโยชน์ทั้งในทางคลินิคและทางห้องปฏิบัติการ เพราะ ลักษณะซี่ฟันติดกันเป็นชุด มีความสะดวกรวดเร็วในการเรียงฟัน และมีรูปแบบการสบฟันแบบระนาบเดียวซึ่ง สามารถ สร้างการสบฟันได้ง่ายในผู้ป่วยที่มีความสัมพันธ์ของขากรรไกรรูปแบบต่าง ๆ ช่วยเพิ่มความสะดวกในการแก้ไขการสบฟัน

การผลิตซี่ ฟันเทียม พลาสติก ให้มีความสวยงามเหมือนฟันธรรมชาติ ต้องจัดเรียงเป็นชั้น ๆ ประมาณ 2-3 ชั้นเหมือนฟันธรรมชาติ ประกอบด้วย ส่วนฐานซี่ฟันซึ่งติดกับฐานฟัน เทียม และอาจมีส่วนเนื้อฟันเป็นชั้นถัดมา และส่วนเคลือบฟันที่อยู่บนด้านบดเคี้ยว โดยส่วนฐานตัวฟันนั้นเป็นวัสดุพอลิเมทิลเมทาคริเลต เพื่อให้ยึดติดกับวัสดุฐานฟันเทียมซึ่งเป็นสารกลุ่มเดียวกัน ส่วนเนื้อฟันหรือเคลือบฟันอาจเป็นวัสดุคอมโพสิตหรือ พอลิเมทิลเมทาคริเลต ที่พัฒนาให้มีความแข็ง แรง ต้านทานการสึกก ร่อน มีความใส โปร่งแสง มีเสถียรภาพของสี ติดสีได้น้อย กรอแก้ไขขัดแต่งไ ด้ง่าย สวยงาม และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ นอกจากนี้การขึ้นรูป พอลิเมอร์ พลาสติกเพื่อ ผลิตซี่ฟันเทียม ทำได้หลายวิธี เช่น การ อัด (compression/pressure pack)[29] การฉีดพลาสติก (injection) [30] การกลึง (milling) [31, 32] และการหล่อ (casting) [33]

การผลิตซี่ฟันเทียมนี้ขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดพลาสติก จากเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยบริษัท แพนพรีซิชั่น โพรดักส์ จำกัด เป็นผู้ทำแม่พิมพ์และฉีดขึ้นรูป ลักษณะแม่พิมพ์ต้นแบบเป็นแผงซี่ฟันหลังล่างติดกันเป็นชุด ตั้งแต่ฟันกรามน้อยล่างซี่ที่หนึ่งถึงฟันกรามล่างซี่ที่สาม เป็นแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปเป็น 2 ชั้น คือ ส่วนเนื้อฟัน และส่วนเคลือบฟัน กระบวนการผลิตเริ่มจากหลอมเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตรวมกับเม็ดสีเพื่อ ปรับแต่งสีเลียนแบบฟันธรรมชาติซึ่งยังต้องมีการปรับ เฉดสีอื่น ๆ ต่อไป เมื่อพอลิเมทิลเมทาคริเลตหลอมเหลวภายใต้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมจึงฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ โดยฉีดอะคริลิกส่วนเนื้อฟันก่อน แล้วจึงฉีดอะคริลิกส่วนเคลือบฟันหุ้มไปบนส่วนเนื้อฟันอีกครั้ง เมื่อแม่พิมพ์เย็นลงและ พอลิเมทิลเมทาคริเลต แข็งตัว จึงแกะออก จากแม่พิมพ์ และตัดแต่งวัสดุส่วนเกินออก

ภาพที่ 5 แม่พิมพ์ฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก

การฉีดขึ้นรูป ฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติกนี้ ได้ทดลองผสมวัสดุอัดแทรกเข้าไปประหว่างการหลอมเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลต แต่ได้พบปัญหาความไม่เข้ากันของ พอลิเมทิลเมทาคริเลตกับวัสดุอัดแทรก ซึ่งต้องมีการปรับปรุงเทคนิคการผลิตต่อไป โดยชิ้นงานที่ผลิตมาทดสอบนี้เป็น อะคริลิกเทอร์โมพลาสติกที่ไม่มีสารเติมแต่งใดๆ นอกจากเม็ดสี เป็นฟันที่ฉีดขึ้นรูป 2 ชั้น

วิธีทดสอบความแข็ง (hardness test)

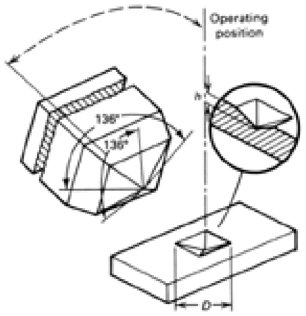
ความแข็ง(hardness) เป็นสมบัติทางกลบนพื้นผิวของวัสดุ ความแข็ง หมายถึงการต้านทานต่อการเป็นรอยกดอย่างถาวรของพื้นผิว ความแข็งเป็นตัวบ่ง ชี้ถึงความง่ายในการขัดแต่งชิ้นงานและความต้านทานต่อรอยขีดข่วน การขัดแต่งชิ้นงานมีผลต่องานที่ต้องการความสวยงาม และรอยขีดข่วนมีผลต่อความแข็งแรงล้า (fatigue strength) และทำให้เกิดความล้มเหลวก่อนกำหนด (premature failure)

การทดสอบความแข็งของวัสดุมีหลายวิธี ได้แก่ การทดสอบความแข็งบริเนลล์ (Brinell) นูป (Knoop) วิกเกอร์ส (Vickers) ร็อคเวลล์ (Rockwell) และชอร์ เอ (Shore A) แต่ละวิธีมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ขึ้นกับรูปร่างหัวกดที่ใช้ทดสอบกับผิววัสดุ วัสดุที่ใช้เป็นหัวกดอาจเป็นโลหะเหล็กกล้าไร้สนิม ทังสเตนคาร์ไบด์ หรือเพชร และรูปร่างอาจเป็นทรงกลม ทรงกรวย ปิรามิด หรือเข็ม แรงกดอยู่ในช่วง 0.5 นิวตัน ถึง 30 กิโลนิวตัน การเลือกวิธีท ดสอบขึ้นกับชนิดวัสดุและ ช่วงความแข็งที่เหมาะสมกับตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดสอบมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันตามแรงมาตรฐานหรือน้ำหนักที่ใช้กับหัวกดทำให้เกิดรอยกดที่สมมาตร ซึ่งสามารถตรวจได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์สำหรับหาความลึก พื้นที่ หรือความกว้างของรอยที่เกิดขึ้น มิติของ รอยกดมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็ง โดยเมื่อแรงกดคงที่ มิติของรอยกดที่เกิดขึ้นจะแปรผกผันกับการต้านทานของวัสดุ ดังนั้นจึงใช้แรงกดที่เบากับวัสดุที่อ่อนนิ่ม [2] การทดสอบความแข็งนูปและการทดสอบความแข็งวิกเกอร์สจัดเป็นการท ดสอบความแข็งแบบจุลภาค (microhardness test) เมื่อเปรียบการทดสอบความแข็งบริเนลล์และการทดสอบความแข็งร็อคเวลล์เป็นแบบมหภาค (macrohardness test) [10]

การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส (Vickers hardness test) ใช้หัวกดเพชรรูปฐานสี่เหลี่ยมที่มีมุม 136 องศา เหมาะกับการใช้ทดสอบวัสดุที่มีช่วงความแข็งกว้างมาก ใช้ทดสอบความแข็งของวัสดุบูรณะทางทันตกรรม แรงกดที่ใช้อยู่ในช่วง 1 ถึง 120 กิโลกรัม (10-1,200 นิวตัน) ขึ้นกับความแข็งของวัสดุที่ทดสอบ วิธีนี้เหมาะกับการหาความแข็งของวัสดุที่มีพื้นที่จำกัดและมีความแข็งมาก [2]

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 6 การทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส

คำนวณความแข็งวิกเกอร์สได้จากสูตร

$$HV = \frac{2P \sin(136^{\circ}/2)}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2}$$

โดย HV = ค่าความแข็งผิววิกเกอร์ส

P = น้ำหนักที่ใช้กด (กิโลกรัม)

d = ขนาดเส้นทแยงมุมของรอยกดรูปทรงสี่เหลี่ยมจตุรัส (มิลลิเมตร)

ความแข็งของซี่ฟันเทียมนั้นนอกจากปัจจัยภายในของโครงสร้างตัววัสดุเองนั้น ปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อความแข็งของซี่ฟันอะคริลิกยังมีการบวมตัวของพอลิเมอร์จากการดูดน้ำซึ่งทำให้ซี่ฟันนิ่มลง [17, 34]

ส่วนการศึกษาเรื่องความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียม มีดังนี้

ความแข็งแรงการยึดติดของซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียมอะคริลิก

การยึดติดของซี่ฟันเทียมอะคริลิกกับฐานฟันเทียมอะคริลิกนั้น เกิดจากการแพร่ของมอนอเมอร์ในฐานฟันเทียมทำให้เกิดการบวมตัวของซี่ฟันอะคริลิก การแพร่นั้นขึ้นกับระยะเวลา อุณหภูมิ ชนิดของตัวทำละลาย โครงสร้างของพอลิเมอร์ และอุณหภูมิแปรผ่านสภาพแก้วของพอลิเมอร์ (glass transition temperature, Tg) โดยซี่ฟันอะคริลิกทั่วไปประกอบด้วยเม็ดพอลิเมอร์ (polymer beads) ซึ่งเป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตแบบเส้น (linear PMMA) และส่วนเมทริกซ์เป็นพอลิเมทิลเมทาคริเลตแบบเชื่อมขวาง (cross-linked PMMA) หรือมอนอเมอร์ไดเมทาคริเลตแบบเชื่อมขวาง มอนอเมอ ร์ในส่วนเมทริกซ์นั้นจะแพร่ไปที่พื้นผิวของเม็ดพอลิเมอร์และสอดแทรกเป็นเครือข่ายไอพีเอ็น (IPN) ซึ่งไอพีเอ็นนั้นเกิดจากการประกอบกันของพอลิเมอร์สองชนิดเป็นโครงสร้างเครือข่าย พอลิเมอร์อย่างน้อยหนึ่งชนิดที่เกิดขึ้นแบบเชื่อมขวางกันในระหว่างพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า เซมิไอพีเอ็น (semi IPN) ซึ่งในที่นี้ก็คือ พอลิเมอร์ชนิดแรกเป็น PMMA กับ MMA ส่วนสารเชื่อมขวางเป็น EGDMA หรือ ไดเมทาคริเลตจะเป็นการเชื่อมขวางของพอลิเมอร์ชนิดที่สอง[5]

ความแข็งแรงการยึดติดของซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียมอะคริลิกขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังนี้

1.สมบัติของตัววัสดุซี่ฟันเทียม โดยซี่ฟันเทียม ชนิดดั้งเดิม ที่มีการเชื่อมขวางน้อยจะเกิดการยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดีกว่าซี่ฟันเทียมที่มีการเชื่อมขวางมาก [21, 35-37] ส่วนซี่ฟันเทียมอะคริลิก มีค่าความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียมได้ สูงกว่าซี่ฟันเทียมคอมโพสิตเพราะเป็นสารกลุ่มเดียวกันกับฐานฟันเทียม [38, 39]

2. สมบัติของวัสดุฐานฟันเทียม เช่น ชนิดการบ่มตัว มีการศึกษาพบว่าฐานฟันเทียมชนิดบ่มตัวด้วยความร้อนให้การยึดติดสูงที่สุด [35, 40] ชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน ให้การยึดติดสูง กว่าชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง และสูงกว่าชนิดบ่มตัวด้วยแสง [41, 42] หรือชนิดบ่มตัวด้วยคลื่นไมโครเวฟ [43, 44] ฐานฟันเทียมชนิดทนแรงกระแทกสูง (high impact) ยังให้การยึดติดสูงกว่า แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับฐานฟันเทียมชนิดดั้งเดิม (conventional) [45] ระยะของเรซินในขั้นตอนการแพ็คอะคริลิก [46] ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มตัวอะคริลิกแบบระยะยาวให้ค่ายึดติดสูงกว่าการบ่มแบบระยะสั้น [46, 47]

นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงพื้นผิวซี่ฟันเทียมบริเวณด้านสันเหงือกเพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดติด ดังนี้

<u>การปรับปรุงพื้นผิวทางกล</u> ได้แก่ การกรอแต่งผิวที่ขัดมันออก [48-50] การทำร่อง (groove) [46, 51, 52] ทำรู (diatoric) [49] หรือร่องกุญแจ (keying)[53] การพ่นเปิดผิวด้วยลม (air abrasion) [54, 55] การเป่าทราย (sandblast)[50]

<u>การปรับปรุงพื้นผิวทางเคมี</u> ได้แก่ การทาสารโมโนเมอร์เมทิลเมทาคริเลต [44, 46, 49, 56, 57] การทำไซลาไนเซชั่น[57] การทำเคลือบซิลิกา (tribochemical silica coating)[57] การใช้อะคริลิกเรซินซีเมนต์[46] หรือแอดฮีซีฟไพร์เมอร์[54] การใช้สารยึดติด[41, 55, 56] เช่น โฟร์เมทาคริโลอิลออกซีเอทิลไตรเมลลิเทตแอนไฮไดร (4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride, 4-META)[39] เป็นต้น

การซ่อมแซมเติมซี่ฟันเทียมโดยการใช้เรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงร่วมกับฐานฟันเทียมเรซินชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง ทำได้โดย การใช้ กรดปรับสภาพผิว (acid etching) สารยึดติด (bonding agent)ร่วมด้วยสามารถเพิ่มการยึดติดได้ [38, 56] และในส่วนอะคริลิกสามารถใช้สาร โมโนเมอร์เมทิลเมทาคริเลต [58] ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane หรือ methylene chloride) คลอโรฟอร์ม (chloroform) เอทิลอะซีเตต (ethyl acetate) หรือ โฟร์เมทาคริโลอิลออกซีเอทิล ไตรเมลลิเทตแอนไฮไดร (4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride, 4-META) มาใช้ปรับสภาพพื้นผิวก่อน [45, 59]

การปนเปื้อนจากขี้ผึ้งหรือสาร คั่นกลาง (tinfoil substitute) ในระหว่างกระบวนการอัดฟันเทียมก็มีผลต่อการยึดติดของซี่ฟันเทียมกับฐานฟันเทียมเช่นกัน [45, 46, 60-62] การกำจัดขี้ผึ้งควรใช้สารซักฟอกที่ร้อนล้าง 3 ครั้งและล้างสารซักฟอกด้วยน้ำร้อนซ้ำ [61] ในการใช้งานทางคลินิกยังมีความเค้น

ที่เกิดขึ้นซึ่งมีผลต่อการหลุดของซี่ฟันเทียม ออกจากฐานฟันเทียม โดยเฉพาะในบริเวณฟันหน้าบนที่มีความเค้นมากกว่าฟันหลัง [63] นอกจากนี้ผลของเทอร์โมไซคลิง (thermocycling) ต่อความแข็งแรงในการยึดซี่ฟันเทียมและฐานฟันเทียมบางชนิดร่วมกัน [47, 57, 64]

วิธีทดสอบการยึดติดกับฐานฟันเทียมตามข้อกำหนดหมายเลข 15 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา (ANSI/ADA specification No.15) [65]

ข้อกำหนดหมายเลข 15 ของสถาบันสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดมาตรฐานค่าความแข็งแรงการยึดติดอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 31.0 เมกะปาสคาล

การเตรียมชิ้นงานเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตร โดยมีซี่ฟันเทียมฝังอยู่ ด้านสันเหงือกของซี่ฟันเทียมไม่มีการกรอแต่ง ด้านบดเคี้ยวกรอแต่งให้อยู่ผิวฟันเป็นแนวระนาบกว้างอย่างน้อย 2 มิลลิเมตรตั้งฉากกับแนวใกล้กลางไกลกลางของซี่ฟัน ซี่ฟันควรแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที และทำความสะอาดด้วยน้ำผงซักฟอก ล้างด้วยน้ำเดือดและทิ้งไว้ให้เย็นและแห้งเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาทีก่อน แม่พิมพ์แต่ละครึ่ งควรใส่วัสดุฐานฟันเทียมระยะโด จนเต็มและปิดด้วยแผ่นพลาสติก พอลิเอทิลีน ปิดฟลาสก์และอัดโดยมีแผ่นโลหะหนา 1.6 มิลลิเมตรคั่นกลางระหว่างแผ่นพลาสติก เปิดฟลาสก์และนำแผ่นโลหะและแผ่นพอลิเอทิลีนออก นำซี่ฟันที่เตรียมไว้ฝังลงในวัสดุฐานฟันเทียมแต่ละชิ้นในฟลาสก์ส่วนล่างให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางและขนานกับความยาวของแม่พิมพ์ ปิดฟลาสก์ส่วนบ นและยึดเข้าด้วยกันและนำไปบ่ม ชิ้นงานที่บ่มแล้วนำ ไปกลึงให้มีรูปร่าง ดัมเบล ระมัดระวังไม่ให้มีรอยขีดข่วนหรือขรุขระบนผิวชิ้นงาน ไม่มีวัสดุฐานฟันเทียมหลงเหลืออยู่บนผิวด้านตามแนวแกน (axial) ที่บริเวณรอยต่อส่วนฐานของซี่ฟัน ความยาวส่วนคอดของชิ้นงานควรยาวอย่างน้อย 12.7 มิลลิเมตรเหนือส่วนคอฟัน และบริเวณผิวที่จับชิ้นงานควรยาวอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร ค่าความแข็งแรงยึดติดทดสอบโดยให้แรงดึงที่ความเร็วหัวกด (crosshead speed) 0.254 มิลลิเมตรต่อนาที (0.01 นิ้วต่อนาที) จนชิ้นงานเกิดการแตกหัก (0.254 มิลลิเมตรต่อนาที เท่ากับ 94 กิโลกรัมฟอร์ซต่อนาที) หาความแข็งแรงยึดติดเป็นค่าเฉลี่ยของชิ้นงาน 3 ชิ้นและควรปัดเศษให้ค่าใกล้เคียง 0.1 เมกะปาสคาล โดยนับรวมในค่าเฉลี่ย ถ้าชิ้นงานแตกหักตาม ผิวด้านสันเหงือกหรือผ่านส่วนเนื้อฟันอย่างไรก็ตามถ้าการแตกหักเกิดตามผิวด้านบดเคี้ยวหรือผ่ านส่วนเคลือบฟันหรือผ่านส่วนฐานฟันเทียมจะไม่นับค่ารวมถ้าค่านั้นน้อยกว่าค่าแรงยึดที่ยอมรับได้ (31 เมกะปาสคาล) แต่จะนับค่ารวมถ้าแตกหักผ่านส่วนเนื้อฟันหรือส่วนสันเหงือกที่มีค่ามากกว่าระดับที่ต้องการ

วิธีทดสอบการยึดติดกับฐานฟันเทียมตาม ISO 22112 [66]

ISO 22112 ได้กำหนดมาตรฐานของซี่ฟัน เทียมเรื่องการยึดติ ดวัสดุฐานฟันเทียมว่า ซี่ฟันเทียมต้องสามารถยึดติดกับวัสดุฐานฟันเทียมชนิดบ่มตัวด้วยความร้อน จำนวน 5 ใน 6 ชิ้นทดสอบ

วิธีการโดยเลือกใช้ซี่ฟันเทียมหน้าบน 6 ซี่ มายึดติดบนแผ่นโลหะ (metal former) ด้วยขี้ผึ้ง โดยครึ่งหนึ่งของผิวฟันด้านลิ้นของส่วนปลายฟันอยู่เหนือแ ผ่นโลหะ นำไปลงฟลาสก์ด้วยปูนยิปซัม แล้วนำแผ่นโลหะออกและไล่ขี้ผึ้งออกด้วยน้ำร้อน อัดวัสดุฐานฟันเทียมแทนที่ตามขั้นตอน อัดฟลาสก์ในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 70±3 c เป็นเวลา 90±1 นาที และแช่ในน้ำเดือดเป็นเวลา 30±1 นาที เมื่อกระบวนการเสร็จแล้วปล่อยให้ฟลาสก์เย็นลงในอากาศจนถึงอุณหภูมิห้อง (23±2 c) ทดสอบซี่ฟันเทียมในเครื่องทดสอบ ซึ่งออกแบบโดยการดึงโดยตรงบนส่วนปลายฟันของผิวฟันด้านลิ้นในทิศทางไปทางด้านริมฝีปาก โดยไม่มีการเบี่ยงเบนหรือเปลี่ยนทิศทาง ให้แรงลงในแต่ละซี่ฟันใน อัตรา 0.5 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาทีจนกระทั่งถึงการแตกหัก

การยึดติดที่ผ่านการทดสอบถ้าส่วนที่เกิดการแตกหักเป็นโคฮีซีฟในตัวซี่ฟันเทียมหรือตัวฐานฟันเทียม เช่น มีส่วนของซี่ฟันเหลือค้างที่ยังยึดติดกับฐานฟัน เทียม หรือมีส่วนของฐานฟัน เทียมที่ยังยึดติดกับตัวซี่ฟัน เฉพาะการแตกหักระหว่างผิวรอยต่อแอดฮีซีฟเท่านั้นที่ถือว่าเป็นล้มเหลว ดังนั้นถ้าเกิดรูปแบบการแตกหักแบบโคฮีซีฟอย่างน้อย 5 ซี่จาก 6 ซี่จะถือว่าผ่านมาตรฐาน

ในการศึกษาวิจัยนี้เลือกวิธีทดสอบตามข้อกำหนดหมายเลข 15 ของสถาบันสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา เนื่องจากซี่ฟันเทียมเทอร์โมพลาสติกเป็นซี่ฟันหลังซึ่งสามารถนำมากลึงชิ้นงานควบคุมรูปร่างให้ชิ้นงานแต่ละชิ้นเท่ากันได้แตกต่างจาก ISO 22112 ที่เลือกใช้เป็นชุดฟันหน้า 6 ซี่ ที่มีรูปร่างและพื้นผิวยึดติดแตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง คือ ฟันเทียมอะคริลิกทางการค้า ฟันเทียมอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน และอะคริลิกชนิดดัดแปรชนิดต่าง ๆ โดยแต่ละกลุ่มใช้ซี่ฟันเทียมจำนวน 10 ซี่

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย</u> ประกอบด้วย

อุปกรณ์เตรียมชิ้นงาน

1. เครื่องตัดฟัน (low speed cutting machine, รุ่น Isomet 4000, Buehler, USA)
2. เครื่องขัดผิววัสดุ (polishing machine, รุ่น Ecomet 250, Buehler, USA)
3. เครื่องอัดฟลาสก์ไฮดรอลิก (hydrolic flask press, รุ่น EWL 5414, Kavo, West Germany)
4. เครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน (curing unit, รุ่น 5518, Kavo, West Germany)
5. เครื่องอบ (hot air oven)
6. เครื่องชั่งอิเล็กทรอนิกส์ ระบบดิจิตอล (Digital Balance รุ่น SBA 51, caltec, Germany. Max Wt. 4100 g.) ความละเอียด 0.01 กรัม
7. เครื่องวัดความเป็นกรดและด่าง (pH meter รุ่น GP353, EDT, England)
8. เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic bath, Transsonic Digital S, Elma,)
9. ฟลาสก์ทองเหลือง
10. แม่แบบแท่งโลหะไร้สนิมทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มม. ยาว 75 มม.

อุปกรณ์ทดสอบ

1. เครื่องทดสอบความแข็งผิวแบบจุลภาค (hardness testing machine รุ่น MicroWiZhard , Mitutoyo, Japan, Vicker indenter No.33906 HV)
2. เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (universal testing machine, Lloyd รุ่น LR 10K, UK)

<u>วัสดุที่ใช้ในการวิจัย</u> ประกอบด้วย

1. ซี่ฟันเทียมชนิดต่าง ๆ

1.1 ซี่ฟันเทียมอะคริลิกเทอร์โมพลาสติกผลิตจากพอลิเมทิลเมทาคริเลตชนิดเทอร์โมพลาสติก

1.2 ซี่ฟันเทียมอะคริลิกทางการค้า

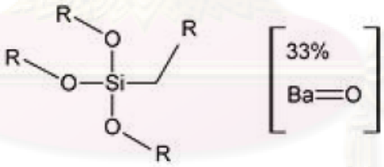
- ฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์ (Major Dent, Major Prodotti, Italy)
- ฟันอะคริลิกออร์โทลักซ์ท็อป (Ortolux Top, Unidesa-Odi, Spain)

ภาพที่ 7 ซี่ฟันเทียมอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก เมเจอร์เดนท์และออร์โทลักซ์ท็อป

1.3 อะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อนโรเด็กซ์ (Rodex clear, Rodont S.r.l., Milan, Italy)

1.4 อะคริลิกสีเหมือนฟันชนิดบ่มด้วยความร้อนชนิดเมเจอร์ (Major C&B dentine, shade 4F)

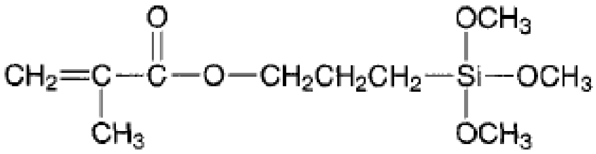
1.5 วัสดุอัดแทรกแก้วขนาดไมโคร 0.7 ไมโครเมตร (silanated barium borosilicate glass 0.7 μm, Esstech DSS glass) มีองค์ประกอบคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ร้อยละ 50 แบเรียมออกไซด์ร้อยละ 33 และโบรอนออกไซด์ร้อยละ 9 มีความหนาแน่น 3.049 กรัมต่อมิลลิลิตร ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลนจากบริษัทผู้ผลิตแล้ว มีไซเลนร้อยละ 1 โดยวิธี TGA



ภาพที่ 8 โครงสร้างวัสดุอัดแทรกแก้วแบเรียมบอโรซิลิเกต

1.6 วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโน 10-20 นาโนเมตร (silica nanopowder 10-20 nm, Sigma-Aldrich) เป็นซิลิกอนไดออกไซด์น้ำหนักโมเลกุล 60.08 กรัมต่อโมล ความหนาแน่น 2.2-2.6 กรัมต่อมิลลิลิตร พื้นที่ผิว 140-180 ตารางเมตรต่อกรัม ลักษณะเป็นผงสีขาว มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโน นี้ยังไม่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยไซเลน ซึ่งผู้วิ จัยต้องปรับสภาพผิวด้วยไซเลนเอง

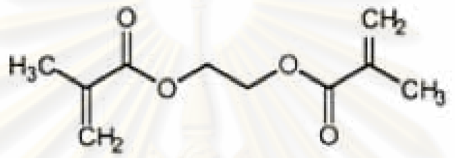
1.7 สารคู่ควบไซเลน (γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane: γ-MPS, Shin-Etsu, Japan) น้ำหนักโมเลกุล 290.4 กรัมต่อโมล ความถ่วงจำเพาะ 0.99 กรัมต่อมิลลิลิตร ความสามารถปกคลุมพื้นผิว (minimum covering area) 314 ตารางเมตรต่อกรัม



ภาพที่ 9 โครงสร้างสารคู่ควบไซเลนแกมม่าเอ็มพีเอส

(γ-methacryloxypropyltrimethoxysilane, γ-MPS)

1.8 สารเชื่อมขวางเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลท (ethylene glycol dimethacrylate, Esstech) น้ำหนักโมเลกุล 198.218 กรัมต่อโมล ความถ่วงจำเพาะ 1.050 กรัมต่อมิลลิลิตร



ภาพที่ 10 โครงสร้างสารเชื่อมขวางเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลท

2. ฐานฟันเทียมอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนโรเด็กซ์ (Rodex, Rodont S.r.l., Milan, Italy)
3. ปูนปลาสเตอร์หิน
4. เรซินหล่อใส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 11 อะคริลิกและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ก. อะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อนโรเด็กซ์

ข. วัสดุอัดแทรกแก้วขนาดไมโคร 0.7 ไมโครเมตร

ค. วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโน 10-20 นาโนเมตร

ง. สารคู่ควบไซเลน

จ. สารเชื่อมขวางเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลท

ฉ. อะคริลิกสีเหมือนฟันชนิดบ่มด้วยความร้อนชนิดเมเจอร์

ช. ฐานฟันเทียมอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนโรเด็กซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการหาสัดส่วนของวัสดุอัดแทรกและสารเชื่อมขวางที่เหมาะสมสำหรับปรับปรุงสมบัติของอะคริลิกใส ให้สามารถใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตซี่ฟันเทียม โดยการทดสอบประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

<u>ตอนที่ 1</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิก ชนิดบ่มด้วยความร้อน

ตารางที่ 1 กลุ่มซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

ลำดับ	ชื่อ	ชื่อย่อ
	ฟันอะคริลิกทางการค้า	
1	Major Dent, Major Prodotti, Italy	Mj
2	Ortolux Top, Unidesa-Odi, Spain	Or
	ฟันอะคริลิกเทอร์โมพลาสติก	
3	Thermoplastic	PCP
	อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน	
4	Major C&B Dentine 4F, Italy	4F
5	Rodex clear, Rodont S.r.l., Milan, Italy	clear

<u>ตอนที่ 2</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

ตารางที่ 2 กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

ลำดับ	ชื่อ	ชื่อย่อ
	กลุ่มควบคุม	
1	Major C&B	4F
2	Rodex clear	clear
	กลุ่มทดลอง	
3	Rodex clear + Micro BBAS 10%	BBAS 10%
4	Rodex clear + Micro BBAS 15%	BBAS 15%
5	Rodex clear + NanoSiO_2 1%	Si 1%
6	Rodex clear + NanoSiO_2 3%	Si 3%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ตอนที่ 3</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

ตารางที่ 3 กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

ลำดับ	ชื่อ	ชื่อย่อ
กลุ่มควบคุม		
1	Major C&B	4F
2	Rodex clear	clear
กลุ่มทดลอง		
3	Rodex clear + NanoSiO_2 3%	Si 3%
4	Rodex clear + NanoSiO_2 3%+EGDMA 10%	Si 3%+EG10%
5	Rodex clear + NanoSiO_2 3%+EGDMA 20%	Si 3%+EG20%

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานอะคริลิกชนิดดัดแปร

1. <u>การเตรียมพื้นผิววัสดุอัดแทรกด้วยสารคู่ควบไซเลน</u>

การเตรียมพื้นผิว วัสดุอัดแทรก ซิลิกาด้วย สารคู่ควบ ไซเลน แกมม่าเอ็มพีเอ ส เตรียมตาม วิธีที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด คือ เตรียมสารละลายกรดอะซิติกที่ค่าความเป็นกรด 4.2 ค่อย ๆ หยดไซเลนลงในสารละลายกรดที่เตรียมไว้บนเครื่องคนสาร (stirrer) จนไซเลนละลายเป็นสารละลายที่ค่อนข้างใส

นำวัสดุอัดแทรก ซิลิกา ขนาดนาโน แช่ในสารละลายไซเลนในเครื่องอัลตราโซนิก (Transsonic Digital S, Elma, ความถี่ 40 กิโลเฮิรทซ์) เป็นเวลา 30 นาที เก็บวัสดุอัดแทรกซิลิกาในสารละลายไซเลนข้ามคืน แล้วจึง แยก วัสดุอัดแทรก ซิลิกาออกจากสารละลายไซเลนด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Sigma Laboratory Centrifuges รุ่น 6K15, UK) ที่แรงหมุนเหวี่ยง (RCF) 3,000 กรัม อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ล้างวัสดุอัดแทรกซิลิกาด้วยน้ำร้อนเดือดเป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงแยก วัสดุอัดแทรกซิลิกาด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง [67] นำวัสดุอัดแทรก ซิลิกาที่อบแห้งแล้วมาบดให้ละเอียด และกรองแยกขนาดอนุภาค (เครื่องแยกสารด้วยตะแกรง รุ่น AS200 digit, Retsch, Germany) โดยขนาดเล็กสุดที่สามารถกรองได้คือ 45 ไมครอน เพื่อนำมาใช้ทดลองต่อไป

2. <u>การทำซี่ฟันอะคริลิกชนิดดัดแปร</u>

ชั่งน้ำหนักอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนตามอัตราส่วนของบริษัทผู้ผลิต (ส่วนผง 35 กรัม ส่วนน้ำ 15 มิลลิลิตร) และวัสดุอัดแทรก ที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวด้วย สารคู่ควบ ไซเลน ได้แก่ วัสดุอัดแทรก แก้วขนาดไมโครในปริมาณร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนในปริมาณร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก และวัสดุอัดแทรก ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวาง ในปริมาณร้อยละ

10 และ 20 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4 และ 5 โดยผสมส่วนผงกับส่วนน้ำ รอจนถึงระยะโด จึงนำไปอัดใน ฟลาสก์ที่เตรียมไว้เป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตรโดยมีแผ่นเซลโลเฟนคั่นในเครื่องอัดฟลาสก์ไฮดรอลิก (hydrolic flask press, รุ่น EWL 5414, Kavo, West Germany) ที่แรงดัน 20,000 นิวตันด้วยวิธีอัด 3 ครั้ง (trial pack) จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีกประมาณ 60 นาที นำชิ้นงานไปบ่มในเครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน (curing unit, รุ่น 5518, Kavo, West Germany) ด้วยวิธีการบ่มระยะยาวในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียสต่อเนื่องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำชิ้นงานมาตัดด้วยเครื่องตัดฟัน (low speed cutting machine, รุ่น Isomet 4000, Buehler, USA) ให้มีความยาว 5 มิลลิเมตร เพื่อนำมาใช้ในการทดสอบต่อไป

ภาพที่12 การลงฟลาสก์แม่แบบโลหะไร้สนิมรูปทรงกระบอก

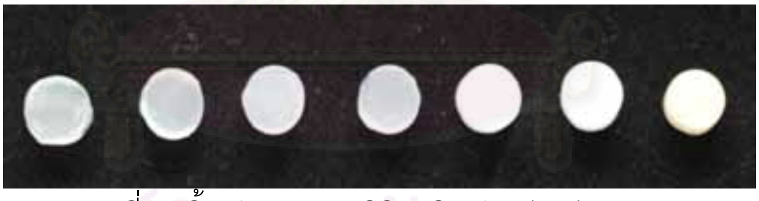
ภาพที่ 13 การอัดอะคริลิกชนิดดัดแปรเป็นรูปทรงกระบอก

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณของส่วนผง ส่วนน้ำของอะคริลิกและวัสดุอัดแทรก

% Filler	PMMA (g)	Filler (g)	Monomer (ml)
0	35.00	0.00	15
1% SiO_2	34.65	0.35	15
3% SiO_2	33.95	1.05	15
10% BBAS	31.50	3.50	15
15% BBAS	29.75	5.25	15

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณของส่วนผง ส่วนน้ำของอะคริลิก วัสดุอัดแทรกและสารเชื่อมขวาง

% Filler + Cross-linking	PMMA (g)	Filler (g)	Monomer (ml)	Cross-linking (g)
3% SiO_2	33.95	1.05	15	0
3% SiO_2 + 10%EGDMA	33.95	1.05	15	3.5
3% SiO_2 + 20%EGDMA	33.95	1.05	15	7.0



ภาพที่ 14 ชิ้นตัวอย่างอะคริลิกชนิดดัดแปรรูปทรงกระบอก

ขั้นตอนการทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส

1. <u>เตรียมชิ้นงานซี่ฟันเทียม</u>

เตรียมชิ้นงานโดยนำซี่ ฟันเทียม ล้างในน้ำเดือด นาน 1 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น และปล่อยให้ แห้ง ผสมเรซินหล่อใสเทในแม่พิมพ์ซิลิโคนรูปแท่ง นำซี่ ฟันเทียมวางฝังในเรซินหล่อใส ทิ้งไว้จนเรซินหล่อใสแข็งตัวจึงแกะออกจากแม่พิมพ์ นำแท่งเรซิน หล่อใสที่มีซี่ฟันเทียมฝังอยู่ไปตัดตามแนวกึ่งกลางฟันด้วยเครื่องตัดฟัน (low speed cutting machine, รุ่น Isomet 4000, Buehler, USA) นำชิ้นงานทั้งหมดไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 1000 และอะลูมินัมออกไซด์ ขนาด 0.05 ไมโครเมตร โดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุ (polishing machine, รุ่น Ecomet 250, Buehler, USA)

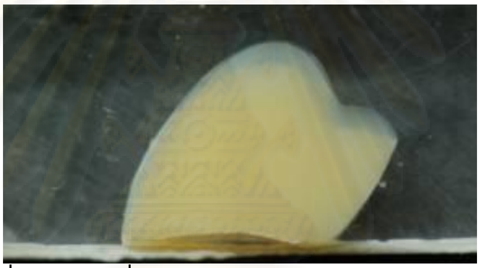
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. <u>เตรียมชิ้นงานอะคริลิกชนิดดัดแปร</u>

นำชิ้นงานอะคริลิกชนิดดัดแปรที่บ่มและตัดเป็นชิ้นทรงกระบอกหนา 5 มิลลิเมตรที่เตรียมไว้แล้ว ไม่ต้องวางฝังในเรซินหล่อใส นำไปขัดด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 1000 และอะลูมินัมออกไซด์ ขนาด 0.05 ไมโครเมตร โดยใช้เครื่องขัดผิววัสดุ

3. <u>ทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส</u>

นำชิ้นงานไปทดสอบความแข็ง วิกเกอร์สโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็ง แบบจุลภาค (hardness testing machine รุ่น MicroWiZhard , Mitutoyo, Japan, Vicker indenter No.33906 HV) โดยใช้แรงกด 300 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที วัดความแข็ง ของซี่ฟันเทียมแต่ละชั้น ชั้นละ 5 ครั้งต่อชิ้นตัวอย่าง โดยเครื่องวัดจะคำนวณเป็นค่าความแข็งวิกเกอร์ส (Vickers hardness number) ใช้ค่ากึ่งกลางเป็นค่าตัวแทนความแข็งวิกเกอร์สของแต่ละชิ้น ส่วนซี่ฟันเทียมที่มี 2 ชั้น จะเลือกใช้ค่าความแข็งของชั้นเคลือบฟันเป็นตัวแทนเนื่องจากเป็นส่วนด้านบดเคี้ยวที่ต้องการความแข็งผิวสูง



ภาพที่ 15 ซี่ฟันเทียมที่เตรียมสำหรับทดสอบความแข็งวิกเกอร์ส

ภาพที่ 16 รอยกดความแข็งวิกเกอร์ส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับวัสดุฐานฟันเทียม

1. <u>การเตรียมชิ้นงานรูปดัมเบล</u>

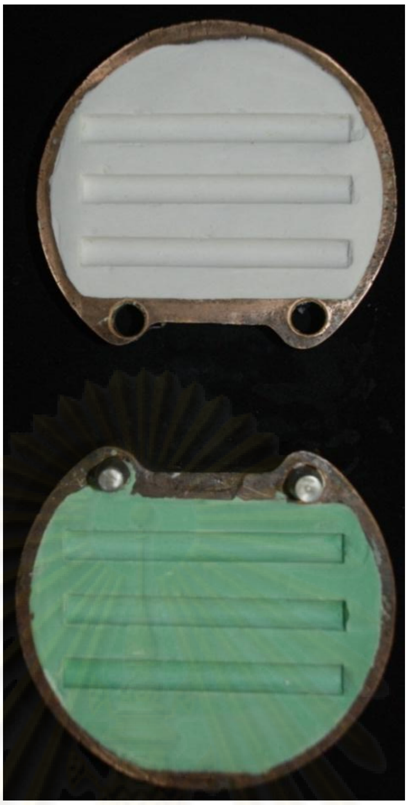
นำซี่ฟันเทียมขนาดซี่ฟันที่มีความกว้างมากกว่า 9 มิลลิเมตร นำไปยึดติดกับแท่งอะคริลิกโดยติดซี่ฟันด้านบดเคี้ยวด้วยขี้ผึ้งเหนียว นำไปกลึงด้วย เครื่องกลึง กลึง ซี่ฟันโดยรอบ และตัดซี่ฟันด้าน

เหงือกออกให้เป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตร และตัดด้านบดเคี้ยวที่มีส่วนของชั้นเคลือบฟันออก ล้างด้วยน้ำร้อนเดือด ทิ้งไว้ให้เย็นและแห้ง ส่วนชิ้นงานอะคริลิกชนิดดัดแปรที่เตรียมเป็นรูปทรงกระบอกไว้แล้วสามารถนำมาใช้ทำชิ้นงานรูปดัมเบลได้เลย

ภาพที่ 17 ซี่ฟันเทียมที่เตรียมสำหรับการทดสอบการยึดติดกับวัสดุฐานฟันเทียม

เตรียมฟลาสก์แม่แบบปูนปลาสเตอร์หินโดยใช้แท่งโลหะไร้สนิมรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 มิลลิเมตร ยาว 75 มิลลิเมตร เป็นแม่แบบ ทาสารคั่นกลาง (tinfoil substitute) ผสมอะคริลิกฐานฟันเทียม (Rodex) โดยใช้อัตราส่วนที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด (ส่วนผง 35 กรัม ส่วนน้ำ 15 มิลลิลิตร) รอจนถึงระยะโด (dough stage) จึงนำไปอัดในฟลาสก์โดยมี แผ่นเซลโลเฟนคั่นในเครื่องอัดฟลาสก์ไฮดรอลิก (hydrolic flask press, รุ่น EWL 5414, Kavo, West Germany) ทำซ้ำ 3 ครั้งที่แรงดัน 20,000 นิวตัน โดยครั้งที่สองจะนำซี่ ฟันเทียมฝังลงในอะคริลิกฐาน ฟันเทียมตรงกึ่งกลางและขนานกับแนวกึ่งกลางแท่งทรงกระบอก จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีกประมาณ 60 นาที จึง นำชิ้นงานไปบ่มในเครื่องบ่มอะคริลิกด้วยความร้อน (curing unit, รุ่น 5518, Kavo, West Germany) ด้วยวิธีการบ่มระยะยาวในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียสต่อเนื่องเป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 18 การเตรียมแม่แบบปูนปลาสเตอร์หินรูปทรงกระบอก

ชิ้นงานที่บ่มแล้วนำมากรอแต่งส่วนเกินออกและนำไปกลึงให้มีรูปร่างทรงกระบอกรูปดัมเบล ดังภาพที่ 20 ระมัดระวังไม่ให้มีรอยขีดข่วนหรือขรุขระบนผิวชิ้นงาน

2. ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียม

ทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงแรงอัด (universal testing machine, Lloyd รุ่น LR 10K, UK) โดยให้แรงดึงที่ความเร็วหัวดึง 0.254 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นงานเกิดการแตกหัก คำนวณความแข็งแรงยึดติดเป็นค่าเฉลี่ยของชิ้นงาน 10 ชิ้น

$$\text{ความแข็งแรงการยึดติด} = \frac{\text{ค่าแรงดึง}}{\text{พื้นที่หน้าตัด}}$$

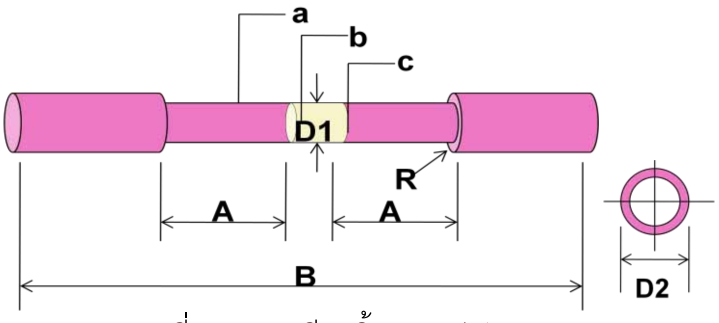
(หน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตรหรือเมกะปาสคาล)

ภาพที่ 19 การเตรียมชิ้นทดสอบความแข็งแรงการยึดติด

ภาพที่ 20 ชิ้นทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกลึงเป็นรูปดัมเบล

ภาพที่ 21 แผนภูมิแสดงการเตรียมชิ้นงานรูปดัมเบล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 22 การเตรียมชิ้นงานรูปดัมเบล

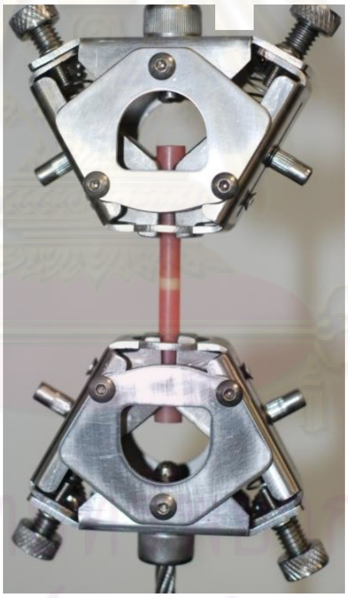
A=12.7 มิลลิเมตร, B=75.0±1.0 มิลลิเมตร, D1=6.35±0.25 มิลลิเมตร

D2=8.0±0.25 มิลลิเมตร, R=6.35 มิลลิเมตร

a) ฐานฟันเทียม

b) ซี่ฟันเทียม

c) รอยต่อการยึดติด



ภาพที่ 23 ที่จับชิ้นงานการทดสอบความแข็งแรงยึดติดแบบดึง

3. <u>การตรวจรูปแบบการแตกหัก</u>

ตรวจรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้น ได้แก่ การแตกหัก แบบแอดฮีซีฟ (adhesive failure) การแตกหักแบบโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม (cohesive failure) การแตกหักแบบโคฮีซีฟ ในซี่ฟันเทียม การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม และการแตกหัก แอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟ ในซี่ฟันเทียมด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอสโคป (Meiji Stereo Microscope, ML 9300) กำลังขยาย 40 เท่า

การวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยวิธีทางสถิติ

<u>ตอนที่ 1</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

1. เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ความแข็งผิว ทดส อบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ (p>0.05) จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) พบว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จึง ทดสอบด้วย Robust Tests of Equality of Means: Brown-Forsythe พบว่ามีค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮน (Multiple Comparisons: Tamhane's T2)
2. เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ความแข็ง แรงการยึดติด ทดส อบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ (p>0.05) จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) พบว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จึง ทดสอบด้วย Robust Tests of Equality of Means: Brown-Forsythe พบว่ามีค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างด้วยก ารเปรียบเทียบเชิงซ้อน แทมเฮน (Multiple Comparisons: Tamhane's T2)

<u>ตอนที่ 2</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรก

1. เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ความแข็งผิว ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ (p>0.05) จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) พบว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จึง ทดสอบด้วย Robust Tests of Equality of Means: Brown-Forsythe พบว่ามีค่าความแข็ง ผิวแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแทมเฮน (Multiple Comparisons: Tamhane's T2)
2. เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ความแข็ง แรงการยึดติด ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ (p>0.05) จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) พบว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มเท่ากัน จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่ามีอย่างน้อยสองกลุ่มที่ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึง

ทดสอบหาคู่ที่แตกต่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน ทูกีย์ (Multiple Comparisons: Tukey HSD)

ตอนที่ 3 ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

1. เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ความแข็งผิว ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ($p>0.05$) จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) พบว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จึงวิเคราะห์ความ แปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่ามีค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนทูกีย์ (Multiple Comparisons: Tukey HSD)
2. เปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ย ความแข็ง แรงการยึดติด ท ดสอบการกระจายตัวของข้อมูลด้วย One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test พบว่า ข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงของข้อมูลแบบปกติ ($p>0.05$) จึงทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Test of Homogeneity of Variances) พบว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มเท่ากัน จึงวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) พบว่ามีอย่างน้อยสองกลุ่มที่ค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงทดสอบหาคู่ที่แตกต่างด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อน ทูกีย์ (Multiple Comparisons: Tukey HSD)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลข้อมูล

การทดสอบความแข็งผิววิกเกอร์สโดยใช้แรงกด 300 กรัม เป็นเวลา 15 วินาที ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งผิวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลจากการทดสอบความแข็งผิวเรียงจากค่าน้อยไปมาก

กลุ่ม	ชนิด/ยี่ห้อ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	อะคริลิกใส	21.30	0.29
2	อะคริลิกใสและซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1	21.73	0.32
3	อะคริลิกใส ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 และสารเชื่อมขวางร้อยละ 10	21.81	0.47
4	อะคริลิกใสและแก้วขนาดไมโครร้อยละ 15	21.95	0.41
5	อะคริลิกสีเหมือนฟัน	22.14	0.50
6	อะคริลิกใสและแก้วขนาดไมโครร้อยละ 10	22.29	0.21
7	ฟันเทอร์โมพลาสติก	22.41	0.64
8	ฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์	22.90	0.70
9	อะคริลิกใสและซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3	23.09	0.23
10	อะคริลิกใส ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 และสารเชื่อมขวางร้อยละ 20	23.34	0.43
11	ฟันอะคริลิกออร์โทลักซ์ท็อป	23.71	0.48

การทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม โดยนำ ชิ้นงานไปกลึงให้มีรูปร่างทรงกระบอกรูปดัมเบล ให้แรงดึงที่ความเร็วหัวดึง 0.254 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นงานเกิดการแตกหักได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงการยึดติด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและรูปแบบการแตกหักดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลจากการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมเรียงจากน้อยไปมาก

กลุ่ม	ชนิด/ยี่ห้อ	ค่าเฉลี่ย (MPa)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ร้อยละของรูปแบบการแตกหัก				
				ก	ข	ค	ง	จ
1	ฟันเทอร์โมพลาสติก	8.55	2.70	-	-	10	-	-
2	อะคริลิกสีเหมือนฟัน	21.40	6.37	90	10	-	-	-
3	อะคริลิกใส ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 และสารเชื่อมขวางร้อยละ 10	23.54	6.95	40	-	-	60	-
4	อะคริลิกใส ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 และสารเชื่อมขวางร้อยละ 20	23.79	4.52	10	-	40	-	50
5	อะคริลิกใส	26.59	7.19	50	20	-	30	-
6	อะคริลิกใสและแก้วขนาดไมโครร้อยละ 15	27.15	6.64	20	30	20	30	-
7	อะคริลิกใสและแก้วขนาดไมโครร้อยละ 10	27.20	7.39	60	-	-	40	-
8	อะคริลิกใสและซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3	30.55	5.06	-	60	-	40	-
9	อะคริลิกใสและซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1	30.85	8.86	-	70	-	30	-
10	ฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์	38.25	6.96	30	40	-	30	-
11	ฟันอะคริลิกออร์โทลักซ์ท็อป	40.65	9.01	40	30	-	30	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

<u>ตอนที่ 1</u> ความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

กลุ่ม	VHN Mean(SD)	TBS Mean(SD)	รูปแบบการแตกหัก (จำนวนชิ้น)				
			ก	ข	ค	ง	จ
Clear	21.30(0.29)	26.59(7.19) ^{C}	5	2	-	3	-
Major 4F	22.14 (0.50) $^{F\ M}$	21.40(6.37) ^{C}	9	1	-	-	-
PCP	22.41 (0.64) $^{F\ M}$	8.55 (2.70)	-	-	10	-	-
Majordent	22.90 (0.70) $^{F\ M\ O}$	38.25(6.96) ^{M}	3	4	-	3	-
Ortolux Top	23.71 (0.48) $^{M\ O}$	40.65(9.01) ^{M}	4	3	-	3	-

ตัวยกที่มีอักษรเหมือนกันหมายความว่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ก. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟ

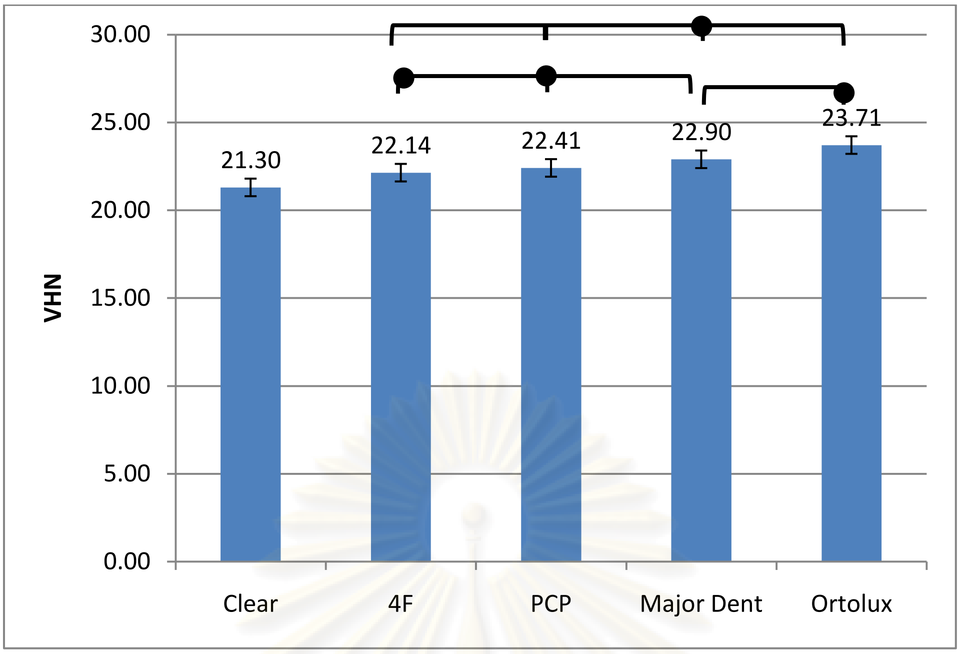
ข. การแตกหักแบบโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม

ค. การแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม

ง. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม

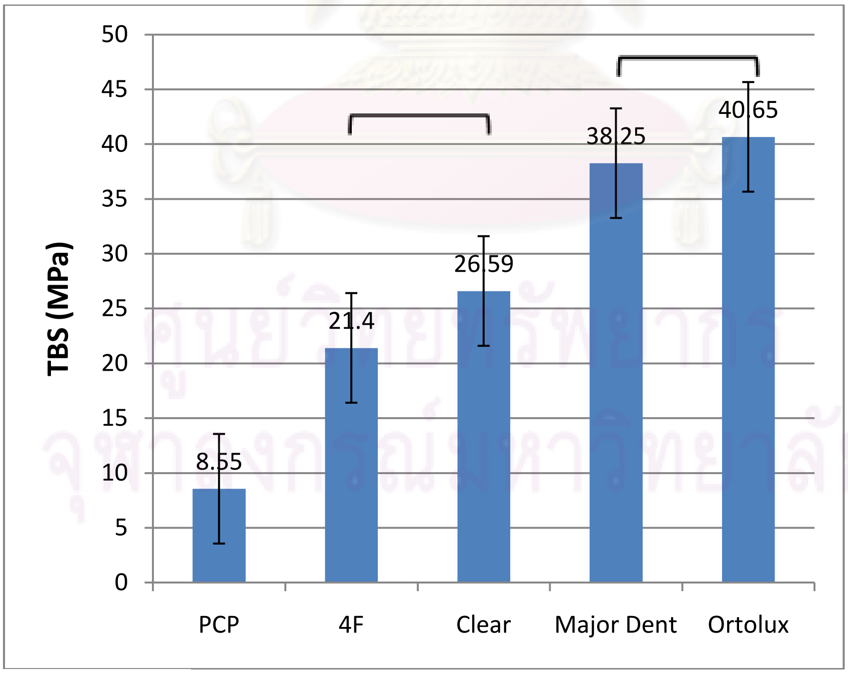
จ. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายถึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 24 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน



หมายถึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 25 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ผลตอนที่ 1 พบว่ากลุ่มอะคริลิกใสมีค่าความแข็งผิวต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียม สูงกว่าอะคริลิกสีเหมือนฟัน อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนฟันเทอร์โมพลาสติก มีค่าความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบรูปแบบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมทั้งหมดแต่ มีค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับอะคริลิกสีเหมือนฟัน และฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์

กลุ่มฟันอะคริลิกทางการค้าพบว่า ฟันอะคริลิก เมเจอร์เดนท์มีค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับฟันเทอร์โมพลาสติก อะคริลิกสีเหมือนฟัน และฟันอะคริลิกออร์โทลักซ์ท็อป

ฟันอะคริลิก ออร์โทลักซ์ท็อป มีค่าความแข็งผิว ค่าและความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมสูงสุด แต่แตกต่างจากฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากผลตอนที่ 1 นี้ถึงแม้ว่าอะคริลิกใสจะมีค่าความแข็งผิวต่ำแต่เนื่องจากมีสมบัติความใส สามารถนำมาปรับแต่งสีได้จึงนำอะคริลิกใสนี้มาปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้นเทียบเท่ากับฟันอะคริลิกทางการค้า

ตอนที่ 2 ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

กลุ่ม	VHN Mean(SD)	TBS Mean(SD)	รูปแบบการแตกหัก (จำนวนชิ้น)				
			ก	ข	ค	ง	จ
Clear	21.30(0.29) $^{C S}$	26.59(7.19) $^{S F}$	5	2	-	3	-
Si 1%	21.73(0.32) $^{C S F}$	30.85(8.86) ^{S}	-	7	-	3	-
BBAS 15%	21.95(0.41) $^{S B F}$	27.15(6.64) $^{S F}$	2	3	2	3	-
Major 4F	22.14 (0.50) $^{S B F}$	21.40(6.37) ^{F}	9	1	-	-	-
BBAS 10%	22.29(0.21) $^{B F}$	27.20(7.39) $^{S F}$	6	-	-	4	-
Si 3%	23.09(0.23)	30.55 (5.06) $^{S F}$	-	6	-	4	-

ตัวยกที่มีอักษรเหมือนกันหมายความว่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

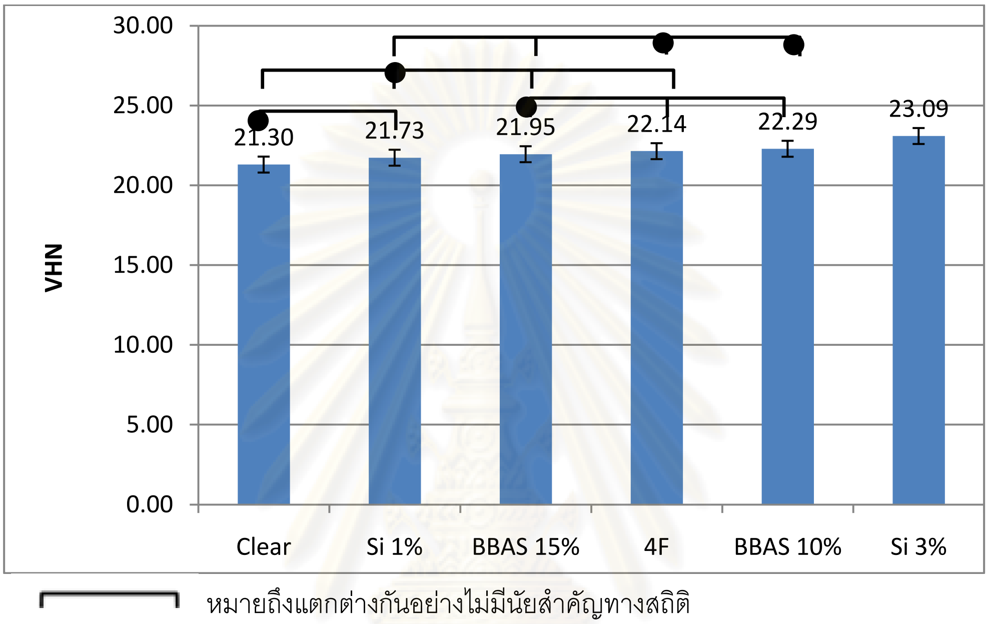
ก. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟ

ข. การแตกหักแบบโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม

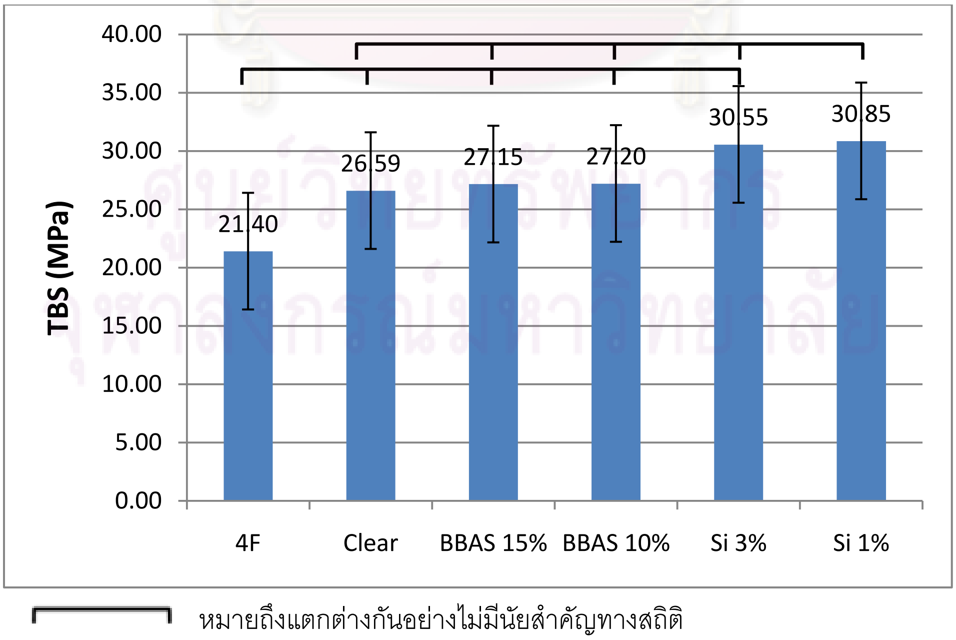
ค. การแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม

ง. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม

จ. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม



ภาพที่ 26 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งผิวของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก



ภาพที่ 27 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของ

อะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

การวิเคราะห์ผลตอนที่ 2 พบว่าอะคริลิกใสมีค่าความแข็งผิว ต่ำกว่าอะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงไม่ควรนำซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 มาปรับปรุงความแข็งผิวให้กับอะคริลิกใส

ส่วนอะคริลิกสีเหมือนฟันมีค่าความแข็งผิวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 และอะคริลิกชนิดดัดแปรแก้วขนาดไมโครร้อยละ 10 และ15 ดังนั้นถ้าต้องการปรับปรุงสมบัติความแข็งของอะคริลิกใสให้เทียบเท่าอะคริลิกสีเหมือนฟันสามารถใช้ 3 สูตรนี้ได้ แต่อะคริลิกชนิดดัดแปรแก้วขนาดไมโครร้อยละ 15 พบว่ามีรูปแบบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมร้อยละ 20 จึงไม่ควรนำสูตรนี้ไปใช้ทำซี่ฟันเทียม

อะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 มีค่าความแข็งสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่พบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟเลย จากผลตอนที่ 2 นี้ จึงเลือกวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 มาปรับปรุงสมบัติเพิ่มต่อในตอนที่ 3

<u>ตอนที่ 3</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

กลุ่ม	VHN Mean(SD)	TBS Mean(SD)	รูปแบบการแตกหัก (จำนวนชิ้น)				
			ก	ข	ค	ง	จ
Clear	21.30(0.29)	26.59(7.19) ^{C}	5	2	-	3	-
Si 3%+EG 10%	21.81(0.47) ^{F}	23.54(6.95) $^{C\ S}$	4	-	-	6	-
Major 4F	22.14 (0.50) ^{F}	21.40(6.37) $^{C\ S}$	9	1	-	-	-
Si 3%	23.09(0.23) ^{G}	30.55(5.06) ^{S}	-	6	-	4	-
Si 3%+EG 20%	23.34(0.43) ^{G}	23.79(4.52) $^{C\ S}$	1	-	4	-	5

ตัวยกที่มีอักษรเหมือนกันหมายความว่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ก. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟ

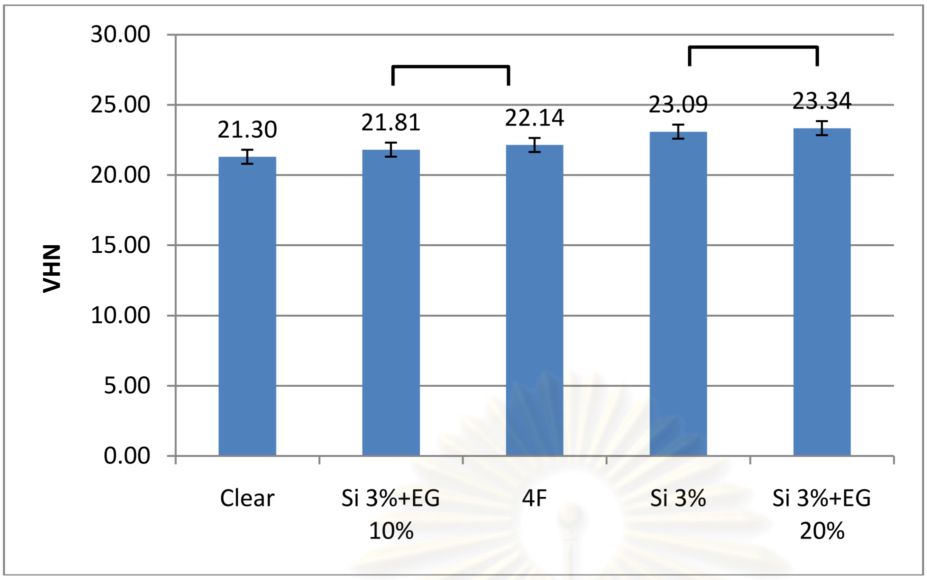
ข. การแตกหักแบบโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม

ค. การแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม

ง. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในฐานฟันเทียม

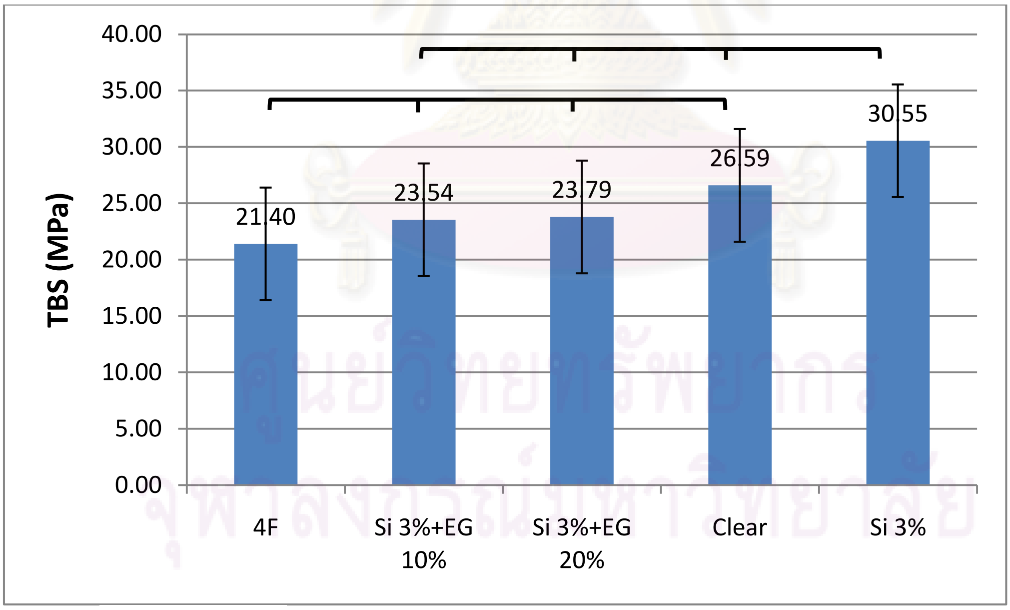
จ. การแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายถึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 28 แสดงแผนภูมิแท่งค่าความแข็งผิวของอะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง



หมายถึงแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาพที่ 29 แสดงแผนภูมิแท่งค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

การวิเคราะห์ผลตอนที่ 3 พบว่ากลุ่มอะคริลิก ใสมีค่าต่ำสุด แตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 10 กลับมีค่า

ความแข็งผิวลดลงแต่อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเทียบกับอะคริลิกสีเหมือนฟัน และยังพบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟเพิ่ม สูตรนี้จึงไม่ควรเลือกใช้

กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 มีค่าความแข็งผิวสูงสุดแต่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 แต่กลับพบว่าอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 มีรูปแบบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม ร้อยละ 40 และการแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมร้อยละ 50 ในขณะที่อะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ไม่พบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟ ดังนั้นสูตรนี้น่าจะเป็นสูตรที่ดีที่สุดในการปรับปรุงความแข็งผิวและความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า

ปฏิเสธสมมติฐานที่ 1 อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับซี่ฟันเทียมทางการค้ามี ค่าความแข็งผิว และการยึดติดกับฐานฟันเทียมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ปฏิเสธสมมติฐานที่ 2 อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่เติมวัสดุอัดแทรกมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

ปฏิเสธสมมติฐานที่ 3 อะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนที่เติมวัสดุอัดแทรกและสารเชื่อมขวางมีค่าความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่

การศึกษานี้ได้ศึกษาอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อนกับซี่ฟันเทียมทางการค้า ได้แก่ อะคริลิกใสชนิดบ่มด้วยความร้อนอะคริลิกสีเหมือนฟันชนิดบ่มด้วยความร้อน ฟัน เมเจอร์เดนท์ ฟันออร์โทลักซ์ท็อป และฟันเทอร์โมพลาสติก

และได้ปรับปรุงสมบัติของอะคริลิกโดยการ ดัดแปลง เติมวัสดุอัดแทรก และสารเชื่อมขวาง ได้แก่ วัสดุอัดแทรกแก้วขนาดไมโครร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 โดยน้ำหนักร่วมกับสารเชื่อมขวางร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก

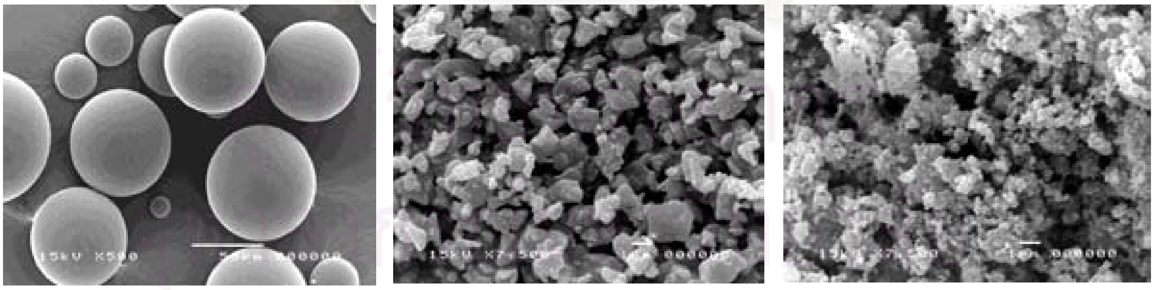
การเลือกปริมาณของวัสดุอัดแทรกมาใช้ทดสอบ นี้ มีการศึกษาพบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกเส้นใยแก้ว (glass fiber) ขนาดไมโครร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ช่วยเพิ่มความแข็งผิวให้พอลิเมทิลเมทาคริเลตอย่างมีนัยสำคัญ[23] จึงเลือกวัสดุอัดแทรกแก้วขนาดไมโครปริมาณร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนักมาศึกษาในการทดลองนี้

ส่วนวัสดุอัดแทรกขนาดนาโนที่เลือกมาศึกษานี้ จากค วามรู้เทคโนโลยีนาโน คอมโพสิต ซึ่งคือการนำวัสดุขนาดนาโนมาใช้เพิ่มสมบัติทางกลของวัสดุในปริมาณเพียงเล็กน้อย คือ ไม่เกินร้อยละ 5 แตกต่างจากวัสดุขนาดไมโครที่ต้องใช้วัสดุในปริมาณมากเพื่อเพิ่มสมบัติของวัสดุ แต่จากการศึกษานำร่อง การนำวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโน ซึ่งมีขนาด 10-20 นาโนเมตร มีน้ำหนักที่เบามาก มาผสมในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักนั้น ทำได้ยาก เพราะทำให้อัตราส่วนผงและส่วนเหลวแตกต่างกันมาก และอะคริลิกมีความหนืดสูงขึ้น การผสมด้วยมือทำให้วัสดุอัดแทรกเข้ากันได้ เป็นเนื้อเดียวกันยาก ซึ่งแตกต่างจากวัสดุ คอมโพสิต ที่ใช้ในวัสดุอุดฟันซึ่งมีแมทริกซ์เป็นของเหลวหนืด สามารถเติมวัสดุอัดแทรกได้ในปริมาณสูง ในการศึกษานำร่องได้ใช้วัสดุอัดแทรกนี้ในปริมาณร้อยละ 1 3 และ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อใช้ปริมาณวัสดุอัดแทรกที่สูงเกินไป หรือการใช้อัตราส่วนวัสดุอัดแทรกสองชนิด

แบบลูกผสม (hybrid) หรือการเพิ่มผงอะคริลิกที่น้ำหนักโมเลกุลสูงเข้าไป แทนที่ในส่วนผง ในปริมาณร้อยละ 50 (MW=925,000-975,000) โดยน้ำหนัก ก็ไม่ได้ช่วย เพิ่มความแข็ง ผิวให้กับอะคริลิก จึงเลือกวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนัก มาใช้ในการทดลอง และจากผลการทดลองนำร่องการทดสอบความแข็งผิวพบว่ากลุ่มทดลอง อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความแข็งผิวสูงสุด (VHN=23.10) จึงนำสูตรนี้มาปรับปรุงโดยเติมสารเชื่อมขวางเพิ่มร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ วัสดุอัดแทรกแก้วที่นำมาทดสอบนั้นผ่านกรรมวิธีการปรับพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนจากบริษัทผู้ผลิต อาจมีความ แตกต่างจากวัสดุอัดแทรกซิลิกาที่ผ่านปรับพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนโดยผู้ทดลองเอง วัสดุอัดแทรกขนาดนาโนนั้นมักเกิดการเกาะกลุ่ม (agglomerate) ได้เอง จึงอาจเกิด เป็นกลุ่มนาโน คลัสเตอร์ (nanocluster) เกิดกระจายตัวแบบ ขนาดอนุภาคเท่า ๆ กันได้ยาก (monodisperse) หลังการปรับพื้นผิววัสดุอัดแทรก และอบแห้งแล้ว ผู้ทดลองต้องนำวัสดุอัดแทรกมาบดและกรองแยกขนาดอนุภาค (sieve) โดยขนาดเล็กสุดที่สามารถกรองได้คือ 45 ไมครอนจึงอาจไม่ได้ขนาดนาโนที่แท้จริง แตกต่างจากวัสดุอัดแทรกแก้วที่มีขนาด 0.7 ไมครอน

เมื่อนำส่วนผงของอะคริลิกและวัสดุอัดแทรกต่าง ๆ ไปตรวจสอบด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM, Model JSM-5410LV, Jeol, Japan) ในส่วนผงของอะคริลิกพบว่าเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA beads) มีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลมขนาดประมาณ 10-100 ไมครอนปะปนกัน ในส่วนผงวัสดุอัดแทรกแก้วขนาด 0.7 ไมครอน มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน และในส่วนผงวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาด 10-20 นาโนเมตร มีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอนและเกาะกลุ่มกัน ดังภาพที่ 30



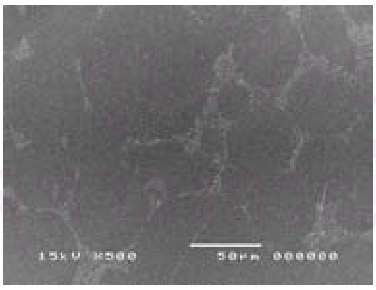
(ก) PMMA powder (ข) Silanated BBAS glass 0.7 µm (ค)Silanated silica nanopowder10-20nm

ภาพที่ 30 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของส่วนผง

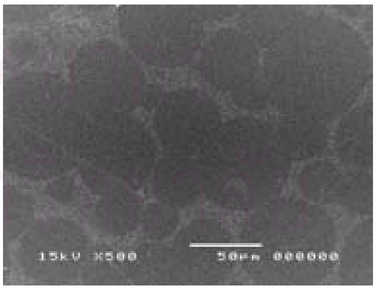
(ก) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (ข) วัสดุอัดแทรกแก้ว และ (ค) วัสดุอัดแทรกซิลิกา

จากภาพที่ 31 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราด ของอะคริลิกชนิดดัดแปร ที่เกิดการพอลิเมอไรเซชั่นแล้วพบว่า อะคริลิกชนิดดัดแปร มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วน เม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตและส่วนของพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยส่วนเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตเป็นเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตพอลิเมอร์ขนาดประมาณ 10-100 ไมครอนปะปนกัน ที่ผิวของเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตจะ เกิดการบวมตัวด้วยส่วนของมอนอเมอร์ เมื่อผสมกันระหว่างส่วนผงกับส่วนน้ำ และเกิดการสอดไขว้ เข้าไปเป็นสายพอลิเมอร์ ในส่วนของ พอลิเมอร์เมทริกซ์ นั้น มีวัสดุอัดแทรก กระจา ยตัวอยู่ใน พอลิเมทิลเมทาคริเลต เมทริกซ์ ด้วยการยึดติดทางเคมีของสาร คู่ควบไซเลน บนผิวของวัสดุอัดแทรก ในกลุ่มที่เติมวัสดุอัดแทรกแก้วขนาดไมโครสามารถมองเห็นวัสดุอัดแทรกที่อยู่รอบ ๆ เม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตได้อย่างชัดเ จน ซึ่งวัสดุอัดแทรกแก้วนี้มีธาตุแบเรียมซึ่งเป็นสารทึบรังสีทำให้ช่วยมองเห็นในภาพได้ชัดเจน แต่ในกลุ่มที่เติมวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนซึ่งมีขนาดเล็กมากและเติมในปริมาณที่น้อยคือ ร้อยละ 1 และ ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักนั้น ไม่สามารถมองเห็นวัสดุอัดแทรกได้ชัดเจน อาจเป็ นเพราะขนาดอนุภาคที่เล็ก การกระจายตัวได้กลมกลืนกัน หรือมาจากความใสของตัววัสดุแทรกที่ใกล้เคียงกันกับเม็ดพอลิเมทิลเมทาคริเลตจึงไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน ส่วนสารเชื่อมขวางที่เติมลงไปในเมทริกซ์นั้นไม่สามารถมองเห็นได้

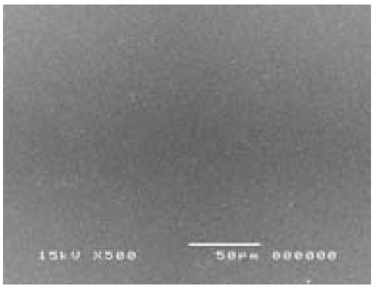
ก. Control (no filler)



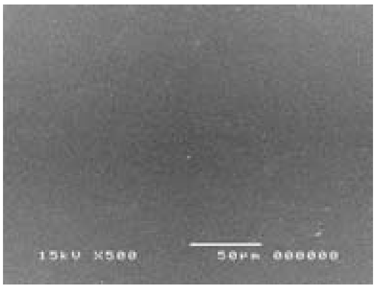
ข. 10% micro BBAS



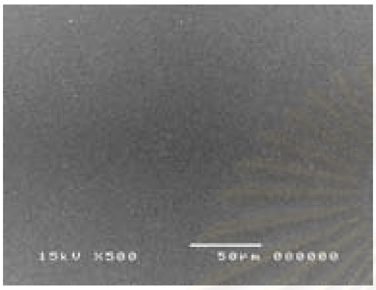
ค. 15% micro BBAS



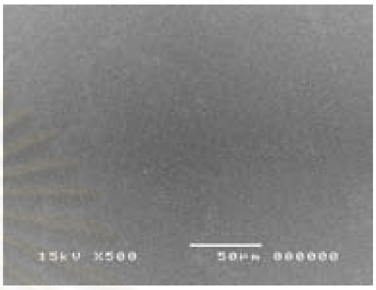
ง. 1% nanosilica



จ. 3% nanosilica



ฉ. 3% nanosilica + 10% EGDMA



ช. 3% nanosilica + 20% EGDMA

ภาพที่ 31 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราดแสดงลักษณะของอะคริลิกชนิดดัดแปร (ก) กลุ่มควบคุม (ข) วัสดุอัดแทรกแก้วร้อยละ 10 (ค) วัสดุอัดแทรกแก้วร้อยละ 15 (ง) วัสดุอัดแทรกซิลิการ้อยละ 1 (จ) วัสดุอัดแทรกซิลิการ้อยละ 3 (ฉ) วัสดุอัดแทรกซิลิการ้อยละ 3 และสารเชื่อมขวางร้อยละ 10 (ช) วัสดุอัดแทรกซิลิการ้อยละ 3และสารเชื่อมขวางร้อยละ 20

การยึดติดทางเคมีของสาร คู่ควบไซเลน ระหว่าง ผิวของวัสดุอัดแทรก กับพอลิเมอร์เมทริกซ์ เกิดขึ้นโดย สารคู่ควบไซเลน ($XSi(OR)_3$) ซึ่งมีหมู่ทำงานสองด้าน หมู่ทำงาน ของไซเลน ด้านหนึ่ง ($–Si(OR)_3$) สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซ์เป็นหมู่ไซลานอล (-SiOH) ทำปฏิกิริยากับ แก้วหรือเซรามิคเป็นพันธะไซลอกเซน Si-O-Si-(siloxane bond) กับพื้นผิวของวัสดุอัดแทรก และ หมู่ทำงาน (X) อีกด้านหนึ่งเกิด ปฏิกิริยากับเรซินโดยการเกิด กราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน (graft copolymerization) [12, 68] การเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิ สและปฏิกิริยา ควบแน่น (hydrolysis-condensation reactions) โดยเกิดเป็นหลาย ๆ ชั้น (multilayer) ประกอบด้วยทั้งชั้น chemically adsorbed (chemisorbed) และ physically adsorbed (physisorbed)[69] ประสิทธิภาพโดยรวมของสารคู่ควบพิจารณา ได้จากการเกิดปฏิกิริยาของไซเลนกับวัสดุอัดแทรกแก้ว โดย เกิด การ สร้างพันธะอ็อกเซน (oxane bond formation), การเกิดปฏิกิริยาของ ไซเลนกับตัวไซเลนเองโดย เกิดการสร้างไซลอกเซน (siloxane formation) และการเกิดปฏิกิริยาของ ไซเลนกับตัวระบ บเรซินโดยการเกิด ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอไรเซชัน (graft copolymerization) สารไซเลนชนิดอินทรีย์ (organosilanes) ที่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลสิสปฏิกิริยาควบแน่นนั้นยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับพื้นผิว ไซลานอล ของตัวแร่ธาตุ เรียงตัว เป็น ปฏิกิริยาควบแน่นแนวดิ่ง (vertical condensation) หรือ

เกิดปฏิกิริยากับตัวของไซเลนเอง โดยหมู่ไซลอกเซน เป็นปฏิกิริยาควบแน่นแนวราบ (horizontal condensation) และ ในกรณีที่เป็นไซเลนชนิดที่มีหมู่ทำงาน 3 หมู่ RSiX3 สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ทั้ง 3 มิติ เป็นปฏิกิริยาควบแน่นแบบสามมิติ (three-dimensional condensation)[68] โครงสร้างของการเรียงตัวของไซเลนบนผิวซิลิกาจะเกิดลักษณะในแนวดิ่งคือตั้งฉาก (perpendicular orientation) หรือแนวราบคือขนาน (parallel orientation) นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณไซเลน โดยปริมาณไซเลนที่สูงกว่าร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนักจะเกิดการเรียงตัวแบบตั้งฉาก[28]

ตอนที่ 1 การศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

จากผลที่พบว่าอะคริลิก ใสมีค่าความแข็งผิวต่ำสุดอาจเป็นเพราะ อะคริลิกใส เป็นอะคริลิกที่ผลิตเพื่อใช้เป็นฐานฟันเทียม อาจไม่มีการเติมแต่งสารเสริมความแข็ง แต่ก็มีค่าความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมที่สูงกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนอะคริลิกสีเหมือนฟันมีค่าความแข็งที่สูงกว่าอะคริลิกใสก็อาจเป็น เพราะอะคริลิกสีเหมือนฟันนี้ ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้เป็นซี่ฟันเทียม จึงอาจมีการแต่งเติมสารเพิ่มความแข็งให้สูงขึ้น

ส่วนฟันเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเป็นอะคริลิกชนิดที่ขึ้นรูปโดยเครื่องจักรมีความแข็งเทียบเคียงได้กับอะคริลิกสีเหมือนฟัน และฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์ แต่มีค่าความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียมต่ำสุด เกิดการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมทั้ง 10 ชิ้น โดยเกิดบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบเนื้อฟันและชั้นเนื้อฟัน อาจเป็นเพราะกระบวนการผลิตด้วยวิธีฉีดพลาสติกซึ่งเป็นชนิดเทอร์โมพลาสติก โดยหลอมพลาสติกให้หลอมเหลวแล้วฉีดหุ้ม โดยไม่ได้เกิดพันธะเคมีระหว่างชั้นอะคริลิก ดังนั้นในการพัฒนาเพื่อผลิตซี่ฟันเทียมควรมีสารเชื่อมยึดระหว่างชั้นให้เกิดพันธะเคมี หรือพัฒนาเป็นเทอร์โมเซตที่มีสมบัติความแข็งที่สูงกว่า แต่ยังคงโครงสร้างที่ให้เกิดการแทรกซึมของสายพอลิเมอร์ให้เกิดการเชื่อมไขว้กันของพอลิเมอร์ฐานฟันเทียมได้

อะคริลิกสีเหมือนฟัน และ อะคริลิก ใส มีค่า ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟัน เทียม ที่เทียบเคียงกัน ส่วนฟันอะคริลิก ออร์โทลักซ์ท็อป และฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์ ก็มีค่าความแข็งผิวและความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ที่สูงเทียบเคียงกัน โดยอะคริลิก สีเหมือนฟันและอะคริลิกใสเป็นการผสมเองในห้องปฏิบัติการ จึงอาจมีสมบัติที่ด้อยกว่า ฟันอะคริลิก ออร์โทลักซ์ท็อป และฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์ที่ผลิตโดยบริษัทผู้ผลิต

ตอนที่ 2 ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

ผลของวัสดุอัดแทรกที่มีต่อค่าความแข็งผิวของอะคริลิกชนิดดัดแปร พบว่าวัสดุอัดแทรกต่างๆ สามารถเพิ่มความแข็งผิวให้กับอะคริลิกใสได้ ยกเว้น ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 แต่ถ้าต้องการเพิ่มความแข็งผิวให้เทียบเคียงกับอะคริลิกสีเหมือนฟัน สามารถเลือกใช้ วัสดุอัดแทรกได้ทุกสูตร โดยที่ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 เพิ่มความแข็งผิวได้สูงกว่าทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ

วัสดุอัดแทรกแก้วและซิลิกาที่ปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนในปริมาณที่เหมาะสม สามารถเพิ่มความแข็งผิวให้กับอะคริลิกชนิดดัดแปรได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 เพิ่มความแข็งผิวให้กับ อะคริลิกชนิดดัดแปร ได้สูงกว่าวัสดุอัดแทรกแก้ว ขนาดไมโคร อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวได้ดีกว่าของวัสดุอัดแทรกขนาดนาโนดังจากภาพ กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราด ส่วนวัสดุอัดแทรกแก้วในปริมาณที่เหมาะสมคือร้อยละ 10 โดยน้ำหนักก็เพิ่มความแข็งผิวให้กับอะคริลิกได้ สูงเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Unalan ในปี 2007[23] ส่วนนอกจากนี้จากการศึกษาของ Suzuki ในปี 2004 ยังพบว่าฟันนาโนคอมโพสิตมีความแข็ งและความต้านทานต่อการสึกสูง มากกว่าฟันอะคริลิก แต่ไม่แตกต่างจากฟันที่มีการเชื่อมขวางสูงหรือฟันไมโครฟิลคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญ [19]

จากการทดลองนี้พบว่าการผสมด้วยมือของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ซึ่งเสริมแรงด้วยวัสดุอัดแทรกที่มีปริมาณสูงขึ้นนั้น ทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากความหนืดของวัสดุที่สูงขึ้นตาม ในการศึกษาอื่นยังมีเทคนิคที่ใช้การสังเคราะห์อะคริลิกบนพื้นผิวของซิลิกาโดยตรง [70] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอีกมากมายเกี่ยวกับวัสดุลูกผสมซิลิกากับอะคริลิกมาประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น การทำสารเคลือบผิวชนิดแข็ง (transparent silica-PMMA nanocomposite hard coatings)[71] การทำแผ่นฟิล์ม(thin-film)[72] วัสดุนาโนคอมโพสิตคอร์เชลล์ (core-shell nanocomposites) โดยมีพอลิเมอร์เป็นแกนกลาง (core) และอนุภาคซิลิกาเป็นเปลือกนอก (shell) หรือ ซิลิกา-พีเอ็มเอ็มเอคอร์-เชลล์นาโนสเฟียร์ (SiO_2-pmma core-shell nanospheres) [73] โดยมีซิลิกาเป็นแกนกลางล้อมรอบด้วยพีเอ็มเอ็มเอ เนื่องจากวัสดุคอร์เชลล์นาโนสเฟียร์ช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติทางแสง สมบัติการนำไฟฟ้า สมบัติการนำความร้อน สมบัติทางกล และสมบัติแม่เหล็ก เป็นต้น

ผลของวัสดุอัดแทรกที่มีต่อค่าความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปร

จากการเติม วัสดุอัดแทรกลงไปมีผลเพิ่มการยึดติดกับฐานฟันเทียมได้อย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ อะคริลิก ใสที่ไม่มีวัสดุอัดแทรก อาจเนื่องมาจากการเติม วัสดุอัดแทรก ทำให้มีพื้นผิวหน้าขรุขระเพิ่มขึ้นจึงเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับฐานฟันเทียม แต่การเติมวัสดุอัดแทรกขนาดนาโนในอะคริลิกชนิดดัดแปร พบว่าให้ค่า ความแข็งแรงการยึดติด สูงกว่าการเติมวัสดุอัดแทรกขนาดไมโคร และไม่พบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟเลย อาจเนื่องจากพื้นที่ผิวของวัสดุอัดแทรกขนาดนาโนมีพื้นที่ผิวสูงกว่าพื้นที่ผิวของวัสดุอัดแทรกขนาดไมโคร การ ที่มีพื้นที่ผิวมากกว่า เมื่อสัมผัสกับมอนอเมอร์จึงมีพื้นที่ผิวให้เกิดการแทรกสอดของสายพอลิเมอร์ได้มากกว่า จึงทำให้ค่ าความแข็งแรงการยึด

ติดกับฐานฟันเทียมสูงกว่า ซึ่ง กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 และ 3 มีค่าสูงใกล้เคียงกันมาก ถึงแม้ว่ากลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1จะมีค่าสูงแตกต่างจากอะคริลิกสีเหมือนฟันอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม

ส่วนกลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปร แก้วขนาดไมโครร้อยละ 15 พบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม อาจเป็นเพราะปริมาณของวัสดุอัดแทรกที่สูงเกินไป ทำให้อะคริลิกมีความเปราะ เป็นจุดอ่อนที่ทำให้เกิดความล้มเหลว

<u>ตอนที่</u> <u>3</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

ผลของวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวางที่มีต่อค่าความแข็งผิวของ อะคริลิกชนิดดัดแปร พบว่ากลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 เพิ่มความแข็งผิวได้สูงเทียบเคียงอะคริลิกชนิดดัดแปรซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่ไม่มีสารเชื่อมขวาง

การเติมสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 เพิ่มนอกเหนือไปจาก ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 นั้นช่วยเพิ่มความแข็งผิว ขึ้นได้ไม่มาก อาจเป็นเพราะมีวัสดุอัดแทรกช่วยเสริมแรงอย่างเพียงพอแล้ว แต่การเติมซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ร่วมกับสารเชื่อมขวางร้อยละ 10 โดยน้ำหนักกลับทำให้ความแข็งผิวของอะคริลิกลดลงเทียบเท่ากับอะคริลิกสีเหมือนฟัน ดังนั้นการเสริมแรงพอลิเมอร์ด้วยวัสดุอัดแทรกซิลิกาซึ่งเป็นกลุ่มของวัสดุเซรามิคอาจได้สมบัติความแข็งผิวที่ดีกว่าการใช้สารเชื่อมขวางเสริมแรงซึ่งเป็นกลุ่มของวัสดุพอลิเมอร์มาเสริมแรงพอลิเมอร์ด้วยกัน แต่อาจมีผลดีในสมบัติทางกลด้านอื่น ๆ จึงควรมีการศึกษา เพิ่มเติม ต่อไป จากการศึกษาอื่น ๆ เกี่ยวกับความแข็งผิวของซี่ ฟันเทียม พบว่าค่าความแข็งผิวของฟันอะคริลิกชนิด ดั้งเดิมมีค่าต่ำ คือเท่ากับ 16.6-18.3 [17] ส่วนค่าความแข็งผิวของฟันอะคริลิกที่มีการเชื่อมขวางสูงเท่ากับ 18.7-19.5 [3] ซึ่งมีค่าสูงกว่าความแข็งผิวของฟันอะคริลิกชนิดดั้งเดิมเพียงเล็กน้อยและค่าความแข็งผิวของฟันคอมโพสิตมีค่าสูงมากคือเท่ากับ 21.0-47.0 [3]

ผลของวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวางที่มีต่อ ความแข็งแรง การยึดติด กับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปร พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวางให้ความแข็งแรง การยึดติดกับฐานฟันเทียมลดลงแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นเพราะปริมาณสารเติมแต่งที่เติมลงไป ยังคงทำให้อะคริลิกชนิดดัดแปร สามารถเกิดการบวมตัวเมื่อสัมผัสกับมอนอเมอร์และเกิดการแทรกเข้าไปเกิดการเชื่อมขวางกันได้ แต่การเติมสารเชื่อมขวางให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดลดลง อาจเป็นเพราะพอลิเมอร์ที่มีสารเชื่อมขวางสูง เกิดการบวม ตัวได้ยากขึ้น ทำให้มอนอเมอร์แทรกเข้าไป เกิดการสอดไขว้ได้ยากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาที่พบว่าซี่ฟันเทียมชนิดดั้งเดิมที่มีการเชื่อมขวางน้อยจะเกิดการยึดติดกับฐานฟันเทียมได้ดีกว่าซี่ฟันเทียมที่มีการเชื่อมขวางมาก [21, 36, 37] โดยการเติมสารเชื่อมขวางร้อยละ 10 และ 20 มีค่าความแข็งแรงการยึดติดที่ใกล้เคียงกันมาก

จากรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้น

กลุ่มอะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 พบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมถึงร้อยละ 40 และการแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมอีกร้อยละ 50 แสดงว่าเมื่อมีสารเชื่อมขวางสูงขึ้น แนวโน้มของรูปแบบการแตกหักแบบ โคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมและการแตกหักแบบแอดฮีซีฟร่วมกับโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องมาจากการมีสารเชื่อมขวางสูงทำให้วัสดุแข็งแต่เปราะมากขึ้นจึงเป็นจุดอ่อนให้เกิดการแตกหักที่บริเวณนี้มากขึ้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ C.A. PRICE กล่าวว่าพอลิเมอร์ที่มีสารเชื่อมขวางสูงหรือเทอร์โมเซต จะมีสมบัติที่เปราะ ปริมาณของสารเชื่อมขวางในมอนอเมอร์ไม่ควรมีมากเกินกว่าร้อยละ 15 และปริมาณของสารเชื่อมขวางที่สูงมากนี้จะมีผลให้ความแข็งแรงดึงและการต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง [74]

นอกจากนี้มีการศึกษาพบว่าฟันอะคริลิกชนิดดั้งเดิมสามารถยึดติดกับฐานฟันเทียมได้สูงกว่าฟันที่มีสารเชื่อมขวางสูง [21, 36] โดยระดับการเชื่อมขวางที่สูงขึ้น ทำให้พอลิเมอร์บวมตัวเมื่อสัมผัสกับมอนอเมอร์ได้ยากขึ้นและ ขัดขวางการแทรกสอดของสายพอลิเมอร์ของฐาน ฟันเทียม เพื่อสร้างเครือข่ายพอลิเมอร์ แต่บางการศึกษาพบว่าการยึดติดกับฐาน ฟันเทียม ของฟันอะคริลิกสู งกว่าหรือเท่ากับฟันเทียมชนิดร่างแหพอลิเมอร์แบบสอดไขว้(ไอพีเอ็น) ขึ้นอยู่กับชนิดของฐาน ฟันเทียมที่ใช้[42] และความแข็งความแข็งแรงการยึดติด นั้นยังขึ้นอยู่กับระดับการแทรกสอดของสารที่ใช้ทำละลายและความแข็งแรงของโครงสร้างร่างแหพอลิเมอร์แบบสอดไขว้ที่เกิดขึ้น[36]

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยนี้ การเติมวัสดุอัดแทรกเพื่อเพิ่มสมบัติของอะคริลิกในแง่ของความแข็งวิกเกอร์สและความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียม สรุปได้ดังนี้

<u>ตอนที่ 1</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

1. อะคริลิกใสมีค่าความแข็งผิวต่ำสุด และต่ำกว่าอะคริลิกสีเหมือนฟัน แต่มีค่าความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมที่ใกล้เคียงกัน
2. ฟันเทอร์โมพลาสติก มีความแข็งผิวเทียบเท่า อะคริลิกสีเหมือนฟัน และฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์ แต่มีค่าแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมต่ำสุด และรูปแบบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียมทั้งหมด เนื่องจาก ข้อผิดพลาดทางกระบวนการผลิตของการเชื่อมติดกันระหว่างชั้นเคลือบฟันกับชั้นเนื้อฟันของซี่ฟันเทียมเอง ซึ่งต้องมีการพัฒนาต่อไป
3. ฟันอะคริลิกออร์โทลักซ์ท็อป มีค่าความแข็งผิวและความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียม สูงสุดและใกล้เคียงกับฟันอะคริลิกเมเจอร์เดนท์

<u>ตอนที่ 2</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของ อะคริลิกชนิดดัดแปร ที่มีวัสดุอัดแทรก

1. วัสดุอัดแทรกแก้วขนาดไมโครในปริมาณร้อยละ 10 และ 15 โดยน้ำหนัก และวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักสามารถเพิ่มความแข็งผิว ให้กับอะคริลิกได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เพิ่มความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมได้อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักสามารถเพิ่มค่าความแข็งผิวได้สูงสุด
2. อะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 1 และ 3 ไม่พบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟเลย แต่อะคริลิกชนิดดัดแปร แก้วขนาดไมโครร้อยละ 15 พบรูปแบบการแตกหักแบบโคฮีซีฟในซี่ฟันเทียม

<u>ตอนที่ 3</u> ศึกษาความแข็งผิวและการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

1. วัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนในปริมาณร้อยละ 3 ที่มีสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 เพิ่มความแข็งวิกเกอร์สให้กับอะคริลิกได้ สูงสุดใกล้เคียง กับวัสดุอัดแทรกซิลิกาขนาดนาโนในปริมาณร้อยละ 3 ที่ไม่มีสารเชื่อมขวาง แต่ให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดต่ำลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ และปริมาณสารเชื่อมขวางร้อยละ 20 นี้ยิ่งทำให้เกิดรูปแบบการแตกหักในซี่ฟันเทียมสูงขึ้น
2. อะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ให้ค่าความแข็งแรงการยึดติดสูงสุดและ ไม่พบรูปแบบการแตกหักแบบแอดฮีซีฟเลย

สรุปโดยรวมแล้ว อะคริลิกชนิดดัดแปร ซิลิกาขนาดนาโนร้อยละ 3 ให้ผลดีสุดในแง่ของความแข็งผิว แต่ยังอาจด้อยกว่าฟันอะคริลิกทางการค้าในเรื่อง ความแข็งแรงการยึดติด กับฐานฟันเทียม ซึ่งยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ยังคงต้องศึกษาปัจจัยด้านอื่น ๆ เช่น

1. ชนิด ปริมาณและขนาดของวัสดุอัดแทรกที่เหมาะสมในการเพิ่มสมบัติทางกลอื่น ๆ เช่น กำลังดัดขวาง ความต้านทานการสึก รวมทั้งสมบัติความโปร่งแสง ความเงา ความสวยงาม เพื่อนำไปพัฒนาในการผลิตเป็นซี่ฟันหน้าซึ่งต้องการความสวยงามมากขึ้น
2. การทดสอบอื่น ๆ ตามมาตรฐานสากลของซี่ฟันเทียม และการทดสอบในการนำไปใช้ทางคลินิกต่อไป โดยได้มีผู้ทำการศึกษาต่อจากผู้วิจัยนี้ในเรื่องของกำลังดัดขวางและความต้านทานการสึกของอะคริลิกดัดแปร

รายการอ้างอิง

[1] Lang, B. R. Complete denture occlusion. Dent Clin North Am. 40 (Jan 1996): 85-101.

[2] John M. Powers, R. L. S. Craig's Restorative Dental Materials. 12th ed: Elsevier Inc., 2006: 79-82, 513-517.

[3] Loyaga-Rendon, P. G., Takahashi, H., Hayakawa, I. and Iwasaki, N. Compositional characteristics and hardness of acrylic and composite resin artificial teeth. J Prosthet Dent. 98 (Aug 2007): 141-149.

[4] Liu, A. T. C. Abrasion resistant dental composition product and process. Patent 6,384,107 B2. 2002.

[5] Vallittu, P. K., Ruyter, I. E. and Nat, R. The swelling phenomenon of acrylic resin polymer teeth at the interface with denture base polymers. J Prosthet Dent. 78 (Aug 1997): 194-199.

[6] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ 1 กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (เอกสารไม่ตีพิมพ์).

[7] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติก. กรุงเทพมหานคร: ห.จ.ก. ป. สัมพันธ์พาณิชย์, 2545: 9, 99, 161.

[8] วิกิพีเดีย. พลาสติก. [Online]. Available from: http://th.wikipedia.org/wiki/พลาสติก. [2011, February 22]

[9] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. อะคริลิกพลาสติก. [Online]. 2549. Available from: http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=577&Itemid=36. [2011, February 22]

[10] Anusavice. Phillip's Science of Dental Materials. 11th ed2003: 96-98, 722-724.

[11] สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย. พลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกสามารถขึ้นรูปได้แบบใดบ้าง? [Online]. Available from: http://www.tpia.org/faq/answer.asp?no=16 [2011, February 22]

[12] Xanthos, M. Functional Fillers for Plastics. Wiley-VCH, 2005: 5, 66-68.

[13] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. โพลิเมอร์คอมโพสิต. [Online]. 2549. Available from: http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=79&Itemid=36. [2011, February 22]

[14] Y-W Mai, Z.-Z. Y. Polymer nanocomposites. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006: 206.

[15] Klaus Friedrich, S. F., Zhong Zhang. Polymer Composites From Nano- to Macro-Scale. Springer Science+Business Media, LLC, 2005: 45-47.

[16] Pulickel M. Ajayan, L. S. S., Paul V. Braun. Nanocomposite Science and Technology. Wiley-VCH GmbH & Co. KGaA, 2004: 100, 111-115.

[17] Campanha, N. H., Pavarina, A. C., Vergani, C. E. and Machado, A. L. Effect of microwave sterilization and water storage on the Vickers hardness of acrylic resin denture teeth. J Prosthet Dent. 93 (May 2005): 483-487.

[18] Whitman, D. J., McKinney, J. E., Hinman, R. W., Hesby, R. A. and Pelleu, G. B., Jr. In vitro wear rates of three types of commercial denture tooth materials. J Prosthet Dent. 57 (Feb 1987): 243-246.

[19] Suzuki, S. In vitro wear of nano-composite denture teeth. J Prosthodont. 13 (Dec 2004): 238-243.

[20] Ortman, H. R. Complete denture occlusion. Dent Clin North Am. 21 (Apr 1977): 299-320.

[21] Chai, J., Takahashi, Y., Takahashi, T. and Habu, T. Bonding durability of conventional resinous denture teeth and highly crosslinked denture teeth to a pour-type denture base resin. Int J Prosthodont. 13 (Mar-Apr 2000): 112-116.

[22] Stober, T., Lutz, T., Gilde, H. and Rammelsberg, P. Wear of resin denture teeth by two-body contact. Dent Mater. 22 (Mar 2006): 243-249.

[23] Unalan, F. and Dikbas, I. Effects of mica and glass on surface hardness of acrylic tooth material. Dent Mater J. 26 (Jul 2007): 545-548.

[24] Shalaby, S. W. Polymers for dental and orthopedic applications. 2007: 20-22.

[25] Kerr Corporation. Premise Technical Info. [Online]. Available from: http://www.kerrdental.com/index/kerrdental-composites-premise-techinfo-2. [2011, March 1]

[26] อรอุษา สรวารี. สารเติมแต่งพอลิเมอร์ เล่ม 1 กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546: 26-27, 68-70.

[27] Shin-Etsu Chemical Co., Ltd. Silane Coupling Agents. [Online]. Available from:

http://www.silicone.jp/e/catalog/pdf/silanecoupling_e.pdf. [2011, March 1]

[28] Sideridou, I. D. and Karabela, M. M. Effect of the amount of 3-methacyloxypropyltrimethoxysilane coupling agent on physical properties of dental resin nanocomposites. Dent Mater. 25 (Nov 2009): 1315-1324.

[29] Acrylic Teeth Turkey - Dentmar. Molds for Teeth Manufacturers. [Online]. Available from: http://www.acrylicteeth.com/teeth-mould.html. [2011, February 28]

[30] Andrew M. Lichkus, W. C. B., Scott E. Shaffer. Prosthetic teeth and method of making therefor. Patent 6,488,503 B1. 2002.

[31] Rotsaert, H. L., Processes for the manufacture of artificial teeth and crowns. Patent 4,970,032. 1990.

[32] Rotsaert, H. L., Blanks for the manufacture of artificial teeth and crowns. Patent 5,151,044. 1992.

[33] Saffir, J. A., Method of casting teeth having differently colored layers. Patent 3,126,429. 1964.

[34] Pavarina, A. C., Vergani, C. E., Machado, A. L., Giampaolo, E. T. and Teraoka, M. T. The effect of disinfectant solutions on the hardness of acrylic resin denture teeth. J Oral Rehabil. 30 (Jul 2003): 749-752.

[35] Clancy, J. M. and Boyer, D. B. Comparative bond strengths of light-cured, heat-cured, and autopolymerizing denture resins to denture teeth. J Prosthet Dent. 61 (Apr 1989): 457-462.

[36] Takahashi, Y., Chai, J., Takahashi, T. and Habu, T. Bond strength of denture teeth to denture base resins. Int J Prosthodont. 13 (Jan-Feb 2000): 59-65.

[37] Caswell, C. W. and Norling, B. K. Comparative study of the bond strengths of three abrasion-resistant plastic denture teeth bonded to a cross-linked and a grafted, cross-linked denture base material. J Prosthet Dent. 55 (Jun 1986): 701-708.

[38] Yanikoglu, D. N., Duymus, D. Z. and Bayindir, D. F. Comparative bond strengths of autopolymerising denture resin and light cured composite resin to denture teeth. Int Dent J. 52 (Feb 2002): 20-24.

[39] Suzuki, S., Sakoh, M. and Shiba, A. Adhesive bonding of denture base resins to plastic denture teeth. J Biomed Mater Res. 24 (Aug 1990): 1091-1103.

[40] Kawara, M., Carter, J. M., Ogle, R. E. and Johnson, R. R. Bonding of plastic teeth to denture base resins. J Prosthet Dent. 66 (Oct 1991): 566-571.

[41] Cunningham, J. L. Shear bond strength of resin teeth to heat-cured and light-cured denture base resin. J Oral Rehabil. 27 (Apr 2000): 312-316.

[42] Clancy, J. M., Hawkins, L. F., Keller, J. C. and Boyer, D. B. Bond strength and failure analysis of light-cured denture resins bonded to denture teeth. J Prosthet Dent. 65 (Feb 1991): 315-324.

[43] Schneider, R. L., Curtis, E. R. and Clancy, J. M. Tensile bond strength of acrylic resin denture teeth to a microwave- or heat-processed denture base. J Prosthet Dent. 88 (Aug 2002): 145-150.

[44] Barbosa, D. B., Monteiro, D. R., Barao, V. A., Pero, A. C. and Compagnoni, M. A. Effect of monomer treatment and polymerisation methods on the bond strength of resin teeth to denture base material. Gerodontology. 26 (Sep 2009): 225-231.

[45] Morrow, R. M., Matvias, F. M., Windeler, A. S. and Fuchs, R. J. Bonding of plastic teeth to two heat-curing denture base resins. J Prosthet Dent. 39 (May 1978): 565-568.

[46] Cunningham, J. L. and Benington, I. C. An investigation of the variables which may affect the bond between plastic teeth and denture base resin. J Dent. 27 (Feb 1999): 129-135.

[47] Barbosa, D. B., Barao, V. A., Monteiro, D. R., Compagnoni, M. A. and Marra, J. Bond strength of denture teeth to acrylic resin: effect of thermocycling and polymerisation methods. Gerodontology. 25 (Dec 2008): 237-244.

[48] Huggett, R., John, G., Jagger, R. G. and Bates, J. F. Strength of the acrylic denture base tooth bond. Br Dent J. 153 (Sep 7 1982): 187-190.

[49] Barpal, D., Curtis, D. A., Finzen, F., Perry, J. and Gansky, S. A. Failure load of acrylic resin denture teeth bonded to high impact acrylic resins. J Prosthet Dent. 80 (Dec 1998): 666-671.

[50] Chung, K. H., Chung, C. Y. and Chan, D. C. Effect of pre-processing surface treatments of acrylic teeth on bonding to the denture base. J Oral Rehabil. 35 (Apr 2008): 268-275.

[51] Cardash, H. S., Liberman, R. and Helft, M. The effect of retention grooves in acrylic resin teeth on tooth denture-base bond. J Prosthet Dent. 55 (Apr 1986): 526-528.

[52] Cardash, H. S., Applebaum, B., Baharav, H. and Liberman, R. Effect of retention grooves on tooth-denture base bond. J Prosthet Dent. 64 (Oct 1990): 492-496.

[53] Vallittu, P. K. Bonding of resin teeth to the polymethyl methacrylate denture base material. Acta Odontol Scand. 53 (Apr 1995): 99-104.

[54] Nishigawa, G., Maruo, Y., Okamoto, M., Oki, K., Kinuta, Y., Minagi, S., et al. Effect of adhesive primer developed exclusively for heat-curing resin on adhesive strength between plastic artificial tooth and acrylic denture base resin. Dent Mater J. 25 (Mar 2006): 75-80.

[55] Lagouvardos, P. E. and Polyzois, G. L. Shear bond strength between composite resin and denture teeth: effect of tooth type and surface treatments. Int J Prosthodont. 16 (Sep-Oct 2003): 499-504.

[56] Papazoglou, E. and Vasilas, A. I. Shear bond strengths for composite and autopolymerized acrylic resins bonded to acrylic resin denture teeth. J Prosthet Dent. 82 (Nov 1999): 573-578.

[57] Saavedra, G., Valandro, L. F., Leite, F. P., Amaral, R., Ozcan, M., Bottino, M. A., et al. Bond strength of acrylic teeth to denture base resin after various surface conditioning methods before and after thermocycling. Int J Prosthodont. 20 (Mar-Apr 2007): 199-201.

[58] Vergani, C. E., Machado, A. L., Giampaolo, E. T. and Pavarina, A. C. Effect of surface treatments on the bond strength between composite resin and acrylic resin denture teeth. Int J Prosthodont. 13 (Sep-Oct 2000): 383-386.

[59] Chung, R. W., Clark, R. K. and Darvell, B. W. The bonding of cold-cured acrylic resin to acrylic denture teeth. Aust Dent J. 40 (Aug 1995): 241-245.

[60] Catterlin, R. K., Plummer, K. D. and Gulley, M. E. Effect of tinfoil substitute contamination on adhesion of resin denture tooth to its denture base. J Prosthet Dent. 69 (Jan 1993): 57-59.

[61] Schoonover, I. C., Fischer, T. E., Serio, A. F. and Sweeney, W. T. Bonding of plastic

teeth to heat-cured denture base resins. J Am Dent Assoc. 44 (Mar 1952): 285-287.

[62] Spratley, M. H. An investigation of the adhesion of acrylic resin teeth to dentures. J Prosthet Dent. 58 (Sep 1987): 389-392.

[63] Darbar, U. R., Huggett, R., Harrison, A. and Williams, K. Finite element analysis of stress distribution at the tooth-denture base interface of acrylic resin teeth debonding from the denture base. J Prosthet Dent. 74 (Dec 1995): 591-594.

[64] Marra, J., de Souza, R. F., Barbosa, D. B., Pero, A. C. and Compagnoni, M. A. Evaluation of the bond strength of denture base resins to acrylic resin teeth: effect of thermocycling. J Prosthodont. 18 (Jul 2009): 438-443.

[65] Revised ANSI/ADA Specification No.15 For Synthetic Resin Teeth. 1985. pp.5-10.

[66] ISO 22112 Dentistry-Artificial teeth for dental prostheses. 2005. pp.10-12.

[67] Wan, Q., Sheffield, J., McCool, J. and Baran, G. Light curable dental composites designed with colloidal crystal reinforcement. Dent Mater. 24 (Dec 2008): 1694-1701.

[68] Antonucci, J. M. D., S. H.; Fowler, B. O.; Xu, H. H.; McDonough, W. G. Chemistry of silanes : Intefaces in Dental Polymers and Composites. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 110 2005): 541-558.

[69] Halvorson, R. H., Erickson, R. L. and Davidson, C. L. The effect of filler and silane content on conversion of resin-based composite. Dent Mater. 19 (Jun 2003): 327-333.

[70] Feng, L. B., He, L., Ma, Y. X. and Wang, W. Grafting poly(methyl methacrylate) onto silica nanoparticle surfaces via a facile esterification reaction. Materials Chemistry and Physics. 116 (Jul 15 2009): 158-163.

[71] Chau, J. L. H., Hsieh, C. C., Lin, Y. M. and Li, A. K. Preparation of transparent silica-PMMA nanocomposite hard coatings. Progress in Organic Coatings. 62 (Jun 2008): 436-439.

[72] Yu, Y. Y., Chen, C. Y. and Chen, W. C. Synthesis and characterization of organic - inorganic hybrid thin films from poly(acrylic) and monodispersed colloidal silica. Polymer. 44 (Feb 2003): 593-601.

[73] Zhang, K., Zheng, L. L., Zhang, X. H., Chen, X. and Yang, B. Silica-PMMA core-

shell and hollow nanospheres. Colloids and Surfaces a-Physicochemical and Engineering Aspects. 277 (Apr 5 2006): 145-150.

[74] Price, C. A. The effect of cross-linking agents on the impact resistance of a linear poly(methyl methacrylate) denture-base polymer. J Dent Res. 65 (Jul 1986): 987-992.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 ผลค่าความแข็งผิวจากการศึกษานำร่อง

กลุ่มอะคริลิกดัดแปลงจากการศึกษานำร่อง	ค่าความแข็งผิวเฉลี่ย (VHN)
Control	21.24
Nanosilica 1%	21.76
Nanosilica 3%	23.10
Nanosilica 5%	21.10
BBAS 10%	22.36
BBAS 15%	21.80
Nanosilica 1%+BBAS 1%	21.48
Nanosilica 3%+BBAS 1%	19.78
Nanosilica 3%+BBAS 3%	21.56
Nanosilica 3%+EGDMA 10%	21.78
Nanosilica 3%+EGDMA 20%	23.14
Nanosilica 3%+PMMA 50% (MW=925,000-975,000)	19.73
กลุ่มซี่ฟันเทียมในท้องตลาด	**ค่าความแข็งผิวเฉลี่ย (VHN)**
Majordent	
-Enamel	22.90
-Dentin	23.18
Ortolux	
-Enamel	23.71
-Dentin	23.84
Yamahachi FX	
-Enamel	23.13
-Dentin	24.89
Endura	
-Enamel	34.88
-Dentin	34.86
-Base	24.98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Orthosit PE	
-Enamel	39.36
-Dentin	40.09
-Base	22.79
-Lingual enamel	23.27
Yamahachi PX	
-Enamel	48.57
-Dentin	76.33
-Base	24.28

ตารางที่ 12 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

Descriptive Statistics

ยี่ห้อ		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
majordent	HV	10	22.9000	.69921	21.70	23.90
ortolux	HV	10	23.7100	.48408	23.10	24.70
PCP	HV	10	22.4100	.64196	21.60	23.40
Major 4F	HV	10	22.1400	.50376	21.40	22.90
clear	HV	10	21.3000	.28674	20.80	21.70

ตารางที่ 13 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

ยี่ห้อ			HV
majordent	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	22.9000
		Std. Deviation	.69921
	Most Extreme Differences	Absolute	.166
		Positive	.113
		Negative	-.166
	Kolmogorov-Smirnov Z		.525
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.946

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ortolux	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	23.7100
		Std. Deviation	.48408
	Most Extreme Differences	Absolute	.226
		Positive	.226
		Negative	-.104
	Kolmogorov-Smirnov Z		.715
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.685
PCP	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	22.4100
		Std. Deviation	.64196
	Most Extreme Differences	Absolute	.185
		Positive	.185
		Negative	-.159
	Kolmogorov-Smirnov Z		.586
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.882
Major 4F	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	22.1400
		Std. Deviation	.50376
	Most Extreme Differences	Absolute	.150
		Positive	.150
		Negative	-.147
	Kolmogorov-Smirnov Z		.475
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.978
clear	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.3000
		Std. Deviation	.28674
	Most Extreme Differences	Absolute	.152
		Positive	.100
		Negative	-.152
	Kolmogorov-Smirnov Z		.482
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.975

a. Test distribution is Normal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

Test of Homogeneity of Variances

HV

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.892	4	45	.033

ตารางที่ 15 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

ANOVA

HV

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32.015	4	8.004	27.199	.000
Within Groups	13.242	45	.294		
Total	45.257	49			

Robust Tests of Equality of Means

HV

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	27.199	4	36.423	.000

a. Asymptotically F distributed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

Multiple Comparisons

HV

Tamhane

(I) ยี่ห้อ	(J) ยี่ห้อ	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
majordent	ortolux	-.81000	.26893	.080	-1.6815	.0615
	PCP	.49000	.30017	.722	-.4673	1.4473
	Major 4F	.76000	.27252	.122	-.1203	1.6403
	clear	1.60000*	.23898	.000	.7828	2.4172
ortolux	majordent	.81000	.26893	.080	-.0615	1.6815
	PCP	1.30000*	.25425	.001	.4815	2.1185
	Major 4F	1.57000*	.22093	.000	.8659	2.2741
	clear	2.41000*	.17792	.000	1.8248	2.9952
PCP	majordent	-.49000	.30017	.722	-1.4473	.4673
	ortolux	-1.30000*	.25425	.001	-2.1185	-.4815
	Major 4F	.27000	.25805	.976	-.5585	1.0985
	clear	1.11000*	.22234	.003	.3564	1.8636
Major 4F	majordent	-.76000	.27252	.122	-1.6403	.1203
	ortolux	-1.57000*	.22093	.000	-2.2741	-.8659
	PCP	-.27000	.25805	.976	-1.0985	.5585
	clear	.84000*	.18330	.004	.2346	1.4454
clear	majordent	-1.60000*	.23898	.000	-2.4172	-.7828
	ortolux	-2.41000*	.17792	.000	-2.9952	-1.8248
	PCP	-1.11000*	.22234	.003	-1.8636	-.3564
	Major 4F	-.84000*	.18330	.004	-1.4454	-.2346

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 17 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

Descriptive Statistics

ยี่ห้อ		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Major 4F	HV	10	22.1400	.50376	21.40	22.90
clear	HV	10	21.3000	.28674	20.80	21.70
Si 1%	HV	10	21.7300	.32335	21.30	22.40
Si 3%	HV	10	23.0900	.23310	22.60	23.40
BBAS 10%	HV	10	22.2900	.21318	22.00	22.70
BBAS 15%	HV	10	21.9500	.41433	21.20	22.50

ตารางที่ 18 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

ยี่ห้อ			HV
Major 4F	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	22.1400
		Std. Deviation	.50376
	Most Extreme Differences	Absolute	.150
		Positive	.150
		Negative	-.147
	Kolmogorov-Smirnov Z		.475
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.978
clear	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.3000
		Std. Deviation	.28674
	Most Extreme Differences	Absolute	.152
		Positive	.100
		Negative	-.152
	Kolmogorov-Smirnov Z		.482
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.975
Si 1%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.7300

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		Std. Deviation	.32335
	Most Extreme Differences	Absolute	.156
		Positive	.156
		Negative	-.092
	Kolmogorov-Smirnov Z		.494
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.968
Si 3%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	23.0900
		Std. Deviation	.23310
	Most Extreme Differences	Absolute	.150
		Positive	.092
		Negative	-.150
	Kolmogorov-Smirnov Z		.473
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.978
BBAS 10%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	22.2900
		Std. Deviation	.21318
	Most Extreme Differences	Absolute	.214
		Positive	.214
		Negative	-.197
	Kolmogorov-Smirnov Z		.675
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.752
BBAS 15%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.9500
		Std. Deviation	.41433
	Most Extreme Differences	Absolute	.148
		Positive	.127
		Negative	-.148
	Kolmogorov-Smirnov Z		.468
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.981

a. Test distribution is Normal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 19 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

Test of Homogeneity of Variances

HV

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.720	5	54	.029

ตารางที่ 20 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

ANOVA

HV

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18.155	5	3.631	30.599	.000
Within Groups	6.408	54	.119		
Total	24.563	59			

Robust Tests of Equality of Means

HV

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	30.599	5	39.135	.000

a. Asymptotically F distributed.

ตารางที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

Multiple Comparisons

HV

Tamhane

(I) ยี่ห้อ	(J) ยี่ห้อ	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
Major 4F	clear	.84000*	.18330	.006	.1977	1.4823
	Si 1%	.41000	.18930	.510	-.2446	1.0646
	Si 3%	-.95000*	.17553	.002	-1.5802	-.3198
	BBAS 10%	-.15000	.17298	1.000	-.7774	.4774

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	BBAS 15%	.19000	.20626	.999	-.5089	.8889
clear	Major 4F	-.84000*	.18330	.006	-1.4823	-.1977
	Si 1%	-.43000	.13667	.082	-.8915	.0315
	Si 3%	-1.79000*	.11686	.000	-2.1862	-1.3938
	BBAS 10%	-.99000*	.11299	.000	-1.3755	-.6045
	BBAS 15%	-.65000*	.15934	.013	-1.1969	-.1031
Si 1%	Major 4F	-.41000	.18930	.510	-1.0646	.2446
	clear	.43000	.13667	.082	-.0315	.8915
	Si 3%	-1.36000*	.12605	.000	-1.7911	-.9289
	BBAS 10%	-.56000*	.12247	.005	-.9824	-.1376
	BBAS 15%	-.22000	.16620	.967	-.7850	.3450
Si 3%	Major 4F	.95000*	.17553	.002	.3198	1.5802
	clear	1.79000*	.11686	.000	1.3938	2.1862
	Si 1%	1.36000*	.12605	.000	.9289	1.7911
	BBAS 10%	.80000*	.09989	.000	.4630	1.1370
	BBAS 15%	1.14000*	.15033	.000	.6125	1.6675
BBAS 10%	Major 4F	.15000	.17298	1.000	-.4774	.7774
	clear	.99000*	.11299	.000	.6045	1.3755
	Si 1%	.56000*	.12247	.005	.1376	.9824
	Si 3%	-.80000*	.09989	.000	-1.1370	-.4630
	BBAS 15%	.34000	.14735	.436	-.1825	.8625
BBAS 15%	Major 4F	-.19000	.20626	.999	-.8889	.5089
	clear	.65000*	.15934	.013	.1031	1.1969
	Si 1%	.22000	.16620	.967	-.3450	.7850
	Si 3%	-1.14000*	.15033	.000	-1.6675	-.6125
	BBAS 10%	-.34000	.14735	.436	-.8625	.1825

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

ตารางที่ 22 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

Descriptive Statistics

ยี่ห้อ		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Major 4F	HV	10	22.1400	.50376	21.40	22.90
clear	HV	10	21.3000	.28674	20.80	21.70
Si 3%	HV	10	23.0900	.23310	22.60	23.40
Si 3%+EGDMA 10%	HV	10	21.8100	.46774	20.90	22.40
Si 3%+EGDMA 20%	HV	10	23.3400	.42740	22.80	24.20

ตารางที่ 23 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

ยี่ห้อ			HV
Major 4F	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	22.1400
		Std. Deviation	.50376
	Most Extreme Differences	Absolute	.150
		Positive	.150
		Negative	-.147
	Kolmogorov-Smirnov Z		.475
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.978
clear	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.3000
		Std. Deviation	.28674
	Most Extreme Differences	Absolute	.152
		Positive	.100
		Negative	-.152
	Kolmogorov-Smirnov Z		.482
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.975
Si 3%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	23.0900

		Std. Deviation	.23310
	Most Extreme Differences	Absolute	.150
		Positive	.092
		Negative	-.150
	Kolmogorov-Smirnov Z		.473
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.978
Si 3%+EGDMA 10%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.8100
		Std. Deviation	.46774
	Most Extreme Differences	Absolute	.127
		Positive	.104
		Negative	-.127
	Kolmogorov-Smirnov Z		.401
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.997
Si 3%+EGDMA 20%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	23.3400
		Std. Deviation	.42740
	Most Extreme Differences	Absolute	.171
		Positive	.171
		Negative	-.146
	Kolmogorov-Smirnov Z		.542
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.930

a. Test distribution is Normal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 24 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

Test of Homogeneity of Variances

HV

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.956	4	45	.118

ตารางที่ 25 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

ANOVA

HV

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	29.649	4	7.412	46.808	.000
Within Groups	7.126	45	.158		
Total	36.775	49			

ตารางที่ 26 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็ง ของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

Multiple Comparisons

HV

Tukey HSD

(I) ยี่ห้อ	(J) ยี่ห้อ	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Major 4F	clear	.84000*	.17796	.000	.3343	1.3457
	Si 3%	-.95000*	.17796	.000	-1.4557	-.4443
	Si 3%+EGDMA 10%	.33000	.17796	.356	-.1757	.8357
	Si 3%+EGDMA 20%	-1.20000*	.17796	.000	-1.7057	-.6943
clear	Major 4F	-.84000*	.17796	.000	-1.3457	-.3343
	Si 3%	-1.79000*	.17796	.000	-2.2957	-1.2843
	Si 3%+EGDMA 10%	-.51000*	.17796	.047	-1.0157	-.0043
	Si 3%+EGDMA 20%	-2.04000*	.17796	.000	-2.5457	-1.5343
Si 3%	Major 4F	.95000*	.17796	.000	.4443	1.4557
	clear	1.79000*	.17796	.000	1.2843	2.2957
	Si 3%+EGDMA 10%	1.28000*	.17796	.000	.7743	1.7857
	Si 3%+EGDMA 20%	-.25000	.17796	.628	-.7557	.2557
Si 3%+EGDMA 10%	Major 4F	-.33000	.17796	.356	-.8357	.1757
	clear	.51000*	.17796	.047	.0043	1.0157
	Si 3%	-1.28000*	.17796	.000	-1.7857	-.7743
	Si 3%+EGDMA 20%	-1.53000*	.17796	.000	-2.0357	-1.0243

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Si 3%+EGDMA 20%	Major 4F	1.20000*	.17796	.000	.6943	1.7057
	clear	2.04000*	.17796	.000	1.5343	2.5457
	Si 3%	.25000	.17796	.628	-.2557	.7557
	Si 3%+EGDMA 10%	1.53000*	.17796	.000	1.0243	2.0357

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

HV

Tukey HSD

ยี่ห้อ	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
clear	10	21.3000		
Si 3%+EGDMA 10%	10		21.8100	
Major 4F	10		22.1400	
Si 3%	10			23.0900
Si 3%+EGDMA 20%	10			23.3400
Sig.		1.000	.356	.628

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 27 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

Descriptive Statistics

name		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
majordent	TBS	10	38.2549	6.96336	31.34	54.20
ortolux	TBS	10	40.6480	9.01182	31.88	56.40
major 4F	TBS	10	21.4000	6.37181	15.00	32.30
PCP	TBS	10	8.5500	2.69804	3.99	13.40
clear	TBS	10	26.5900	7.18833	13.50	36.20

ตารางที่ 28 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

name			TBS
majordent	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	38.2549
		Std. Deviation	6.96336
	Most Extreme Differences	Absolute	.226
		Positive	.226
		Negative	-.160
	Kolmogorov-Smirnov Z		.715
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.686
ortolux	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	40.6480
		Std. Deviation	9.01182
	Most Extreme Differences	Absolute	.259
		Positive	.259
		Negative	-.165
	Kolmogorov-Smirnov Z		.820
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.511

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

major 4F	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.4000
		Std. Deviation	6.37181
	Most Extreme Differences	Absolute	.298
		Positive	.298
		Negative	-.158
	Kolmogorov-Smirnov Z		.942
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.338
PCP	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	8.5500
		Std. Deviation	2.69804
	Most Extreme Differences	Absolute	.166
		Positive	.166
		Negative	-.131
	Kolmogorov-Smirnov Z		.526
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.945
clear	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	26.5900
		Std. Deviation	7.18833
	Most Extreme Differences	Absolute	.337
		Positive	.184
		Negative	-.337
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.064
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.207

a. Test distribution is Normal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

Test of Homogeneity of Variances

TBS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.639	4	45	.012

ตารางที่ 30 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

ANOVA

TBS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6848.320	4	1712.080	37.340	.000
Within Groups	2063.275	45	45.851		
Total	8911.595	49			

Robust Tests of Equality of Means

TBS

	Statistic[a]	df1	df2	Sig.
Brown-Forsythe	37.340	4	35.517	.000

a. Asymptotically F distributed.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 31 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของซี่ฟันเทียมสำเร็จรูปและอะคริลิกชนิดบ่มด้วยความร้อน

Multiple Comparisons

TBS

Tamhane

(I) name	(J) name	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	95% Confidence Interval Upper Bound
majordent	ortolux	-2.39310	3.60141	.999	-13.9677	9.1815
	major 4F	16.85490*	2.98477	.000	7.3349	26.3749
	PCP	29.70490*	2.36152	.000	21.5847	37.8251
	clear	11.66490*	3.16482	.017	1.5800	21.7498
ortolux	majordent	2.39310	3.60141	.999	-9.1815	13.9677
	major 4F	19.24800*	3.49017	.000	7.9576	30.5384
	PCP	32.09800*	2.97476	.000	21.6422	42.5538
	clear	14.05800*	3.64534	.012	2.3650	25.7510
major 4F	majordent	-16.85490*	2.98477	.000	-26.3749	-7.3349
	ortolux	-19.24800*	3.49017	.000	-30.5384	-7.9576
	PCP	12.85000*	2.18814	.001	5.3920	20.3080
	clear	-5.19000	3.03763	.670	-14.8872	4.5072
PCP	majordent	-29.70490*	2.36152	.000	-37.8251	-21.5847
	ortolux	-32.09800*	2.97476	.000	-42.5538	-21.6422
	major 4F	-12.85000*	2.18814	.001	-20.3080	-5.3920
	clear	-18.04000*	2.42799	.000	-26.4140	-9.6660
clear	majordent	-11.66490*	3.16482	.017	-21.7498	-1.5800
	ortolux	-14.05800*	3.64534	.012	-25.7510	-2.3650
	major 4F	5.19000	3.03763	.670	-4.5072	14.8872
	PCP	18.04000*	2.42799	.000	9.6660	26.4140

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 32 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

Descriptive Statistics

name		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
major 4F	TBS	10	21.4000	6.37181	15.00	32.30
clear	TBS	10	26.5900	7.18833	13.50	36.20
BBAS 10%	TBS	10	27.2000	7.38783	10.70	36.20
BBAS 15%	TBS	10	27.1500	6.63965	12.40	35.40
Si 1%	TBS	10	30.8500	8.86407	12.60	43.50
Si 3%	TBS	10	30.5500	5.06036	19.30	36.40

ตารางที่ 33 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

name			TBS
major 4F	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.4000
		Std. Deviation	6.37181
	Most Extreme Differences	Absolute	.298
		Positive	.298
		Negative	-.158
	Kolmogorov-Smirnov Z		.942
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.338
clear	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	26.5900
		Std. Deviation	7.18833
	Most Extreme Differences	Absolute	.337
		Positive	.184
		Negative	-.337

	Kolmogorov-Smirnov Z		1.064
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.207
BBAS 10%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	27.2000
		Std. Deviation	7.38783
	Most Extreme Differences	Absolute	.157
		Positive	.112
		Negative	-.157
	Kolmogorov-Smirnov Z		.498
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.965
BBAS 15%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	27.1500
		Std. Deviation	6.63965
	Most Extreme Differences	Absolute	.173
		Positive	.150
		Negative	-.173
	Kolmogorov-Smirnov Z		.547
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.926
Si 1%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	30.8500
		Std. Deviation	8.86407
	Most Extreme Differences	Absolute	.195
		Positive	.127
		Negative	-.195
	Kolmogorov-Smirnov Z		.618
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.839
Si 3%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	30.5500
		Std. Deviation	5.06036
	Most Extreme Differences	Absolute	.172
		Positive	.124

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Negative	-.172
Kolmogorov-Smirnov Z		.543
Asymp. Sig. (2-tailed)		.930

a. Test distribution is Normal.

ตารางที่ 34 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมเของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

Test of Homogeneity of Variances

TBS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.511	5	54	.767

ตารางที่ 35 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

ANOVA

TBS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	585.110	5	117.022	2.379	.051
Within Groups	2656.044	54	49.186		
Total	3241.154	59			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 36 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรก

Multiple Comparisons

TBS

Tukey HSD

(I) name	(J) name	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound

major 4F	clear	-5.19000	3.13643	.567	-14.4565	4.0765
	BBAS 10%	-5.80000	3.13643	.444	-15.0665	3.4665
	BBAS 15%	-5.75000	3.13643	.454	-15.0165	3.5165
	Si 1%	-9.45000*	3.13643	.043	-18.7165	-.1835
	Si 3%	-9.15000	3.13643	.055	-18.4165	.1165
clear	major 4F	5.19000	3.13643	.567	-4.0765	14.4565
	BBAS 10%	-.61000	3.13643	1.000	-9.8765	8.6565
	BBAS 15%	-.56000	3.13643	1.000	-9.8265	8.7065
	Si 1%	-4.26000	3.13643	.751	-13.5265	5.0065
	Si 3%	-3.96000	3.13643	.804	-13.2265	5.3065
BBAS 10%	major 4F	5.80000	3.13643	.444	-3.4665	15.0665
	clear	.61000	3.13643	1.000	-8.6565	9.8765
	BBAS 15%	.05000	3.13643	1.000	-9.2165	9.3165
	Si 1%	-3.65000	3.13643	.852	-12.9165	5.6165
	Si 3%	-3.35000	3.13643	.892	-12.6165	5.9165
BBAS 15%	major 4F	5.75000	3.13643	.454	-3.5165	15.0165
	clear	.56000	3.13643	1.000	-8.7065	9.8265
	BBAS 10%	-.05000	3.13643	1.000	-9.3165	9.2165
	Si 1%	-3.70000	3.13643	.845	-12.9665	5.5665
	Si 3%	-3.40000	3.13643	.886	-12.6665	5.8665
Si 1%	major 4F	9.45000*	3.13643	.043	.1835	18.7165
	clear	4.26000	3.13643	.751	-5.0065	13.5265
	BBAS 10%	3.65000	3.13643	.852	-5.6165	12.9165
	BBAS 15%	3.70000	3.13643	.845	-5.5665	12.9665
	Si 3%	.30000	3.13643	1.000	-8.9665	9.5665
Si 3%	major 4F	9.15000	3.13643	.055	-.1165	18.4165
	clear	3.96000	3.13643	.804	-5.3065	13.2265
	BBAS 10%	3.35000	3.13643	.892	-5.9165	12.6165
	BBAS 15%	3.40000	3.13643	.886	-5.8665	12.6665
	Si 1%	-.30000	3.13643	1.000	-9.5665	8.9665

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TBS

Tukey HSD

name	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
major 4F	10	21.4000	
clear	10	26.5900	26.5900
BBAS 15%	10	27.1500	27.1500
BBAS 10%	10	27.2000	27.2000
Si 3%	10	30.5500	30.5500
Si 1%	10		30.8500
Sig.		.055	.751

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ตารางที่ 37 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

Descriptive Statistics

name		N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
major 4F	TBS	10	21.4000	6.37181	15.00	32.30
clear	TBS	10	26.5900	7.18833	13.50	36.20
Si 3%	TBS	10	30.5500	5.06036	19.30	36.40
Si 3%+EG 10%	TBS	10	23.5440	6.94792	8.54	31.00
Si 3%+EG 20%	TBS	10	23.7900	4.51847	17.30	31.20

ตารางที่ 38 แสดงการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลในการทดสอบความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

name			TBS
major 4F	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	21.4000
		Std. Deviation	6.37181
	Most Extreme Differences	Absolute	.298
		Positive	.298
		Negative	-.158
	Kolmogorov-Smirnov Z		.942
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.338
clear	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	26.5900
		Std. Deviation	7.18833
	Most Extreme Differences	Absolute	.337
		Positive	.184
		Negative	-.337
	Kolmogorov-Smirnov Z		1.064
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.207
Si 3%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	30.5500
		Std. Deviation	5.06036
	Most Extreme Differences	Absolute	.172
		Positive	.124
		Negative	-.172
	Kolmogorov-Smirnov Z		.543
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.930
Si 3%+EG 10%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	23.5440

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

		Std. Deviation	6.94792
	Most Extreme Differences	Absolute	.246
		Positive	.142
		Negative	-.246
	Kolmogorov-Smirnov Z		.778
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.581
Si 3%+EG 20%	N		10
	Normal Parameters[a]	Mean	23.7900
		Std. Deviation	4.51847
	Most Extreme Differences	Absolute	.203
		Positive	.203
		Negative	-.131
	Kolmogorov-Smirnov Z		.642
	Asymp. Sig. (2-tailed)		.805

a. Test distribution is Normal.

ตารางที่ 39 แสดงการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละกลุ่มในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

Test of Homogeneity of Variances

TBS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.033	4	45	.400

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 40 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

ANOVA

TBS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	497.219	4	124.305	3.331	.018
Within Groups	1679.125	45	37.314		
Total	2176.344	49			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 41 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อนของข้อมูลในการทดสอบ ความแข็งแรงการยึดติดกับฐานฟันเทียมของอะคริลิกชนิดดัดแปรที่มีวัสดุอัดแทรกร่วมกับสารเชื่อมขวาง

Multiple Comparisons

TBS

Tukey HSD

(I) name	(J) name	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
major 4F	clear	-5.19000	2.73181	.332	-12.9523	2.5723
	Si 3%	-9.15000*	2.73181	.014	-16.9123	-1.3877
	Si 3%+EG 10%	-2.14400	2.73181	.934	-9.9063	5.6183
	Si 3%+EG 20%	-2.39000	2.73181	.905	-10.1523	5.3723
clear	major 4F	5.19000	2.73181	.332	-2.5723	12.9523
	Si 3%	-3.96000	2.73181	.600	-11.7223	3.8023
	Si 3%+EG 10%	3.04600	2.73181	.798	-4.7163	10.8083
	Si 3%+EG 20%	2.80000	2.73181	.843	-4.9623	10.5623
Si 3%	major 4F	9.15000*	2.73181	.014	1.3877	16.9123
	clear	3.96000	2.73181	.600	-3.8023	11.7223
	Si 3%+EG 10%	7.00600	2.73181	.095	-.7563	14.7683
	Si 3%+EG 20%	6.76000	2.73181	.115	-1.0023	14.5223
Si 3%+EG 10%	major 4F	2.14400	2.73181	.934	-5.6183	9.9063
	clear	-3.04600	2.73181	.798	-10.8083	4.7163
	Si 3%	-7.00600	2.73181	.095	-14.7683	.7563
	Si 3%+EG 20%	-.24600	2.73181	1.000	-8.0083	7.5163
Si 3%+EG 20%	major 4F	2.39000	2.73181	.905	-5.3723	10.1523
	clear	-2.80000	2.73181	.843	-10.5623	4.9623
	Si 3%	-6.76000	2.73181	.115	-14.5223	1.0023
	Si 3%+EG 10%	.24600	2.73181	1.000	-7.5163	8.0083

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TBS

Tukey HSD

name	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
major 4F	10	21.4000	
Si 3%+EG 10%	10	23.5440	23.5440
Si 3%+EG 20%	10	23.7900	23.7900
clear	10	26.5900	26.5900
Si 3%	10		30.5500
Sig.		.332	.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

ผู้ทำแม่แบบ จัดหาวัตถุดิบและฉีดขึ้นรูปพลาสติกของฟันเทอร์โมพลาสติก

คุณ วิกันย์ พวงแก้ว

บริษัท แพนพรีซิสชั่น จำกัด

Pan Precision Product Co., Ltd. (PCP)

18/278 หมู่ 3 ซอยสวัสดิการ 2 แยก 8 ถนนเพชรเกษม 77 เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร

โทร. 66 2-809-7200-1

แฟ็กซ์ 66 2-421-4265

Website: http://www.panprecision.com

Email: pcp.pan2000@gmail.com

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว กาญจนาพร มิ่งมงคลชัยกุล เกิดเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม พ .ศ. 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็ จการศึกษาปริญญาตรีทันตแพทยศาสตรบัณฑิตจากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปี พ .ศ. 2548 เข้ารับราชการตำแหน่งทันตแพทย์ 4 ที่โรงพยาบาลพาน จังหวัดเชียงราย เป็นเวลา 1 ปี และโรงพยาบาลแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย เป็นเวลา 2 ปี และได้เ ข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมประดิษฐ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย