



ผลของวัสดุรองพื้นต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตในรูสกรูของครอบฟัน  
เซอโรโคเนียบนรากเทียม หลังการรับแรงล้า

EFFECT OF BASE MATERIALS ON THE FRACTURE RESISTANCE OF RESIN COMPOSITE  
IN SCREW ACCESS HOLE OF IMPLANT-SUPPORTED ZIRCONIA CROWN AFTER  
FATIGUE LOADING

พีรดา ทรงถาวรทวี

ผลของวัสดุรองพื้นต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตในรูสกรูของครอบฟัน  
เซอร์โคเนียบนรากเทียม หลังการรับแรงล้า



พีรดา ทรงถาวรทวี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมคลินิก  
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2568  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECT OF BASE MATERIALS ON THE FRACTURE RESISTANCE OF RESIN COMPOSITE  
IN SCREW ACCESS HOLE OF IMPLANT-SUPPORTED ZIRCONIA CROWN AFTER  
FATIGUE LOADING



PEERADA SONGTHAWONTHAVEE

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2025

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของวัสดุรองพื้นต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตในรูสกรูของครอบ

ฟันเซอร์โคเนียบนรากเทียม หลังการรับแรงล้า

ของ

พีรดา ทรงถาวรทวี

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์จักรชัย เอกปัญญากุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา	..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุดมิ)
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐพล กิตติคุณเดชา)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชื่นชีวิต ทองศิริ)

ชื่อเรื่อง	ผลของวัสดุรองพื้นต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตในรูสกรูของครอบฟันเซอรโคเนียบนรากเทียม หลังการรับแรงล้า
ผู้วิจัย	พีรดา ทรงถาวรทวี
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2568
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์
ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ณัฐพล กิตติคุณเดชา

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุรองพื้นต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ปิดรูสกรูของครอบฟันเซอรโคเนียบนรากเทียมทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้า โดยใช้วัสดุรองพื้น 3 ชนิด ได้แก่ เทปพันเกลียว, กัดทาเพอร์ชา และวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต แบ่งกลุ่มเป็นก่อนและหลังรับแรงล้า มี 3 กลุ่มย่อยตามชนิดของวัสดุรองพื้น ( $n=6$ ) ทดสอบค่าความต้านทานการแตกหักด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ และทำการรับแรงล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้า จำนวน 500,000 รอบ ที่แรง 25 นิวตัน (N) วิเคราะห์ทางสถิติความแปรปรวนทางเดียวและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการจับคู่แบบทูเกีย ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) ผลการทดลองพบว่าทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้า วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตให้ค่าความต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุด รองลงมาคือกัดทาเพอร์ชา ส่วนเทปพันเกลียวให้ค่าต่ำที่สุด โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ระหว่างวัสดุทั้งสามชนิด ทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้า อย่างไรก็ตามพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบค่าภายในวัสดุชนิดเดียวกันระหว่างก่อนและหลังความล้า ( $p < 0.05$ ) ของเทปพันเกลียว โดยสรุปวัสดุรองพื้นที่ต่างชนิดกันส่งผลต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตที่ใช้ปิดรูในชิ้นงานประเภทเซอรโคเนียที่แตกต่างกัน ทั้งนี้หากพิจารณาค่าความต้านทานการแตกหักที่ทดสอบได้เทียบกับแรงบดเคี้ยวโดยทั่วไป ร่วมกับปัจจัยอื่นๆ พบว่าสามารถเลือกใช้วัสดุได้ทั้ง 3 ชนิด เพียงแต่ต้องมีการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมตามเงื่อนไขของผู้ป่วยแต่ละบุคคล อย่างเช่นผู้ป่วยที่มีอาการนอนกัดฟัน มีการบดเคี้ยวที่ทำงานผิดปกติ หรือความสามารถในการเข้ารับการรักษาติดตาม

คำสำคัญ: วัสดุรองพื้น, รูสกรูของครอบฟันเซอรโคเนียบนรากเทียม, ความต้านทานการแตกหัก

Title	EFFECT OF BASE MATERIALS ON THE FRACTURE RESISTANCE OF RESIN COMPOSITE IN SCREW ACCESS HOLE OF IMPLANT-SUPPORTED ZIRCONIA CROWN AFTER FATIGUE LOADING
Author	PEERADA SONGTHAWONTHAVEE
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2025
Advisor	Vibul Paisankobrit, Ph.D.
Co-Advisor	Nuttaphon Kittikundecha, Ph.D.

This study aimed to evaluate the effect of different base materials on the fracture resistance of resin composite used to seal screw access holes of zirconia implant crowns, before and after fatigue loading. Three base materials were tested: polytetrafluoroethylene tape (PTFE tape), gutta-percha, and temporary filling material (Cavit<sup>a</sup>). Specimens were divided into pre- and post-fatigue groups with three subgroups according to the base material (n = 6). Fracture resistance was tested using a universal testing machine, and fatigue loading was performed for 500,000 cycles at 25 N. Data were analyzed by one-way ANOVA and Tukey's post hoc test at a 95% confidence level ( $\alpha = 0.05$ ). Cavit<sup>a</sup> showed the highest fracture resistance both before and after fatigue loading, followed by gutta-percha, while PTFE tape showed the lowest values. Statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) were found among all materials, and within the PTFE group between pre- and post-fatigue conditions. In conclusion, different base materials significantly affected the fracture resistance of resin composite restorations on zirconia specimens. Considering the fracture resistance values in general masticatory forces together with other factors, all three materials are clinically applicable, but should be selected according to individual patient conditions such as bruxism, parafunctional habits, and follow-up capability.

Keywords: base material, screw access hole, fracture resistance

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ซึ่งผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างจริงใจ ก่อนอื่นต้องขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับอาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย อาจารย์ ดร.ทพ.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ และ อาจารย์ ดร.ทพ.ณัฐพล กิตติคุณเดชา อาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมอนุรักษและทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้คำปรึกษาถึงแนวทางการดำเนินงานวิจัยในทุกขั้นตอน รวมถึงตรวจสอบและแนะนำแนวทางการแก้ไขปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความเมตตาและใส่ใจมาโดยตลอด ความรู้และประสบการณ์ที่อาจารย์ถ่ายทอดให้ถือเป็นสิ่งล้ำค่าที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ รวมถึงขอขอบคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ทั้งในการใช้สถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงสนับสนุนงบประมาณที่ช่วยให้งานวิจัยดำเนินไปอย่างราบรื่น และสุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณความช่วยเหลือจากครอบครัว เพื่อนพี่น้อง และบุคคลรอบข้างที่เกี่ยวข้องที่คอยเป็นกำลังใจ อยู่เคียงข้าง และให้แรงสนับสนุนทั้งทางจิตใจและการปฏิบัติในทุกช่วงเวลา การดูแลและแรงใจจากทุกคนเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถก้าวผ่านอุปสรรคต่างๆ และทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

พีรดา ทรงถาวรทวี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฉ
สารบัญรูปภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย .....	2
ความสำคัญของการวิจัย .....	3
ขอบเขตของการวิจัย .....	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
ตัวแปรอิสระ.....	3
ตัวแปรตาม .....	3
ตัวแปรควบคุม.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย .....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
สมมติฐานที่ 1 .....	4
สมมติฐานที่ 2 .....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
การยึดติดระหว่างวัสดุเซอรโคเนียและเรซินคอมโพสิต .....	5
เซอรโคเนีย .....	5
เรซินคอมโพสิต .....	9
ชนิดของวัสดุรองพื้น.....	15
เทปพันเกลียว (Polytetrafluoroethylene; PTFE tape).....	15
กัตกาเพอร์ชา (Gutta percha) .....	17
วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (Temporary filling; Cavit™) .....	18

การทดสอบความต้านทานการแตกหัก .....	20
การทดสอบการรับแรงล้า.....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
การออกแบบงานวิจัย .....	23
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง .....	23
ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย .....	23
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย .....	23
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ .....	24
ขั้นตอนการทดลอง.....	26
การเตรียมชิ้นงานเซอร์โคเนีย .....	26
การเตรียมปิดรูชิ้นงานเซอร์โคเนีย .....	29
การทดสอบความต้านทานการแตกหัก ก่อนรับแรงล้า .....	31
การทดสอบความต้านทานการแตกหัก หลังรับแรงล้า .....	32
การศึกษารูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน (Failure mode analysis).....	33
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	34
บทที่ 4 ผลการดำเนินวิจัย .....	35
ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า .....	36
ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า.....	38
รูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน (Mode of failure) .....	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	43
สรุปผลการวิจัย.....	43
อภิปรายผลการวิจัย .....	44
ข้อเสนอแนะ .....	48
บรรณานุกรม .....	49
ภาคผนวก.....	56

## สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การเปรียบเทียบความแข็งแรงและความโปร่งแสงของเซอริโคเนียที่มีปริมาณอิตเทรียมและอะลูมินาที่แตกต่างกัน.....	8
ตาราง 2 การนำ PTFE ไปใช้ในทางทันตกรรม.....	16
ตาราง 3 คุณสมบัติทางกายภาพของกัตทาเพอร์ช่า.....	17
ตาราง 4 ชื่อผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน.....	37
ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนียแบบรายคู่ ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน.....	37
ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน.....	39
ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนียแบบรายคู่ ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน.....	39
ตาราง 9 ผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตที่มีวัสดุรองพื้นที่ต่างชนิดกัน 3 ชนิด บนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล้า.....	40
ตาราง 10 ร้อยละ อัตราส่วนรูปแบบการแตกหักของชิ้นงานในแต่ละกลุ่มการทดลอง.....	41
ตาราง 11 การทดสอบการແจกแฉงของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า.....	57
ตาราง 12 การทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของ.....	57
ตาราง 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า.....	57
ตาราง 14 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของของความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า.....	58
ตาราง 15 การทดสอบการແจกแฉงของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า.....	58

ตาราง 16 การทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซิน  
คอมโพสิต หลังรับแรงด้า .....58

ตาราง 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต  
หลังรับแรงด้า..... 59

ตาราง 18 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของความแปรปรวนของความต้านทาน  
การแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงด้า ..... 59



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย .....	4
ภาพประกอบ 2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเซอริโคเนีย .....	6
ภาพประกอบ 3 ทรานฟอร์เมชันทัฟเทนนิ่ง (transformation toughening) .....	7
ภาพประกอบ 4 เซอริคอน เอชที .....	7
ภาพประกอบ 5 การพัฒนาของวัสดุคอมโพสิต .....	9
ภาพประกอบ 6 การแบ่งประเภทเรซินคอมโพสิตตามวัสดุอุดแทรก .....	10
ภาพประกอบ 7 เรซินคอมโพสิตชนิดกอดัด Z350 .....	11
ภาพประกอบ 8 ความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิตที่สัมพันธ์กับปริมาณวัสดุอุดแทรก .....	12
ภาพประกอบ 9 พื้นผิวของเซอริโคเนีย ภายหลังจากปรับสภาพพื้นผิวด้วยการเป่าทราย (ซ่าย) และการใช้หัวกรอกากเพชร (ขวา).....	13
ภาพประกอบ 10 เคลียร์ฟิลด์ ยูนิเวอร์แซล บอนด์ ควิก (Clearfil Universal Bond Quick, Kararay Noritake) .....	15
ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างวัสดุเทปพันเกลียว (PTFE tape) .....	16
ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างกัตทาเพอร์ชา .....	18
ภาพประกอบ 13 วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต .....	19
ภาพประกอบ 14 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine; Shimadzu, EZ-LX Long-Stroke Model) .....	20
ภาพประกอบ 15 เครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON) .....	22
ภาพประกอบ 16 การออกแบบชิ้นงานเซอริโคเนีย (Cercon® HT A3, Dentsply Sirona, USA) ด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม TinkerCad (TinkerCad Web base, Finland) .....	27
ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างการจำลองเรียงชิ้นงานบนแผ่นเซอริโคเนียก่อนกลึงด้วยเครื่องกลึง (S2, VHF, Germany) .....	27
ภาพประกอบ 18 รูปแบบชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย .....	27
ภาพประกอบ 19 การเป่าทรายด้วยเครื่องเป่าทราย (Basic eco; Fine sandblasting unit, Renfert Germany) .....	28

ภาพประกอบ 20 การทำความสะอาดชิ้นงานเซอร์โคเนียด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (Easyclean; Ultrasonic cleaning unit, Renfert Germany) .....	28
ภาพประกอบ 21 สุญญากาศและการยึดชิ้นงานเซอร์โคเนีย .....	29
ภาพประกอบ 22 การเตรียมชิ้นงานภายหลังเทปูนแล้ว .....	29
ภาพประกอบ 23 ชิ้นงานที่เรียบร้อย ก่อนนำไปทดสอบ .....	30
ภาพประกอบ 24 ผลิตภัณฑ์แต่ละส่วนในชิ้นงาน .....	31
ภาพประกอบ 25 แผนผังวิธีดำเนินการวิจัย .....	31
ภาพประกอบ 26 ชิ้นงานขณะทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ .....	32
ภาพประกอบ 27 ชิ้นงานขณะทดสอบการรับแรงล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้า .....	33
ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างรูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน (A) รูปแบบการแตกหักแบบยึดติด และ (B) รูปแบบการแตกหักแบบผสม .....	42
ภาพประกอบ 29 เครื่องล้างความถี่สูง (Easyclean; Ultrasonic cleaning unit, Renfert Germany) .....	59
ภาพประกอบ 30 เครื่องเป่าทราย (Basic eco; Fine sandblasting unit, Renfert Germany) ...	60
ภาพประกอบ 31 ขณะใช้เครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein) .....	60
ภาพประกอบ 32 การนำวัสดุรองพื้นเทพทันเกลียว กัททาเพอร์ชา และวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (ตามลำดับ) ใส่ลงในรูชิ้นงานเซอร์โคเนีย .....	61
ภาพประกอบ 33 การถ่วงน้ำหนักด้วยก้อนโลหะ 2.5 กิโลกรัม .....	61
ภาพประกอบ 34 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu) .....	61
ภาพประกอบ 35 เครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON) .....	62

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

ในทางทันตกรรมการจัดการตำแหน่งที่มีการสูญเสียฟันไป สามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการใส่ฟันปลอมถอดได้ ฟันปลอมติดแน่น หรือรากเทียม ปัจจุบันการทดแทนฟันที่สูญเสียไปด้วยการทำรากเทียมมีความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความใกล้เคียงฟันธรรมชาติมาก มีอัตราการอยู่รอดและความสำเร็จของการรักษาอยู่ในระดับที่ดีเยี่ยม<sup>(1)</sup> มีค่าใช้จ่ายที่น้อยลง ซึ่งรากเทียมนั้นมีครอบฟันอยู่ด้านบน โดยครอบฟันสามารถสร้างขึ้นด้วยวัสดุหลายชนิด อย่างเช่นโลหะ ล้วน โลหะเคลือบพอร์ซเลนหรือเซรามิกล้วน ซึ่งปัจจุบันมักจะเลือกสร้างครอบฟันด้วยเซรามิกล้วน ประเภทเซอโรโคเนีย เนื่องจากมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) สามารถพัฒนาให้เกิดความสวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติ มีความแข็งผิว (surface hardness) สูง ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี และมีกำลังแรงดัดขวาง (flexural strength) สูง<sup>(2)</sup> รากเทียมนั้นจะยึดติดกับครอบฟันด้านบนได้ด้วยซีเมนต์ (cement-retained implant) หรือสกรู (screw-retained implant)<sup>(3)</sup> ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของช่องปากคนไข้ ไม่ว่าจะ เป็นช่องว่างระหว่างสบฟัน (interocclusal space) หรือตำแหน่งของรากเทียม กรณีการยึดติดครอบฟันบนรากเทียมด้วยสกรู จะมีส่วนของรูสกรู (Screw Access Hole; SAH) เพื่อเป็นทางเข้า-ออก สำหรับการไขสกรู ตำแหน่งของรูสกรูจะขึ้นอยู่ กับตำแหน่งของรากเทียม คู่สบด้านตรงข้าม และองค์ประกอบของครอบฟัน<sup>(4)</sup> มักจะอยู่ตำแหน่งตรงกลางของครอบฟัน เพื่อลดการรบกวนโครงสร้างของด้านบนเคี้ยว<sup>(5)</sup> และมีข้อได้เปรียบคือ สามารถถอดออกได้เมื่อต้องการ (retrievability)<sup>(6)</sup> หากต้องการแก้ไข ซ่อมแซมภายหลังการยึดครอบฟันกับรากเทียมแล้ว และการยึดครอบฟันบนรากเทียมด้วยสกรู จะต้องมีการบูรณะปิดรูสกรู เพื่อไม่ให้มีคราบพลัค (dental plaque) เศษอาหารเข้าไปสะสม หรือเกิดการรั่วซึมได้ และเพื่อให้ด้านบนเคี้ยวของคนไข้สามารถเคี้ยวอาหาร ใช้งานได้อย่างปกติ มีความสวยงามที่เหมาะสม และเป็นการปกป้องสกรู โดยเฉพาะในส่วนของหัวสกรูซึ่งเป็นส่วนสำคัญ เป็นบริเวณที่จะนำเครื่องมือลงไปไขสกรู เพื่อบูรณะแก้ไขครอบฟัน การปิดรูสกรูมักจะปิดด้วยวัสดุรองพื้น (base material) ด้านล่างและปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตด้านบน (resin composite)

ภายหลังการบูรณะปิดรูสกรุนั้น อาจพบการรั่วซึมได้ ซึ่งในปัจจุบันความสัมพันธ์กับการเกิดเนื้อเยื่ออักเสบรอบรากเทียม (peri-implantitis) ลดน้อยลง เนื่องจากการเกิดเนื้อเยื่ออักเสบรอบรากเทียม มีจุดสำคัญตรงบริเวณช่องระหว่างส่วนยึดหลัก (implant abutment) กับรากเทียม (implant screw) ที่ฝังอยู่ภายในกระดูก (implant-abutment junction) ซึ่งหากมีช่องว่างขนาดเล็ก

(microgap) เกิดขึ้นบริเวณนี้จะส่งผลให้เกิดการขยับเล็กน้อย (Micromovement) ของส่วนยึดหลัก ก่อให้เกิดลักษณะการสูบน้ำจากภายนอก (micropumping effect) ทำให้แบคทีเรียเข้าด้านใน ซึ่งส่งผลให้สันกระดูก (crestal bone) บริเวณรอบรากเทียมเกิดการละลายตัว เกิดเนื้อเยื่อรอบรากเทียมอักเสบได้<sup>(7)</sup> แต่ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงออกแบบในส่วนระหว่างส่วนยึดหลักกับรากเทียมที่ฝังอยู่ภายในกระดูก ให้มีส่วนติดต่อกันเป็นรูปร่างกรวย (conical connection) มีความแนบสนิทที่มากขึ้นมาก และอีกส่วนคือการขยับบ่าของส่วนยึดหลักให้ห่างจากขอบของสันกระดูก (platform switch)<sup>(8)</sup> ดังนั้นการให้ความสำคัญของการเกิดการรั่วซึมจึงน้อยลง หากแต่ยังพบการแตกหักของวัสดุบูรณะปิดรูสกรูของครอบฟันบนรากเทียม ซึ่งเป็นปัญหาที่พบได้มากที่สุดของครอบฟันบนรากเทียม<sup>(9)</sup> การแตกหักเสียหายของวัสดุบูรณะในรูสกรู ส่งผลให้มีคราบพลัค เศษอาหารติดด้านใน ส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์ (malodor)<sup>(10)</sup> มีกลิ่นปาก ทำให้คนไข้เกิดความไม่สะดวกสบายและไม่มั่นใจในการเข้าสังคม

โดยการปิดรูสกรูด้วยเรซินคอมโพสิตด้านบนนั้น จะมีการใส่วัสดุรองพื้นลงไปก่อน ไม่ว่าจะ เป็นสำลี (cotton pellets), เทปพันเกลียว (polytetrafluoroethylene tape; PTFE tape), กัตทาเพอร์ธา (gutta percha) วัสดุบูรณะชั่วคราว (temporary filling; Cavit™), เรซินอะคริลิก (acrylic resin; PMMA) หรือวัสดุพิมพ์ปากซิลิโคน (vinyl polysiloxane) เพื่อการแก้ไขที่ง่าย ไม่ทำลายบริเวณหัวของสกรู คงความสามารถในการรีดออก ซ่อมแซมได้ และเพื่อให้สอดคล้องกับการบดเคี้ยวที่เกิดขึ้น จึงร่วมกับการทดสอบการรับแรงล้า ซึ่งมีลักษณะการให้แรงกระทำต่อวัสดุเป็นแรงกระทำซ้ำๆ (cyclic forces) จนทำให้วัสดุเกิดความเสียหายขึ้นจากความล้า

แต่อย่างไรก็ตามการเลือกวัสดุรองพื้นยังเป็นไปตามความพึงพอใจของทันตแพทย์ ผู้ปฏิบัติงาน (personal preference)<sup>(11)</sup> ทำให้ยังคงพบปัญหาการแตกหักของวัสดุบูรณะปิดรูสกรูของครอบฟันบนรากเทียมอยู่ ซึ่งคาดว่าวัสดุรองพื้นเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของวัสดุบูรณะปิดรูสกรู จึงเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้เพื่อศึกษา การใส่วัสดุรองพื้นที่ต่างชนิดกันอาจส่งผลต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบริเวณรูสกรูของครอบฟันบนรากเทียม ทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้า

## ความมุ่งหมายของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

1. ผลของวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกอดัดบนรูในชิ้นงานเซอร์โคเนีย ก่อนรับแรงล้า

2. ผลของวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัดบนรูในชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า

โดยจะทำการเปรียบเทียบผลของวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัดบนรูในชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย ก่อนและหลังการรับแรงล้า

### ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษานี้ต้องการทดสอบหาความต้านทานการแตกหัก ทั้งก่อนและหลังรับแรงล้าของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัดบนรูในชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย ซึ่งจำลองรูสกรูในครอบฟันบนรากเทียม ที่อาจจะมีปัจจัยจากวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน เพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นต่อการใช้รากเทียมและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในคลินิกและเป็นแนวทางในการเลือกชนิดของวัสดุรองพื้นที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น

### ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) โดยจะนำวัสดุรองพื้นทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ เทปพินเกลียว (polytetrafluoroethylene; PTFE tape), กัททาเพอร์ชา (gutta percha), วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (temporary filling; Cavit™) รองไว้ด้านล่างปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัด บนชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย เพื่อศึกษาผลของวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัด ก่อนและหลังรับแรงล้า

### ตัวแปรที่ศึกษา

#### ตัวแปรอิสระ

ชนิดของวัสดุรองพื้น

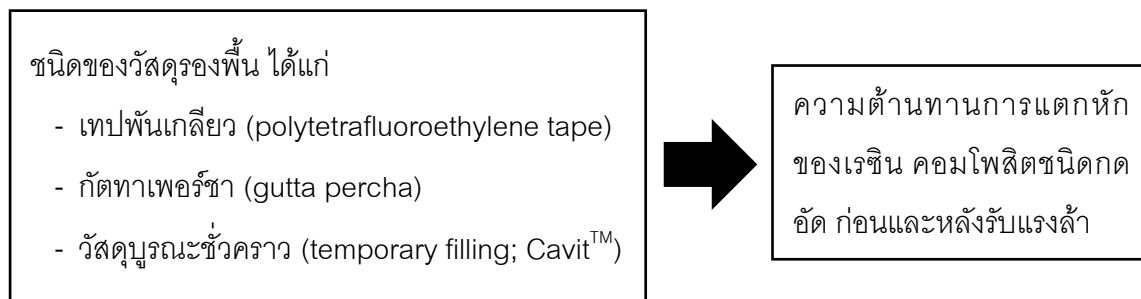
#### ตัวแปรตาม

ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัด ก่อนและหลังรับแรงล้า

#### ตัวแปรควบคุม

ขนาดและประเภทของชิ้นงานเซอริโคเนีย, ขนาดรูบนชิ้นงานเซอริโคเนีย, ปริมาณของวัสดุรองพื้นแต่ละชนิด, พื้นที่ความลึกของรูบนชิ้นงานเซอริโคเนีย, ปริมาณและชนิดของเรซินคอมโพสิต ชนิดกักอัด, สารยึดติด, ตำแหน่งรูสกรู และตำแหน่งหัวทดสอบของเครื่องทดสอบ

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

## สมมติฐานการวิจัย

### สมมติฐานที่ 1

$H_0$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่ไม่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนรับแรงล้า

$H_1$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนรับแรงล้า

### สมมติฐานที่ 2

$H_0$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่ไม่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า

$H_1$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า

## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

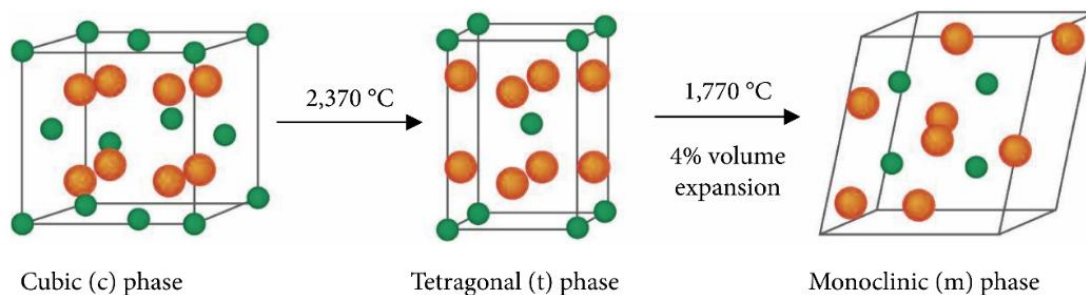
ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อ ต่อไปนี้

1. การยึดติดระหว่างวัสดุเซอร์โคเนียและเรซินคอมโพสิต
2. ชนิดของวัสดุรองพื้น
3. การทดสอบความต้านทานการแตกหัก
4. การทดสอบความล้มการยึดติด

### การยึดติดระหว่างวัสดุเซอร์โคเนียและเรซินคอมโพสิต

#### เซอร์โคเนีย

เซอร์โคเนียคือคริสตัลไลน์ ไดออกไซด์ (crystalline dioxide) ของเซอร์โคเนียม ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานทันตกรรม ไม่ว่าจะเป็นความทนทาน (toughness) ความแข็งแรง (strength) และการต้านทานความล้า (fatigue resistance) ที่สูง รวมถึงคุณสมบัติต้านทานการสึก (wear properties) และความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ที่ดีเยี่ยม<sup>(12)</sup> กล่าวคือมีคุณสมบัติเชิงกลคล้ายกับโลหะ แต่มีสีที่คล้ายเนื้อฟัน โดยเป็นเซรามิกชนิดหนึ่ง ที่มีภาวะเป็นพหุสัณฐาน (polymorph) คือการเปลี่ยนแปลงได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ โมโนคลินิก (monoclinic), คิวบิก (cubic) และ เทตราโกนอล (tetragonal) โดยเซอร์โคเนีย บริสุทธิ์ (pure zirconia) จะมีรูปแบบเป็นโมโนคลินิก ณ อุณหภูมิห้อง และจะมีเสถียรภาพในรูปแบบนี้ ไปจนถึงอุณหภูมิ 1170 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงไปกว่านั้น เซอร์โคเนียจะเปลี่ยนรูปแบบไปเป็นเทตราโกนอล จนอุณหภูมิ 2370 องศาเซลเซียส จะกลายเป็นรูปแบบของคิวบิก และหากเมื่อปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลง จะเปลี่ยนรูปแบบกลับไปเป็นเทตราโกนอลและโมโนคลินิก ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบดังกล่าวเรียกว่า มาร์เทนไซต์ิก ทรานส์ฟอร์มเมชัน (martensitic transformation) คือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ไม่มีการทำลายโครงสร้างเดิม โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรขยายเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนรูปแบบ ประมาณ ร้อยละ 3-4 แต่พบว่าความเค้น (stresses) ที่เกิดขึ้นภายหลังการเผาผนึก (sintering) ที่อุณหภูมิช่วง 1,500-1,700 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีรอยร้าว (crack)



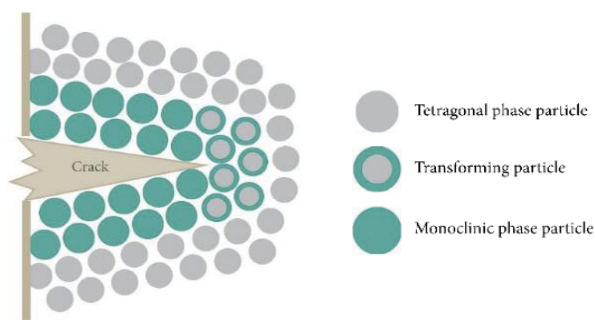
ภาพประกอบ 2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของเซอร์โคเนีย

ที่มา: Jitwirachot K, Rungsiyakull P, Holloway JA, Jia-mahasap W. Wear Behavior of Different Generations of Zirconia: Present Literature. International Journal of Dentistry. 2022;2022:9341616.<sup>(13)</sup>

ในเซอร์โคเนียบริสุทธิ์ เมื่อต้องการที่จะคงรูปผลึกไว้ อย่างเช่นเมื่ออุณหภูมิต่ำลงถึง อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้อุณหภูมิยังคงรูปผลึกเป็นเททราโกนอลหรือคิวบิกอยู่เช่นเดิม ภายหลังจึงมีการเติมสารประกอบออกซิเจนในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ (stabilizing oxides) อย่างเช่น แคลเซียมออกไซด์ (CaO), แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO), ซีเรียมออกไซด์ (CeO<sub>2</sub>) และ อิตเทรียมออกไซด์ (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) เพื่อให้ได้เป็นเซอร์โคเนียที่มีเสถียรภาพบางส่วน (Partially Stabilized Zirconia; PSZ) จะประกอบด้วย รูปแบบหลักเป็นคิวบิก และมีรูปแบบโมโนคลินิกและเททราโกนอลเป็นรูปแบบรอง<sup>(14)</sup>

เซอร์โคเนียทางทันตกรรมมักจะถูกเติมด้วยอิตเทรียมออกไซด์ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด สำหรับการนำไปใช้ จะได้เซอร์โคเนียที่มีรูปแบบเททราโกนอล ณ อุณหภูมิต่ำ เรียกว่า เททราโกนอลเซอร์โคเนียพอลิคริสตัล (tetragonal zirconia polycrystal; TZP)<sup>(15)</sup> เพื่อให้เกิดเสถียรภาพ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกคริสตัล ขณะเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นและช่วยทำให้คุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ดีขึ้น

เมื่อมีแรงกระทำจะมีการเปลี่ยนรูปแบบจากเททราโกนอลไปเป็นโมโนคลินิก ซึ่งมีการขยายตัวเชิงปริมาตรที่เพิ่มมากขึ้น ร้อยละ 4 หากมีรอยร้าว (crack) เกิดขึ้น จะสามารถยับยั้งการขยายตัวของรอยร้าวได้ กระบวนการนี้เรียก ทรานส์ฟอร์เมชันทัฟเทนิง (transformation toughening)<sup>(16)</sup>



ภาพประกอบ 3 ทรานฟอร์เมชันทัฟเทนนิ่ง (transformation toughening)

ที่มา: Jitwirachot K, Rungsiyakull P, Holloway JA, Jia-mahasap W. Wear Behavior of Different Generations of Zirconia: Present Literature. International Journal of Dentistry. 2022;2022:9341616.<sup>(13)</sup>

เซอร์โคเนียที่เติมด้วยอิตเทรียมออกไซด์ ร้อยละ 3 โดยโมล (3 mol%) จะถูกเรียกว่า อิตเทรียมเททราโกนอลเซอร์โคเนียพอลิคริสตัล (Yttrium Tetragonal Zirconia Polycrystal; 3Y-TZP) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานทันตกรรม เพื่อสร้างเป็นวัสดุบูรณะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นครอบฟันและฟันปลอมติดแน่นบางส่วน (fixed partial denture)



ภาพประกอบ 4 เซอร์คอน เอชที

ที่มา: Sirona D. The strongest all-ceramic dental restoration material on the market [Available from: <https://www.dentsplysirona.com/en-gb/categories/lab/zirconia.html>].<sup>(17)</sup>

ตัวอย่าง 3Y-TZP ที่นิยมใช้อย่าง เซอร์คอน เอชที (Cercon® HT, Dentsply Sirona) มีค่ากำลังแรงดัดขวาง (flexural Strength) อยู่ที่ 1200 เมกกะปาสกาล มีองค์ประกอบเป็น เซอร์โคเนียออกไซด์ (zirconium oxide), อิตเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide; ร้อยละ5) , ฮาฟเนียม ออกไซด์ (hafnium oxide; < ร้อยละ3), อะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิคอนออกไซด์ (aluminium oxide, silicon oxide; < ร้อยละ1)<sup>(18)</sup>

ชิ้นงานทันตกรรมบูรณะสามารถสร้างได้ 2 วิธีจากเทคนิคแคดแคม (CAD-CAM; computer-aided design and computer-aided manufacturing) วิธีแรก คือซอฟต์แวร์แช่ซึนนิ่ง (soft machining) จากวัสดุก่อนการเผา (pre-sintered) แล้วตามด้วยกระบวนการเผาด้วยอุณหภูมิสูง หรือวิธี ฮาร์ดแมชชีนนิ่ง (hard machining) ของวัสดุที่เผาเต็มที่แล้ว (fully sintered)<sup>(16)</sup>

ใน 3Y-TZP รุ่นแรกจะประกอบด้วยอะลูมินา ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ร้อยละ 0.25 โดยมวล มีความแข็งแรงมากกว่า 1,000 เมกกะปาสกาล แต่พบว่ามีค่าความทึบแสงที่สูง เนื่องจากเกิดการแบ่งแยกของแสง (birefringence) ของเซอร์โคเนียที่ไม่ใช่รูปแบบคิวบิก ส่งผลให้เกิดการกระเจิงแสงและมีรูพรุน ทำให้แสงส่องผ่านเซอร์โคเนียออกมาได้ไม่เต็มที่ ต่อมามีการพัฒนาเซอร์โคเนียให้มีความใสและโปร่งแสงมากขึ้น

ตาราง 1 การเปรียบเทียบความแข็งแรงและความโปร่งแสงของเซอร์โคเนียที่มีปริมาณอิตเทรียมและอะลูมินาที่แตกต่างกัน

Zirconia	Translucency (%)	Biaxial Flexural Strength (MPa)
3Y-TZP	20 <sup>3</sup>	1200 <sup>3</sup>
3Y-TZP (reduced $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	25 <sup>3</sup>	1000 <sup>3</sup>
5Y-TZP	35-40 <sup>3</sup>	500 <sup>3</sup>
4Y-TZP	30	900
Desirable values for single-unit FDP (lateral tooth area)	N/A	100 <sup>30</sup>
Desirable values for multiple-unit FDP	N/A	800 <sup>30</sup>

ที่มา: Jansen JU, Lümekemann N, Letz I, Pfefferle R, Sener B, Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3 Y-TZP and 4 Y-TZP zirconia materials. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2019;122(4):396-403.<sup>(19)</sup>

โดยการเพิ่มปริมาณของอิตเทรียมมากขึ้นเป็น ร้อยละ 4 (4Y-PSZ) หรือ ร้อยละ 5 (5Y-PSZ) โดยโมล เพื่อเพิ่มปริมาณของเซอร์โคเนียที่รูปแบบคิวบิก แต่พบว่าการปรับปรุงความโปร่งแสงที่มากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงและความทนทานลดน้อยลง เนื่องจากเซอร์โคเนียรูปแบบคิวบิกไม่มีการเปลี่ยนรูปจากแรงที่มากกระทำ ที่เหนี่ยวนำให้เกิดความเค้น (stress-induced)

เซอร์โคเนียแบบ 5Y-PSZ เป็นเซอร์โคเนียที่มีความโปร่งแสงมากที่สุด ถูกนำไปใช้ใน งานทันตกรรมบริเวณฟันหน้าหรือการบูรณะแบบสูญเสียเนื้อฟันน้อย (minimally invasive) แต่

พบว่าอัตราความล้มเหลวมากกว่าร้อยละ 2 เมื่อผ่านระยะเวลาไป 5 ปี<sup>(20)</sup> กล่าวคือความแข็งแรง (flexural strength) และความโปร่งแสง (translucency) ขึ้นอยู่กับปริมาณของอิตเทรียมและอะลูมินา เปรียบเทียบดังตาราง 1 แสดง<sup>(19)</sup>

### เรซินคอมโพสิต

วัสดุบูรณะคอมโพสิตที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบ มีการพัฒนาเรื่อยมาตั้งแต่เป็นที่รู้จักเมื่อ 50 ปีก่อน ปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือส่วนของการเสริมแรงของวัสดุอัดแทรก (reinforcing filler) มีจุดประสงค์เพื่อลดขนาดอนุภาคลง เพื่อผลิตวัสดุให้มีความง่ายและมีประสิทธิภาพต่อการขัดแต่งและทนทานต่อการสึก (wear resistance) ที่มากขึ้น



ที่มา: Ferracane JL. Resin composite—State of the art. Dental Materials. 2011;27(1):29-38.<sup>(21)</sup>

โดยเฉพาะให้ความสนใจส่วนของเมทริกซ์พอลิเมอร์ (polymeric matrix) ในวัสดุที่จะพัฒนาให้ลดการหดตัวขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ และการทำให้วัสดุยึดติดได้เอง (self adhesive) กับโครงสร้างของฟัน (tooth structure) เรซินคอมโพสิตเป็นวัสดุที่มีความเอนกประสงค์ในการนำไปใช้ทางทันตกรรมได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการอุดบูรณะฟัน การรองฟันโพรงฟัน การเคลือบหลุมร่องฟัน การทำครอบฟันบางส่วน หรือทำครอบฟันชั่วคราว เป็นต้น<sup>(21)</sup>

### 1. รูปแบบของเรซินคอมโพสิต

เรซินคอมโพสิตถูกแบ่งตามความแตกต่างของสูตรในองค์ประกอบตามการนำไปใช้งาน โดยวัสดุมีองค์ประกอบหลักที่คล้ายคลึงกัน 3 ส่วน

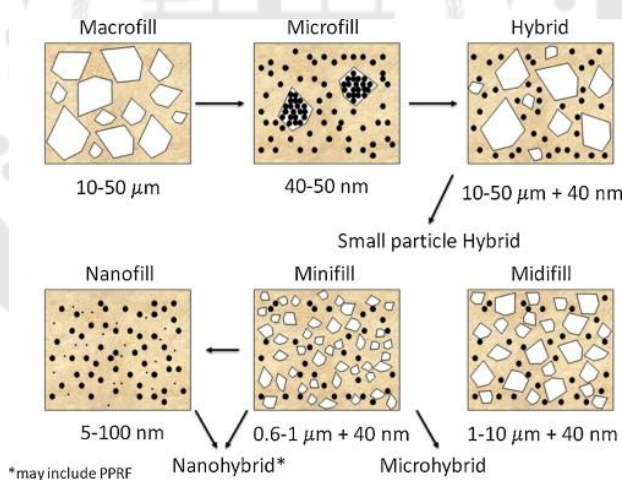
#### 1.1 เมทริกซ์พอลิเมอร์ (polymeric matrix)

การทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ จากมอนอเมอร์ไปเป็นพอลิเมอร์ มีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นเริ่มต้น (initiation), ขั้นเพิ่มจำนวน (propagation) และ ขั้นสิ้นสุด

(termination) ซึ่งส่วนประกอบของเมทริกซ์พอลิเมอร์ ประกอบไปด้วย มอนอเมอร์ (monomer), สารเริ่มปฏิกิริยา (initiator), สารเร่งปฏิกิริยา (accelerator), สารทำให้เสถียร (stabilizer)<sup>(22)</sup>

### 1.2 วัสดุอัดแทรก (reinforcing filler)

โดยมักใช้ขนาดของวัสดุอัดแทรก แบ่งประเภทวัสดุเรซินคอมโพสิต คือ มาโครฟิลล์ (Macrofill) เป็นวัสดุอัดแทรกแรก มีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 10 -15 ไมโครเมตร แต่มีอัตราการสึกหรอสูง ไม่สามารถขัดเรียบเงาได้ส่งผลให้มีความสวยงามต่ำ จึงเกิดวัสดุอัดแทรกรุ่นต่อมาที่มีขนาดเล็กลงคือ ไมโครฟิลล์ (Microfill) ที่มีส่วนประกอบของซิลิกาฟุ้ง (Fumed silica) ขนาดอนุภาคอยู่ที่ 40 นาโนเมตร สามารถลดอัตราการสึกหรอและขัดได้เรียบเงา มากยิ่งขึ้น แต่ในขณะเดียวกันความแข็งแรงของวัสดุกลับลดน้อยลง เนื่องจากมีปริมาณของวัสดุอัดแทรกที่น้อย ถัดมาจึงได้มีการพัฒนาคอมโพสิตชนิดไฮบริด (Hybrid composites) ซึ่งเป็นการผสมกัน ระหว่างขนาดอนุภาคทั้งใหญ่และเล็ก เพื่อเสริมในเรื่องของความแข็งแรง จนกระทั่งมี ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในเรื่องของการกลึงขึ้น มีการผลิตคอมโพสิตประเภทมินิฟิลล์ (Minifill) ที่มีขนาดอนุภาค อยู่ที่ 0.4 -1 ไมโครเมตร ร่วมกับซิลิกาฟุ้ง



ภาพประกอบ 6 การแบ่งประเภทเรซินคอมโพสิตตามวัสดุอัดแทรก

ที่มา: Ferracane JL. Resin composite—State of the art. Dental Materials. 2011;27(1):29-38<sup>(21)</sup>

และมีคอมโพสิตไมโครไฮบริด (Microhybrids) ที่มีคุณสมบัติต้านทานการสึกหรอ ขัดได้เรียบและมีความสวยงาม จนเมื่อทศวรรษที่ผ่านมาคอมโพสิตนาโนฟิลล์ (Nanofill) ถือเป็นความก้าวหน้าที่สำคัญของวัสดุเรซินคอมโพสิต ด้วยขนาดอนุภาคเพียง 5 -100 นาโนเมตร ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้สามารถขัดได้เงาและมีความสวยงามสูงแล้ว ยังคงมีคุณสมบัติ

ในเรื่องของการต้านทานการสึกหรอที่ดีเช่นเดียวกัน เนื่องจากไม่เกิดรูพรุนขนาดใหญ่เมื่อวัสดุมีการสึกกร่อนออกไป<sup>(22)</sup>

หรือการแบ่งประเภทวัสดุเรซินคอมโพสิตด้วยปริมาณของวัสดุอัดแทรก หมายถึงความเหนียว (consistency) ของวัสดุ โดยแบ่งเป็นเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (flowable composite) มีความเหนียวที่ต่ำ จากการลดปริมาณของวัสดุอัดแทรกหรือการเติมสารดัดแปลง (modifying agents) อื่นๆ เช่น สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ที่ช่วยเรื่องการไหลแผ่ แต่ขณะเดียวกันการลดปริมาณของวัสดุอัดแทรกลง ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ลดลงอย่างนัยสำคัญและมีการหดตัวที่เพิ่มขึ้น<sup>(23)</sup> และถูกออกแบบให้ฉีดออกมาจากกระบอกฉีด ใช้ในบริเวณที่แคบเพื่อการปรับตัวให้แนบมากยิ่งขึ้น ส่วนเรซินคอมโพสิตชนิดกวดอัด (packable composite) ได้รับการออกแบบให้มีการต้านทานต่อการใช้อุปกรณ์กวดอัด (condenser) หรืออุปกรณ์อื่นๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการหลุดตัว และช่วยในการสร้างรูปร่างบริเวณด้านประชิด (interproximal contact) โดยมีความเหนียวที่มากขึ้นจากการปรับแต่งการกระจายตัวของขนาดวัสดุอัดแทรก หรือเติมสารอื่นเข้าไป อย่างเช่นไฟเบอร์ โดยทั่วไปมักจะไม่เพิ่มระดับของวัสดุอัดแทรก<sup>(24)</sup> และเรซินคอมโพสิตชนิดบัลคฟิลล์ (bulk fill composite) ชนิดที่ถูกพัฒนาล่าสุด ที่มีการปรับกลุ่มเมทาคริเลต (methacrylate group) ที่เป็นองค์ประกอบหลักให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ให้สามารถบูรณะฟันหลัง จากการอุดเพียงชั้นเดียว และสามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ได้ที่ระดับความลึกโพรงฟัน 4-5 มิลลิเมตร<sup>(25)</sup>

เรซินคอมโพสิตที่สามารถหาได้ง่ายและนิยมใช้โดยทั่วไป คือเรซินคอมโพสิตชนิดกวดอัดอย่าง แซด 350 (Filtek™ Z350 XT Universal Restorative System, 3M ESEP) มีลักษณะเป็น นาโนฟิลล์ (Nanofill) มีค่ากำลังแรงดัดขวาง (Flexural Strength) อยู่ที่ 418 เมกะปาสกาล<sup>(26)</sup>



ภาพประกอบ 7 เรซินคอมโพสิตชนิดกวดอัด Z350

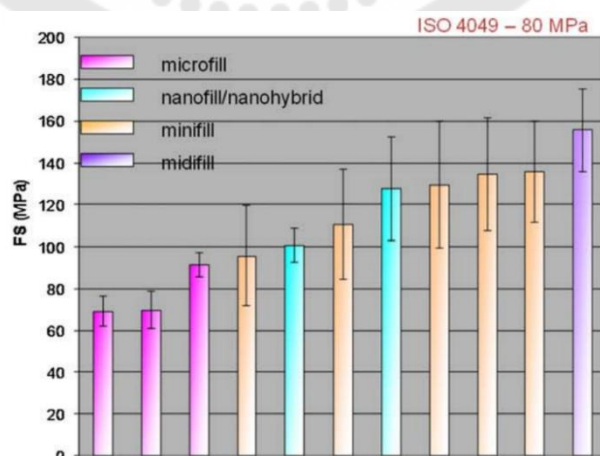
ที่มา: ESEP M. Filtek™ Z350 XT Universal Restorative System.<sup>(26)</sup>

### 1.3 สารคู่ควบไซเลน (silane coupling)

ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ซิลิไซด์ (silicides) ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ  $\gamma$ -Methacryloyloxypropyl trimethoxysilane (3 -MPS หรือ  $\gamma$  -MPTS) ที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่อยู่บริเวณปลายทั้ง 2 ข้าง ซึ่งเชื่อมต่อกับเมทริกซ์ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ (unpolymerized resin matrix) กับบริเวณพื้นผิว (inorganic substrate) ใช้สำหรับการปรับสภาพ พื้นผิวของอนุภาค วัสดุอุดแทรกในเรซินคอมโพสิตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการยึดเกาะระหว่างพื้นผิว หมู่ เมทอกซี (methoxy group) มีการทำปฏิกิริยากับหมู่อัลคอกซี (alkoxy group) บนพื้นผิวของวัสดุอุดแทรก และเกิดการปล่อยสารเมทานอล (methanol) ออกมา ส่งผลให้เกิดพันธะซิลอกเซน (siloxane bond) ที่เป็นพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) และกลุ่มเมทาไครโลอิล (methacryloyl group) จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์กับพันธะคู่ที่อยู่ในเมทริกซ์พอลิเมอร์ และรวมวัสดุอุดแทรกกับเมทริกซ์พอลิเมอร์ เข้าด้วยกัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงเชิงกล (mechanical strength) ของเรซินคอมโพสิต<sup>(27)</sup>

### 2. คุณสมบัติของเรซินคอมโพสิต

ในปัจจุบันเรซินคอมโพสิตมีคุณสมบัติเชิงกลที่เพียงพอสำหรับการใช้ได้ทุกบริเวณในช่องปาก แต่ยังคงกังวลในบริเวณที่ต้องรับแรงมาก โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่นอนกัดฟัน (bruxism) หรือมีการทำงานนอกหน้าที่ (parafunction habit) โดยมีการแสดงถึงคุณสมบัติเชิงกลว่า มีความเกี่ยวข้องกับปริมาณของวัสดุอุดแทรกมากที่สุด ซึ่งหมายถึงการมีวัสดุอุดแทรกมากที่สุด มีความแข็งแรงมากที่สุด ดังรูปแสดง



ภาพประกอบ 8 ความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิตที่สัมพันธ์กับปริมาณวัสดุอุดแทรก

ที่มา: Ferracane JL. Resin composite—State of the art. Dental Materials. 2011;27(1):29-38<sup>(21)</sup>

### 3. วิธียึดติดระหว่างวัสดุเซอริโคเนียและเรซินคอมโพสิต

โดยปกติการบิ่นแตกของวัสดุบุรณะเซอริโคเนีย (Y-TZP) เป็นความล้มเหลวที่พบได้บ่อยมากที่สุด<sup>(28)</sup> การที่จะรื้อออก เปลี่ยนใหม่อาจมีค่าใช้จ่ายที่มากและใช้เวลานาน การซ่อมแซมด้วยเรซินคอมโพสิตเป็นหนึ่งในทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับการซ่อมแซมเซอริโคเนียในช่องปาก แต่อย่างไรก็ตามด้วยความที่เซอริโคเนียเป็นวัสดุที่มีความเฉื่อย (inert) มีพลังงานพื้นผิว (surface energy) และความสามารถในการเปียกน้ำ (wettability) ที่ต่ำ ด้านทานต่อการกัดกร่อนด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) อีกทั้งการที่เซอริโคเนียเป็นพอลิคริสตัลที่ไม่มีซิลิกาเป็นส่วนประกอบ ทำให้ไม่สามารถทำปฏิกิริยากับสารคู่ควบไซเลน<sup>(29)</sup> เพื่อจะปรับปรุงความแข็งแรงการยึดติด (bond strength) บริเวณผิวสัมผัส (interface) ระหว่างเรซินคอมโพสิตและเซอริโคเนีย จึงต้องมีการปรับสภาพพื้นผิว (surface treatment) ทั้งเชิงกลและเชิงเคมี

โดยการปรับสภาพพื้นผิวเชิงกลมีหลากหลายวิธีเช่น การ เป่าทราย (airborne particle abrasion), การใช้หัวกรอกากเพชร (diamond bur), การใช้เลเซอร์ (laser), การกัดขึ้นรูปโลหะด้วยไฟฟ้า (elective discharge machine), การทำซีเมนต์ฟิลอินฟิล เทอร์ชันเอทซิง (selective infiltration etching technique) หรือ การใช้กรด (Acid etching)

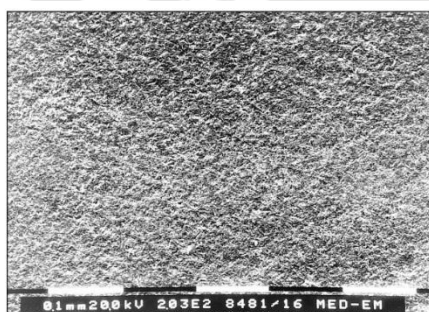


Fig 2a SEM view of zirconium surface after sandblasting with 50- $\mu$ m sand.

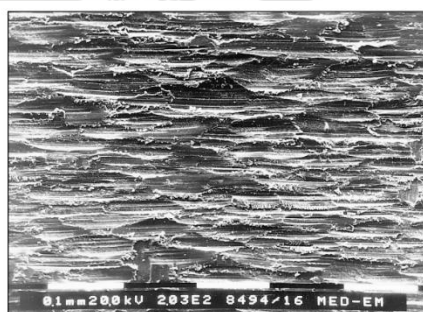


Fig 2b SEM view of zirconium surface after grinding with a diamond bur.

ภาพประกอบ 9 พื้นผิวของเซอริโคเนีย ภายหลังจากการปรับสภาพพื้นผิวด้วยการเป่าทราย (ซ้าย) และ การใช้หัวกรอกากเพชร (ขวา)

ที่มา: Dérand P, Dérand T. Bond Strength of Luting Cements to Zirconium Oxide Ceramics. International Journal of Prosthodontics. 2000;13(2):131-5.<sup>(30)</sup>

วิธีที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพคือ การเป่าทรายด้วยอนุภาคอลูมินา ขนาดเล็ก ความดันปานกลาง เพื่อทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคขึ้น (micromechanical retention)<sup>(31)</sup> โดยพบว่า การเป่าทรายนอกจากจะช่วยเพิ่มความขรุขระ เพิ่มความสามารถในการ

เปียกน้ำและเพิ่มพลังงานพื้นผิวแล้ว ยังสามารถช่วยเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของเซอริโคเนีย ทำให้เพิ่มการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับเรซินซีเมนต์มากขึ้นด้วย<sup>(32)</sup> การเป่าทรายด้วยอนุภาคลูมินา ขนาด 30-50 ไมครอน ที่ความดัน 1.0- 2.5 บาร์ ที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร ร่วมกับเคลือบที่เป็น วงกลม ระยะเวลา 20 วินาทีพบว่าให้ผลดีในการทดลองทางและเหมาะแก่การนำไปใช้ทางคลินิก<sup>(33)</sup>

ส่วนการปรับสภาพพื้นผิวเชิงเคมี ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มซิลิกา (silicatization) หรือการใช้ฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ (functional monomer) รวมถึงการใช้วิธีเชิงกลและเชิงเคมี ร่วมกัน คือการทำไตรโบเคมีคอลซิลิกาโคตติง (tribochemical silica coating) โดยวิธีการที่ได้ ประสิทธิภาพที่ดี และเป็นที่ยอมรับ คือการเป่าทรายร่วมกับการใช้มอนอเมอร์<sup>(34)</sup>

ฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ที่นิยมใช้ทางทันตกรรมคือ เอ็มเอ็มเอ (MMA), ฮีมา (HEMA), เทนเอ็มดีพี (10- Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate; 10-MDP) และโฟวี เมตา (4-Methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride; 4-META)<sup>(35)</sup> การใช้ฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ชนิดเท็นเอ็มดีพีที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่ฟอสเฟส และฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ชนิดโฟวีเมตา ที่มี หมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาบอซิลิก สามารถช่วยเพิ่มค่าแรงยึดติด (bond strength) ระหว่างเซอริโคเนีย และเรซินซีเมนต์ได้ จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ฟังก์ชันกับหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของเซอริโคเนีย<sup>(30)</sup> โดยพบว่าเท็นเอ็มดีพีให้ค่าแรงยึดติดที่สูงกว่าโฟวีเมตา<sup>(36)</sup>

กลุ่มสารยึดติดสากล (universal adhesive) มีการนำมาใช้งานมากขึ้นในปัจจุบัน เพื่อลดขั้นตอนที่อาจเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ โดยสารยึดติดสากลในกลุ่มที่ใช้มอนอเมอร์เป็นเท็นเอ็มดีพีและให้ผลลัพธ์ที่ดี อย่างเช่น เคลียร์ฟิลล์ ยูนิเวอร์แซล บอนด์ คิวค (Clearfil Universal Bond Quick, Kararay Noritake) ให้มีการยึดติดดีเยี่ยม จากการสร้างพันธะเคมีของ เท็นเอ็มดีพีชนิดดั้งเดิมซึ่งมีค่าความแข็งแรงยึดติดระดับจุลภาค (microtensile bond strength) อยู่ที่ 53.37 เมกะปาสกาล ภายหลังจากฉายแสง 20 วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการใช้สารยึดติดแบบ เคลียร์ฟิลล์ เอสอี บอนด์ (Clearfil SE Bond, Kararay Noritake)<sup>(37)</sup>



ภาพประกอบ 10 เคลียร์ฟิลล์ ยูนิเวอร์แซล บอนด์ ควิก  
(Clearfil Universal Bond Quick, Kararay Noritake)

ที่มา : Noritake K. CLEARFIL UNIVERSAL BOND QUICK [Available from: <https://kuraray-dental.com/product/clearfil-universal-bond-quick/>.<sup>(38)</sup>

### ชนิดของวัสดุรองพื้น

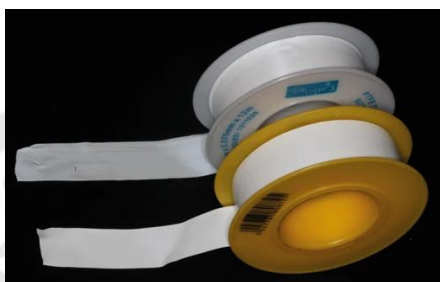
ในกรณีการยึดครอบฟันบนรากเทียมด้วยสกรูมีข้อได้เปรียบในแง่การกลับคืนได้ (retrievability) ในขั้นตอนการบำรุงรักษา การเปลี่ยนแทนที่ส่วนประกอบต่างๆ รวมถึงการทำความสะอาด เมื่อเทียบกับการยึดครอบฟันบนรากเทียมด้วยซีเมนต์ โดยภายหลังการยึดครอบฟันด้วยสกรูจะมีรูเปิดอยู่ในครอบฟัน ดังนั้นจึงจะมีการปิดรูสกรู โดยวัสดุรองพื้นควรมีคุณสมบัติปิดผนึกได้ดี (sealing efficacy) ราคาไม่แพง มีความทนทาน (durability) เป็นเนื้อเดียวกัน (integrity) และใช้งานได้ง่าย ทั้งใส่และนำออก<sup>(39)</sup>

การใส่วัสดุรองพื้นลงไป ตามด้วยการปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตเพื่อปิดผนึกช่อง ไม่ให้น้ำลายหรือเชื้อโรคแบคทีเรียต่างๆ สามารถเข้าไปได้ และปกป้องสกรูไม่ให้วัสดุที่ปิดทับด้านบนไปโดนบริเวณหัวของสกรู ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของรากเทียม<sup>(11)</sup> แต่อย่างไรก็ตามวัสดุรองพื้นควรจะต้องเป็นวัสดุที่สามารถรื้อออกได้ง่าย ในกรณีที่มีการแทรกซ้อน (complication) เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเกิดสกรูหลวม (screw loosening), เกิดการบิ่นแตก หรือครอบฟันแตกหัก<sup>(40)</sup> เพื่อเปิดทางให้ไขควง (screwdriver) ลงไปไขสกรู นำครอบฟันออกมาแก้ไขได้

### เทปพันเกลียว (Polytetrafluoroethylene; PTFE tape)

Polytetrafluoroethylene; PTFE tape หรือที่รู้จักกันว่า plumber's tape เป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่นิยมใช้ข้างนอกช่องปากทั่วไปในทางทันตกรรม ที่ปกติมีการนำไปใช้ร่วมกับเครื่องใช้ในครัวและการก่อสร้าง ในส่วนของไฟฟ้าและส่วนประกอบสำหรับคอมพิวเตอร์ ในทางทันตกรรมมีวัตถุประสงค์ ใช้สำหรับการชักนำให้เนื้อเยื่อคืนสภาพ (guided tissue regeneration), ใช้หุ้มเครื่องมือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการควบคุม (handling properties),<sup>(41)</sup> การนำมาปกคลุมฟัน

กรณีอุดฟัน ไม่ให้ซี่ข้างเคียงถูกสารกัดกร่อนฟันหรือสารยึดติดต่างๆ อีกทั้งใช้สำหรับปิดรูศกรูรากเทียม (screw access channel filling)<sup>(42)</sup> โดยเทปพันเกลียวค่อนข้างมีความเฉื่อย (Chemical inertness) สามารถต้านทานตัวทำละลายและกรดได้ จึงไม่เสื่อมสภาพเมื่อนำไปใช้กับสารกัดกร่อนฟัน (etchants) ด้วยความที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์ (low static and kinetic coefficient of friction) ที่ต่ำ ทำให้มีลักษณะที่ไม่ติด (non-stick) เวลานำไปใช้และเมื่อต้องนำออกจะไม่หลงเหลืออะไรไว้<sup>(43)</sup>



ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างวัสดุเทปพันเกลียว (PTFE tape)

ที่มา: Sattar M, Patel M, Alani A. Clinical applications of polytetrafluoroethylene (PTFE) tape in restorative dentistry. British Dental Journal. 2017;222(3):151-8.<sup>(44)</sup>

เทปพันเกลียวมีระยะยืดที่จุดขาดที่สูง (high break elongation) คือสามารถยืดได้มากถึง ร้อยละ 400 จากความยาวเดิมโดยไม่เกิดการฉีกขาด ด้วยเหตุนี้วัสดุจึงสามารถยืดและปรับให้เข้ากับพื้นผิวที่แตกต่างกันได้ โดยไม่เกิดการทำลาย

ตาราง 2 การนำ PTFE ไปใช้ในทางทันตกรรม

Table 1 Shows various uses of PTFE tape in restorative dentistry	
Material	
Barrier material	1. Adhesive dentistry
	2. Eliminating sub-gingival cement lute stagnation
	3. Protecting implant abutment screw heads during sealing of screw access channels
	4. As a barrier between the access cavity and root canal system
Spacer material	5. Utilising PTFE as a spacer for restorations
Recovery material	6. Block-out material for impression making
	7. Trial seating of extra-coronal restorations

ที่มา: Sattar M, Patel M, Alani A. Clinical applications of polytetrafluoroethylene (PTFE) tape in restorative dentistry. British Dental Journal. 2017;222(3):151-8.<sup>(44)</sup>

แม้ว่าวัสดุจะมีความบางหลายขนาด (30-120 ไมครอน) ก็ไม่สูญเสียความต้านทานแรงเฉือน (shear strength) อย่างมีนัยสำคัญ ยิ่งไปกว่านั้นวัสดุมีคุณสมบัติเป็นฉนวน (insulating properties) ที่ดีเยี่ยม มีความหนืดหลอมละลาย (melt viscosity) ที่สูง ซึ่งทำให้สามารถนำไปอบฆ่าเชื้อในหม้อไอน้ำความดัน (autoclave) ได้ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ จึงทำให้เทปพันเกลียวมีศักยภาพในการนำไปใช้ในทางทันตกรรมบูรณะได้หลากหลาย<sup>(44)</sup> ในที่นี้ การนำเทปพันเกลียวมาใช้เป็นวัสดุรองพื้นก่อนปิดทับด้วยเรซิน คอมโพสิตในรูทกรูของครอบฟันบนรากเทียมสามารถทำได้ง่ายและราคาถูก

### กัททาเพอร์ชา (Gutta percha)

กัททาเพอร์ชาเป็นวัสดุที่มาจากยางไม้ชนิดหนึ่ง เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น เป็นผลึกตามธรรมชาติทำให้มีลักษณะเชิงกล (mechanical behavior) คล้ายกับพอลิเมอร์ผลึกบางส่วน (partially crystalline polymer) อย่างพอลิเอทิลีน (polyethylene)<sup>(45)</sup> สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ตามอุณหภูมิ (thermoplastic) และมีความยืดหยุ่น (viscoelastic) มีลักษณะแข็ง (stiff) ที่อุณหภูมิห้อง จะนิ่มและอ่อนตัว ในความร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส และหลอมละลายที่ 100 องศาเซลเซียส ในทางกลับกัน ยิ่งลดอุณหภูมิลง เป็นการเพิ่มความแข็งแรง (strength) และความยืดหยุ่นมากขึ้น โดยเฉพาะอุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส

ตาราง 3 คุณสมบัติทางกายภาพของกัททาเพอร์ชา

Physical properties	Average values
Yield strength	1000-1300 psi
Resilience	40-80 in/lb
Tensile strength	1700-3000 psi
Elastic modulus	15,500-28,000 psi
Flexibility	0.07-0.12 in/lb
Elongation (%)	170-500

ที่มา: Vishwanath V, Rao HM. Gutta-percha in endodontics-A comprehensive review of material science. Journal of conservative dentistry: JCD. 2019;22(3):216.<sup>(46)</sup>

กัตกาเพอร์ชามีส่วนประกอบของซิงค์ ออกไซด์ (zinc oxide) ร้อยละ 66, กัตกาเปอร์ชาร้อยละ 20, สารทึบแสง (radiopacifier) และสารที่ทำให้เกิดสี ร้อยละ 11 และแวกซ์หรือเรซิน (plasticizer) ร้อยละ 3<sup>(45)</sup> โดยสมบัติทางกายภาพ ไม่ว่าจะเป็นความแข็งแรงการดึง (tensile strength), ความแข็ง (stiffness), ความเปราะ (brittleness) และความทึบรังสี (radiopacity) ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ อย่างเช่นส่วนของซิงค์ออกไซด์จะเพิ่มความเปราะ แต่ลดความสามารถในการยึดและความแข็งแรงการดึง<sup>(46)</sup>

เป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทางทันตกรรมในการอุดคลองรากฟัน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญของกัตกาเพอร์ชาคือ ไม่ระคายเคือง เข้ากับได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ปิดผนึกได้ดี ปรับรูปปร่างไปได้ตามบริเวณที่ทำงานและมีรูปร่างเสถียร สามารถรีดออกได้ง่าย โดยการกรอ หรือการใช้ความร้อน หรือตัวทำละลาย เช่น chloroform และกัตกาเพอร์ชามีคุณสมบัติยึดติดกับบริเวณพื้นผิวที่ทำงาน ทำให้สามารถนำออกได้ง่าย เนื่องด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมา ในปัจจุบันจึงมีการนำกัตกาเพอร์ชามาใช้เป็นวัสดุรองพื้น เพื่อปิดรูสกรูในครอบฟันบนรากเทียม



ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างกัตกาเพอร์ชาร้อยละ 66

ที่มา: Gutta percha Pellets Regular, B&L Biotech, USA [Available from: B&L Biotech<sup>(47)</sup>

### วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (Temporary filling; Cavit™)

ในกรณีการรักษาทางทันตกรรม มีหลายการรักษาที่ต้องการจำนวนครั้งในการรักษา มากกว่า 1 ครั้ง ไม่ว่าจะเป็นการทำครอบฟันบางส่วน การรักษาคคลองรากฟัน หรือการอุดฟัน ดังนั้นจึงต้องมีการนำวัสดุบูรณะชั่วคราวมาใช้ วัสดุบูรณะชั่วคราวคือวัสดุที่ใช้เพียงระยะเวลาหนึ่ง โดยมีระยะเวลาการใช้งานในช่องปากเป็น สัปดาห์หรืออาจใช้งานนานเป็นเดือน ทั้งนี้วัสดุจำเป็นต้องมีความแข็งแรงระดับหนึ่งที่สามารถต้านทานต่อการใช้งานในช่องปากได้ ที่สำคัญต้อง

สามารถปิดผนึก ป้องกันการรั่วซึมของเชื้อแบคทีเรียหรือสารอินทรีย์ได้ มีหน้าที่ช่วยให้ฟันซี่นั้นยังคงทำหน้าที่ได้ตามปกติ รักษาตำแหน่งเดิมของฟัน<sup>(48)</sup>

โดยวัสดุบูรณะชั่วคราวที่นิยมใช้ทั่วไปคือเควิต (3M™ ESPE™ Cavit™, Seefeld, Germany) เนื่องจากเป็นวัสดุที่สำเร็จรูป สามารถใช้งานได้ทันที ไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับปัญหาอัตราส่วน ที่อาจจะไม่เท่ากันจากการตวงส่วนผสม เควิตมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นสูง (Coefficient of linear expansion) เนื่องจากคุณสมบัติการขยายตัวเมื่ออยู่ในความชื้น (Hygroscopic expansion) และมีความสามารถในการแนบสนิทของวัสดุ และสามารถต้านการรั่วซึมตามขอบได้ดี สามารถคงสมบัติเดิมอยู่ได้ที่สภาวะความชื้นในช่องปาก มีความแข็งแรงเพียงพอสามารถบูรณะรับแรงในด้านบดเคี้ยวได้ และสามารถรี้ออกได้ง่าย<sup>(49)</sup> เพื่อประสิทธิภาพของเควิตในการป้องกันการรั่วซึมควรต้องมีความหนาที่ไม่น้อยกว่า 3.5 มิลลิเมตร<sup>(50)</sup>

เควิต มีประเภทของเควิต ดับเบิลยู (Cavit-W) และเควิต จี (Cavit-G) แตกต่างกันตามปริมาณของเรซิน ซึ่งส่งผลต่อความแข็ง (hardness) และระยะเวลาในการก่อตัว (setting) โดยเควิตมีความแข็งและเสถียรภาพเชิงมิติ (dimensional stability) ที่มากที่สุด รองลงมาเป็นเควิต ดับเบิลยู และเควิต จี น้อยที่สุด ตามลำดับ<sup>(51)</sup> ส่วนของเควิตและเควิตดับเบิลยู มีความแนบสนิท สามารถปิดผนึกได้เท่าๆ กันซึ่งมากกว่าเควิต จี อย่างมีนัยสำคัญ<sup>(52)</sup> ส่วนประกอบโดยประมาณของเควิตประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) ร้อยละ 40-60, กรดซัลฟูริกและเกลือแคลเซียม (sulfuric acid, calcium salt, hydrate) ร้อยละ 15-35, เอทิลลิน บิส ไดอะซีเตท (ethylene bis diacetate) ร้อยละ 10-20, ซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate) ร้อยละ 1-20, พอลิไวนิลอะซีเตท (polyvinyl acetate) ร้อยละ 1-10<sup>(49)</sup>



ภาพประกอบ 13 วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต

ที่มา: 3M. 3M™ Cavit™ Temporary Filling Material Refill, 44030 2023 [Available from: [https://www.3m.com/3M/en\\_LB/p/d/v000075974/](https://www.3m.com/3M/en_LB/p/d/v000075974/).<sup>(53)</sup>

### การทดสอบความต้านทานการแตกหัก

ความสำเร็จของวัสดุบูรณะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) กล่าวคือพฤติกรรมของวัสดุที่แสดงออกมา เมื่อมีแรงภายนอก (external force) มากระทำ อย่างเช่น ความแข็งแรง, ความสามารถในการยึดตัว, ความแข็งผิว เป็นต้น ซึ่งสมบัติดังกล่าวเป็น สิ่งที่แสดงว่า วัสดุนั้นสามารถทนทานต่อแรงภายนอกที่มากระทำมากหรือน้อยเพียงใด<sup>(54)</sup> ในงาน ทันตกรรมสมบัติเชิงกลจึงมีความสำคัญ ต่อการพิจารณาเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสภาวะใน ช่องปาก ภายใต้แรงบดเคี้ยว และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากสภาวะปกตินอกช่องปาก อีกทั้ง สมบัติเชิงกล เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของวัสดุเพื่อใช้งานในระยะยาวอีกด้วย<sup>(55)</sup>

โดยการแตกหักหรือแยกตัวของวัสดุ หมายถึงวัสดุของแข็งเกิดการแตกเป็น 2 หรือ มากกว่า 2 ชนิด ภายใต้แรงกระทำเชิงกล กระบวนการเกิดการแตกหัก แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ การ เกิดรอยร้าวที่ผิว (Crack initiation) และการขยายตัวของรอยร้าวกลายเป็นรอยแตก (Crack propagation) ในการทดสอบหาความต้านทานการแตกหักเพื่อจะพิจารณาความแข็งแรงของวัสดุ จะใช้เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine; Shimadzu, EZ-LX Long-Stroke Model) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุต่างๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็น การทดสอบแบบทำลาย สามารถใช้ทดสอบวัสดุต่างๆได้อย่างหลากหลายประเภท



ภาพประกอบ 14 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (universal testing machine; Shimadzu, EZ-LX Long-Stroke Model)

ที่มา: SHIMADZU. Universal testing instrument EZ test.<sup>(56)</sup>

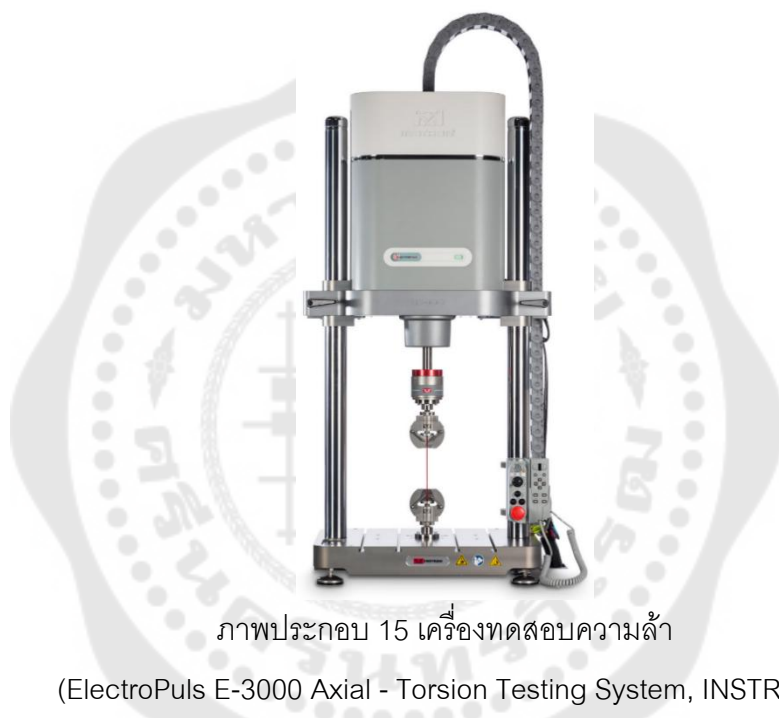
หลักการทำงานของเครื่องมือนี้ก็คือ การเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการวัดแรงต้านในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุโดยอาศัยอุปกรณ์วัดแรงหรือโหลดเซลล์ (Load cell) และการวัดระยะที่เปลี่ยนแปลงไปของวัสดุโดยอาศัยอุปกรณ์วัดระยะ เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ที่ใช้สามารถใส่แรงด้วยความจุสูงสุด (maximum capacity) 5 กิโลนิวตัน (kN), มีระยะเคลื่อนที่ (stroke capacity) 920 มิลลิเมตร, ระยะความเร็วทดสอบ (test speed range) ตั้งแต่ 0.001 ถึง 1000 มิลลิเมตรต่อนาที และมีความเร็วคืนกลับสูงสุด 1500 มิลลิเมตรต่อนาที<sup>(56)</sup>

### การทดสอบการรับแรงล้า

ในการศึกษาวิจัยมุ่งเน้นที่จะพัฒนาและปรับปรุงวัสดุทางทันตกรรมให้มีความแข็งแรงทนทาน เหมาะสมในการใช้งานมากขึ้น โดยการทำการทดสอบไม่ว่าจะเป็นการทดสอบหาความต้านทานการแตกหัก (fracture resistance), ความแข็งแรงดึง (tensile test), ความแข็งแรงเฉือน (shear test) จะเป็นการให้แรงกระทำต่อวัสดุชิ้นๆ จนเกิดความเสียหายขึ้น แม้ว่าจะเป็นการทดสอบที่สามารถได้ผลอย่างรวดเร็ว แต่เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับแรงบิดเคี้ยวที่เกิดขึ้นจริงในช่องปาก จะมีลักษณะการให้แรงกระทำต่อวัสดุเป็นแรงกระทำซ้ำๆ (cyclic forces) จนทำให้วัสดุเกิดความเสียหายขึ้นจากความล้า ซึ่งความล้าเป็นกระบวนการที่วัสดุเผชิญกับความเครียดหรือความเค้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งจนเกิดความล้าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเฉพาะที่อย่างถาวรจากสภาพที่มีความเค้นและความเครียดสะสมจนถึงจุดที่มีรอยร้าวหรือเกิดการแตกหัก อย่างสมบูรณ์ของวัสดุ วัสดุจะเกิดความล้าเมื่อได้รับแรงที่ทำให้เกิดความเค้นแบบซ้ำไปซ้ำมา (fluctuating stress) หรือแบบเป็นวัฏจักร (cyclic stress) โดยที่ขนาดความเค้นที่ได้รับนั้นไม่สามารถทำให้เกิดความเสียหายได้ด้วยกรให้แรงครั้งเดียวและต่ำกว่าความแข็งแรงคราก (yield strength) กรณีที่วัสดุมีขีดจำกัดขอบล่าง (lower limit) ของความเครียดและความเค้นที่ต่ำ อาจกล่าวได้ว่าวัสดุนั้นมีชีวิตไม่มีที่สิ้นสุด (infinite life)<sup>(57)</sup>

โดยแรงที่กระทำลงบนฟันกรามใหญ่ ขณะฟันทำหน้าที่บดเคี้ยวแบบปกติอยู่ที่ 21 นิวตัน<sup>(58)</sup> และสอดคล้องไปกับการจำลองสภาวะบดเคี้ยว (chewing simulation)<sup>(59)</sup> จึงกำหนดการทดสอบครั้งนี้ที่ 25 นิวตันเพื่อสอดคล้องกับการตั้งค่าในส่วนของเครื่องทดสอบ และเมื่อสันนิษฐานให้การเคี้ยวอาหารเป็นวันละ 3 ช่วง ช่วงละ 15 นาที มีอัตราการเคี้ยวอาหารเฉลี่ย 60 รอบต่อนาที พบว่าบุคคลทั่วไปมีจำนวนรอบการเคี้ยวประมาณ 2,700 รอบต่อวัน ซึ่งหมายความว่าจะมีจำนวนรอบการเคี้ยวอยู่ที่ประมาณ 1,000,000 รอบต่อปี<sup>(60)</sup> การทดสอบครั้งนี้จึงตั้งค่ากำหนดการทดสอบการรับแรงล้า ที่ 500,000 รอบ เพื่อจำลองการเคี้ยวอาหารเป็นเวลา 6 เดือน สอดคล้องตามรอบ

การติดตามตรวจสอบสุขภาพช่องปากและรากเทียม<sup>(61)</sup> ซึ่งการทดสอบที่ดำเนินการในช่วงดังกล่าวสามารถประมาณอายุการใช้งานของการบูรณะทางคลินิกได้<sup>(60)</sup> โดยจะทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON) ซึ่งสามารถทดสอบได้ทั้งแบบเคลื่อนที่ (dynamic) และแบบคงที่ (static) บนวัสดุที่หลากหลาย ประสิทธิภาพการทดสอบแบบเคลื่อนที่ได้มากกว่า 100 เฮิร์ตซ์ มีกำลังเคลื่อนที่เชิงเส้น (dynamic linear load capacity) ที่ 3000 นิวตันและแรงบิดเคลื่อนที่ (dynamic torque capacity) ที่ 25 นิวตัน<sup>(62)</sup>



ภาพประกอบ 15 เครื่องทดสอบความล้า

(ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON)

ที่มา: INSTRON. ELECTROPULS® E3000 | LINEAR-TORSION ALL-ELECTRIC DYNAMIC TEST INSTRUMENT.<sup>(62)</sup>

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. ขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

#### การออกแบบงานวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory Experimental research)

#### การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

##### ประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

- เทปพันเกลียว (polytetrafluoroethylene tape; PTFE tape)
- กัดทาเพอร์ช่า (gutta percha)
- วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (temporary filling; Cavit™)

##### กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

##### การทดสอบความต้านทานการแตกหัก (ก่อนรับแรงล้า)

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ชิ้น ดังนี้  
(คำนวณจำนวนชิ้นงานทดสอบจากโปรแกรม G power)

1. ชิ้นงานเซอโคเนียร์รองพื้นด้วยเทปพันเกลียวปิดทับด้วยเรซิน คอมโพสิต

ชนิดกดอัด

2. ชิ้นงานเซอโคเนียร์รองพื้นด้วยกัดทาเพอร์ช่าปิดทับด้วยเรซิน คอมโพสิต

ชนิดกดอัด

3. ชิ้นงานเซอโคเนียร์รองพื้นด้วยวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดกดอัด

อมโพสิตชนิดกดอัด

##### การทดสอบความต้านทานการแตกหัก (หลังรับแรงล้า)

กำหนดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย แบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ชิ้น โดยทุกชิ้นได้  
เข้ารับแรงล้า จำนวน 500,000 รอบ ดังนี้

(คำนวณจำนวนชิ้นงานทดสอบจากโปรแกรม G power)

1. ขึ้นงานเซอริโคเนียร์องพื้นด้วยเทปพันเกลียวปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดกดอัด
2. ขึ้นงานเซอริโคเนียร์องพื้นด้วยกัตทาเพอร์ชาปิดทับด้วยเรซิน คอมโพสิตชนิดกดอัด
3. ขึ้นงานเซอริโคเนียร์องพื้นด้วยวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตชนิดกดอัด

### เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. เทปพันเกลียว (Polytetrafluoroethylene; PTFE tape, SANWA, Thailand)
2. กัตทาเพอร์ชา (Gutta percha Pellets Regular, B&L Biotech, USA)
3. วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (3M™ ESPE™ CAVIT™, Seefeld, Germany)
4. เรซินคอมโพสิตชนิดกดอัด (Filtek™ Z350 XT, A3.5B, Universal Restorative System, 3M ESEP, USA)
5. เซอริโคเนียร์; เซอริคอน เอชที (Cercon® HT A1, Dentsply Sirona, USA)
6. สารยึดติด (Clearfil Universal Bond Quick, Kararay Noritake, USA)
7. เครื่องเป่าทราย (Sandblasting Renfert, USA)
8. ผงทราย (Alumina powder 50 µm)
9. ฐานโลหะ (Metal base)
10. แท่งกดโลหะ (Metal rod)
11. ก้อนโลหะถ่วงน้ำหนัก (Metal block)
12. ท่อพีวีซี (ตราช้าง 18 mm)
13. โปรแกรม TinkerCad (TinkerCad, Finland)
14. เครื่องกลึง (S2, VHF, Germany)
15. เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Smartlite Focus, Dentsply sirona, USA)
16. เครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)
17. เครื่องล้างความถี่สูง (Sonorex Digital DT31H, Bandelin, Germany)
18. ไมโครบรัช (Microbrush, size 1mm)
19. ปืนกาว (Hot glue gun)

20. กาวแท่ง (Glue sticks)
21. ปูนทันตกรรม (Dental stone type 3, Rocka, SCG)
22. ถ้วยยาง (Rubber bowl)
23. ไม้พายผสมปูน (Dental spatula)
24. อุปกรณ์กดอัด (Plugger instrument)
25. พลาสติกอินสตรูเมนต์ (Plastic instrument)
26. แผ่นแก้ว (Glass slide)
27. เครื่องมือตรวจปริทันต์ (Periodontal probe)
28. เครื่องฉีดกัตทาเพอร์ชา (Beta mini plunger, B&L Biotech, USA)
29. เครื่องเขย่าปูน (Dental vibrator)
30. น้ำกลั่น (Distilled water)
31. หัวทดสอบชนิดเหล็กกล้าปลายมน (steel rod with rounded tip)
32. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu, Japan)
33. เครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON, UK)

ตาราง 4 ชื่อผลิตภัณฑ์ บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์	บริษัท	ส่วนประกอบ	เลขที่ผลิตและวันหมดอายุ
PTFE	SANWA	Polytetrafluoroethylene	
Gutta percha Pellets (Regular)	B&L Biotech	22% Gutta percha, 28% Zinc oxide, 32% Zirconium oxide, 8% Barium Sulfate and 0.2% Coloring agent	
Cavit™	3M ESPE	40-60% Zinc oxide, 15-35% Sulfuric acid, calcium salt, hydrate, 10-20% Ethylene bis diacetate, 1-20% zinc sulfate, 1-10% polyvinyl acetate	

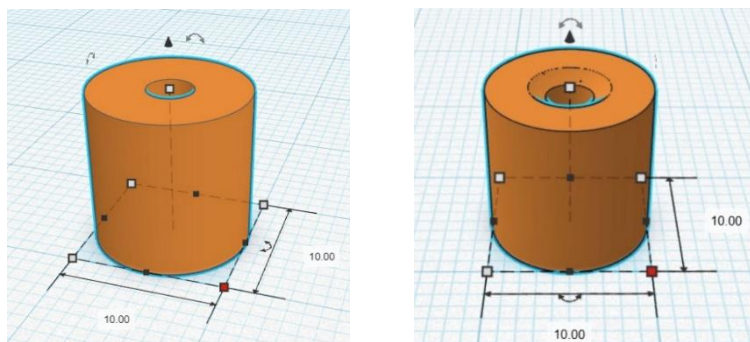
ตาราง 4 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์	บริษัท	ส่วนประกอบ	เลขที่ผลิตและ วันหมดอายุ
Filtek™ Z350 XT	3M ESPE	78.5 wt% (63.3 vol%) Nano filler particle: (4-20 nm), Bisphenol A Polyethylene Glycol Diether Dimethacrylate (BISEMA6), Diurethane Dimethacrylate (UDMA), Bisphenol A Diglycidyl Ether Dimethacrylate (BISGMA), Triethylene Glycol Dimethacrylate (TEGDMA), Aluminum Oxide	
Cercon® HT	Dentsply Sirona	5 % Zirconium oxide; Yttrium oxide, < 3% Hafnium oxide, < 1% Aluminium oxide and Silicon oxide	
Clearfil Universal Bond Quick	Kararay Noritake	10-25% Bis-GMA, 10-25% ethanol, 2.5- 10%HEMA, 10-MDP, hydrophilic amide monomer, colloidal silica, silane coupling agent, sodium fluoride, camphorquinone, water	

### ขั้นตอนการทดลอง

#### การเตรียมชิ้นงานเซอโรโคเนีย

1. ออกแบบชิ้นงานเซอโรโคเนีย (Cercon® HT A1, Dentsply Sirona, USA) ด้วยโปรแกรม TinkerCad (TinkerCad Web base, Finland) ให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร ตรงกลางชิ้นงานมีรูทะลุ เพื่อจำลองรูสกรู ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยจะมีปลายของรูด้านหนึ่งเว้า ซึ่งเป็นด้านที่วางชิดกับฐานโลหะ

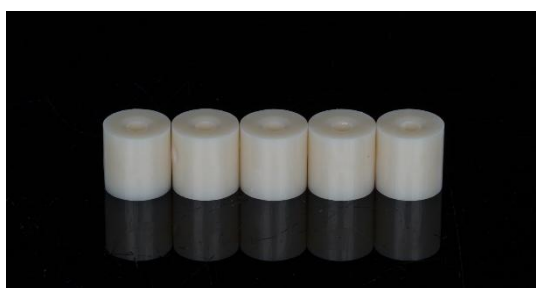


ภาพประกอบ 16 การออกแบบชิ้นงานเซอริโคเนีย (Cercon® HT A3, Dentsply Sirona, USA)  
ด้วยคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม TinkerCad (TinkerCad Web base, Finland)



ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างการจำลองเรียงชิ้นงานบนแผ่นเซอริโคเนียก่อนกลึงด้วยเครื่องกลึง  
(S2, VHF, Germany)

2. นำแผ่นเซอริโคเนียมาทำการกลึงออกมาเป็นชิ้นงานกลุ่มทดลองที่ต้องการด้วย  
เครื่องกลึง (S2, VHF, Germany)



ภาพประกอบ 18 รูปแบบชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย

3. ทำความสะอาดชิ้นงานเซอริโคเนียที่ผ่านการกลึงเสร็จแล้วด้วยน้ำกลั่น ในเครื่องล้างความถี่สูง (Easyclean; Ultrasonic cleaning unit, Renfert Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง

4. นำชิ้นงานเซอริโคเนีย มาเป่าทรายด้วยผงทรายความละเอียด 50  $\mu\text{m}$  ความดัน 3 บาร์ ท่าง 10 มิลลิเมตร นาน 20 วินาที<sup>(33)</sup>



ภาพประกอบ 19 การเป่าทรายด้วยเครื่องเป่าทราย (Basic eco; Fine sandblasting unit, Renfert Germany)

5. ทำความสะอาดชิ้นงานเซอริโคเนียที่ผ่านการเป่าทรายเสร็จแล้วด้วยน้ำกลั่น ในเครื่องล้างความถี่สูง (Easyclean; Ultrasonic cleaning unit, Renfert Germany) เป็นเวลา 5 นาที แล้วซับให้แห้ง



ภาพประกอบ 20 การทำความสะอาดชิ้นงานเซอริโคเนียด้วยเครื่องล้างความถี่สูง (Easyclean; Ultrasonic cleaning unit, Renfert Germany)

### การเตรียมปัดรูชิ้นงานเซอร์โคเนีย

1. นำชิ้นงานเซอร์โคเนียวางบนฐานโลหะ และใช้ปืนกาวฉีดกาวบริเวณรอยต่อของชิ้นงานเซอร์โคเนียและฐานโลหะสวมท่อพีวีซีที่เตรียมไว้เข้ากับชิ้นงานเซอร์โคเนียและฐานโลหะ



ภาพประกอบ 21 ฐานโลหะและการยัดชิ้นงานเซอร์โคเนีย

2. ผสมปูนทันตกรรมและเทลงในท่อพีวีซี รอปูนแข็งตัว 45 นาที



ภาพประกอบ 22 การเตรียมชิ้นงานภายหลังเทปูนแล้ว

3. นำวัสดุรองพื้นแต่ละกลุ่ม ใส่ลงในรูชิ้นงานเซอร์โคเนีย

3.1 นำเทปพันเกลียว (polytetrafluoroethylene; PTFE, SANWA, Thailand) ขนาดยาว 5 เซนติเมตร บิดเป็นเกลียวและใส่ลงในรูชิ้นงานเซอร์โคเนีย นำอุปกรณ์กดอัด (Plugger instrument) ออกแรงกดอัดด้วยแรงมือ วัดความลึกในรูชิ้นงานเซอร์โคเนียด้วยเครื่องมือตรวจปริทัศน์ ว่ามีความลึกเหลืออยู่ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำแท่งโลหะวางด้านบนและทับด้วยก้อนโลหะถ่วงน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม นาน 2 นาที<sup>(63)</sup>

3.2 นำกัตทาเพอร์ชา (Gutta percha Pellets Regular, B&L Biotech, USA) ใส่ลงในรูชิ้นงานเซอร์โคเนีย โดยใช้เครื่องฉีดกัตทาเพอร์ชา (Beta mini plunger, B&L Biotech, USA) และนำอุปกรณ์กดอัด (Plugger instrument) ออกแรงกดอัดด้วยแรงมือ วัดความลึกใน

ชิ้นงานเซอรโคเนียด้วยเครื่องมือตรวจปริทัศน์ ว่ามีความลึกเหลืออยู่ 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำแท่งโลหะวางด้านบนและทับด้วยก้อนโลหะถ่วงน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม นาน 2 นาที<sup>(63)</sup>

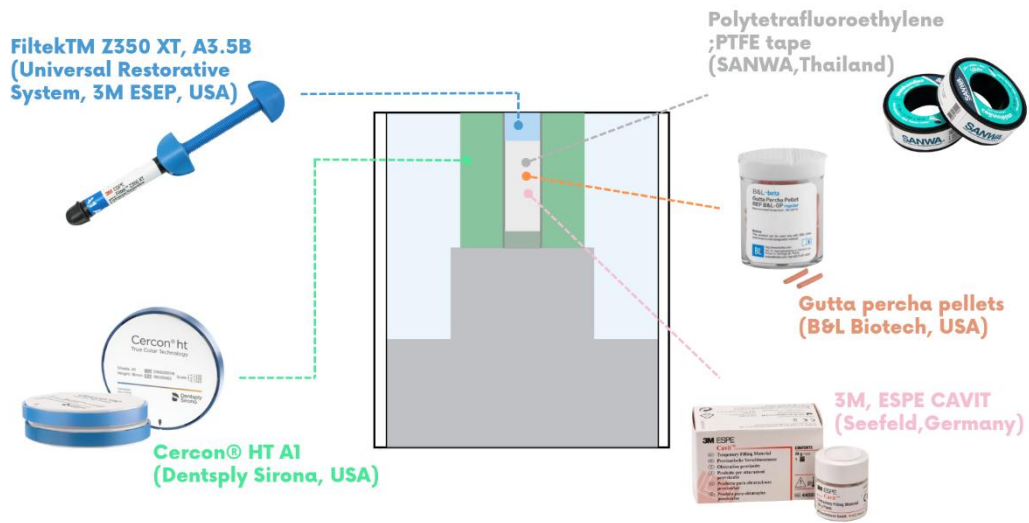
3.3 นำวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (3M™ ESPE™ CAVIT™, Seefeld, Germany) ใส่ลงในรูชิ้นงานเซอรโคเนีย นำอุปกรณ์กดอัด ร่วมกับไมโครบรัชจุ่มน้ำกลั่น ออกแรงกดอัดด้วยแรงมือ วัดความลึกในชิ้นงานด้วยเครื่องมือตรวจปริทัศน์ ว่ามีความลึกเหลืออยู่ 2 มิลลิเมตร รอวัสดุเซตตัว 2 นาที จากนั้นนำแท่งโลหะวางด้านบนและทับด้วยก้อนโลหะถ่วงน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม นาน 2 นาที<sup>(63)</sup>

4. นำชิ้นงานที่ทำการเตรียมวัสดุรองพื้นเรียบร้อยแล้ว ทาสารยึดติด (Clearfil Universal Bond Quick, Kararay Noritake, USA) ด้วยไมโครบรัชให้ทั่วรูสกรู เป็นลักษณะการเคลื่อนที่แบบถู (rubbing motion) นาน 20 วินาที แล้วเป่าลมเบาๆเป็นเวลา 20 วินาที จากนั้นฉายแสงนาน 20 วินาที<sup>(64)</sup> ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Smartlite Focus, Dentsply sirona, USA) ที่มีความเข้มแสง 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะตรวจสอบความเข้มแสงทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงาน ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)

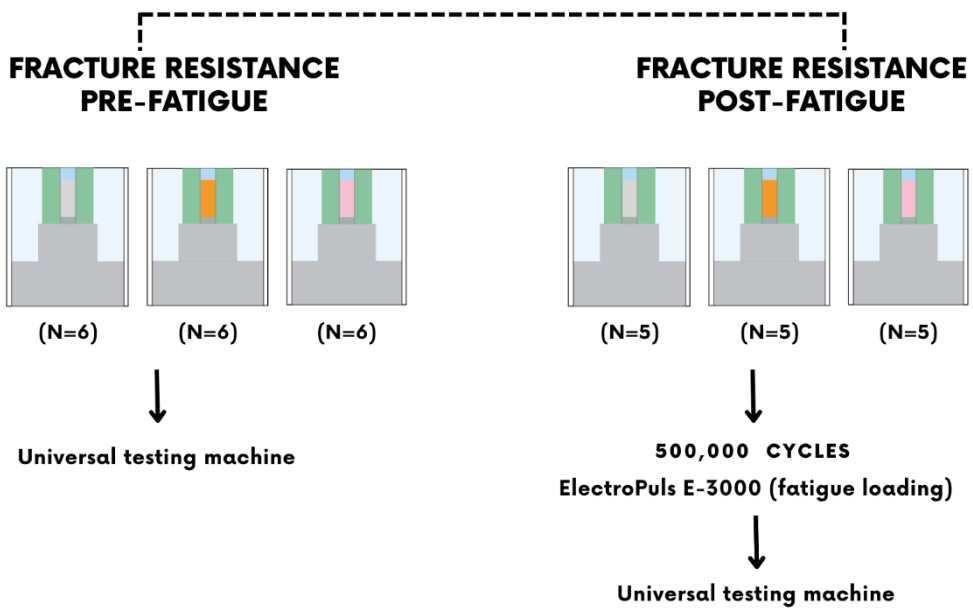
5. นำเรซินคอมโพสิตชนิดกดอัด (Filtek™ Z350 XT, A3.5B, Universal Restorative System, 3M ESEP) มาบูรณะปิดทับวัสดุรองพื้นในรูสกรูด้วยเครื่องมือพลาสติกอินสตรูเมนต์ (Plastic instrument) บูรณะให้พอดีกับขอบบนของรูจำลองสกรู นำแผ่นแก้ว (glass slide) วางทับด้านบน เพื่อให้พื้นผิวของวัสดุบูรณะเรียบสม่ำเสมอ จากนั้นฉายแสงนาน 20 วินาที<sup>(65)</sup> ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (Smartlite Focus, Dentsply sirona, USA) ที่มีความเข้มแสง 1,000 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะตรวจสอบความเข้มแสงทุกครั้งที่เปลี่ยนชิ้นงาน ด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง (Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)



ภาพประกอบ 23 ชิ้นงานที่เรียบร้อยแล้ว ก่อนนำไปทดสอบ



ภาพประกอบ 24 ผลิตภัณฑ์แต่ละส่วนในชิ้นงาน

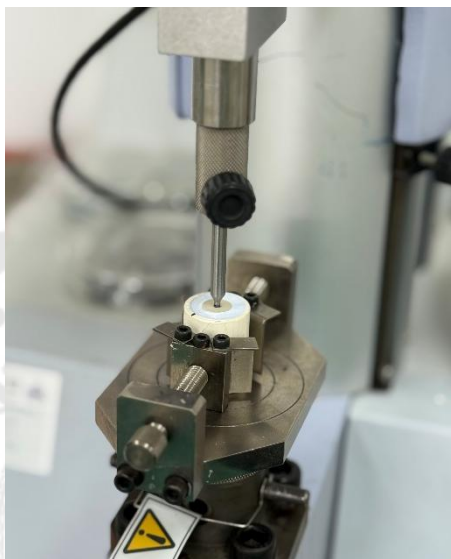


ภาพประกอบ 25 แผนผังวิธีดำเนินการวิจัย

**การทดสอบความต้านทานการแตกหัก ก่อนรับแรงด้า**

นำชิ้นงานที่ทำการเตรียมไว้เรียบร้อยแล้วยึดติดกับฐานจับของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu) โดยให้ชิ้นงานอยู่หนึ่งด้วยการไขสกรูด้านข้าง และใช้โหลดเซลล์ ขนาด 5 กิโลนิวตัน ( 5KN Load cell ) กำหนดความเร็วของหัวทดสอบที่ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที (cross head speed 0.5 mm/min) ทดสอบด้วยหัวทดสอบชนิดเหล็กกล้าปลายมน (steel rod with rounded edges) ขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร กำหนดให้ตำแหน่งหัวทดสอบตั้งตรง (vertical static) และอยู่บริเวณจุดกึ่งกลางของวัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิต เพื่อมีวัตถุประสงค์จำลองการสบของปุ่มยอดฟัน (cusp contact) จากนั้นบันทึกแรงที่ทำให้เรซิน คอมโพสิตเกิดการแตกหักออกมาเป็นหน่วยนิวตัน และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ



ภาพประกอบ 26 ชิ้นงานขณะทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

#### การทดสอบความต้านทานการแตกหัก หลังรับแรงล้า

นำชิ้นงานที่ทำการเตรียมไว้เรียบร้อยแล้วยึดติดกับฐานจับเครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON) โดยให้ชิ้นงานอยู่หนึ่งด้วยการไขสกรูด้านข้าง และใช้โหลดเซลล์ ขนาด 3,000 นิวตัน ( 3,000 N load cell ) กำหนดแรงที่ 25 นิวตัน<sup>(58)</sup> จำนวน 500,000 รอบ ที่ความถี่ 10 Hz<sup>(60)</sup> ทดสอบด้วยหัวทดสอบชนิดเหล็กกล้าปลายมน (steel rod with rounded edges) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร กำหนดให้ตำแหน่งหัวทดสอบตั้งตรงและอยู่บริเวณจุดกึ่งกลางของวัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิต เพื่อมีวัตถุประสงค์จำลองการสบของปุ่มยอดฟัน (cusp contact) โดยชิ้นงาน 1 ชิ้น ใช้เวลาในการทดสอบการรับแรงล้าที่ 13 ชั่วโมง 53 นาที



ภาพประกอบ 27 ชิ้นงานขณะทดสอบการรับแรงล้าด้วยเครื่องทดสอบความล้า

หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการรับแรงล้าออกจากเครื่องทดสอบความล้า แล้วนำไปยึดติดกับฐานจับของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu) โดยให้ชิ้นงานอยู่หนึ่งด้วยการไขสกรูด้านข้าง และใช้โหลดเซลล์ ขนาด 5 กิโลนิวตัน (5KN load cell) กำหนดความเร็วของหัวทดสอบที่ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที (cross head speed 0.5 mm/min) ทดสอบด้วยหัวทดสอบชนิดเหล็กกล้าปลายมน (steel rod with rounded edges) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร กำหนดให้ตำแหน่งหัวทดสอบตั้งตรง (vertical static) และอยู่บริเวณจุดกึ่งกลางของวัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิต เพื่อมีวัตถุประสงค์จำลองการสบของปุ่มยอดฟัน (cusp contact) จากนั้นบันทึกแรงที่ทำให้เรซิน คอมโพสิตเกิดการแตกหักออกมาเป็นหน่วยนิวตัน และนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยชิ้นงานทุกชิ้นของการทดลองหลัก จะถูกเตรียมไว้ล่วงหน้า 1 วัน ก่อนจะนำชิ้นงานไปเข้าเครื่องทำการทดสอบ ทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้า

#### การศึกษารูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน (Failure mode analysis)

เมื่อชิ้นงานถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์แล้ว จะนำชิ้นงานไปศึกษาดูรูปแบบของการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงสเตอริโอ (stereo-microscope) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และบันทึกภาพลักษณะการแตกหักที่เกิดขึ้น โดยจำแนกประเภทรูปแบบของการแตกหัก เป็น 3 แบบ<sup>(66)</sup>

1. การแตกหักแบบยึดติด (Adhesive failure) คือ การแตกหักบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุ 2 ชนิด กล่าวคือบริเวณระหว่างชิ้นงานเซอริโคเนียและวัสดุบูรณะเรซิน คอมโพสิต

2. การแตกหักแบบเชื่อมแน่น (Cohesive failure) คือ การแตกหักในเนื้อวัสดุ ชนิดใดชนิดหนึ่ง กล่าวคือบริเวณเนื้อชิ้นงานเซอรัคโคเนียหรือเนื้อวัสดุบุรณะเรซิน คอมโพสิต

3. การแตกหักแบบผสม (Mixed failure) คือ การแตกหักทั้งบริเวณรอยต่อ ระหว่างวัสดุ 2 ชนิดและในเนื้อวัสดุ

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติเอสพีเอสเอสเวอร์ชัน 25.0 (SPSS statistics 25.0, IBM) ทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูล (Normality test) ด้วยสถิติชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) และจะทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยการจับคู่กลุ่ม (Multiple comparison) แบบทูกีย์ (Tukey honest significant difference Test) ร่วมกับการใช้การทดสอบค่าที สำหรับกลุ่มอิสระ (Independent-Sample T Test) เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการรับแรงด้า ในแต่ละกลุ่ม โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha$  0.05)

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความต้านทานการแตกหักทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้าของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัดบนรูในชิ้นงานประเภทเซอรโคเนีย ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ เทปพันเกลียว (polytetrafluoroethylene tape; PTFE Tape), กัททาเพอร์ธา (gutta percha) และวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต (temporary filling; Cavit™) โดยงานวิจัยนี้มีการกำหนดกลุ่มการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มหลักและมี 3 กลุ่มย่อย ดังนี้

1. ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า
  - 1.1 บูรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด เทปพันเกลียว
  - 1.2 บูรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด กัททาเพอร์ธา
  - 1.3 บูรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต
2. ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า
  - 2.1 บูรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด เทปพันเกลียว
  - 2.2 บูรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด กัททาเพอร์ธา
  - 2.3 บูรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต

โดยทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu) ร่วมกับการทดสอบการรับแรงล้า จำนวน 500,000 รอบ ด้วยเครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON) และเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 2 กลุ่มหลัก มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรอิสระคือชนิดของวัสดุรองพื้น ส่วนตัวแปรตามคือความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัด

ผลจากการศึกษาความต้านทานการแตกหักก่อนและหลังการรับแรงล้าของเรซินคอมโพสิตชนิดกักอัดที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน ปิดทับบนรูในชิ้นงานประเภทเซอรโคเนีย จะถูกเปรียบเทียบ วิเคราะห์ด้วยการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ตามหัวข้อดังนี้

- ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า
- ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า

### ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า

ตัวแปรอิสระประกอบด้วย วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน จำนวน 3 ชนิด ตัวแปรตามคือค่าความต้านทานการแตกหัก ค่าความต้านทานการแตกหัก ระหว่างวัสดุรองพื้นทั้ง 3 ชนิด จึงจะใช้การวิเคราะห์แบบความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยแบ่งกลุ่มการทดลองตามวัสดุรองพื้น จำนวน 3 กลุ่ม ดังนี้

1. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด เทปพันเกลียว
2. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด กัดทาเพอร์ธา
3. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด วัสดุบุรณะชั่วคราวเควิต

สมมติฐานการทดสอบ คือ

$H_0$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่ไม่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนรับแรงล้า

$H_1$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนรับแรงล้า

จากการทดสอบความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตชนิดกดอัด ที่เปรียบเทียบการมีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ปิดทับบนรูในชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย ก่อนรับแรงล้า จะใช้เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu) จะได้ค่าความต้านทานการแตกหัก บันทึกออกมาเป็นหน่วยนิวตัน (newton) จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูล (normality Test) โดยใช้สถิติของชาปีโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk Test) พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงปกติ และทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Homogeneity of variance Test) โดยใช้สถิติของเลวีเน (Levene's Test) พบว่า ความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มเท่ากัน จึงวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยสถิติพาราเมตริก วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ในการการทดสอบสมมติฐานงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน

ตัวแปรอิสระ	F	p-value
วัสดุรองพื้น	466.674	< 0.001

ตาราง 5 วิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่าวัสดุรองพื้น มีค่า p-value เท่ากับ < 0.001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้ กล่าวคือ วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนรับแรงล้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบเชิงพหุ (Multiple Comparison) โดยการเปรียบเทียบรายคู่ แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) เพื่อทดสอบว่าค่าวัสดุรองพื้นใดที่มีค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนียแบบรายคู่ ที่มีวัสดุรองพื้นต่างชนิดกัน ก่อนการรับแรงล้า

กลุ่มการทดลอง	ความต้านทานการแตกหัก (นิวตัน)	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (p-value)	
		กัตตาเพอร์ชา	วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต
เทปพันเกลียว	118.13 ± 9.80	485.95 (< 0.001)	698.78 (<0.001)
กัตตาเพอร์ชา	604.09 ± 63.03	-	212.83 (<0.001)
วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต	816.92 ± 29.66	-	-

จากตาราง 6 สามารถสรุปผลการทดสอบการเปรียบเทียบแบบรายคู่ได้ว่า ทุกคู่ของวัสดุรองพื้นมีความแตกต่างกันของค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนการรับแรงล้า อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเทปพันเกลียว มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักต่ำที่สุดเท่ากับ 118.13 (± 9.80) นิวตัน แตกต่างจากค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของกัตตาเพอร์ชาอยู่ที่ 485.95 นิวตัน และแตกต่างจากค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตอยู่ที่ 698.78 นิวตัน ส่วนค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักรองลงมาคือกัตตาเพอร์ชา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 604.09 (± 63.03) นิวตัน ซึ่งแตกต่างจาก

ค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของวัสดุบุรณะชั่วคราวเควิตอยู่ที่ 212.83 นิวตัน และค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุดคือวัสดุบุรณะชั่วคราว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 816.92 ( $\pm 29.66$ )

### ความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า

ตัวแปรอิสระประกอบด้วย วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน จำนวน 3 ชนิด ตัวแปรตามที่วัดค่ามาจากกลุ่มการทดลอง คือค่าความต้านทานการแตกหัก ระหว่างวัสดุรองพื้นทั้ง 3 ชนิด จึงจะใช้การวิเคราะห์แบบความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) โดยแบ่งกลุ่มการทดลองตามวัสดุรองพื้น จำนวน 3 กลุ่ม ดังนี้

1. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด เทปพันเกลียว
2. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด กัดทาเพอร์ทา
3. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด วัสดุบุรณะชั่วคราวเควิต

สมมติฐานการทดสอบ คือ

$H_0$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่ไม่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า

$H_1$ : วัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า

จากการทดสอบความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตชนิดกอดัด ที่เปรียบเทียบการมีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน ปิดทับบนรูในชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า โดยกลุ่มการทดลองจะผ่านการทดสอบการรับแรงล้า จำนวน 500,000 รอบ ด้วยเครื่องทดสอบความล้า (ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON) และทดสอบต่อด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu) จะได้ค่าความต้านทานการแตกหัก บันทึกออกมาเป็นหน่วยนิวตัน (Newton) จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูล (Normality Test) โดยใช้สถิติของชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk Test) พบว่าข้อมูลทุกกลุ่มมีการแจกแจงปกติ และทำการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวน (Homogeneity of variance Test) โดยใช้สถิติของเลวีเน (Levene's Test) พบว่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มเท่ากัน จึงวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดต่อด้วยสถิติพารามตริกวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ในการการทดสอบสมมติฐานงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวของค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ที่มีวัสดุรองรับพื้นต่างชนิดกัน

ตัวแปรอิสระ	F	p-value
วัสดุรองรับ	2611.772	< 0.001

ตาราง 7 วิเคราะห์เปรียบเทียบ พบว่าวัสดุรองรับ มีค่า p-value เท่ากับ < 0.001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้ กล่าวคือ วัสดุรองรับที่ต่างชนิดกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังรับแรงล้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ เปรียบเทียบเชิงพหุ (Multiple Comparison) โดยการเปรียบเทียบรายคู่ แบบทูกีย์ (Tukey Honest Significant Different Test) เพื่อทดสอบว่าคู่วัสดุรองรับใดที่มีค่าความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 8 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนียแบบรายคู่ ที่มีวัสดุรองรับพื้นต่างชนิดกัน หลังการรับแรงล้า

กลุ่มการทดลอง	ความต้านทานการแตกหัก (นิวตัน)	ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย (p-value)	
		กัทยาเพอร์ช่า	วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต
เทปพันเกลียว	100.35 ± 7.73	466.53 (< 0.001)	705.19 (<0.001)
กัทยาเพอร์ช่า	566.88 ± 25.15	-	238.66 (<0.001)
วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต	805.54 ± 13.95	-	-

จากตาราง 8 สามารถสรุปผลการทดสอบการเปรียบเทียบแบบรายคู่ได้ว่า ทุกคู่ของวัสดุรองรับมีความแตกต่างกันของค่าความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยเทปพันเกลียว มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักต่ำที่สุดเท่ากับ 100.35 (± 7.73) นิวตัน แตกต่างจากค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของกัทยาเพอร์ช่าอยู่ที่ 466.53 นิวตัน และแตกต่างจากค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตอยู่ที่ 705.19 นิวตัน ส่วนค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักรองลงมาคือกัทยาเพอร์ช่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 566.88 (± 25.15) นิวตัน ซึ่งแตกต่างจากค่าเฉลี่ยความ

ด้านทานการแตกหักของวัสดุบุรณะชั่วคราวเควิตอยู่ที่ 238.66 นิวตัน และค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักสูงที่สุดคือวัสดุบุรณะชั่วคราวเควิต มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 805.54 ( $\pm 13.95$ ) นิวตัน

หากพิจารณาค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ที่มีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด บนรุษของชิ้นงานเซอริโคเนีย ระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล่ำ ว่าวัสดุรองพื้นชนิดใดที่มีค่าความต้านทานการแตกหัก ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะใช้สถิติการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย แบบการทดสอบทีสำหรับตัวอย่างอิสระ (Independent-Samples t-test) และก่อนการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบการแจกแจงของข้อมูล (Normality Test) โดยใช้สถิติของซาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk Test) พบว่าข้อมูลทั้งก่อนและหลังการรับแรงล่ำมีการแจกแจงปกติ โดยจะแบ่งกลุ่มการทดลองตามวัสดุรองพื้น จำนวน 3 กลุ่ม ดังนี้

1. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด เทปพันเกลียว ก่อนและหลังการรับแรงล่ำ
2. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด กัดทาเพอร์ธา ก่อนและหลังการรับแรงล่ำ
3. บุรณะด้วยวัสดุรองพื้นชนิด วัสดุบุรณะชั่วคราวเควิต ก่อนและหลังการรับแรงล่ำ

ตาราง 9 ผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ที่มีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด บนรุษของชิ้นงานเซอริโคเนีย ระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล่ำ

กลุ่มการทดลอง	การรับแรงล่ำ	ความต้านทาน	t	p-value
		การแตกหัก (นิวตัน)		
เทปพันเกลียว	ก่อน	118.13 $\pm$ 9.80	3.488	0.006
	หลัง	100.35 $\pm$ 7.73		
กัดทาเพอร์ธา	ก่อน	604.09 $\pm$ 63.03	1.343	0.209
	หลัง	566.88 $\pm$ 25.15		
วัสดุบุรณะชั่วคราวเควิต	ก่อน	816.92 $\pm$ 29.66	0.850	0.415
	หลัง	805.54 $\pm$ 13.95		

จากตาราง 9 พบว่าการมีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันของเรซินคอมโพสิตบนรุษของชิ้นงานเซอริโคเนีย ส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักที่แตกต่างกัน ระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล่ำ แต่ความแตกต่างของแต่ละกลุ่มการทดลองไม่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

โดยเทพพันเกลียว มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนการรับแรงล้า อยู่ที่ 118.13 ( $\pm$  9.80) นิวตัน และหลังการรับแรงล้า อยู่ที่ 100.35 ( $\pm$  7.73) นิวตัน ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล้า พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value = 0.006)

ส่วนกัททาเพอร์ชา มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนการรับแรงล้า อยู่ที่ 604.09 ( $\pm$  63.03) นิวตัน และหลังการรับแรงล้า อยู่ที่ 566.88 ( $\pm$  25.15) นิวตัน ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล้า พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p-value = 0.209)

สุดท้ายวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต มีค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนการรับแรงล้า อยู่ที่ 816.92 ( $\pm$  29.66) นิวตัน และหลังการรับแรงล้า อยู่ที่ 805.54 ( $\pm$  13.95) นิวตัน ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล้า พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p-value = 0.415)

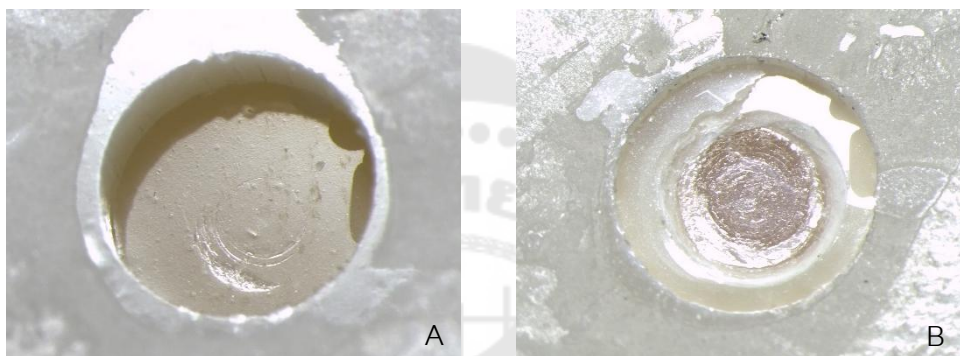
### รูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน (Mode of failure)

ตาราง 10 ร้อยละ อัตราส่วนรูปแบบการแตกหักของชิ้นงานในแต่ละกลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลอง	การรับแรงล้า	รูปแบบการแตกหัก (ร้อยละ)		
		แบบยึดติด	แบบเชื่อมแน่น	แบบผสม
เทพพันเกลียว	ก่อน	83.33	0	16.67
	หลัง	100	0	0
กัททาเพอร์ชา	ก่อน	0	0	100
	หลัง	100	0	0
วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต	ก่อน	33.33	0	66.67
	หลัง	100	0	0

หลังจากการทดสอบค่าความต้านทานการหัก โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ทั้งกลุ่มก่อนและหลังการรับแรงล้า จะนำชิ้นงานมาศึกษาวิธีการแตกหัก แบ่งเป็น 3 รูปแบบดังตาราง

โดยกลุ่มเทพันเกลียว ก่อนการรับแรงล้าจะพบรูปแบบการแตกหักแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 83.33 และพบแบบผสมในอัตราร้อยละ 16.67 และภายหลังการรับแรงล้าจะพบแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 100 ส่วนกัทยาเพอร์ชาก่อนการรับแรงล้าจะพบรูปแบบการแตกหักแบบผสมในอัตราร้อยละ 100 และภายหลังการรับแรงล้าจะพบแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 100 และวัสดุบุรณะชั่วคราวเควิตมีรูปแบบการแตกหักแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 33.33 และพบแบบผสมในอัตราร้อยละ 66.67 และภายหลังการรับแรงล้าจะพบแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 100



ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างรูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน (A) รูปแบบการแตกหักแบบยึดติด และ (B) รูปแบบการแตกหักแบบผสม

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ต้องการทดสอบหาค่าความต้านทานการแตกหัก ทั้งก่อนและหลังรับแรงล้าของเรซินคอมโพสิตชนิดกักัดบนฐานงานประเภทเซอริโคเนีย ซึ่งจำลองรูสกรูในครอบฟันบนรากเทียม ที่มีปัจจัยจากการมีวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกัน สามารถประเมินผลและวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุรองพื้น 3 ชนิด ได้แก่ เทปพันเกลียว, กัดทาเพอร์ชาและวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตต่อคุณสมบัติความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตชนิดกักัดที่ใช้ปิดรูสกรูของครอบฟันเซอริโคเนียบนรากเทียม ทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้าที่จำนวน 500,000 รอบ

จากผลการวิจัยพบว่า ชนิดของวัสดุรองพื้นส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ในกลุ่มก่อนการรับแรงล้า กลุ่มการทดลองที่ใช้วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต มีค่าความต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุด ( $118.13 \pm 9.80$  N) รองลงมาคือกัดทาเพอร์ชา ( $604.09 \pm 63.03$  N) ส่วนเทปพันเกลียวให้ค่าต่ำที่สุด ( $816.92 \pm 29.66$  N) และในกลุ่มหลังการรับแรงล้า ลำดับยังคงเหมือนเดิมคือ กลุ่มการทดลองที่ใช้วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต มีค่าความต้านทานการแตกหักที่สูงที่สุด ( $100.35 \pm 7.73$  N) รองลงมาคือกัดทาเพอร์ชา ( $566.88 \pm 25.15$  N) ส่วนเทปพันเกลียวให้ค่าต่ำที่สุด ( $805.54 \pm 13.95$  N) ซึ่งวัสดุรองพื้นทั้ง 3 ชนิดมีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งก่อนและหลังการรับแรงล้า และพบว่าทุกกลุ่มการทดลองของวัสดุรองพื้นมีค่าความต้านทานการแตกหักลดลงหลังจากผ่านการทดสอบการรับแรงล้า ซึ่งหากพิจารณาภายในวัสดุชนิดเดียวกัน ระหว่างก่อนและหลังการรับแรงล้า กัดทาเพอร์ชาและวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตมีค่าความต้านทานการแตกหักที่ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วนเทปพันเกลียวมีค่าความต้านทานการแตกหักที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการจำลองการบดเคี้ยวอาหารในช่องปาก ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงผลกระทบของการรับแรงล้าที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ ในการพิจารณารูปแบบการแตกหักของชิ้นงาน พบว่ากลุ่มเทปพันเกลียว ก่อนการรับแรงล้าจะพบรูปแบบการแตกหักแบบยึดติดใน

อัตราส่วนร้อยละ 83.33, แบบผสมในอัตราร้อยละ 16.67 และภายหลังจากรับแรงล้าจะพบแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 100 ส่วนกัทยาเพอร์ซา ก่อนการรับแรงล้าจะพบรูปแบบการแตกหักแบบผสมในอัตราร้อยละ 100 และภายหลังจากรับแรงล้าจะพบแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 100 และวัสดุบุรณะชั่วคราวเควิตมีรูปแบบการแตกหักแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 33.33, แบบผสมในอัตราร้อยละ 66.67 และภายหลังจากรับแรงล้าจะพบแบบยึดติดในอัตราส่วนร้อยละ 100

จากที่กล่าวมาจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานว่างได้ทั้ง 2 ข้อ คือวัสดุรองพื้นที่ต่างชนิดกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย ก่อนการรับแรงล้าและวัสดุรองพื้นที่ต่างชนิดกัน ส่งผลที่แตกต่างกันต่อความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตบนรูของชิ้นงานเซอริโคเนีย หลังการรับแรงล้า โดยสรุปการศึกษาวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวัสดุบุรณะชั่วคราวเควิตเป็นวัสดุรองพื้นที่ให้ความแข็งแรงสูงสุดต่อการบุรณะปิดทับด้านบนด้วยเรซินคอมโพสิตในรูสกรูของครอบฟันเซอริโคเนียบนรากเทียม ขณะที่กัทยาเพอร์ซา ให้ผลรองลงมา และเทปพันเกลียวมีข้อจำกัดด้านความต้านทานการแตกหักมากที่สุด ผลการศึกษาที่ยืนยันว่า การทดสอบการรับแรงล้าสามารถสะท้อนความทนทานของการบุรณะในเชิงคลินิกได้ เนื่องจากค่าความต้านทานการแตกหักลดลง หลังจากผ่านการรับแรงล้า และเพื่อลดปัญหาการแตกหักเสียหายของวัสดุบุรณะในรูสกรูของครอบฟันบนรากเทียม ที่จะส่งผลทำให้มีคราบพลัค เศษอาหารติดด้านใน ส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์ มีกลิ่นปาก ทำให้คนไข้เกิดความไม่สะดวกสบายและไม่มั่นใจในการเข้าสังคม จึงมีความสำคัญในการเลือกวัสดุรองพื้นที่เหมาะสมตามเงื่อนไขของผู้ป่วยและลักษณะการใช้งาน เพื่อให้ได้ความสมดุลระหว่างความแข็งแรงเชิงกลและความสะดวก ง่ายในบำรุงรักษาในระยะยาว

### อภิปรายผลการวิจัย

เมื่อพิจารณาถึงผลการวิจัยพบว่า ชนิดของวัสดุรองพื้นที่ใช้ปิดรูสกรูในชิ้นงานประเภทเซอริโคเนีย ส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของเรซิน คอมโพสิต โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ วัสดุบุรณะชั่วคราวเควิต > กัทยาเพอร์ซา > เทปพันเกลียว ทั้งในสภาวะก่อนและหลังการรับแรงล้า การที่วัสดุบุรณะชั่วคราวเควิตมีผลการวิจัยที่ได้ค่าความต้านทานการแตกหักสูงสุด อาจเนื่องมาจากคุณสมบัติการขยายตัวเมื่อดูดซับความชื้น (hygroscopic expansion) ที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสัมผัสกับความชื้นจากการเตรียมชิ้นงานตามคำแนะนำจากบริษัทผู้ผลิต และหากนำไปใช้ในทางคลินิกก็จะสัมผัสกับความชื้นในช่องปากร่วมด้วย โดยวัสดุจะเกิดการขยายตัวเล็กน้อยและสามารถแนบสนิทกับผนังของรูสกรูได้ดี ส่งผลให้เกิดแรงอัดภายใน (internal compressive

stress) ซึ่งช่วยเสริมความแข็งแรงและลดโอกาสการเกิดรอยร้าวในชั้นเรซินคอมโพสิต อีกทั้งวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตยังสามารถป้องกันการรั่วซึม (microleakage) ได้ดีกว่าวัสดุบูรณะชั่วคราวชนิดอื่นๆ<sup>(67)</sup> โดยเฉพาะตำแหน่งที่มีความลึกมากกว่า 3.5 มิลลิเมตร จะยิ่งป้องกันการรั่วซึมได้ดี<sup>(60)</sup> ซึ่งในการศึกษานี้ มีการเตรียมความลึกของชิ้นงานตัวอย่างตำแหน่งวัสดุรองพื้นที่ 5 มิลลิเมตร นอกจากนี้วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตยังมีค่าความแข็งแรงเชิงกล (mechanical properties) ที่เพียงพอในการรองรับแรงบดเคี้ยวในระดับหนึ่ง จึงทำให้ผลการทดลองของกลุ่มนี้มีค่าความต้านทานการแตกหักสูงกว่าอีกสองวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกัตทาเพอร์ชาเป็นวัสดุที่จะมีคุณสมบัติในการสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อโดนความร้อน (thermoplastic) และมีพฤติกรรมที่มีความหนืดและยืดหยุ่น (viscoelastic) ที่ช่วยดูดซับและกระจายแรงเมื่อมีแรงกดซ้ำๆ มากกระทำ<sup>(46)</sup> การที่กัตทาเพอร์ชาเป็นวัสดุรองพื้นที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตที่ค่อนข้างสูง สะท้อนให้เห็นว่าความยืดหยุ่นของวัสดุมีส่วนช่วยป้องกันการเกิดรอยร้าวที่ชั้นเรซินคอมโพสิตได้บางส่วน ในการที่เทปพันเกลียวมักมีข้อได้เปรียบในเชิงคลินิก ไม่ว่าจะเป็นความเฉื่อย (chemical inertness), ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใดๆ สามารถรีดออกได้ง่ายโดยไม่ทิ้งเศษวัสดุและไม่ทำลายบริเวณตำแหน่งของหัวสกรู<sup>(44)</sup> แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในแง่คุณสมบัติเชิงกลเทปพันเกลียว มีความแข็งแรงต่ำ จึงไม่สามารถเสริมความแข็งแรงของเรซินคอมโพสิตได้ อีกทั้งมีผิวสัมผัสที่เรียบและมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ส่งผลให้แรงที่มากกระทำถ่ายทอดโดยตรงไปยังเรซินคอมโพสิตโดยไม่เกิดการกระจายแรง<sup>(68)</sup> และคาดว่าความหนาของเทปพันเกลียวก็ส่งผลต่อความแข็งแรงเช่นกัน หากเทปพันเกลียวมีความหนาที่น้อยจะถูกกดอัดให้แน่นได้มาก อาจส่งผลให้มีความแข็งแรงมากกว่าเทปพันเกลียวที่มีความหนาที่มากกว่า เนื่องจากอาจมีช่องว่างระหว่างชั้นที่มากกว่า ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จึงส่งผลให้ผลการวิจัยนี้ เทปพันเกลียวเป็นวัสดุรองพื้นที่มีค่าความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การพิจารณารูปแบบการแตกหัก กลุ่มการทดลองที่ใช้เทปพันเกลียวเป็นวัสดุรองพื้น พบการแตกหักเป็นแบบยึดติด ทั้งก่อนและหลังการรับแรงด้า หมายถึงว่าการล้าเหลวเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิตกับผนังเซอร์โคเนีย ไม่ใช่ที่ตัววัสดุเอง สาเหตุอาจมาจากคุณสมบัติพื้นผิวของเทปพันเกลียวที่มีพลังงานพื้นผิว (surface energy) ที่ต่ำ และมีความลื่นสูง ทำให้ไม่สามารถสร้างแรงยึดหรือแรงอัดช่วยพยุงได้<sup>(44)</sup> จึงสอดคล้องกับการส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิตที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุรองพื้นกลุ่มอื่นๆ จากการแรงมีที่มากกระทำจะถูกถ่ายโอนไปยังผิวหน้าระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิตกับผนังเซอร์โคเนีย ทำให้เกิดการล้าเหลวที่บริเวณรอยต่อ ส่วนการรูปแบบการแตกแบบผสม ที่พบในกลุ่มการทดลองวัสดุรองพื้น

ชนิดกัฒทาเพอร์ธาและวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต ก่อนการรับแรงล้า หมายถึงการเกิดการล้มนเหลว ทั้งที่ผิวหน้าระหว่างชั้นเรซินคอมโพสิตกับผนังเซอริโคเนียและในชั้นเรซินคอมโพสิตบางส่วนพร้อม กัน ซึ่งสะท้อนว่าวัสดุทั้งสองชนิดสามารถช่วยรองรับและกระจายแรงได้บางส่วน

ภายหลังการทดสอบการรับแรงล้าแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านทานการแตกหักลดลงใน ทุกกลุ่ม ซึ่งสัมพันธ์กับกลไกการเสียหายจากแรงซ้ำ (fatigue damage) ของวัสดุทางทันตกรรม เมื่อวัสดุถูกกระทำด้วยแรงที่มีขนาดต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด แต่ซ้ำๆ ติดกันเป็นเวลานาน จะ ทำให้เกิดรอยร้าวระดับจุลภาค (microcracks) และการขยายตัวของรอยร้าวเหล่านี้ จนในที่สุด นำไปสู่การลดความแข็งแรงโดยรวม<sup>(69)</sup> อย่างไรก็ตาม ลำดับค่าความต้านทานการแตกหักจากการ มีวัสดุรองรับที่แตกต่างกันยังคงเดิม คือ วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต > กัฒทาเพอร์ธา > เทปพัน เกลียว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสมบัติเฉพาะของวัสดุรองรับแต่ละชนิด มีอิทธิพลต่อความต้านทานการ แตกหักมากกว่าผลของการรับแรงล้าเพียงอย่างเดียว แม้ว่าเทปพันเกลียวจะเป็นวัสดุที่นิยมถูก นำไปใช้ในทางคลินิก เนื่องจากมีข้อดีเรื่องความสะดวก การรื้อออกง่ายและมีข้อได้เปรียบด้านการ ควบคุมปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดเนื้อเยื่ออักเสบรอบรากเทียม (peri-implantitis) เนื่องจากมีงานวิจัย ก่อนหน้าพบว่าเทปพันเกลียว สามารถลดการสะสมของแบคทีเรียได้ดี<sup>(44)</sup> แต่ในปัจจุบันปัญหา เหล่านี้ลดลงมากแล้วจากการเปลี่ยนแปลงการออกแบบรูปร่างของรากเทียม<sup>(8)</sup> และการศึกษาวิจัย ครั้งนี้ชี้ให้เห็นข้อจำกัดด้านความต้านทานการแตกหักที่ควรนำมาพิจารณาร่วมด้วย ซึ่งในทาง กลับกัน วัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตและกัฒทาเพอร์ธา แม้ว่าจะมีความซับซ้อนในการใช้งานมากกว่า แต่มีศักยภาพในการเสริมสมบัติเชิงกลของการบูรณะปิดรูสกรูด้วยเรซินคอมโพสิตได้ดีกว่าในแง่ การรับแรงบดเคี้ยว

ในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ฟันและงานบูรณะทางทันตกรรม ไม่ได้รับแรงสูงสุดเพียงครั้ง เดียว แต่จะมีการรับกับแรงที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ หลายแสนถึงล้านครั้งต่อปีจากการเคี้ยวอาหาร<sup>(70)</sup> งานวิจัยก่อนหน้าบ่งบอกว่าการรับแรงล้า<sup>(71)</sup> มีความใกล้เคียงกับสภาวะการบดเคี้ยวที่เกิดขึ้น จริง สามารถทำนายอายุการใช้งานของการบูรณะ โดยใช้จำนวน 500,000 รอบ ในงานวิจัยนี้จึง เทียบได้กับการใช้งานจริงประมาณ 6 เดือน ซึ่งผลการทดสอบของกลุ่มการทดลองที่ทำการรับแรง ล้า<sup>(71)</sup> สามารถนำไปเชื่อมโยงกับวงรอบการตรวจสุขภาพช่องปากของผู้ป่วย (recall visits) ได้ อย่างเช่น หากพบว่าเทปพันเกลียวโอกาสเกิดการแตกหักแบบยึดติด ภายหลัง 6 เดือน ก็บ่งบอกว่า ผู้ป่วยที่ใส่วัสดุรองรับชนิดนี้อาจควรได้รับการติดตามใกล้ชิดมากขึ้น ขณะที่วัสดุบูรณะชั่วคราวเค วิตและกัฒทาเพอร์ธาที่แสดงการแตกหักแบบผสม มีแนวโน้มทนทานกว่าในสภาวะเดียวกัน ซึ่งเป็น

ข้อมูลเชิงปฏิบัติที่จะช่วยทันตแพทย์ตัดสินใจเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับแรงบดเคี้ยวและพฤติกรรมของผู้ป่วยรายบุคคลต่อไปได้

ถึงแม้ว่าเทปพันเกลียวจะเป็นวัสดุรองพื้นที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานการแตกหักเฉลี่ยที่ต่ำสุด เมื่อเทียบกับวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิตและกัทยาเพอร์ชา แต่เมื่อพิจารณาตามแรงบดเคี้ยวจริง (functional chewing) ในผู้ใหญ่ทั่วไป บริเวณฟันกรามใหญ่ที่มีหน้าที่หลักในการบดเคี้ยว นั้นโดยมากอยู่ในช่วง 70–150 นิวตัน<sup>(72)</sup> ต่ोजังหวะการเคี้ยวอาหาร เมื่อเทียบแรงบดเคี้ยวสูงสุด (maximum bite force) อาจจะมีแรงมากถึง 1,000 นิวตัน<sup>(73)</sup> ซึ่งแรงบดเคี้ยวปกติต่ำกว่าแรงบดเคี้ยวสูงสุดมาก ทำให้ยังคงเพียงพอ ต่อการใช้งานเพื่อการเคี้ยวทั่วไป ในเงื่อนไขที่ไม่ได้ใช้งานกับอาหารประเภทที่มีความแข็งหรือแรงกดดันฟันบ่อยๆ หรือในกรณีผู้ป่วยสูงอายุมักมีแรงบดเคี้ยวที่ลดลงจากการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อ, การเสื่อมสภาพของข้อต่อขากรรไกร (temporomandibular joint) และการสูญเสียฟัน<sup>(70)</sup> ทำให้คาดว่าแรงบดเคี้ยวของผู้สูงอายุจะต่ำกว่าแรงบดเคี้ยวจริงในผู้ใหญ่ทั่วไป จากปัจจัยแรงบดเคี้ยวที่กล่าวมาอยู่ในช่วงที่การเลือกใช้วัสดุรองพื้นชนิดเทปพันเกลียว สามารถรองรับได้โดยนำไม่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงข้อดีในการถอดและซ่อมบูรณะได้ง่าย ทั้งนี้การเลือกใช้วัสดุรองพื้น อาจพิจารณาจากแรงบดเคี้ยวของผู้ป่วย การมีอาการนอนกัดฟัน (bruxism) มีการบดเคี้ยวที่ทำงานผิหน้าที่ (parafunctional habit) พฤติกรรมการมีแนวโน้มในการเลือกบริโภคอาหารที่ต้องใช้แรงบดเคี้ยวสูง หรือความสามารถในการเข้ารับการตรวจติดตามสุขภาพช่องปาก อาจต้องพิจารณาจากการเลือกวัสดุรองพื้นที่ให้ค่าความต้านทานการแตกหักต่อเรซิน คอมโพสิตที่สูงกว่านี้ อย่างวัสดุบูรณะชั่วคราวเควิต หรือกัทยาเพอร์ชา เพื่อเพิ่มความทนทานให้กับครอบฟันบนรากเทียม

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มีการเปรียบเทียบ ใสตัวแปรอิสระในการปรับสภาพผิวหรือการใช้สารยึดติดที่หลากหลายโดยตรง แต่การที่เรซินคอมโพสิตสามารถบูรณะปิดรูสกรูบนชิ้นงานประเภทเซอริโคเนียได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น อ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้าว่า การปรับสภาพผิวเซอริโคเนียด้วยการเป่าทราย (sandblasting) ร่วมกับการใช้โมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (functional monomer) อย่างเช่น เท็นเอ็มดีพี (10-MDP) สามารถเพิ่มแรงยึดติดกับเรซินคอมโพสิตได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>(74), (75)</sup> อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเลือกชนิดของวัสดุรองพื้นก็มีบทบาทสำคัญไม่น้อยไปกว่าการยึดติดของวัสดุกับเซอริโคเนีย เนื่องจากวัสดุรองพื้นที่แตกต่างกันส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะของการบูรณะเมื่อเผชิญแรงบดเคี้ยวในช่องปาก

การที่เซอริโคเนียมีคุณสมบัติเด่นของการเกิดกระบวนการ ทรานฟอร์มเมชันทัฟเทนิง (transformation toughening) นั้น คือความสามารถหยุดการกระจายของรอยร้าวเมื่อมีแรงมา

กระทำ สอดคล้องกับการที่ครอบฟันเซอรโคเนียบนรากเทียม มีการเปิดออกเป็นช่องตรงกลาง สำหรับรูสกรู อาจทำให้เป็นจุดด้อยของโครงสร้าง จากการขาดความต่อเนื่องของวัสดุ เมื่อเทียบกับ ความแข็งแรงของครอบฟันบนรากเทียมที่ถูกยึดด้วยซีเมนต์<sup>(76)</sup> ดังนั้นการเลือกวัสดุบูรณะที่ เหมาะสมจึงสำคัญต่อการคงความสมบูรณ์ของครอบฟัน

ผลการศึกษานี้ก็ชี้ให้เห็นว่า แม้วัสดุรองฟันที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อความ ต้านทานการแตกหัก และค่าของการกลุ่มทดลองทั้งหมดจะลดลงหลังผ่านการรับแรงล้า สะท้อนว่า ไม่ว่าวัสดุรองฟันชนิดใด ๆ ก็ควรต้องได้รับการดูแลและตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอในระยะยาว งานวิจัยก่อนหน้า<sup>(71)</sup> สนับสนุนว่าการรับแรงล้า (fatigue loading) สามารถทำนายอายุการใช้ งานจริงของการบูรณะได้ การติดตามตรวจทุก 6 เดือนจึงยังคงเป็นมาตรฐานที่เหมาะสม โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่ได้รับการเลือกใช้เทปฟันเกลียวเป็นวัสดุรองฟัน

### ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในการอุดปิดรูสกรูด้วยเรซินคอมโพสิตของครอบฟันบนราก เทียมที่มีวัสดุรองฟันต่างกัน ทั้งหมด 3 ชนิด แม้ว่าผลการศึกษาจะสามารถประยุกต์ใช้ในเชิงคลินิก ได้จริง แต่ควรมีการศึกษาวัดรองฟันชนิดอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลและให้มีความ สะดวก ง่ายในการบำรุงรักษาที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น หรือปรับเปลี่ยนรูปแบบการเตรียมงานขึ้นงาน อย่างเช่น การใช้วัสดุรองฟัน 2 ชนิดที่แตกต่างกันก่อนจะปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิต เพื่อที่จะให้มีความแข็งแรงและสอดคล้องไปกับการปิดทับด้วยเรซินคอมโพสิตมากขึ้น

เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการจำลอง สถานการณ์ของสภาวะการใช้งานจริงในทางคลินิก อาจส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในงานวิจัยอยู่ในบาง ประการ ดังนั้นอาจควรจำลองสภาวะที่ใกล้เคียงทางคลินิกมากยิ่งขึ้น เช่น จำนวนรอบในการรับ แรงล้าที่เพิ่มขึ้น เพื่อดูผลในระยะยาว หรือการกำหนดทิศทางของหัวทดสอบที่หลากหลาย การ จำลองสภาวะเปียก (wet condition) สภาวะอุณหภูมิแปรผัน (thermocycling) หรือการจำลองบน หลักรากเทียมจริง เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ถูกต้อง สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

1. Kraus RD, Espuelas C, Hämmerle CH, Jung RE, Sailer I, Thoma DS. Five-year randomized controlled clinical study comparing cemented and screw-retained zirconia-based implant-supported single crowns. *Clinical oral implants research*. 2022;33(5):537-47.
2. Sriamporn T. *Fundamental of Dental materials* 2564.
3. Wittneben J-G, Millen C, Brägger U. Clinical Performance of Screw-Versus Cement-Retained Fixed Implant-Supported Reconstructions-A Systematic Review. *International journal of oral & maxillofacial implants*. 2014;29.
4. Torrado E, Ercoli C, Al Mardini M, Graser GN, Tallents RH, Cordaro L. A comparison of the porcelain fracture resistance of screw-retained and cement-retained implant-supported metal-ceramic crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2004;91(6):532-7.
5. Chiche GJ, Pinault A. Considerations for fabrication of implant-supported posterior restorations. *International Journal of Prosthodontics*. 1991;4(1).
6. Wittneben JG, Joda T, Weber HP, Brägger U. Screw retained vs. cement retained implant-supported fixed dental prosthesis. *Periodontology 2000*. 2017;73(1):141-51.
7. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL. Peri-implantitis. *Journal of clinical periodontology*. 2018;45:S246-S66.
8. Lazzara RJ, Porter SS. Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*. 2006;26(1).
9. Michalakis KX, Hirayama H, Garefis PD. Cement-retained versus screw-retained implant restorations: a critical review. *International journal of oral & maxillofacial implants*. 2003;18(5).
10. Park S-D, Lee Y, Kim Y-L, Yu S-H, Bae J-M, Cho H-W. Microleakage of different sealing materials in access holes of internal connection implant systems. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2012;108(3):173-80.

11. Emms M, Tredwin CJ, Setchell DJ, Moles DR. The effects of abutment wall height, platform size, and screw access channel filling method on resistance to dislodgement of cement-retained, implant-supported restorations. *Journal of Prosthodontics*. 2007;16(1):3-9.
12. Bona AD, Pecho OE, Alessandretti R. Zirconia as a Dental Biomaterial. *Materials* [Internet]. 2015; 8(8):[4978-91 pp.].
13. Jitwirachot K, Rungsiyakull P, Holloway JA, Jia-mahasap W. Wear Behavior of Different Generations of Zirconia: Present Literature. *International Journal of Dentistry*. 2022;2022:9341616.
14. Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials*. 1999;20(1):1-25.
15. Manicone PF, Rossi Iommetti P, Raffaelli L. An overview of zirconia ceramics: Basic properties and clinical applications. *Journal of Dentistry*. 2007;35(11):819-26.
16. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dental Materials*. 2008;24(3):299-307.
17. Sirona D. The strongest all-ceramic dental restoration material on the market [Available from: <https://www.dentsplysirona.com/en-gb/categories/lab/zirconia.html>].
18. Sirona D. Cercon® xt / Cercon® ht.
19. Jansen JU, Lümke mann N, Letz I, Pfefferle R, Sener B, Stawarczyk B. Impact of high-speed sintering on translucency, phase content, grain sizes, and flexural strength of 3Y-TZP and 4Y-TZP zirconia materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122(4):396-403.
20. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *Journal of Dental Research*. 2017;97(2):140-7.
21. Ferracane JL. Resin composite—State of the art. *Dental Materials*. 2011;27(1):29-38.
22. Pratap B, Gupta RK, Bhardwaj B, Nag M. Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *Japanese Dental Science Review*. 2019;55(1):126-38.

23. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ, Stamatiades P, Wilkerson M. A CHARACTERIZATION OF FIRST-GENERATION FLOWABLE COMPOSITES. *The Journal of the American Dental Association*. 1998;129(5):567-77.
24. Choi KK, Ferracane JL, Hilton TJ, Charlton D. Properties of Packable Dental Composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2000;12(4):216-26.
25. Czasch P, Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites. *Clinical Oral Investigations*. 2013;17(1):227-35.
26. ESEP M. Filtek™ Z350 XT Universal Restorative System.
27. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dental Materials*. 2018;34(1):13-28.
28. Sailer I, Makarov NA, Thoma DS, Zwahlen M, Pjetursson BE. All-ceramic or metal-ceramic tooth-supported fixed dental prostheses (FDPs)? A systematic review of the survival and complication rates. Part I: Single crowns (SCs). *Dental Materials*. 2015;31(6):603-23.
29. Kulunk Ş, Kulunk T, Ural Ç, Kurt M, Baba S. Effect of air abrasion particles on the bond strength of adhesive resin cement to zirconia core. *Acta Odontologica Scandinavica*. 2011;69(2):88-94.
30. Dérand P, Dérand T. Bond Strength of Luting Cements to Zirconium Oxide Ceramics. *International Journal of Prosthodontics*. 2000;13(2):131-5.
31. Ahn J-S, Yi Y-A, Lee Y, Seo D-G. Shear Bond Strength of MDP-Containing Self-Adhesive Resin Cement and Y-TZP Ceramics: Effect of Phosphate Monomer-Containing Primers. *BioMed Research International*. 2015;2015:389234.
32. Yi YA, Ahn JS, Park YJ, Jun SH, Lee IB, Cho BH, et al. The Effect of Sandblasting and Different Primers on Shear Bond Strength Between Yttria-tetragonal Zirconia Polycrystal Ceramic and a Self-adhesive Resin Cement. *Operative Dentistry*. 2015;40(1):63-71.
33. Souza ROA, Valandro LF, Melo RM, Machado JPB, Bottino MA, Özcan M. Air-particle abrasion on zirconia ceramic using different protocols: Effects on biaxial flexural

strength after cyclic loading, phase transformation and surface topography. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2013;26:155-63.

34. Özcan M, Bernasconi M. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent*. 2015;17(1):7-26.

35. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials*. 2007;28(26):3757-85.

36. Yagawa S, Komine F, Fushiki R, Kubochi K, Kimura F, Matsumura H. Effect of priming agents on shear bond strengths of resin-based luting agents to a translucent zirconia material. *Journal of Prosthodontic Research*. 2018;62(2):204-9.

37. Ahmed MH, Yoshihara K, Mercelis B, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. Quick bonding using a universal adhesive. *Clinical oral investigations*. 2020;24:2837-51.

38. Noritake K. CLEARFIL UNIVERSAL BOND QUICK [Available from: <https://kuraraydental.com/product/clearfil-universal-bond-quick/>].

39. Zhou H, Ye S, Lyu X, Feng H, Liu M, Wen C. Evaluation of sealing efficacy and removal convenience of sealing materials for implant abutment screw access holes. *BMC Oral Health*. 2022;22(1):362.

40. Hanif A, Qureshi S, Sheikh Z, Rashid H. Complications in implant dentistry. *European journal of dentistry*. 2017;11(01):135-40.

41. Stean H. PTFE tape: a versatile material in restorative dentistry. *Dental Update*. 1993;20(4):146-8.

42. Moráquez OD, Belser UC. The use of polytetrafluoroethylene tape for the management of screw access channels in implant-supported prostheses. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2010;103(3):189-91.

43. Teng H. Overview of the development of the fluoropolymer industry. *Applied Sciences*. 2012;2(2):496-512.

44. Sattar M, Patel M, Alani A. Clinical applications of polytetrafluoroethylene (PTFE) tape in restorative dentistry. *British Dental Journal*. 2017;222(3):151-8.

45. Friedman CM, Sandrik JL, Heuer MA, Rapp GW. Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points. *Journal of Dental Research*. 1975;54(5):921-5.
46. Vishwanath V, Rao HM. Gutta-percha in endodontics-A comprehensive review of material science. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 2019;22(3):216.
47. Biotech BL. Gutta Percha Pellets Regular [Available from: <https://www.bnlbio.com/>].
48. Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. *Phillips' science of dental materials*: Elsevier Health Sciences; 2012.
49. company M. 3M ESPE CAVIT Safety data sheet. 2016.
50. Webber RT, Del Rio CE, Brady JM, Segall RO. Sealing quality of a temporary filling material. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1978;46(1):123-30.
51. Naoum H, Chandler NP. Temporization for endodontics. *International endodontic journal*. 2002;35(12):964-78.
52. Jacquot BM, Panighi M, Steinmetz P, G'sell C. Microleakage of Cavit, CavitW, CavitG and IRM by impedance spectroscopy. *International Endodontic Journal*. 1996;29(4):256-61.
53. ESPE M. 3M™ Cavit™ Temporary Filling Material Refill, 44030 2023 [Available from: [https://www.3m.com/3M/en\\_LB/p/d/v000075974/](https://www.3m.com/3M/en_LB/p/d/v000075974/)].
54. McLaren E, Giordano R. Ceramics overview: classification by microstructure and processing methods. *Compend Contin Educ Dent*. 2010;31:682-4.
55. Carter CB, Norton MG. *Ceramic materials: science and engineering*: Springer; 2007.
56. SHIMADZU. Universal testing instrument EZ test.
57. Baran G, Boberick K, McCool J. Fatigue of restorative materials. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*. 2001;12(4):350-60.
58. Picton D. The relationship between the mechanisms of tooth and implant support. *Oral Sci Rev*. 1974;5:3-22.

59. Checchi V, Generali L, Corciolani L, Breschi L, Mazzitelli C, Maravic T. Wear and roughness analysis of two highly filled flowable composites. *Odontology*. 2025;113(2):724-33.
60. Wiskott HW, Nicholls JI, Belser UC, Wiskott H, Nicholls J, Belser U. Stress fatigue: basic principles and prosthodontic implications. *International Journal of Prosthodontics*. 1995;8(2).
61. Bidra AS, Daubert DM, Garcia LT, Kosinski TF, Nenn CA, Olsen JA, et al. Clinical practice guidelines for recall and maintenance of patients with tooth-borne and implant-borne dental restorations. *The Journal of the American Dental Association*. 2016;147(1):67-74.
62. INSTRON. ELECTROPULS® E3000 | LINEAR-TORSION ALL-ELECTRIC DYNAMIC TEST INSTRUMENT.
63. Blum J-Y, Parahy E, Micallef J-P. Analysis of the forces developed during obturation: warm vertical compaction. *Journal of Endodontics*. 1997;23(2):91-5.
64. Noritake K. Clearfil Universal Bond Quick\_Technique eBook.
65. ESPE M. Filtek™ Z350 XT, Universal Restorative System\_Technique eBook.
66. Klaisiri A, Krajangta N, Thamrongananskul N. The durability of zirconia/resin composite shear bond strength using different functional monomer of universal adhesives. *European journal of dentistry*. 2022;16(04):756-60.
67. Hashem Q, Mustafa M, Abuelqomsan MA, Altuwalah A, Almokhatieb AA, Fareed M, et al. Assessing correlation between different temporary restorative materials for microleakage following endodontic treatment: an in-vitro study. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):1505.
68. Kameda T, Ohkuma K, Oka S. Polytetrafluoroethylene (PTFE): A resin material for possible use in dental prostheses and devices. *Dental Materials Journal*. 2019;38(1):136-42.
69. Zhang Y, Sailer I, Lawn BR. Fatigue of dental ceramics. *Journal of dentistry*. 2013;41(12):1135-47.

70. Koc D, Dogan A, Bek B. Bite force and influential factors on bite force measurements: a literature review. *European journal of dentistry*. 2010;4(02):223-32.
71. Rosentritt M, Behr M, van der Zel JM, Feilzer AJ. Approach for valuating the influence of laboratory simulation. *Dental materials*. 2009;25(3):348-52.
72. Takahashi T, Hayakawa F, Kumagai M, Akiyama Y, Kohyama K. Relations among mechanical properties, human bite parameters, and ease of chewing of solid foods with various textures. *Journal of food engineering*. 2009;95(3):400-9.
73. Ustrell-Barral M, Zamora-Olave C, Khoury-Ribas L, Rovira-Lastra B, Martinez-Gomis J. Reliability, reference values and factors related to maximum bite force measured by the Innobyte system in healthy adults with natural dentitions. *Clinical Oral Investigations*. 2024;28(11):620.
74. Yoshida K, Tsuo Y, Atsuta M. Bonding of dual-cured resin cement to zirconia ceramic using phosphate acid ester monomer and zirconate coupler. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*. 2006;77(1):28-33.
75. Rohr N, Fischer J. Effect of aging and curing mode on the compressive and indirect tensile strength of resin composite cements. *Head & face medicine*. 2017;13(1):22.
76. Pereira Rde P, Rocha CO, Reis JM, Arioli-Filho JN. Influence of Sealing of the Screw Access Hole on the Fracture Resistance of Implant-Supported Restorations. *Braz Dent J*. 2016;27(2):148-52.



ตาราง 11 การทดสอบการแจกแจงของความถี่ด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Group	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Force	RP	.216	6	.200 <sup>*</sup>	.923	6	.528
	RG	.348	6	.022	.845	6	.143
	RV	.235	6	.200 <sup>*</sup>	.840	6	.131

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ตาราง 12 การทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของความถี่ด้านการแตกหักของ

Tests of Homogeneity of Variances					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Force	Based on Mean	1.840	2	15	.193
	Based on Median	1.486	2	15	.258
	Based on Median and with adjusted df	1.486	2	6.972	.290
	Based on trimmed mean	1.543	2	15	.246

ตาราง 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความถี่ด้านการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า

ANOVA					
Force					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1539491.706	2	769745.853	466.674	<.001
Within Groups	24741.423	15	1649.428		
Total	1564233.129	17			

ตาราง 14 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของของความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต ก่อนรับแรงล้า

	(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	RP	RG	-485.95417 <sup>*</sup>	23.44801	<.001	-546.8597	-425.0486
		RV	-698.78333 <sup>*</sup>	23.44801	<.001	-759.6889	-637.8778
	RG	RP	485.95417 <sup>*</sup>	23.44801	<.001	425.0486	546.8597
		RV	-212.82917 <sup>*</sup>	23.44801	<.001	-273.7347	-151.9236
	RV	RP	698.78333 <sup>*</sup>	23.44801	<.001	637.8778	759.6889
		RG	212.82917 <sup>*</sup>	23.44801	<.001	151.9236	273.7347

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

ตาราง 15 การทดสอบการแจกแจงของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า

Group	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Force AP	.300	6	.099	.884	6	.286
AG	.249	6	.200 <sup>*</sup>	.875	6	.249
AV	.292	6	.120	.849	6	.154

\*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

ตาราง 16 การทดสอบการเท่ากันของความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงล้า

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Force	Based on Mean	1.503	2	15	.254
	Based on Median	1.423	2	15	.272
	Based on Median and with adjusted df	1.423	2	10.002	.286
	Based on trimmed mean	1.489	2	15	.257

ตาราง 17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงด้า

### ANOVA

Force

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1543809.078	2	771904.539	2611.772	<.001
Within Groups	4433.223	15	295.548		
Total	1548242.301	17			

ตาราง 18 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของความแปรปรวนของความต้านทานการแตกหักของเรซินคอมโพสิต หลังรับแรงด้า

### Multiple Comparisons

	(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	AP	AG	-466.52917 <sup>*</sup>	9.92553	<.001	-492.3104	-440.7479
		AV	-705.19167 <sup>*</sup>	9.92553	<.001	-730.9729	-679.4104
	AG	AP	466.52917 <sup>*</sup>	9.92553	<.001	440.7479	492.3104
		AV	-238.66250 <sup>*</sup>	9.92553	<.001	-264.4438	-212.8812
	AV	AP	705.19167 <sup>*</sup>	9.92553	<.001	679.4104	730.9729
		AG	238.66250 <sup>*</sup>	9.92553	<.001	212.8812	264.4438

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



ภาพประกอบ 29 เครื่องล้างความถี่สูง

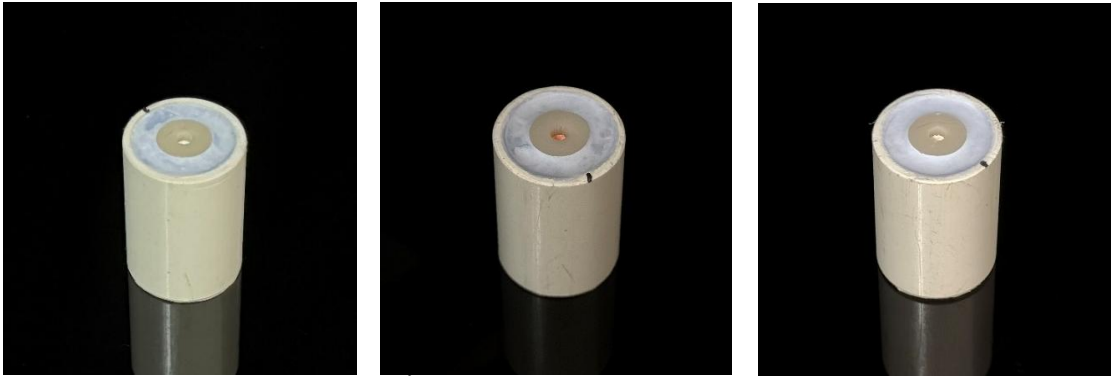
(Easyclean; Ultrasonic cleaning unit, Renfert Germany)



ภาพประกอบ 30 เครื่องเป่าทราย (Basic eco; Fine sandblasting unit, Renfert Germany)



ภาพประกอบ 31 ขณะใช้เครื่องวัดความเข้มแสง  
(Bluephase Meter II, Ivoclar Vivadent AG, Liechtenstein)



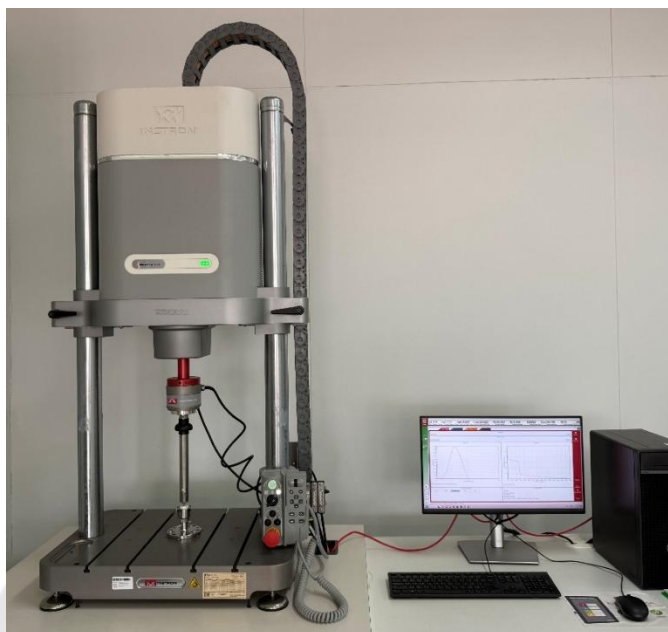
ภาพประกอบ 32 การนำวัสดุรองพื้นเทปพันเกลียว กัตทาเพอร์ช่า และวัสดุบุรณะหัวควรวเควิต  
(ตามลำดับ) ใส่ลงในรูชิ้นงานเซอริโคเนีย



ภาพประกอบ 33 การถ่วงน้ำหนักด้วยก้อนโลหะ 2.5 กิโลกรัม



ภาพประกอบ 34 เครื่องทดสอบแรงดึง  
(Universal testing machine; EZ-LX Long-Stroke Model, Shimadzu)



ภาพประกอบ 35 เครื่องทดสอบความล้า  
(ElectroPuls E-3000 Axial - Torsion Testing System, INSTRON)