



ผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ
ต่อค่าความแข็งแรงพันธะกดออกของวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบกับเดือยฟันไฟเบอร์

THE EFFECT OF DUAL-CURED ACTIVATOR WITH UNIVERSAL ADHESIVE
ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF DUAL-CURED CORE BUILD-UP
AND FIBER POST

ปรางทิพย์ สุขศรีจักรวาล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

ผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอคทีฟ
ต่อค่าความแข็งแรงพันธะกุดอกของวัสดุก่อนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบกับเดือยฟันไฟเบอร์



ปรางทิพย์ สุขศรีจักรวาท

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE EFFECT OF DUAL-CURED ACTIVATOR WITH UNIVERSAL ADHESIVE
ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF DUAL-CURED CORE BUILD-UP
AND FIBER POST



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Clinical Dentistry)

Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอตตีชีฟ
ต่อค่าความแข็งแรงพันธะกอดออกของวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบกับเดือยฟันไฟเบอร์

ของ

ปรางทิพย์ สุขศรีจักรวาท

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(อาจารย์ ดร.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ)

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ ศรีอัมพร)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ เจียรพุด)

ชื่อเรื่อง	ผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอคทีฟต่อค่าความแข็งแรงพันธะกอดของวัสดุก่อนแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบกับเดือยฟันไฟเบอร์
ผู้วิจัย	ปรางทิพย์ สุขศรีจักรวาท
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อนแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับสารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอคทีฟ และศึกษาผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงพันธะกอดอก ใช้วัสดุอุปกรณ์และวิธีการโดยแบ่งกลุ่มการทดลองเป็นแปดกลุ่ม ตามวิธีการใช้สารยึดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ การฉายแสงและเวลาเมื่อทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกอดอก แต่ละกลุ่มใช้เดือยฟันไฟเบอร์หักขึ้น โดยพื้นผิวเดือยฟันไฟเบอร์ดีที่ไลท์-โพล เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น จะถูกเตรียมด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิล ไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (“NA”; No Activator) หรือเคลียร์ฟิล ไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลผสมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ (“A”; Activator) นำเดือยฟันที่เตรียมพื้นผิวแล้วและท่ออะคริลิกใสวางลงบนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง ฉีดเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสจนเต็มท่อ ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดีเป็นเวลา 40 วินาที (“L”; Light-cure) หรือเก็บในกล่องโลหะทึบแสงเป็นเวลา 6 นาที (“NL”; No light-cure) จากนั้นตัวอย่างทดลองจะถูกตัดและทดสอบความแข็งแรงพันธะกอดอกทันที (“I”; Immediate) หรือเก็บในตู้บ่มที่บ่มแสง อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนที่จะถูกตัดและทดสอบความแข็งแรงพันธะกอดอก (“D”; Delay) ตัวอย่างทดลองจะถูกตัดเป็นแผ่นหนา 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างทดลองที่เตรียมจากเดือยฟันไฟเบอร์หนึ่งชิ้นเมื่อตัดแล้วจะได้ชิ้นทดสอบเจ็ดชิ้น ($n=42$) ทดสอบความแข็งแรงพันธะกอดอกด้วยเครื่องทดสอบสากล ความเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที กดจนเดือยฟันหลุดออกจากวัสดุก่อนแกนฟัน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติความแปรปรวนทางเดียวและการทดสอบทีก็ย์ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลการทดลองคือ กลุ่ม “ALD” มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกอดอกสูงสุด (8.87 ± 1.48 MPa) และกลุ่ม “NANLI” มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกอดอกต่ำสุด (4.16 ± 0.95 MPa) พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกอดอกระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=.000$) โดยกลุ่ม “NANLD” มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกอดอกต่างจากกลุ่ม “ANLD” อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจช่วยปรับปรุงค่าความแข็งแรงพันธะกอดอก เมื่อทำการยึดเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อนแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบแล้วไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยแสง

คำสำคัญ : สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ, บ่มตัวจากการสัมผัส, วัสดุก่อนแกนฟัน, เดือยฟันไฟเบอร์

Title	THE EFFECT OF DUAL-CURED ACTIVATOR WITH UNIVERSAL ADHESIVE ON PUSH-OUT BOND STRENGTH OF DUAL-CURED CORE BUILD-UP AND FIBER POST
Author	PRANGTHIP SUKSRIJAKRAWAL
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Vibul Paisankobrit , Ph.D.

The objectives of this research are to determine the bonding effectiveness of dual-cured core build-up material and fiber post by using the touch-cure adhesive system in order to compare the push-out bond strength (PBS) when the dual-cured activator is used versus when it is not used. The materials and methods were as follows: the specimens were divided into eight groups according to adhesive protocol, the curing protocol and testing time. There were six fiber posts were used in each group. The fiber post (D.T.Light- Post® X-RO® ILLUSION® size 3; R.T.D., France) surfaces were either treated with a universal adhesive (Clearfil™ Tri-S Bond Universal; Kuraray Noritake Dental Inc, Japan) alone ("NA") or with universal adhesive mixed with a dual-cured activator (Clearfil™ DC Activator; Kuraray Noritake Dental Inc, Japan) ("A") and then luted with dual-cured core build-up material (Clearfil™ DC Core Plus; Kuraray Noritake Dental Inc, Japan) in a clear acrylic tube on the positioning mold. The curing protocols differ between light-cured for 40 seconds ("L") with a LED curing unit (Elipar, 3M), and stored in a dark box for six minutes ("NL"). The specimens were either tested immediately after preparation ("I") or kept in a water bath in an incubator (37 °C) for 24 hours ("D") before being tested. All of the specimens were cut into seven sections each, with a thickness of 1.5 ± 0.1 mm. The PBS was determined using the Universal Testing Machine (EZ-LX; Shimadzu, Japan) with a cross-head speed of 0.5 mm/min. The data were analyzed using One-way ANOVA and Tukey's Honest Significant Difference test. ($n=42$, $\alpha=0.05$) SEM testing was performed on representative failed specimens from each failure mode. The results revealed the following: the group with the highest PBS was "ALD" (8.87 ± 1.48 MPa), while the "NANLI" group had the lowest PBS (4.16 ± 0.95 MPa). There was a significant difference in PBS between the groups ($p=.000$). A Tukey's post-hoc test revealed a significant difference between the "NANLD" group and the "ANLD" group. ($p=.000$) In conclusion, the addition of a dual-cured activator may improve the PBS of light-inactivated adhesives and core materials.

Keyword : Dual-cured activator, Touch-cure, Core build-up, Fiber post

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์มิได้เลย หากปราศจากความช่วยเหลือและการขัดเกลาจากอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.ทพ.วิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์ ซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทาง ผลักดัน และให้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาว่าสองปีในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.ทพ. ตฤย์ ศรีอัมพร และอาจารย์คณะกรรมการสอบเค้าโครงปริญญานิพนธ์จากภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รศ.ดร.ทพ. ณรงค์ศักดิ์ เหล่าศรีสิน ผศ.ดร.ทพญ. ศิริจันทร์ เจียรพุมิ ผศ.ทพญ. ชินาลย์ ปิยะชน และ อ.ทพ. ชินณ เลิศถวิลจิร ท่านทั้งหลายเป็นผู้ให้คำชี้แนะที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำงานวิจัย อีกทั้ง อ.ดร.ทพ. ณัฐพล กิตติคุณเดชา ผู้ให้คำปรึกษาด้านสถิติ

ขอขอบคุณ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ และสถานที่สำหรับดำเนินงานวิจัย อีกทั้งเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนงบประมาณเงินรายได้คณะทันตแพทยศาสตร์

ขอขอบคุณ คุณกนกพร สุขยานันท์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในงานวิจัยทั้งหมด รวมถึงการดูภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำคลินิกการเรียนการสอน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชั้น 10 และชั้น 7 ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกให้สามารถดำเนินการวิจัยได้อย่างเรียบร้อยเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณครอบครัวที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญตลอดการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ปรางทิพย์ สุขศรีจักรวาท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	3
ความสำคัญของการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	4
ตัวแปรที่ศึกษา.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
สมมติฐานในการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1.การทำเดือยฟันในพื้นที่ผ่านการรักษารากฟัน.....	7
ปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติดเดือยฟันกับคลองรากฟัน.....	8
2. การยึดเดือยฟัน	11
การเตรียมพื้นผิวเดือยฟัน.....	11
3. ระบบสารยึดติดสำหรับการยึดเดือยฟัน	12

ยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ.....	13
4. เรซินซีเมนต์ และวัสดุก่อแกนฟันสำหรับการยึดเดือยฟัน	14
เรซินซีเมนต์	15
วัสดุก่อแกนฟัน.....	15
5.การบ่มตัวของวัสดุ	16
บ่มตัวด้วยแสง	16
บ่มด้วยตัวเอง	17
บ่มตัวสองแบบ.....	17
บ่มตัวจากการสัมผัส.....	18
6. ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์.....	19
แนวคิดการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับสารยึดติดลดชั้นตอน...22	
สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม กลีโอะเอริลซิลไฟเนต.....	23
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการนำสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาใช้	25
7. ผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย	26
เคลียร์ฟิล ไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (CLEARFIL™ S ³ Bond Universal)	26
เคลียร์ฟิล ดีซีแอคทีเวเตอร์ (CLEARFIL™ DC Activator)	29
เคลียร์ฟิล ดีซีคอร์พลัส (CLEARFIL™ DC Core Plus)	31
ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น (D.T.light-post® X-RO® ILLUSION®).....	32
8.การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติด	33
การทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก (push-out bond strength).....	33
การดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด.....	36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	40
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	40

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง.....	40
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	42
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	42
ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างทดลอง	46
ขั้นตอนในการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก	51
ขั้นตอนในการดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด.....	55
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	56
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	56
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	57
ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก	57
ผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics).....	57
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)	
.....	59
ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูกีย์ (Tukey's HSD)	59
ผลการดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	70
สรุปผลการวิจัย.....	70
อภิปรายผล	71
ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	88

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง	42
ตาราง 2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้	44
ตาราง 3 การเตรียมตัวอย่างทดลองและทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก	50
ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว	59
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูกี.....	60
ตาราง 6 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่พบลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท	67
ตาราง 7 แสดงผลการทดสอบทูกี.....	85



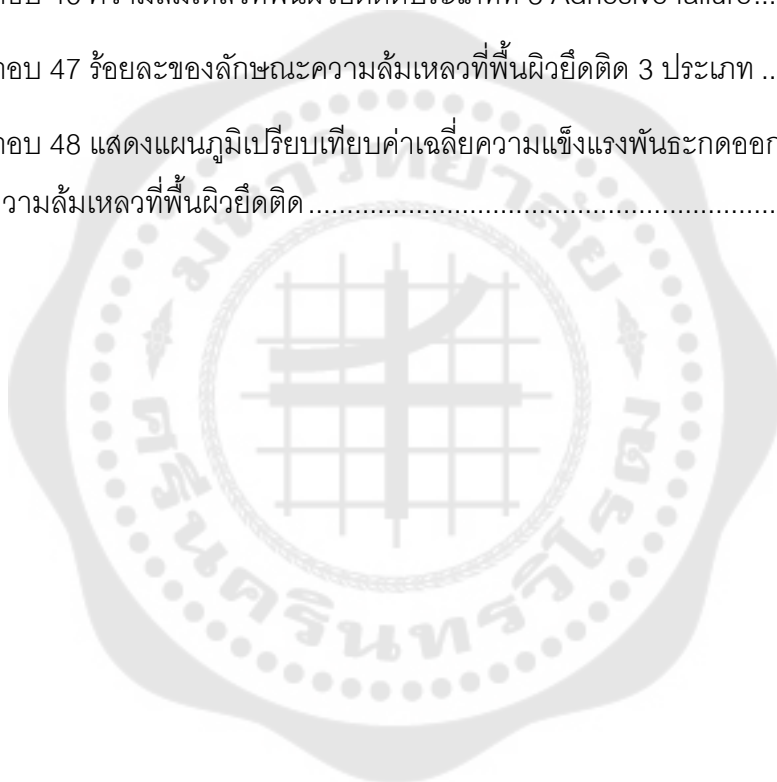
สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่พบในผลิตภัณฑ์ทันตกรรม	16
ภาพประกอบ 2 ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ ...	21
ภาพประกอบ 3 กลีโกลิซึมซัลไฟเนตที่ใช้ทางทันตกรรม	24
ภาพประกอบ 4 ปฏิกิริยาระหว่างกลีโกลิซึมซัลไฟเนตและมอนอเมอร์ที่เป็นกรด	25
ภาพประกอบ 5 สก๊อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซลและวีไลย์เอกซ์อัลทิเมต	26
ภาพประกอบ 6 สก๊อตช์บอนด์อัลเคียวแอคทีเวเตอร์	26
ภาพประกอบ 7 ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลไดเรกต์บอนด์ยูนิเวอร์แซล	28
ภาพประกอบ 8 การใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ร่วมกับเคลียร์ฟิลไดเรกต์บอนด์ยูนิเวอร์แซล	28
ภาพประกอบ 9 ส่วนประกอบของเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์	29
ภาพประกอบ 10 ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์	30
ภาพประกอบ 11 การทำงานของเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดตระกูลเคลียร์ฟิล	30
ภาพประกอบ 12 ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส	32
ภาพประกอบ 13 ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น	32
ภาพประกอบ 14 การทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก	35
ภาพประกอบ 15 แผนภาพการจัดประเภทความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดเป็น 4 ประเภท	36
ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 4 ประเภท	37
ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างภาพความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	38
ภาพประกอบ 18 เคลียร์ฟิลไดเรกต์บอนด์ยูนิเวอร์แซล	45
ภาพประกอบ 19 เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์	45

ภาพประกอบ 20 เคลียร์ฟิล์มดีซีคอร์พลาส	45
ภาพประกอบ 21 ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น เบอร์ 3	45
ภาพประกอบ 22 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของตัวอย่างทดลองบนแท่นสร้าง	46
ภาพประกอบ 23 แท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง	47
ภาพประกอบ 24 เดือยฟันไฟเบอร์บนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง	47
ภาพประกอบ 25 ท่ออะคริลิกใสและเดือยฟันไฟเบอร์บนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง	47
ภาพประกอบ 26 ขณะกำลังสร้างตัวอย่างทดลอง บังแสงด้านข้างด้วยวัสดุ putty	49
ภาพประกอบ 27 เครื่องฉายแสงที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดลอง	49
ภาพประกอบ 28 การฉายแสง	49
ภาพประกอบ 29 ตู้บ่ม อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส	50
ภาพประกอบ 30 เครื่องไอโซเมต	52
ภาพประกอบ 31 วัดความหนาของชั้นทดสอบด้วยดิจิตอลคาลิเปอร์	52
ภาพประกอบ 32 ชั้นทดสอบที่ผ่านการตัดแบ่งจากเดือยฟันไฟเบอร์ 1 ชั้น	52
ภาพประกอบ 33 กดชั้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล	53
ภาพประกอบ 34 หัวกดขนาด 1.1 มิลลิเมตร	53
ภาพประกอบ 35 หัวกดขนาด 0.7 มิลลิเมตร	54
ภาพประกอบ 36 หัวกดขนาด 0.5 มิลลิเมตร	54
ภาพประกอบ 37 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	55
ภาพประกอบ 38 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	55
ภาพประกอบ 39 แสดงแผนภูมิเส้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกทั้ง 8 กลุ่ม ..	58
ภาพประกอบ 40 พื้นผิวของเดือยฟันไฟเบอร์	61
ภาพประกอบ 41 พื้นผิวของวัสดุก่อนแกนฟันที่มีการแตกหัก	61
ภาพประกอบ 42 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 1 (Cohesive failure ของเดือยฟัน)	62

ภาพประกอบ 43 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 1 (Cohesive failure ของเดือยฟันและวัสดุอุดแกนฟัน)	63
ภาพประกอบ 44 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 2 (Mixed failure แบบ Adhesive failure ที่พบร่วมกับ Cohesive failure ของเดือยฟัน)	64
ภาพประกอบ 45 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 2 (Mixed failure แบบ Adhesive failure ที่พบร่วมกับ Cohesive failure ของวัสดุอุดแกนฟัน)	65
ภาพประกอบ 46 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 3 Adhesive failure.....	66
ภาพประกอบ 47 ร้อยละของลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท	67
ภาพประกอบ 48 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะคอดอกและร้อยละของลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด	68



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในปัจจุบันระบบสารยึดติด (bonding system) ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมาก โดยมีการลดขั้นตอนการทำงานเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ลดโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดในแต่ละขั้นตอนของการใช้สารยึดติดและลดเวลาในการทำงาน อย่างไรก็ตามการใช้งานได้ง่ายขึ้นไม่ได้หมายถึงประสิทธิภาพที่ดีเสมอไป มีหลายการศึกษารายงานวาระบบสารยึดติดลดขั้นตอน (simplified adhesive) ให้ค่าความแข็งแรงยึดติด (bond strength) ที่ต่ำ เนื่องจากมีองค์ประกอบที่รวมน้ำและฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic functional monomer) เข้าด้วยกัน ส่งผลต่อการยึดติดทั้งในแง่ค่าความแข็งแรงยึดติดและความคงทนของการยึดติด เพราะสารยึดติดที่มีความชอบน้ำ (hydrophilicity) มีความสามารถที่จะดึงน้ำเข้าหาชั้นสารยึดติด และสร้างชั้นสารยึดติดที่มีสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้ (semi-permeable membrane) แม้จะเกิดการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) จากการฉายแสงแล้วก็ตาม และเมื่อเวลาผ่านไปชั้นสารยึดติดจะเกิดการเสื่อมสลาย (hydrolytic degradation) โดยมีหลายการศึกษาที่รายงานว่าสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์ (self-etch) 1 ขั้นตอน มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับเนื้อฟันด้อยที่สุด ในขณะที่สารยึดติดชนิดโททอลเอทช์ (total-etch) 3 ขั้นตอน มีประสิทธิภาพดีที่สุด^(1, 2)

สำหรับการยึดเดือยฟันไฟเบอร์ (fiber post) ความล้มเหลวที่พบได้บ่อยที่สุดคือ การหลุดของเดือยฟัน (debonding หรือ decementation) โดยพบการหลุดทั้งจากพื้นผิวยึดติดระหว่างเดือยฟัน (post) กับซีเมนต์ (cement) และพื้นผิวยึดติดระหว่างเนื้อฟัน (dentin) กับซีเมนต์ ซึ่งการยึดอยู่ของเดือยฟันขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแรงยึดติดของพื้นผิวระหว่างเนื้อฟันกับซีเมนต์ และพื้นผิวระหว่างเดือยฟันกับซีเมนต์ซึ่งต้องมามีค่ามากพอในการทนต่อความเค้น (stress) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งาน^(3, 4) ในปัจจุบันสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน หรือยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ (Universal adhesive) ได้เข้ามามีบทบาทและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น รวมถึงใช้ในการยึดเดือยฟันไฟเบอร์ ส่วนเรซินซีเมนต์ (resin cement) หรือวัสดุก่อแกนฟัน (core build-up) ที่ใช้สำหรับการยึดเดือยฟันและก่อแกนฟันจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทจากลักษณะการบ่มตัว (cure) ได้แก่ ชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self-cured), ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light-cured) และชนิดบ่มตัวสองแบบ (dual-cured) ซึ่งการยึดเดือยฟันกับคลองรากฟันย่อมมีโอกาสที่แสงจากเครื่องฉายแสงจะไม่สามารถส่องผ่านลงไปถึงส่วนปลายรากได้สมบูรณ์^(5, 6) การเลือกใช้วัสดุชนิดบ่มตัวสองแบบจึงน่าจะให้ผลสำเร็จที่ดี ซึ่งมีการศึกษาที่รายงานว่า ระบบสารยึดติดที่ให้ผลการยึดติดที่เชื่อถือได้

สำหรับการยึดเดือยฟันคือการใช้สารยึดติดประเภทโทคอลเอทซ์ ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ^(7, 8) อย่างไรก็ตามการใช้สารยึดติดประเภทเซลฟ์เอทซ์ก็ยังคงมีข้อดีเนื่องจากไม่ต้องมีขั้นตอนการล้างน้ำ จึงลดปัญหาในการควบคุมความชื้นภายในคลองรากฟัน ซึ่งอาจทำได้ไม่สมบูรณ์⁽⁹⁾

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่วางขายในท้องตลาดได้มีการนำเสนอลักษณะการบ่มตัวพิเศษที่เรียกว่า การบ่มตัวจากการสัมผัส (Touch cure) โดยเมื่อใช้สารยึดติดคู่กับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันที่มีสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะต่อกัน (specific accelerator) อยู่ในองค์ประกอบ การสัมผัสกันระหว่างสองส่วนจะทำให้เริ่มเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันโดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยแสงก่อน และทำให้ระบบในการยึดติดมีการบ่มตัวสองแบบได้^(10, 11) โดยจะเกิดการบ่มด้วยตัวเองในบริเวณที่แสงไม่สามารถส่องถึงได้สมบูรณ์ เช่นบริเวณส่วนปลายของคลองรากฟัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะต่อกันมักมาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน โดยเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (CLEARFIL™ S³ BOND Universal) เป็นหนึ่งในยูนิเวอร์แซลแอคทีฟชนิดบ่มตัวด้วยแสงที่มีขายในประเทศไทย ได้รับความนิยมในระดับหนึ่ง และถูกนำมาใช้สำหรับการยึดเดือยฟันไฟเบอร์ อีกทั้งมีสมบัติของการบ่มตัวจากการสัมผัส จึงได้เลือกที่จะศึกษาผลิตภัณฑ์นี้เป็นตัวแทนของวัสดุในกลุ่มที่สนใจ โดยบริษัทผู้ผลิตแนะนำให้สามารถใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส (CLEARFIL™ DC CORE PLUS) ซึ่งเป็นวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน โดยเมื่อนำมาใช้ร่วมกัน เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส และเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลจะมีสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะต่อกันอยู่ในองค์ประกอบ ทำให้ไม่ต้องอาศัยสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ (dual-cured activator) เพิ่มเติมอีกหากหวังผลให้ระบบสารยึดติดมีการบ่มตัวสองแบบ โดยสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกันนี้มีชื่อว่า เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ (CLEARFIL™ DC activator) ซึ่งแนะนำให้ใช้ร่วมกับ สารยึดติดในตระกูลเคลียร์ฟิล (CLEARFIL™) รวมทั้งเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล เมื่อต้องการให้สารยึดติดเปลี่ยนจากชนิดบ่มตัวด้วยแสงเป็นชนิดบ่มตัวสองแบบ และในกรณีที่ต้องการใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันจากบริษัทผู้ผลิตอื่นที่ไม่มีสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะกับสารยึดติด อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีการศึกษาไม่มากเพียงพอที่จะรองรับประสิทธิภาพของการใช้สารยึดติดที่มีสมบัติการบ่มตัวจากการสัมผัส

ในขณะที่มีการศึกษารายงานถึงปัญหาความไม่เข้ากัน (incompatibility) ของสารยึดติดลดขั้นตอนกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองหรือชนิดบ่มตัวสองแบบ

เนื่องจากสารยึดติดลดชั้นตอนมีองค์ประกอบเป็นฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด ซึ่งจะมีไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion) จากความเป็นกรดเข้าไปขัดขวางการทำงานของสารตั้งต้นปฏิกิริยา (initiator) กลุ่มเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) ที่อยู่ในเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือชนิดบ่มด้วยสองแบบในการสร้างอนุมูลอิสระ (free radical) ส่งผลให้การบ่มตัวผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox) ลดลง การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันก็น้อยลง^(7, 12-14) จึงกล่าวได้ว่า หากเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือชนิดบ่มด้วยสองแบบมีเอมีนตติยภูมิเป็นองค์ประกอบ จะสามารถเกิดปัญหาความไม่เข้ากันกับสารยึดติดลดชั้นตอนที่มีความเป็นกรดได้ ซึ่งปัญหาความไม่เข้ากันนี้หลายบริษัทได้มีการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มด้วยสองแบบซึ่งประกอบด้วยสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม (co-initiator) มาช่วยแก้^(12, 15) โดยไม่พบผลการศึกษาที่บ่งบอกชัดเจนเกี่ยวกับประสิทธิภาพการยึดติดหรือผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มด้วยสองแบบร่วมกับสารยึดติดและเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันในการยึดติดเยื่อฟันไฟเบอร์ นำมาซึ่งความไม่ชัดเจนเกี่ยวกับการใช้งานผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่กล่าวมาข้างต้น กล่าวคือ หากใช้สารยึดติดลดชั้นตอนร่วมกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มด้วยสองแบบที่มีสมบัติการบ่มตัวจากการสัมผัสจะทำให้เกิดการบ่มตัวได้ดีหรือไม่ จะเกิดปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างวัสดุหรือไม่ และจะส่งผลดีหรือเสียอย่างไรหากใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มด้วยสองแบบร่วมด้วย ทั้งหมดจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของสารยึดติดประเภทเซลฟ์เอทช์ที่เป็นยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟและมีสมบัติการบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มด้วยสองแบบที่มาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน นำมาใช้ในการยึดติดเยื่อฟันไฟเบอร์ และศึกษาผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มด้วยสองแบบ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

การวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเยื่อฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มด้วยสองแบบ โดยใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟชนิดบ่มด้วยแสงร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มด้วยสองแบบ เปรียบเทียบความต่างเมื่อไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มด้วยสองแบบ โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงพันธะกดออก (push-out bond strength) และคุณลักษณะความลึมหollow ที่พื้นผิวยึดติดระหว่างเยื่อฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อแกนฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope)

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังเพื่อทราบผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ ร่วมกับสารยัดติดยูนิเวอร์แซลแอตตีซีฟในการยัดเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ ว่ามีความแตกต่างกับการใช้เพียงสารยัดติดในการยัดเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันหรือไม่ ในแง่ประสิทธิภาพในการยัดติด และรูปแบบการเกิดความล้มเหลวในการยัดติด อีกทั้งศึกษาผลของการฉายแสงต่อระบบการยัดติด โดยมีกลุ่มที่ไม่ฉายแสงเพื่ออุปมาถึงส่วนที่แสงไม่สามารถส่องถึงได้เลย และหวังผลเพื่อให้สามารถทราบแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุดในการยัดเดือยฟันไฟเบอร์ด้วยวัสดุกลุ่มที่ทำการศึกษานี้

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) โดยใช้เดือยฟันไฟเบอร์มายัดติดกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ แบ่งกลุ่มการทดลองเป็นกลุ่มที่ยัดด้วยสารยัดติดชนิดยูนิเวอร์แซลแอตตีซีฟ และกลุ่มที่ใช้สารยัดติดชนิดยูนิเวอร์แซลแอตตีซีฟร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

แบ่งกลุ่มทดลองตามวิธีการใช้สารยัดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ การฉายแสง และระยะเวลาขณะทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะคอดอก ประกอบด้วย กลุ่มที่ใช้สารยัดติดยูนิเวอร์แซลแอตตีซีฟชนิดบ่มตัวด้วยแสงเพียงอย่างเดียว และกลุ่มที่ใช้สารยัดติดยูนิเวอร์แซลแอตตีซีฟร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ ทั้งสองกลุ่มจะแยกเป็นกลุ่มย่อยที่ฉายแสง และกลุ่มย่อยที่ไม่ฉายแสง และแยกย่อยต่อมาเป็นกลุ่มที่ทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะคอดอกทันทีภายหลังการก่อตัว ตามเวลาที่บริษัทผู้ผลิตวัสดุก่อแกนฟันแนะนำ และกลุ่มที่ทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะคอดอกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง 24 ชั่วโมง ทั้งหมด 8 กลุ่มการทดลอง

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ วิธีการใช้สารยัดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ การฉายแสง และระยะเวลาที่ทำการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะคอดอก
2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความแข็งแรงพันธะคอดอก และลักษณะความล้มเหลวที่ฟันผิวยัดติด

3. ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ยี่ห้อและขนาดเดือยฟันไฟเบอร์ วัสดุท่อแกนฟัน ความหนาของชั้นทดสอบ ค่าความเร็วหัวกด (crosshead speed) ที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออก

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ

วิธีการใช้สารยึดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

1. ใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอคทีฟเพียงอย่างเดียว
2. ใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอคทีฟพร้อมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

การฉายแสง

1. ฉายแสง
2. ไม่ฉายแสง

ระยะเวลาทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออก

1. ทันที ภายหลังการก่อดัวของวัสดุท่อแกนฟัน
2. 24 ชั่วโมง ภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง

ตัวแปรตาม

ประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์และวัสดุท่อแกนฟัน

พิจารณาจาก

- ค่าความแข็งแรงพันธะกดออก
- ลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด

ตัวแปรควบคุม

- ยี่ห้อและขนาดเดือยฟันไฟเบอร์
- วัสดุท่อแกนฟัน
- ความหนาของชั้นทดสอบ
- ค่าความเร็วหัวกดที่ใช้ในการ

ทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออก

สมมติฐานในการวิจัย

สมมติฐานหลัก (H_0)

ประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบเมื่อใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟเพียงอย่างเดียว ไม่แตกต่างจากการยึดเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบโดยใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

สมมติฐานรอง (H_1)

ประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบเมื่อใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟเพียงอย่างเดียว แตกต่างจากการยึดเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบโดยใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. การทำเดือยฟันในฟันที่ผ่านการรักษารากฟัน
2. การยึดเดือยฟัน
3. ระบบสารยึดติดสำหรับการยึดเดือยฟัน
4. เรซินซีเมนต์ และวัสดุก่อแกนฟันสำหรับการยึดเดือยฟัน
5. การบ่มตัวของวัสดุ
6. ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์
7. CLEARFIL™S BOND Universal, CLEARFIL™DC activator และ CLEARFIL™DC CORE PLUS
8. การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติด

1.การทำเดือยฟันในฟันที่ผ่านการรักษารากฟัน

ฟันที่ผ่านการรักษารากฟันมาแล้ว มักพบว่ามี การสูญเสียโครงสร้างฟันไปมาก ทั้งจากฟันผุและทางเปิดเพื่อทำการรักษารากฟัน การใช้เดือยฟันไฟเบอร์สำเร็จรูป (prefabricated fiber post) ได้ถูกใช้เพื่อบูรณะฟันที่ผ่านการรักษารากฟันและมีเนื้อฟันส่วนตัวฟันเหลือน้อย โดยจะช่วยยึดส่วนแกนฟัน (core) ไว้เพื่อรองรับสิ่งบูรณะโดยอ้อมถาวร (definitive indirect restoration) ต่อไป เดือยฟันไฟเบอร์ได้ถูกใช้และศึกษาถึงอย่างกว้างขวาง โดยมีหลักฐานสนับสนุนทั้งทางคลินิกและห้องปฏิบัติการ อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เดือยฟันโลหะ (metal post) ก็ถือว่าเป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับฟันที่ผ่านการรักษารากฟัน เนื่องจากมีข้อดีคือมีโมดูลัสยืดหยุ่น (elastic modulus) ใกล้เคียงกับส่วนเนื้อฟัน จึงสามารถกระจายแรงบดเคี้ยวหรือแรงจากการสบฟัน (occlusal load) ให้ผ่านไปยังรากฟันได้ดี ในขณะที่เดือยฟันโลหะมีโมดูลัสยืดหยุ่นต่างจากเนื้อฟันมาก และพบปรากฏการณ์รากแตกได้มากกว่า นอกจากนี้ เดือยฟันไฟเบอร์ยังให้ความสวยงามและใช้เวลาในการให้การรักษาน้อยกว่าเดือยฟันโลหะ

การยึดติดภายในคลองรากฟันมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จ เช่น ลักษณะรูปร่างของคลองรากฟัน การมองเห็นได้จำกัด การเตรียมคลองรากฟัน ส่วนคงเหลือจากกัตตาเปอร์ชา (gutta-percha) หรือซีลเลอร์ (endodontic sealer) การเลือกใช้น้ำยาล้างคลองรากฟัน เช่น อาจมี

ผลจากการเกิดออกซิไดซ์ (oxidizing effect) หากใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) ในขั้นตอนรักษารากฟัน ซีเมนต์ที่ใช้ และขั้นตอนยัดติด เช่น การควบคุมความชื้นภายในคลองรากฟัน การระเหยของตัวทำละลาย (solvent) ในสารยัดติด การใส่ซีเมนต์ยัดติดลงไปในคลองรากฟันโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศ (void) โดยชั้นซีเมนต์ที่หนาเกินไปจะทำให้เกิดช่อง (gap) หรือจุดบกพร่อง (defect) ส่งผลทำให้การยัดติดแย่ง การทำสารยัดติดและทำให้สารยัดติดเกิดการบ่มตัวสมบูรณ์ (complete cure) และ ความเป็นไปได้ที่จะเกิดความไม่เข้ากันของระบบสารยัดติดกับซีเมนต์ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพของการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันและค่าความแข็งแรงยัดติด โดยบางปัจจัยไม่สามารถควบคุมได้จากขั้นตอนทางคลินิก แต่มีผลโดยตรงมาจากคลองรากฟันเอง เช่น ค่าแฟคเตอร์ซี (C-factor) สูงอาจส่งผลให้เกิดความเค้นพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization stress) มาก และความผันแปรของความหนาแน่นท่อเนื้อฟัน (tubule density) ที่ระดับต่างๆ ของคลองรากฟัน (7, 8, 16)

กระบวนการยัดติดด้วยแอตชีฟเทคนิค (adhesive technique) ประกอบด้วยการใช้ระบบสารยัดติดเพื่อทำให้เกิดไฮบริดไดเซชัน (hybridization) กับเนื้อฟัน และการใช้ซีเมนต์เพื่อเติมเต็มระหว่างส่วนคลองรากฟันกับเนื้อฟัน เมื่อทำการยัดติดด้วยซีเมนต์แล้วจะเกิด 2 พื้นผิว (interfaces) คือ พื้นผิวระหว่างเนื้อฟันกับซีเมนต์ และพื้นผิวระหว่างซีเมนต์กับเนื้อฟัน มีการศึกษาที่รายงานถึงความล้มเหลวของเนื้อฟันไฟเบอร์และส่วนแกนฟัน ซึ่งพบว่ามักเกิดการหลุดระหว่างพื้นผิวของเนื้อฟันกับซีเมนต์ และ/หรือ ซีเมนต์กับเนื้อฟัน เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงยัดติดไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังพบเนื้อฟันหัก รากแตก (root fracture) และ รอยโรคปลายรากฟัน (endodontic lesions) โดยที่พบมากที่สุดคือการหลุด ซึ่งปัญหาการยัดติดที่ไม่ดีเป็นปัญหาที่ทราบกันโดยทั่วไป และการจะทำให้เกิดการยัดติดที่ดีก็นับเป็นเรื่องท้าทาย (7, 16-18)

ปัจจัยที่มีผลต่อการยัดติดเนื้อฟันกับคลองรากฟัน

ลักษณะรูปร่างของคลองรากฟัน

ระหว่างเกิดการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุกลุ่มเมทาคริเลต (methacrylate-based) จะมีการเข้าใกล้กันของเรซินมอนอเมอร์ (resin monomer) ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างโมเลกุล (intermolecular space) ลดลง ตามด้วยการเกิดความเค้นหดตัว (shrinkage stress) ซึ่งสามารถทำให้เกิดการหลุดของวัสดุจากคลองรากฟัน นอกจากนี้ยังอาจเกิดช่องว่างและมีการรั่วซึมของแบคทีเรีย (bacterial leakage) ที่พื้นผิวยัดติด (adhesive interface) ได้ โดย Feilzer และคณะ ในปี 1987 ได้รายงานว่าความเค้นหดตัวสัมพันธ์กับค่าแฟคเตอร์ซี (7)

ค่าแฟคเตอร์ซี คืออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ถูกยัดติด (bonded area) ต่อ พื้นที่ที่ไม่ถูกยัดติด (unbonded area) ซึ่งภายในคลองรากฟันมีค่าโดยประมาณ มากกว่า 200 ในขณะที่

ส่วนตัวพื้นจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1-5 เท่านั้น โดยระหว่างการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจะเกิดการปลดปล่อยความเค้นหดตัวของวัสดุเรซินอย่างมาก ในขณะที่มีพื้นที่ที่ไม่ถูกยึดติดไม่เพียงพอต่อการปลดปล่อยความเค้นขณะเกิดการไหลแผ่ของเรซิน ทำให้มีความเป็นไปได้สูงที่จะเกิดการหลุดของซีเมนต์จากคลองรากฟัน มีการศึกษาพบว่าลักษณะรูปร่างของคลองรากฟันนั้นส่งผลสำคัญต่อการเกิดความเค้นและ ความลึกช่องสำหรับเดือยฟัน (post space) ส่งผลมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเดือยฟัน ดังนั้น เมื่อรูปร่างของคลองรากฟันและการเกิดความเค้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ สิ่งที่จะควบคุมได้คือ คุณสมบัติการไหลแผ่ (rheological) ของซีเมนต์ โดยพยายามลดความหนาของชั้นซีเมนต์ให้มากที่สุด^(7, 8)

นอกจากนี้การมีเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องสำหรับเดือยฟันแคบจะจำกัดการส่องผ่านของแสงที่จะทำให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน และความลึกของช่องสำหรับเดือยฟันจะลดพลังงานรังสี (radiant energy) จากเครื่องฉายแสง ส่งผลถึงค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion) ซึ่งที่ผ่านมามีการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างสมบูรณ์นั้นอาจไม่สามารถทราบได้เมื่อวัสดุมีความลึกมากกว่า 4-5 มิลลิเมตรเพราะมีการจำกัดการส่องผ่านของแสง โดยพบว่าค่าความแข็งแรงยึดติดของเดือยฟันส่วนที่อยู่ปลายรากจะมีค่าต่ำกว่าบริเวณตัวฟัน^(5, 6)

จากเหตุผลที่กล่าวมานั้น การใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสงจึงไม่ใช่ทางเลือกที่ดีที่สุด และได้มีการแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบสำหรับการยึดเดือยฟัน เนื่องจากมีแสงส่องผ่านไปถึงด้านล่างของคลองรากฟันได้จำกัด โดย Bouillaguet และคณะ ได้กล่าวว่าในบริเวณที่มีค่าแฟคเตอร์ซีสูง การใช้วัสดุที่มีการเซตตัวช้า (slow setting material) จะช่วยลดความเค้นที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวที่ถูกยึดติด (bonded interface) เนื่องจากวัสดุสามารถไหลแผ่เพื่อปลดปล่อยความเค้นพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบมีการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันช้ากว่าชนิดบ่มตัวด้วยแสงทำให้เกิดความเค้นน้อยกว่า⁽⁹⁾ อย่างไรก็ตามการกระตุ้นปฏิกิริยาด้วยแสงที่เพียงพอ ยังคงเป็นสิ่งพื้นฐานที่ขาดไม่ได้แม้ว่าจะใช้เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบสำหรับการยึดเดือยฟัน⁽⁸⁾ ซึ่งได้มีการศึกษารายงานว่าสารยึดติดชนิดบ่มตัวสองแบบที่เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีจะมีค่าความแข็งแรงยึดติดที่ต่ำกว่าสารยึดติดชนิดบ่มตัวสองแบบที่กระตุ้นการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยแสง⁽⁹⁾

ชั้นสเมียร์ (Smear layer)

ชั้นสเมียร์นอกจากจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการรักษารากแล้ว ยังเกิดขึ้นจากขั้นตอนการเตรียมช่องสำหรับเดือยฟันด้วย ชั้นสเมียร์ประกอบด้วยสิ่งตกค้าง (debris) ของกัตตาเปอร์ชา และซิลเลอร์ซึ่งส่งผลต่อการยึดติดของเดือยฟัน เพราะเป็นสิ่งปนเปื้อน (contaminant) ที่จะบดบังการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการแทรกซึม (penetration) ของซีเมนต์เข้าไปในเนื้อฟันส่วนคลองรากฟัน เพื่อที่จะเพิ่มการยึดติดจึงต้องมีการทำความสะอาด (debridement) ส่วนช่องสำหรับเดือยฟันก่อนการยึดเดือยฟัน (cementation) ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ⁽⁷⁾

การเลือกใช้น้ำยาล้างคลองรากฟัน (Post space irrigation)

ในปัจจุบันมีน้ำยาล้างคลองรากฟันหลายชนิดที่สามารถเลือกใช้ได้ ดังนี้

1. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) ร่วมกับ กรดเอธิลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก ร้อยละ 17 (17% EDTA) จะช่วยกำจัดชั้นสเมียร์ได้อย่างหมดจด ทำให้สารยึดติดสามารถแทรกซึมได้มากขึ้นและมีค่าความแข็งแรงยึดติดสูงขึ้น โดยกรดเอธิลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก ร้อยละ 17 ให้ใช้เป็นเวลา 1 นาที อาจรวมกับการชะล้างอัลตราโซนิค (ultrasonic irrigation) แต่หากมากกว่า 1 นาทีจะกัดกร่อน (erode) ส่วนเนื้อฟันมากเกินไป (extensive demineralization) โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์หรือมีการกัดซ้ำด้วยกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ส่งผลให้ยากต่อการเกิดพื้นผิวยึดติดที่สมบูรณ์และแข็งแรงกับส่วนเนื้อฟัน^(7, 17)

2. คลอเฮกซิดีน (chlorhexidine) มีฤทธิ์กำจัดเชื้อแบคทีเรีย ค่อยๆออกฤทธิ์อย่างยาวนาน มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์เมทริกซ์เมทัลโลโปรทีเนส (matrix metalloproteinase) ที่ย่อยสลายคอลลาเจน (collagen) ได้ หวังผลช่วยลดการเสื่อมสลาย (degradation) ของพื้นผิวยึดติด และมีผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคลอเฮกซิดีนไม่ส่งผลเชิงลบต่อการยึดติดของเดือยฟัน⁽⁷⁾

3. กรดฟอสฟอริก ใช้เป็นเวลา 15 วินาทีช่วยกำจัดชั้นสเมียร์ได้ แต่ได้ผลดีไม่เท่าการใช้กรดเอธิลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก ร้อยละ 17 และ/หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยเมื่อใช้เซลฟ์แอดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (self-adhesive resin cement, SARC) ควรใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ร่วมกับกรดเอธิลีนไดอะมีนเตตราอะซีติก ร้อยละ 17 ในการกำจัดชั้นสเมียร์เพื่อให้ซีเมนต์สามารถแทรกซึมเข้าไปในท่อเนื้อฟัน (dentinal tubule) ได้มากยิ่งขึ้น และเพิ่มค่าความแข็งแรงพันธะกุดออก

อย่างไรก็ตามสำหรับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ซึ่งถือว่าเป็นน้ำยาล้างคลองรากฟันที่ใช้กันมากในงานรักษารากฟัน มีรายงานว่าส่งผลต่อการยึดติดของสารยึดติดกับคลองรากฟัน เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidize) อย่างแรง จึงสามารถทำให้เกิดชั้นที่เต็มไปด้วย

ด้วยออกซิเจน (oxygen-rich layer) บนผิวเนื้อฟัน ทำให้ลดค่าความแข็งแรงยึดติดลงอย่างมีนัยสำคัญและยับยั้งการพอลิเมอร์ไรเซชัน นอกจากนี้สารออกซิไดซ์ตัวอื่น ๆ เช่นอาร์ซีเปรป (RC-prep) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ยูเรียเพอร์ออกไซด์ (urea peroxide-based product) ก็สามารถทำให้เกิดชั้นที่เต็มไปด้วยออกซิเจนและยับยั้งการยึดติดเช่นกัน มีรายงานว่าการใช้กรดแอสคอร์บิก ร้อยละ 10 (10% ascorbic acid) หรือโซเดียมแอสคอร์เบท ร้อยละ 10 (10% sodium ascorbate) อย่างน้อย 1 นาทีในการล้างคลองรากฟันสามารถลดผลของสารออกซิไดซ์ที่จะส่งผลต่อการยึดติดได้⁽⁷⁾ ปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการยึดติดเดือยฟันกับคลองรากฟัน ได้แก่ ชนิดของเดือยฟัน การเตรียมพื้นผิวเดือยฟันก่อนการยึดติด การเลือกใช้สารยึดติดและเรซินซีเมนต์⁽¹⁹⁾ ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

2. การยึดเดือยฟัน

แม้ว่าการใช้เดือยฟันไฟเบอร์จะลดปรากฏการณ์รากฟันแตก แต่ความล้มเหลวยังสามารถเกิดขึ้นได้ เช่น การหลุดของเดือยฟันออกจากคลองรากฟัน ซึ่งความยืดหยุ่นของเดือยฟันทำให้เดือยฟันสามารถโค้ง (flexure) ขณะใช้งานได้ ผลที่ตามมาคือเกิดการหลุดที่ระหว่างพื้นผิวยึดติดเมื่อมีค่าความแข็งแรงยึดติดไม่เพียงพอที่จะทนความเค้นจากการใช้งาน โดยสามารถเกิดได้ทั้งที่พื้นผิวระหว่าง ซีเมนต์กับเนื้อฟัน หรือ ซีเมนต์กับเดือยฟัน โดยจะเกิดการหลุดระหว่างเดือยฟันและซีเมนต์เมื่อมีค่าความแข็งแรงยึดติดที่ผิวน้ำเนื้อฟันเพียงพอแล้ว^(3, 20) ซึ่งการยึดเดือยฟันนั้นประกอบด้วยขั้นตอน การรีดวัสดุอุดชั่วคราว การเตรียมคลองรากฟัน การเลือกเดือยฟันที่มีขนาดเหมาะสม การยึดเดือยฟันและก๊อแกนฟัน ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงในส่วนที่เกี่ยวกับการยึดเดือยฟัน

การเตรียมพื้นผิวเดือยฟัน

เดือยฟันไฟเบอร์ที่ใช้ในปัจจุบันประกอบด้วยเส้นใยไฟเบอร์ที่เรียงตัวในทิศทางเดียวกัน ผังตัวในเรซินเมทริกซ์ (resin matrix) ซึ่งมีเมทริกซ์หลายชนิดที่บริษัทผู้ผลิตใช้ เช่น อีพอกซีเรซิน (epoxy resin) เมทาคริลเลตเรซิน (methacrylate resin) และคอมโพสิตเรซิน (proprietary composite resin) ส่วนไฟเบอร์ทำหน้าที่ในการต้านทานการโค้ง ในขณะที่เรซินเมทริกซ์ทำหน้าที่ต้านทานการบีบอัด (compression) และเป็นโครงสร้างที่ฟังก์ชันนาลมอนอเมอร์ (functional monomer) ในสารยึดติดจะทำปฏิกิริยาการยึดติดด้วย^(4, 6) ได้มีการกล่าวถึงการเตรียมพื้นผิวเดือยฟันในหลากหลายวิธีเพื่อปรับปรุงการยึดติดระหว่างพื้นผิวเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มการเกี่ยวติดทางกล (mechanical interlocking) หรือเพิ่มการเกี่ยวติดทางเคมี (chemical bonding) เช่น การใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) การกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric etching) การเป่าทรายด้วยอนุภาค (airborne-particle abrasion) อนุพันธ์ออกไซด์ (aluminum oxide) เพื่อเพิ่มความขรุขระของพื้นผิวเดือยฟัน อย่างไรก็ตามการเป่าทราย

และการกัด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก ได้ถูกรายงานว่าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวเดือยพันที่ไม่เหมาะสม⁽³⁾ ทำให้เดือยพันอ่อนแอลง มีผลต่อความสำเร็จในระยะยาว ส่วนการทำไฮเลน (silane) เพื่อเพิ่มการยึดติดก็อาจไม่ได้ผลดีนัก เนื่องจากเดือยพันไฟเบอร์มีองค์ประกอบส่วนมากคืออีพอกซีเรซิน ในขณะที่ไฮเลนมีความเข้ากันได้ (compatible) กับเมทาคริเลตเรซิน ดังนั้นไฮเลนอาจไม่มีประสิทธิภาพในการเป็นสารคู่ควบ (coupling agent) สำหรับเดือยพันไฟเบอร์ แต่อาจยังมีประโยชน์อยู่บ้างเมื่อมองในแง่ของการเพิ่มความสามารถในการเปียกของพื้นผิว (surface wettability) ของเดือยพัน^(3, 7) นอกจากนี้พบว่าส่วนเรซินเมทริกซ์มีความเฉื่อย (nonreactive) เนื่องจากเรซินมีการเปลี่ยนรูปไปมากแล้ว (high degree of conversion and highly cross linked)⁽⁴⁾

ปัจจุบันมีเดือยพันไฟเบอร์หลากหลายผลิตภัณฑ์ที่วางขายในท้องตลาด ซึ่งจากคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตได้กล่าวถึงวิธีการเตรียมพื้นผิวเดือยพันก่อนทำการยึดติดแตกต่างกันไป^(3, 6) ทั้งที่ไม่ต้องมีการเตรียมพื้นผิวใด ๆ การทำไฮเลน หรือการทำไฮเลนตามด้วยการทาสารยึดติด ซึ่งการทาสารเคมี (chemical agents) ต่าง ๆ หวังผลเพื่อเพิ่มความแข็งแรงยึดติดระหว่างเดือยพันไฟเบอร์และเรซินซีเมนต์ผ่านการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเพื่อเพิ่มความสามารถในการเปียกของพื้นผิว ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว⁽³⁾ อย่างไรก็ตามการทำความสะอาดเดือยพันก่อนทำการยึด ด้วยเอทานอล (ethanol) หรือกรดฟอสฟอริกช่วยทำให้การยึดติดดีขึ้น เมื่อเทียบกับการทำไฮเลนโดยไม่มีการทำความสะอาดเดือยพันก่อน⁽²¹⁾ และมีการศึกษาที่แนะนำให้แช่เดือยพันไฟเบอร์ในไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ร้อยละ 10-20 นาทีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของเดือยพันไฟเบอร์กับเรซินซีเมนต์⁽²²⁾ เมื่อเตรียมเดือยพันเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการยึดเดือยพัน ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ต่อไป

3. ระบบสารยึดติดสำหรับการยึดเดือยพัน

ปัจจุบันมีสารยึดติดหลายระบบสำหรับการยึดเดือยพัน ได้แก่ ระบบโททอลเอทซ์ เซลฟ์เอทซ์ และเซลฟ์แอดฮีซีฟ (self-adhesive system)^(7, 8) ทั้งนี้การควบคุมความชื้นภายในคลองรากฟันนั้นเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากการเข้าถึงคลองรากฟันทำได้อย่างจำกัด การใช้สารยึดติดประเภทเซลฟ์เอทซ์จึงอาจลดปัญหาในส่วนนี้ได้ เพราะไม่ต้องมีขั้นตอนการล้างน้ำ จึงเป็นการลดขั้นตอนและใช้งานง่ายขึ้น สามารถใช้ได้ทั้งในการยึดเดือยพันและก่อแกนฟัน⁽¹⁹⁾ อย่างไรก็ตามพบว่ามีปัญหาเกี่ยวกับความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดแบบลดขั้นตอนกับเรซินชนิดบ่มตัวเอง หรือเรซินชนิดบ่มตัวสองแบบ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ทั้งนี้การศึกษาในปัจจุบันรายงานว่าระบบสารยึดติดที่ให้การยึดติดเชื่อถือได้สำหรับการยึดเดือยพัน คือการใช้สารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์

ร่วมกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ^(7, 8) แต่เซลฟ์เอทช์ก็ยังเป็นทางเลือกที่ดีในการยึดติดฟันมากกว่าการใช้เซลฟ์แอตชีฟเรซินที่ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดกับเนื้อฟันต่ำ⁽⁵⁾ นอกจากนี้ ในการยึดสิ่งบูรณะโดยอ้อม (indirect restoration) ซึ่งมีบริเวณที่แสงไม่สามารถส่องผ่านไปได้หรือส่องผ่านไปได้จำกัด เช่น การยึดติดฟัน การเลือกใช้ระบบสารยึดติดที่เป็นชนิดบ่มตัวสองแบบร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่เป็นชนิดบ่มตัวสองแบบก็เป็นทางเลือกที่ดี⁽²³⁾

ผลิตภัณฑ์สารยึดติดจากหลายบริษัทสามารถใช้งานได้ทั้งเป็นแบบโททอลเอทช์ 2 ขั้นตอนหรือเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน และสามารถยึดติดได้กับพื้นผิวหลายชนิด เช่น เคลือบฟันและเนื้อฟัน สิ่งบูรณะโดยอ้อมกลาสส์เซรามิก (glass ceramic) เซอร์โคเนีย (zirconia) และโลหะ โดยไม่ต้องมีการเตรียมพื้นผิวด้วยไพรเมอร์ (primer) ก่อน⁽¹¹⁾ เรียกว่า “ยูนิเวอร์แซลแอตชีฟ” ซึ่งแม้จะใช้งานได้หลากหลายแต่ก็มีข้อด้อยของการเป็นระบบเซลฟ์เอทช์อยู่ เช่น ทำให้เกิดชั้นสารยึดติดที่มีสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้หลังการพอลิเมอไรเซชัน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดต่ำหรือได้ชั้นยึดติดที่ไม่คงทน อย่างไรก็ตามในการยึดติดกับคลองรากฟันได้มีการศึกษารายงานว่า ถ้าเลือกใช้ยูนิเวอร์แซลแอตชีฟควรใช้เป็นแบบเซลฟ์เอทช์ จะให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ดีกว่าโททอลเอทช์⁽²⁴⁾

นอกจากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดจะมีความหลากหลายแล้ว บริษัทผู้ผลิตก็ได้แนะนำวิธีการใช้งานแตกต่างกันไป บางบริษัทแนะนำให้ฉายแสงชั้นสารยึดติดก่อนการใช้เรซินซีเมนต์ บางบริษัทให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้ว่าจะฉายแสงชั้นสารยึดติด หรือปล่อยให้โดยไม่ต้องฉายแสงแล้วใช้เรซินซีเมนต์ต่อได้เลย ในขณะที่บางบริษัทไม่แนะนำให้ฉายแสงชั้นสารยึดติดเลย เนื่องจากเกรงว่าความหนาของชั้นสารยึดติดจะทำให้สิ่งบูรณะหรือเดือยฟันไม่สามารถวางได้แนบสนิท ทำให้เกิดช่องว่าง และอาจต้องแก้ไขการสบฟันเพิ่มโดยเฉพาะงานบูรณะโดยอ้อม^(12, 15) อีกทั้งมีคำแนะนำว่าไม่ควรใช้ผลิตภัณฑ์จากคนละบริษัทร่วมกัน เว้นแต่จะมีข้อมูลมารองรับ โดยเรซินชนิดบ่มตัวสองแบบไม่สามารถเข้าได้กับสารยึดติดจากทุกบริษัท อาจเนื่องจากเรซินชนิดบ่มตัวสองแบบของแต่ละบริษัทมีความไวต่อค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของสารยึดติดต่างกันไป และในทางกลับกัน สารยึดติดหนึ่งๆก็ไม่สามารถเข้ากันได้กับเรซินชนิดบ่มตัวสองแบบจากทุกบริษัท⁽¹³⁾

ยูนิเวอร์แซลแอตชีฟ

ยูนิเวอร์แซลแอตชีฟได้ถูกพัฒนาเพื่อให้เป็นสารยึดติดชนิดเดียวที่สามารถใช้ยึดวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการบูรณะฟันทุกประเภท โดยสามารถยึดติดกับฟัน ทั้งเนื้อฟันและเคลือบฟัน สิ่งบูรณะโดยตรง (direct restoration) ได้แก่ เมทาคริลีตเรซิน, กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (glass ionomer) และเรซินมอดิฟายด์กลาสส์ไอโอโนเมอร์ (resin-modified glass ionomer) และสิ่งบูรณะโดยอ้อม

เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก อลูมินา (alumina) และเซอโรโคเนีย โดยไม่ต้องมีการใช้สารไพโรเมอไรโด ก่อน ยูนิเวอร์แซลแอตตีฟมีลักษณะในอุดมคติคือการมีขูดเดียว โดยไม่ต้องมีการผสมก่อนการใช้งาน สามารถใช้ได้ทั้งลักษณะเป็นโททอลเอทช์ เซลฟเอทช์ หรือซีเลคทีฟเอทช์ (selective etch) เรียกว่า มัลติโหมด (multimode) โดยยูนิเวอร์แซลแอตตีฟต้องมีความเป็นกรดเพียงพอที่จะกัดพื้นผิวต่างๆ แต่ต้องไม่เป็นกรดมากเกินไปจนไปยับยั้งการทำงานของสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่จำเป็นสำหรับการเกิดพอลิเมอร์เรซินในเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดต่อไป ค่าความเป็นกรดต่างที่ยูนิเวอร์แซลแอตตีฟมีประสิทธิภาพดีที่สุดจะอยู่ในช่วง 2.2-3.2

เนื่องจากยูนิเวอร์แซลแอตตีฟมีความหลากหลายในท้องตลาด เมื่อจะเลือกใช้ควรระมัดระวังว่าผลิตภัณฑ์นั้นๆ มีความจำเป็นต้องมีขั้นตอนเพิ่มเติมหรือมีสารที่ต้องใช้ร่วมหรือไม่ ซึ่งบางผลิตภัณฑ์จะมีสารกระตุ้น (activator) แบบแยกขวดมาสำหรับใช้งานกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มตัวสองแบบ โดยสารกระตุ้นแบบแยกขวดมีทั้งแบบที่ต้องผสมร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอตตีฟก่อนใช้งาน หรือใช้ทาภายหลังการใช้ยูนิเวอร์แซลแอตตีฟ⁽²⁵⁾

4. เรซินซีเมนต์ และวัสดุก่อแกนฟันสำหรับการยึดเดือยฟัน

มีวัสดุทางทันตกรรมหลากหลายชนิดที่ถูกใช้เพื่อบูรณะฟันที่สูญเสียโครงสร้างไป ก่อนที่จะทำสิ่งบูรณะโดยอ้อม เช่น อะมัลกัม (amalgam) แก้วไอโอโนเมอร์ และคอมโพสิตเรซิน สำหรับการยึดเดือยฟันสามารถใช้เรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันเรซินก็ได้ วัสดุที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันคือ การใช้วัสดุก่อแกนฟันเรซินร่วมกับสารยึดติด ซึ่งสามารถยึดติดกับโครงสร้างฟันที่เหลือโดยให้ความต้านทานต่อการหลุดและการแตกหักของสิ่งบูรณะโดยอ้อมเป็นอย่างดี^(3, 26)

การใช้เดือยฟันไฟเบอร์ในคลองรากฟันที่ผายหรือสูญเสียโครงสร้างไปมากจนถึงส่วนคลองรากฟันจะทำให้เกิดชั้นเรซินซีเมนต์ที่มีความหนาในส่วนบนของคลองรากฟันได้ ซึ่งเรซินซีเมนต์อาจมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะรับแรงจากการบดเคี้ยว จึงมีการนำวัสดุก่อแกนฟันเรซินมาใช้ในส่วนคลองรากฟันด้วย เนื่องจากมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟันและเดือยฟันไฟเบอร์ อีกทั้งแข็งแรงกว่าเรซินซีเมนต์ ซึ่งมีการศึกษารายงานว่าการยึดเดือยฟันไฟเบอร์ด้วยวัสดุก่อแกนฟันเรซินชนิดบ่มตัวสองแบบให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่สูงกว่าการยึดด้วยเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญ^(3, 6, 18)

เรซินซีเมนต์

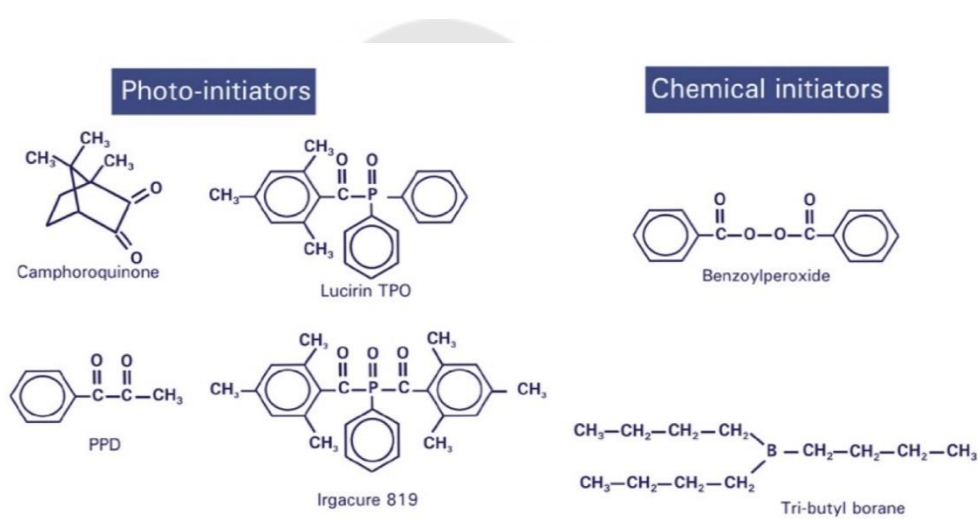
เรซินซีเมนต์คือเรซินที่มีความหนืดต่ำ ประกอบด้วยฟิลเลอร์ (filler) ที่กระจายตัวอยู่ และสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่ถูกปรับสัดส่วนจนได้วัสดุที่มีความหนาฟิล์ม (film thickness) ต่ำ มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นอยู่ในช่วงเดียวกับเนื้อฟันและเดือยฟัน โดยช่วยเพิ่มการยึดติดกับเดือยฟันและช่วยต้านทานการแตกหักของรากฟันได้ นอกจากนี้ยังมีเวลาสำหรับการทำงานและการเซตตัวที่เหมาะสม โดยสามารถใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้ยึดสิ่งบูรณะโดยอ้อม ชีงงานอินเลย์ (inlay) ชีงงานออนเลย์ (onlay) สะพานฟัน (bridges) เดือยฟัน และเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟัน โดยจาก ISO 4049 (2009) ได้แยกประเภทเรซินซีเมนต์ตามการบ่มตัว (curing mode) เป็น 3 ประเภท คือ ชนิดบ่มด้วยตัวเอง ชนิดบ่มตัวด้วยแสง และชนิดบ่มตัวสองแบบ โดยวัสดุชนิดบ่มด้วยตัวเอง และ ชนิดบ่มตัวสองแบบ มักต้องใช้การผสมส่วนเบส (base) และ ตัวเร่ง (catalyst) เข้าด้วยกัน โดยใช้มือผสมหรือปั่นอัตโนมัติ (automix)⁽²⁵⁾

วัสดุก่อแกนฟัน

วัสดุก่อแกนฟันได้ถูกใช้ทดแทนโครงสร้างฟันที่สูญเสียไปก่อนการกรอครอบฟัน วัสดุที่เป็นที่นิยมคือเรซินคอมโพสิตหรือวัสดุก่อแกนฟันเรซิน มีการบ่มตัว 3 ประเภท คือ ชนิดบ่มด้วยตัวเอง ชนิดบ่มตัวด้วยแสงและชนิดบ่มตัวสองแบบ วัสดุชนิดบ่มตัวสองแบบได้รับการพัฒนาเพื่อเอาชนะข้อจำกัดของวัสดุชนิดบ่มด้วยตัวเองและชนิดบ่มตัวด้วยแสง โดยรวมการเริ่มบ่มตัวจากแสงและปฏิกิริยาเคมีเข้าด้วยกัน คือมีทั้งการบ่มตัวที่เกิดจากการกระตุ้นด้วยแสงเพราะมีสารตั้งต้นปฏิกิริยาดด้วยแสง (photoinitiators) และสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (oxidation-reduction) อย่างไรก็ตาม การบ่มตัวจะถูกเริ่มต้นจากการกระตุ้นด้วยแสงเป็นหลัก โดยเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของวัสดุ เพื่อให้เกิดการแข็งตัวเริ่มแรก (initial hardening) ตามด้วยการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชั้นที่ลึกลงไปซึ่งแสงไม่สามารถส่องไปถึง⁽²⁶⁾

5.การบ่มตัวของวัสดุ

การเริ่มกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันสามารถถูกกระตุ้นได้จากความร้อน แสงและเคมี หรือปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยจะมีสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่เรียกว่า “initiator” แบ่งเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาด้วยแสงซึ่งจะสามารถดูดกลืนพลังงานอิเล็กโทรแมกเนติก (electromagnetic) จากการฉายแสง และสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ซึ่งต้องมีการผสมองค์ประกอบสองอย่างเข้าด้วยกัน ระบบสารยึดติดจะเลือกใช้สารตั้งต้นปฏิกิริยาเป็นอะไร ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานของสารยึดติด⁽²⁷⁾ (ภาพประกอบ 1)



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างทางเคมีของสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่พบในผลิตภัณฑ์ทันตกรรม

ที่ ม า 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.

บ่มตัวด้วยแสง

การพอลิเมอร์ไรเซชันที่ถูกกระตุ้นได้ด้วยแสง มีข้อดีคือสามารถควบคุมการเริ่มต้นปฏิกิริยาได้ แต่เมื่อใดก็ตามที่แสงไม่สามารถส่องผ่านไปถึงได้ การบ่มด้วยตัวเองจะมีข้อดีเหนือกว่า ซึ่งโดยทั่วไปสารยึดติดที่ใช้สำหรับการอุดฟันด้วยคอมโพสิตเรซินจะเป็นชนิดบ่มตัวด้วยแสง

สารตั้งต้นปฏิกิริยาดำเนินแสงเมื่อได้รับพลังงานแสงที่มีความยาวคลื่น (wavelength) เหมาะสม จะเกิดการขยับของอิเล็กตรอน (electron) ไปในชั้นพลังงานที่สูงกว่า สิ่งที่มาตามคือเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ และสามารถเข้าทำปฏิกิริยาต่อกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม (co-initiator) สารตั้งต้นปฏิกิริยาดำเนินแสงที่ได้รับความนิยม คือแคมฟอร์ควิโนน (Camphorquinone) ที่มักใช้ร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม ซึ่งสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพคืออะลิฟาติกเอมีนและอะโรมาติกเอมีน (Aliphatic และ Aromatic amine compound) โดยทำหน้าที่เป็นตัวจ่ายไฮโดรเจน (hydrogen donating) ในปฏิกิริยา^(25, 27) ซึ่งวัสดุทางทันตกรรมบูรณะส่วนมากใช้ “camphorquinone/amine complex initiation system”

อนึ่ง เอมีนคือโมเลกุลอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน (nitrogen) ซึ่งถูกใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน อะโรมาติกเอมีน เช่น ethyl 4-dimethylaminobenzoate มีประสิทธิภาพมากกว่าอะลิฟาติกเอมีน เช่น 2-(dimethylamino)ethyl methacrylate⁽²⁵⁾

บ่มด้วยตัวเอง

วัสดุกลุ่มบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มด้วยปฏิกิริยาเคมีต้องเกิดจากการผสมสารตั้งต้นปฏิกิริยาเข้ากับสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมซึ่งถูกแยกมาเป็นสองส่วนประกอบ โดยอาจมาในรูปแบบสารป้ายสองส่วน (paste-paste) หรือผงกับน้ำ (powder-liquid) ก็ได้ เมื่อผสมแล้วจะเริ่มเกิดการพอลิเมอไรเซชัน โดยสารตั้งต้นปฏิกิริยาในกลุ่มนี้มักเป็นเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) หรือบีพีโอ (BPO) ร่วมกับเอมีนตติยภูมิ (BPO/amine redox system)

เอมีนตติยภูมิสามารถทำให้เกิดปัญหาได้ เช่น การทำให้สารยึดติดที่มีความเป็นกรดกลายเป็นกลาง (neutralization) เกิดการเปลี่ยนสี (discoloration) และความเป็นพิษ (toxicity) ส่วนเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์จะเกิดการย่อยสลายเมื่อโดนแสงจึงต้องเก็บในที่มืด และอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูล (radicals) ผลิตภัณฑ์กลุ่มที่บ่มด้วยตัวเองจึงควรเก็บในตู้เย็นเสมอ⁽²⁷⁾

บ่มด้วยสองแบบ

เรซินซีเมนต์และวัสดุก่อกำเนิดฟันมักมีสมบัติบ่มด้วยสองแบบ⁽¹⁴⁾ โดยวัสดุที่จัดอยู่ในกลุ่มที่มีการบ่มด้วยสองแบบถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้การพอลิเมอไรเซชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอในบริเวณที่มีแสงส่องถึงได้จำกัด เป็นการรวมข้อดีของการบ่มด้วยแสง ซึ่งสามารถเกิดการพอลิเมอไรเซชันได้อย่างรวดเร็วที่ผิวชั้นบนจากการถูกกระตุ้นด้วยแสง และการบ่มด้วยตัวเอง

ซึ่งเกิดการพอลิเมอไรเซชันด้วยปฏิกิริยาทางเคมี^(23, 27) วัสดุกลุ่มนี้จะประกอบด้วยสองส่วน ได้แก่ ตัวเร่งและเบส ส่วนเบสจะประกอบด้วยแคมฟอร์ควิโนนและเอมีน (CQ/amine photoinitiator system) สำหรับการพอลิเมอไรเซชันที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง และมีสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมเอมีน สำหรับการพอลิเมอไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมี ซึ่งส่วนเบสสามารถใช้โดยไม่ต้องผสมกับส่วนตัวเร่ง ในสถานการณ์ที่แสงไม่ถูกจำกัดการส่องผ่าน⁽¹⁴⁾

วัสดุที่มีเรซินเป็นองค์ประกอบและใช้อะซิฟาทิกเอมีนในระบบสารตั้งต้นปฏิกิริยา ส่วนของเอมีนจะยังสามารถทำงานได้เมื่อเจอกับมอนอเมอร์ที่เป็นกรดในสารยึดติดเพื่อที่จะสามารถเกิดการสร้างอนุมูลอิสระได้อย่างยาวนานเพียงพอ อย่างไรก็ตามกลับพบปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างวัสดุเรซินชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบซึ่งมีเอมีนเป็นองค์ประกอบกับระบบสารยึดติดแบบลดขั้นตอนที่มีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดความเข้มข้นสูง⁽²³⁾ โดยพบว่าไม่สามารถเกิดการพอลิเมอไรเซชันได้อย่างเพียงพอเมื่อสัมผัสกับชั้นออกซิเจนอินฮิบิท (Oxygen-inhibited layer) ที่เกิดจากสารยึดติดแบบลดขั้นตอนและมีค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 3⁽²⁸⁾

สมบัติของการเกิดพอลิเมอไรเซชันของวัสดุประเภทบ่มตัวสองแบบในท้องตลาดจะแตกต่างกันไปตามยี่ห้อ (material specific) ซึ่งเป็นไปได้ว่าเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน⁽²⁵⁾ โดยมีหลากหลายการศึกษาที่รายงานว่าส่วนมากของวัสดุประเภทบ่มตัวสองแบบจะได้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอไรหรือความแข็ง (hardness) ที่แตกต่างกันมากระหว่างวัสดุที่ได้รับการฉายแสงและไม่ได้รับการฉายแสง⁽¹⁴⁾ รวมถึงกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค (microtensile bond strength) ที่ต่ำลงเมื่อไม่ได้รับการฉายแสง⁽¹⁰⁾ แสดงให้เห็นว่าความสามารถ ระหว่างการบ่มตัวด้วยแสงและการบ่มด้วยตัวเองไม่ได้มีประสิทธิภาพที่เท่ากันในวัสดุประเภทบ่มตัวสองแบบ ซึ่ง Rueggeberg และ Caughman ได้แนะนำว่าการฉายแสงยังคงเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ขาดไม่ได้ สำหรับการพอลิเมอไรเซชันวัสดุประเภทบ่มตัวสองแบบ^(14, 29)

บ่มตัวจากการสัมผัส

ยูนิเวอร์แซลแอคทีฟถูกใช้เป็นสารไพรเมอร์สำหรับฟันและสิ่งบูรณะโดยอ้อมก่อนทำการยึดติดด้วยเรซินซีเมนต์ ซึ่งบางบริษัทไม่แนะนำให้ฉายแสงชั้นสารยึดติดก่อนทำการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบ เนื่องจากจะไปขัดขวางการเกิดพอลิเมอไรเซชันจากการสัมผัส (touch-curing system) ระหว่างเรซินซีเมนต์และสารยึดติดที่มีสารเร่งปฏิกิริยาพิเศษ (specialized accelerator) ที่จำเพาะต่อกันและจะเกิดพอลิเมอไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมีร่วมกัน ซึ่งในทางคลินิกเมื่อทำการยึดสิ่งบูรณะโดยอ้อมหรือยึดเดือยฟันจะเป็นการยากที่แสงจะส่องผ่าน

ไปถึงชั้นเรซินได้สมบูรณ์ การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากการสัมผัสจึงอาจมีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดค่าความแข็งแรงยึดติดที่ดี^(11, 30, 31)

การบ่มตัวจากการสัมผัสแบ่งเป็น 2 ประเภท ตาม Kadowaki และคณะในปี 2016⁽³²⁾ ดังนี้

1. Conventional type: พอลิเมอร์ไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมีจะเริ่มเกิดเมื่อมีการสัมผัสระหว่างสารยึดติดกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ โดยต้องใช้สารยึดติดรวมกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อแกนฟันที่มาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน โดยในสารยึดติดจะประกอบด้วยสารเร่งปฏิกิริยาที่ช่วยส่งเสริมให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมีอย่างรวดเร็วร่วมกับสารตั้งต้นปฏิกิริยาที่เฉพาะเจาะจงกัน (specific chemical initiator) ซึ่งอยู่ในวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ^(10, 30) ซึ่งจะเริ่มเกิดการบ่มตัวในลักษณะบ่มด้วยตัวเองเมื่อมีการสัมผัสกันระหว่างสารยึดติดและเรซินซีเมนต์แม้ไม่ได้รับการฉายแสง โดยจะเกิดการปล่อยอนุมูลอิสระจากปฏิกิริยาที่อยู่ในเรซินซีเมนต์ส่งผลให้ชั้นสารยึดติดมีการพอลิเมอร์ไรเซชันที่ดีขึ้น ระบบการบ่มตัวที่มีลักษณะพิเศษนี้เรียกว่า “Touch-cure” ซึ่งหวังผลให้ได้ค่ากำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคที่สูงแม้ไม่ได้รับการฉายแสง⁽¹⁰⁾

2. New type: จะสามารถเกิดการบ่มตัวจากการสัมผัสระหว่างเรซินหรือวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบหรือบ่มด้วยตัวเองที่ไม่เฉพาะเจาะจง (nonspecific) กับสารยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง โดยการผสมสารที่เรียกว่าสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวจากการสัมผัส (Touch-polymerization activator) เข้ากับสารยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง ทำให้สารยึดติดสามารถเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีได้ และสามารถใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ คอมโพสิตเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง หรือวัสดุก่อแกนฟันจากบริษัทผู้ผลิตอื่นได้ อย่างไรก็ตามผลการศึกษายังมีประสิทธิภาพของวัสดุประเภทนี้ยังคงไม่ชัดเจน⁽³⁰⁻³²⁾

สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวจากการสัมผัส แบ่งเป็น 2 ประเภทตามองค์ประกอบหลัก ได้แก่ Aryl sulfinic acid sodium salt-based หรือ Aryl borate salt-based^(30, 31) ซึ่งจะขอล่าถึงต่อไปในหัวข้อ แนวคิดการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับสารยึดติดแบบลดขั้นตอน

6. ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์

ในปัจจุบันวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์มักถูกใช้ร่วมกับสารยึดติดลดขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นโททอลเอทซ์ 2 ขั้นตอน เซลฟ์เอทซ์ 1 ขั้นตอนหรือ ยูนิเวอร์แซลแอตชีฟ ซึ่งสารยึดติดลดขั้นตอนอาจให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ไม่ดีระหว่างสารยึดติดและเนื้อฟัน อีกทั้งอาจมีความไม่เข้า

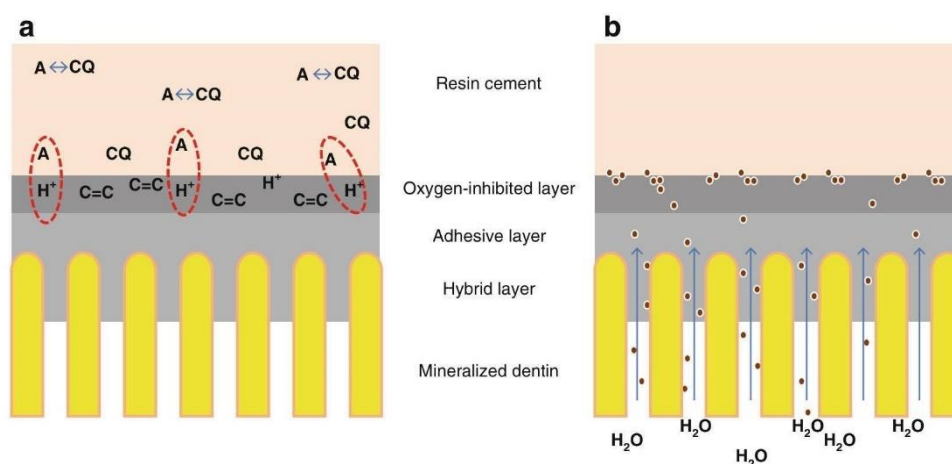
กันระหว่างสารยึดติดลดชั้นตอนที่มีความเป็นกรดกับวัสดุท่อแกนพื้นหรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบ (ภาพประกอบ 2) เนื่องจาก

1. การมีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดเป็นส่วนประกอบและมีความเป็นกรดคงเหลืออยู่ในชั้นออกซิเจนอินฮิบิทที่เกิดจากสารยึดติดลดชั้นตอนที่มีค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 3 ซึ่งจะไปขัดขวางการทำงานของสารตั้งต้นปฏิกิริยาเอมีนตติยภูมิในการสร้างอนุมูลอิสระ ส่งผลให้การบ่มตัวผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (peroxide-amine binary redox) ลดลง การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ก็น้อยลงด้วย กล่าวคือเกิด ความไม่เข้ากันทางเคมี (chemical incompatibility)^(12, 13, 23, 33) ซึ่งข้อนี้เป็นสาเหตุหลักของค่าความแข็งแรงยึดติดที่ลดลง^(34, 35)

2. การทำให้เกิดสภาพแวดล้อมไฮเพอร์โทนิก (hypertonic environment) ในชั้นออกซิเจนอินฮิบิทของสารยึดติดลดชั้นตอนไปกระตุ้นการเกิดออสโมซิส (osmotic fluid transport) คือมีการดึงน้ำจากเนื้อฟันด้านใต้ผ่านชั้นสารยึดติดที่มีสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้ ทำให้น้ำมาขวางกั้นไม่ให้เกิดการสัมผัสใกล้ชิด (close contact) ระหว่างชั้นสารยึดติดกับเรซินซีเมนต์ เกิดปรากฏการณ์ต้นไม้ น้ำ (water tree phenomenon) หรือจัดเป็นความไม่เข้ากันทางกายภาพ (physical incompatibility) และเป็นสาเหตุที่นำมาซึ่งความล้มเหลวก่อนเวลาอันควร (premature failure) ในการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟัน^(23, 28, 35) ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้สารยึดติดลดชั้นตอนกับวัสดุท่อแกนพื้นหรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบ ในขณะที่สารยึดติดประเภทโททอลเอทซ์ 3 ชั้นตอนและเซลฟ์เอทซ์ 2 ชั้นตอนไม่มีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดเป็นส่วนประกอบในส่วนบอนด์ดิ้ง (bonding agent) จึงมีความเข้ากันได้กับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มตัวสองแบบ^(7, 8, 13, 15, 26)

การเกิดความไม่เข้ากันทางเคมีระหว่างสารยึดติดและเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบจะมีผลชัดเจนมากขึ้นเมื่อเรซินซีเมนต์สัมผัสกับชั้นสารยึดติดที่ไม่ได้ถูกฉายแสง เมื่อเทียบกับการสัมผัสกับชั้นสารยึดติดที่ฉายแสงแล้ว ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่ไม่ฉายแสงจะมีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดจำนวนมากในชั้นสารยึดติดที่ขัดขวางการทำงานของเอมีนและเพอรอกไซด์ในเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวสองแบบ⁽¹⁵⁾ และแม้ว่าจะฉายแสงที่ชั้นสารยึดติดก่อนการใช้เรซินซีเมนต์ก็ยังคงพบความไม่เข้ากันทางเคมีนี้ได้ เนื่องจากชั้นออกซิเจนอินฮิบิทที่เกิดขึ้นอาจมีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดซึ่งยังไม่พอลิเมอร์ไรเซชัน จึงมีรายงานถึงค่าความแข็งแรงยึดติดที่ต่ำไม่ว่าจะฉายหรือไม่ฉายแสงที่ชั้นสารยึดติด^(13, 26) อย่างไรก็ตาม การเกิดความไม่เข้ากันนี้ไม่พบในเรซินที่บ่มตัวด้วยแสงเนื่องจากมีการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้อย่างรวดเร็ว⁽¹⁴⁾

นอกจากนี้บริษัทผู้ผลิตบางราย แนะนำให้ทาสารยึดติดลงบนสิ่งบูรณะโดยอ้อมด้วยและไม่ต้องฉายแสงก่อนการใช้เรซินซีเมนต์ ดังนั้นความไม่เข้ากันทางเคมีนี้ ไม่เพียงแต่จะเกิดที่พื้นผิวระหว่าง เรซินซีเมนต์-เนื้อฟัน แต่ยังสามารถเกิดที่พื้นผิวระหว่างสิ่งบูรณะโดยอ้อม-เรซินซีเมนต์ได้ด้วย⁽¹⁵⁾ ในขณะที่การใช้สารยึดติดแบบโททอลเอทซ์ 3 ขั้นตอนหรือเซลฟ์เอทซ์ 2 ขั้นตอน ซึ่งมีการทาเรซินที่มีความไม่ชอบน้ำ (neutral hydrophobic adhesive resin/ water-free resin) เป็นขั้นสุดท้าย จะไม่เกิดการสัมผัสระหว่างมอนอเมอร์ที่เป็นกรดในสารยึดติดและเรซินซีเมนต์โดยตรง⁽¹³⁾ และพบว่าความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เป็นกรดที่จะขัดขวางการทำงานของเอมีนตติยภูมิลดลง⁽³⁴⁾



ภาพประกอบ 2 ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์

(a.) ความไม่เข้ากันทางกายภาพ จากภาพแสดงให้เห็นไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากมอนอเมอร์ที่เป็นกรดที่อยู่ภายในชั้นออกซิเจนอินฮิบิทแยงกับแคมฟอร์ควิโนน (CQ) ในการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับเอมีนตติยภูมิ (A) มีผลลดการเกิดอนุมูลอิสระที่จะเป็นตัวเริ่มให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (b.) ความไม่เข้ากันทางเคมี จากภาพแสดงให้เห็นน้ำที่ขึ้นมาจากท่อเนื้อฟันมาที่ชั้นสารยึดติด ซึ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการสัมผัสใกล้ชิดระหว่างชั้นสารยึดติดกับเรซินซีเมนต์

ที่มา Perdigao J. Restoration of root canal-treated teeth. Springer; 2016. p. 144.

ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดลดขั้นตอนกับวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบนี้ ได้ถูกรายงานตั้งแต่ปี 1999 ซึ่งเป็นยุคที่มีการเกิดของสารยึดติดลดขั้นตอนรุ่นก่อน ในขณะที่สารยึดติดลดขั้นตอนรุ่นใหม่จะมีสมบัติความชอบน้ำลดลงเนื่องจากมีการเติม 10-MDP (10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) ซึ่งมีสายคาร์บอนยาว ทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อยลง⁽³⁵⁾

แนวคิดการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับสารยึดติดลดขั้นตอน

เพื่อจะแก้ปัญหาความไม่เข้ากันของสารยึดติดลดขั้นตอนกับวัสดุก่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ และให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดีขึ้นในส่วนที่อยู่ลึกซึ่งแสงส่องไปถึงไม่สมบูรณ์ในปัจจุบันนี้ระบบสารยึดติดที่เป็นชนิดบ่มตัวด้วยแสงบางยี่ห้อจึงได้ถูกจับคู่กับ สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบหรือที่เรียกว่าสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวจากการสัมผัส^(31, 32) ซึ่งมักประกอบด้วยสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม^(15, 28) เช่น เกลืออะโรมาติกโซเดียมซัลไฟเนต (aromatic sodium sulfinate salts) (ภาพประกอบ 3) เกลือเอริลซัลไฟเนต (arylsulfinate salts) สารประกอบออกาโนโบรอน (organoboron compounds) กรดบาบิทูริก (barbituric acid) และคูปริคคลอไรด์ (cupric chloride)⁽¹²⁾ โดยอาจถูกผสมลงในบอนด์ดิ้ง หรือทำเป็นขวดแยก⁽²³⁾ ที่เรียกว่า “Activator solution” สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมมักถูกผสมในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น อะซีโตน (acetone) หรือเอธานอล และนำมาใช้ร่วมกับสารยึดติดตามคำแนะนำของแต่ละบริษัทผู้ผลิต อีกรูปแบบหนึ่งคือการบรรจุสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมลงในแปรงชนิดพิเศษซึ่งไม่ต้องมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ⁽¹²⁾ พบใน Excite DSC (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ซึ่งเป็นไมโครบริชเคลือบด้วยเกลือเอริลซัลไฟเนต

สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยารีดอกซ์ (ternary redox catalyst) โดยไปทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่เป็นกรดทำให้เกิด charge transfer complex ซึ่งสร้างอนุมูลอิสระฟีนิล (phenyl) เบนซีนซัลโฟนิล (benzenesulfonyl) หรือ เอริลซัลโฟนิล (arylsulfonyl) ทำให้มีจำนวนอนุมูลอิสระมากขึ้นและไปเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีมากขึ้น⁽³⁰⁾ (ภาพประกอบ 4) อีกทั้งไปลดความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เป็นกรดให้ใกล้เคียงความเข้มข้นของเอมีนจึงลดความไม่เข้ากันของวัสดุสองชนิด^(12, 15, 27, 28, 33) นอกจากนี้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมจะทำให้จำนวนออกซิเจนน้อยลง ส่งผลให้เกิดชั้นออกซิเจนอินิทิที่บางลง⁽²⁸⁾ และช่วยกระตุ้นให้เกิดการบ่มตัวจากการสัมผัสได้⁽³²⁾ ดังนั้นการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบควรจะทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินดีขึ้น

อย่างไรก็ตามความไม่เข้ากันทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างมอนอเมอร์ที่เป็นกรดและเอมีน ตติยภูมิ อาจไม่สามารถถูกกำจัดให้หมดไปด้วยการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ เนื่องจากอาจมีความไม่เข้ากันทางเคมีระหว่างสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบกับ องค์ประกอบบางชนิดในสารยึดติดได้อีก และสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจไป เจือจางสารยึดติด โดยทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นปฏิกิริยาด้วยแสงและฟังก์ชันนาล มอนอเมอร์ลดลง ส่งผลเสียต่อการเกิดชั้นไฮบริด (hybrid layer)^(13, 26, 34) ค่าปริมาณการเกิด พอลิเมอร์ และค่าความแข็งแรงยึดติดกับเนื้อฟันในระยะยาว⁽²³⁾ ซึ่งมีแนวคิดที่รายงานว่าสาร กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะไปเพิ่มสัดส่วนของอะซีโตนหรือน้ำในระบบสารยึดติด ส่งผลให้การระเหยตัวทำละลายลดลง การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันลดลง และทำให้ค่าความแข็งแรง ยึดติดแย่งในที่สุด⁽³³⁾ อีกทั้งมีการศึกษาที่รายงานผลถึงความสัมพันธ์กับการรั่วซึมระดับนาโน (nanoleakage) อีกด้วย⁽³⁵⁾

การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุเรซินภายใต้สิ่งบวาระโดยอ้อมถูกจำกัดจากการมี แสงส่องผ่านลงไปไม่ถึงชั้นเรซิน ดังนั้นจึงต้องอาศัยการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีด้วย จึงได้มีการนำสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาใช้กับสารยึดติดเพื่อให้เกิดการยึดติดที่ ดีเพียงพอสำหรับสิ่งบวาระโดยอ้อม อย่างไรก็ตามพบว่าแม้จะมีการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา บ่มตัวสองแบบร่วม ก็ไม่สามารถละเว้นการฉายแสงได้เพื่อให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์ ที่สุด โดยการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันแค่จากปฏิกิริยาเคมีนั้นไม่เพียงพอ^(12, 15, 28) เนื่องจากเกิดขึ้นได้ ช้า และมีการเกิดพอลิเมอร์ไม่ดีเท่าการถูกกระตุ้นด้วยแสง ส่งผลให้วัสดุเรซินมีความแข็งแรงต่ำและมี การละลายตัวสูง⁽³⁶⁾

มีการศึกษาที่รายงานถึงการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุเรซินชนิดบ่มด้วยตัวเอง หรือบ่มตัวสองแบบว่าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดติดแต่ละระบบ (material dependent) โดยไม่จำเป็นที่จะต้องใส่สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมเมื่อใช้สารยึดติดลดขั้นตอนเสมอไป โดยบางการศึกษาพบว่าแม้จะใช้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมก็ไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดดีขึ้น^(28, 35)

สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม เกลือเอริลซัลฟิเนต

กรดซัลฟินิก (Sulfinic acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic compounds) ที่ม ีความไม่คงตัวสูงมาก (highly unstable) กรดซัลฟินิกบางตัว เช่น *p*-toluenesulfinic acid เมื่ออยู่ ในอุณหภูมิห้องก็สามารถเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้

Dr Oskar Hagger ได้พิจารณาว่า *p*-toluenesulfinic acid จะช่วยริเริ่มการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันสำหรับไวน์ลมอนอเมอร์ (vinyl monomers) ได้ และได้รายงานออกมาในปี 1948 นอกจากนี้เขายังได้พัฒนาจีพีดีเอ็ม (GPDM; glycerophosphoric acid dimethacrylate monomer) ซึ่งเกิดการบ่มตัวทางเคมีด้วยกรดซัลฟินิก งานของเขาถูกพัฒนาต่อมาจนเกิด Sevitra filling (PMMA) ซึ่งสามารถบอนด์กับโครงสร้างฟันด้วย Sevitra cavity seal ส่วนผงและน้ำของ Sevitra ประกอบด้วยเกลือของจีพีดีเอ็มและกรดเมทาคริลิก (methacrylic acid)

ถึงแม้ว่ากลไกของ sulfinic acid-initiated polymerization ของไวน์ลมอนอเมอร์จะไม่ชัดเจน แต่วิธีการนี้ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับระบบสารยึดติดหลายระบบในยุคนั้น อาจเป็นเพราะกรดซัลฟินิกสามารถทำงานได้แม้ในสภาวะที่มีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดอยู่ด้วย ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเกลือซัลไฟเนตและมอนอเมอร์ที่เป็นกรดได้ถูกศึกษาและพบว่าปฏิกิริยานั้นทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้นได้⁽¹⁴⁾

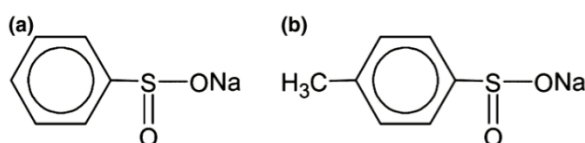
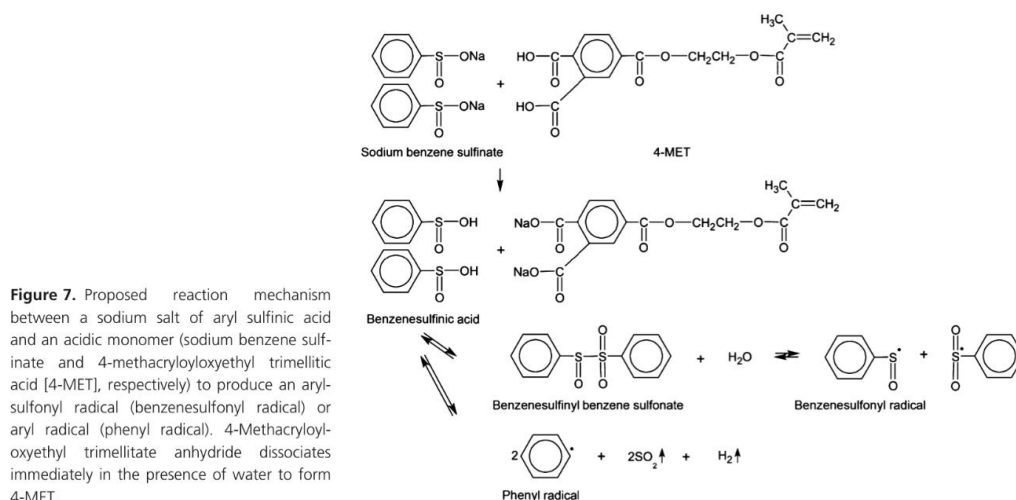


Figure 6. Common sodium salt forms of aryl sulfinic acid employed in dentistry. (a) Sodium benzene sulfinate; (b) sodium *p*-toluene sulfinate.

ภาพประกอบ 3 เกลือโซเดียมซัลไฟเนตที่ใช้ทางทันตกรรม

ที่มา Kwon TY, Bagheri R, Kim YK, Kim KH, Burrow MF. Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*. 2012;3(1):3-16.



ภาพประกอบ 4 ปฏิกิริยาระหว่างเกลือโซเดียมซัลไฟเนตและมอนอเมอร์ที่เป็นกรด

ที่ ม ๑ Kwon TY, Bagheri R, Kim YK, Kim KH, Burrow MF. Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry. Journal of Investigative and Clinical Dentistry. 2012;3(1):3-16.

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการนำสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาใช้

สก๊อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (Scotchbond Universal adhesive, 3M ESPE) (ภาพประกอบ 5) มีความจำเป็นต้องผสมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบชื่อ สก๊อตช์บอนด์ดูอัลเคียวแอคทิเวเตอร์ (Scotchbond dual cure activator, 3M ESPE) (ภาพประกอบ 6) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันร่วม (copolymerize) ที่ดีที่สุดระหว่างสก๊อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซลกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มตัวสองแบบที่นอกเหนือจากรีไลเอกซ์อัลทิเมต (Rely X Ultimate, 3M ESPE) หรือเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของเอมีน โดยสก๊อตช์บอนด์ดูอัลเคียวแอคทิเวเตอร์มีองค์ประกอบเป็นสารโซเดียมฟีไทลอินซัลไฟเนต และเอธานอล ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างของสก๊อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซลที่มีค่า 2.7 จะถูกปรับเป็น 2.9 ภายหลังการผสมกับสก๊อตช์บอนด์ดูอัลเคียวแอคทิเวเตอร์ ที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 และมีการศึกษาที่รายงานว่า การผสมสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบส่งผลให้ค่าความแข็งแรงยึดติดเมื่อใช้ยูนิเวอร์แซลแอคทีฟซีฟร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่มีเอมีนเป็นองค์ประกอบ สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ใช้สารยึดติดและเรซินซีเมนต์ชนิดเดียวกัน แต่ไม่ผสมสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ⁽²³⁾

ในขณะเดียวกัน บริษัทผู้ผลิตไม่แนะนำให้ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเมื่อจะใช้สก็อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับรีไลย์เอกซ์อัลทิเมตซึ่งไม่มีเอมีน (amine-free) และผ่านการพัฒนาระบบการเกิดรีดอกซ์ โดยมีการใช้โซเดียมเพอร์ซัลเฟต (sodium persulfate) และ tert-butyl peroxy-3,5,5-trimethylhexanoate ในการกดปฏิกิริยาที่ไม่พึงประสงค์ระหว่างสารยึดติดและเรซินซีเมนต์ที่เป็นชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มตัวสองแบบ นอกจากนี้ซีเมนต์ได้ถูกผสมสารกระตุ้นไว้แล้ว ซึ่งจะทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันร่วมเมื่อสัมผัสกับชั้นสารยึดติด จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ



ภาพประกอบ 5 สก็อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซลและรีไลย์เอกซ์อัลทิเมต



ภาพประกอบ 6 สก็อตช์บอนด์คูอัลเคียวแอคทีเวเตอร์

7. ผลลัพธ์ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (CLEARFIL™ S³ Bond Universal)

เป็นสารยึดติดที่มีขวดเดียว คุณสมบัติเป็นชนิดบ่มด้วยแสง สามารถเตรียมพื้นผิวในส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟันได้พร้อมกันในขั้นตอนเดียว (ภาพประกอบ 7) โดยสามารถใช้ได้หลากหลายวิธี คือ สามารถใช้เป็นแบบเซลฟ์เอทช์ โดยมีค่าความเป็นกรดต่าง 2.3 หรือสามารถใช้

ร่วมกับกรดฟอสฟอริกทั้งแบบซีเลคทีฟเอทซ์และโททอลเอทซ์ใช้ได้ทั้งในงานบูรณะโดยตรงและโดยอ้อม บริษัทผู้ผลิตได้แนะนำว่าสามารถใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ (CLEARFIL™ DC activator) ร่วมกับเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลได้ เพื่อให้เปลี่ยนคุณสมบัติเป็นชนิดบ่มตัวสองแบบ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส (CLEARFIL™ DC CORE PLUS) หรือพานาเวียเอสเอ (PANAVIA SA CEMENT) ไม่จำเป็นต้องใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์

ข้อบ่งชี้ในการใช้งานของเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ได้แก่ ใช้กับงานบูรณะโดยตรงร่วมกับคอมโพสิตเรซินชนิดบ่มตัวด้วยแสง การผนึกโพรง (cavity sealing) ก่อนการยึดสิ่งบูรณะโดยอ้อม รักษาารากฟันเผยผิ (exposed root dentin) รักษาอาการเสียวฟัน (hypersensitivity) ซ่อมแซมงานบูรณะที่แตกหักในช่องปาก ยึดเดือยฟันและก๊อแกนฟัน ยึดสิ่งบูรณะโดยอ้อม อินเลย์ ออนเลย์ ครอบฟัน สะพานฟัน และวีเนียร์

องค์ประกอบของเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ได้แก่ 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate (MDP), Bisphenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA) 15-35%, 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) 10-35%, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Colloidal silica, Silane coupling agent, dl-Camphorquinone, Ethanol <20%, Accelerators, Initiators และน้ำ

ขั้นตอนการใช้งานเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลในการยึดเดือยฟันตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ มีดังนี้

1. เตรียมพื้นผิวฟัน: ทาเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลให้ทั่วบริเวณที่ต้องการยึดติดภายใน 7 นาทีหลังจากหยุดสารยึดติดออกมาจากขวด *เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีเวลาทำงาน (working time) 7 นาที แต่หากผสมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์จะมีเวลาทำงาน 90 วินาที โดยสามารถเลือกใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลได้แบบมัลติโหมด
2. ถูสารยึดติดเป็นเวลา 10 วินาที
3. เป่าด้วยลมจากปลายหัวฉีดน้ำ-เป่าลม (triple syringe) อย่างน้อย 5 วินาที หรือจนกว่าสารยึดติดจะไม่เคลื่อนไหว
4. ซับสารยึดติดส่วนเกินในคลองรากฟันด้วยกระดาษซับรูปกรวยแหลม (paper point)
5. ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงตามที่บริษัทแนะนำ
6. เตรียมพื้นผิวเดือยฟัน: ทากรดฟอสฟอริกที่เดือยฟันทิ้งไว้ 5 วินาที จากนั้นล้างและเป่าลมให้แห้ง โดยไม่แนะนำการเป่าทราย (sandblasting)

7. ทาเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่เดือยฟัน ทิ้งไว้ 5 วินาที
8. เป่าด้วยลมจากปลายหัวฉีดน้ำ-เป่าลมอย่างน้อย 5 วินาที หรือจนกว่าสารยึดติดจะไม่เคลื่อนไหว

หากใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส บริษัทไม่แนะนำให้ฉายแสงชั้นสารยึดติดที่เดือยฟัน แต่หากใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์อื่น ต้องใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ และฉายแสงชั้นสารยึดติดที่เดือยฟัน มิฉะนั้นเวลาทำงานจะลดลงอย่างมาก (ภาพประกอบ 8)



ภาพประกอบ 7 ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล

CLEARFIL™ DC Activator

To provide a wide application with CLEARFIL™ DC Activator

CLEARFIL™ TRI-S BOND Universal can be mixed with CLEARFIL™ DC Activator to become a dual-cure adhesive which can be used with self/dual-cured resin cement or core material.



*Working time will be shortened dramatically when not light-curing the mixture on the adhered surface.

*The addition of "CLEARFIL™ DC Activator" to CLEARFIL™ TRI-S BOND Universal is not required when using with "CLEARFIL™ DC CORE PLUS" or "PANAVIA™ SA CEMENT PLUS" .

ภาพประกอบ 8 การใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ร่วมกับเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล

เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ (CLEARFIL™ DC Activator)

เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ (ภาพประกอบ 10) เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบสำหรับสารยึดติดตระกูลเคลียร์ฟิล (CLEARFIL™ BONDING SYSTEM) โดยใช้ผสมกับสารยึดติด ทำให้สามารถใช้ได้กับวัสดุก่อกแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบ โดยบริษัทผู้ผลิตไม่แนะนำให้ใช้ร่วมกับสารยึดติดจากบริษัทอื่น ประโยชน์ของเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ คือ ทำให้สารยึดติดมีความหนาฟิล์มที่น้อยลงสำหรับงานบูรณะโดยอ้อม เพิ่มความแข็งแรงยึดติดจากการบ่มด้วยตัวเอง และบ่มตัวจากการสัมผัส

ข้อบ่งชี้ในการใช้งาน ใช้ร่วมกับวัสดุก่อกแกนฟันหรือซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มตัวสองแบบ

องค์ประกอบของเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ได้แก่ เอทานอลมากกว่าร้อยละ 90 ตัวเร่ง และสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบเพียง 2 การศึกษาที่รายงานถึงองค์ประกอบที่ไม่ถูกเปิดเผยจากบริษัทผู้ผลิต ได้แก่ กลีโอสัลไฟเนต (Sulfinic acid salt) หรือกลีโอริลซัลไฟเนต (Aryl sulfinate salt) และมีค่าความเป็นกรดต่าง 3.2 (ภาพประกอบ 9)

Materials	Manufacturer	Composition	Application protocol	pH of adhesives
Clearfil DC Activator	Kuraray Noritake Dental Corp.	Ethanol, Sulfinic acid salt		

Materials	Manufacturer	Composition (Batch Number)	Application	Polymerization Mode	pH
DCA	Kuraray Noritake, Dental Inc	Arylsulfinate salt, accelerators, ethanol (6N0007)	Mix liquids in 1:1 ratio for at least 1-2 s, air-dry gently, light-irradiation according to the bonding agent used.	Dual-polymerization	3.2

ภาพประกอบ 9 ส่วนประกอบของเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์

ที่ มา Keiichi H, Kazuhide Y, Keita T, Antonin T, Yusuke K, Daiki N, et al. The Influence of a Touch-cure System on the Micro-tensile Bond Strength of Self-etch Adhesives to Root Canal Dentin. The Japanese Journal of Conservative Dentistry. 2019; 62(1): 39-46., และ Dwiandhany W, Abdou A, Tichy A, Yonekura K, Ikeda M, Hosaka K, et al. Additive effects of touch-activated polymerization and extended irradiation time on bonding of light-activated adhesives to root canal dentin. The Journal of Prosthetic Dentistry. 2021

ขั้นตอนการใช้งานเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ

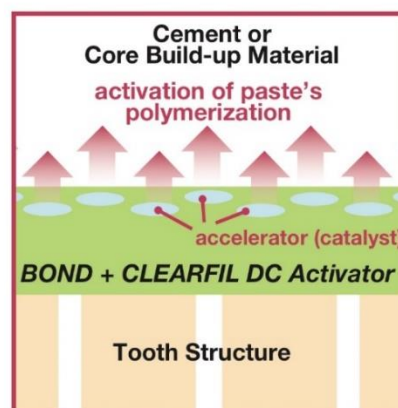
1. ใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ 1 หยดผสมกับสารยึดติดตระกูลเคลียร์ฟิล 1 หยด แล้วใช้งานภายใน 90 วินาที
2. ทำให้ทั่วบริเวณที่ต้องการยึดติด
3. เป่าด้วยลมจากปลายหัวฉีดน้ำ-เป่าลมอย่างน้อย 5 วินาทีหรือจนกว่าสารยึดติดจะไม่เคลื่อนไหว
4. ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงตามที่บริษัทแนะนำเพื่อผลสำเร็จที่ดี



ภาพประกอบ 10 ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์

TOUCH-CURE

When curing, adhesive resins & composites shrink. With the **CLEARFIL DC Activator** & CLEARFIL bonding agent combinations, Kuraray's resin cement or core build-up material is activated when it touches the mixture. This TOUCH-CURE affect reverses the shrinkage and starts curing the material at the tooth interface first, which provides an exceptional seal & long-term bond.



ภาพประกอบ 11 การทำงานของเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์

เมื่อใช้ร่วมกับสารยึดติดตระกูลเคลียร์ฟิล

เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส (CLEARFIL™ DC Core Plus)

เป็นวัสดุชนิดบ่มตัวสองแบบและทึบรังสี มีองค์ประกอบ 2 ส่วนอยู่ในปิ่น automix ใช้สำหรับการยัดเดือยฟันและก่อแกนฟัน (ภาพประกอบ 12) บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้ใช้ร่วมกับ เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ เพื่อให้ได้การยัดติดและผลสำเร็จระยะยาวที่ดี อีกทั้งบริษัทไม่แนะนำให้ใช้ร่วมกับสารยัดติดระบบอื่นที่ไม่แนะนำในคู่มือการใช้งาน โดย เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์เป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่มเซลฟ์เอทซ์เมื่อสัมผัสกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส จะเกิดการบ่มด้วยตัวเองโดยมีสารเร่งปฏิกิริยาที่จำเพาะต่อกัน (specific accelerator) ทำให้บริเวณที่แสงไม่สามารถส่องถึงเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้ อย่างไรก็ตามบริษัทแนะนำให้ฉายแสงร่วมด้วยแม้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีคุณสมบัติเป็นชนิดบ่มตัวสองแบบ

องค์ประกอบของเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส

ส่วน A ได้แก่ Bisphenol A diglycidylmethacrylate (Bis-GMA) <5%, Hydrophobic aliphatic dimethacrylate, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Silanated barium glass filler, Silanated colloidal silica, Colloidal silica, dl-Camphorquinone, Initiators และ Pigment

ส่วน B ได้แก่ Triethyleneglycol dimethacrylate <5%, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Silanated barium glass filler, Silanated colloidal silica, Aluminium oxide filler และ Accelerators

ขั้นตอนการใช้งานเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสในการยัดเดือยฟันตามบริษัทผู้ผลิตแนะนำ

1. เตรียมพื้นผิวเดือยฟัน และ พื้นผิวฟันด้วยระบบสารยัดติดที่บริษัทแนะนำ
2. บีบวัสดุออกจากไซริงค์ลงในคลองรากฟัน พยายามไม่ให้มีฟองอากาศ (เมื่อเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสสัมผัสกับสารยัดติดที่จำเพาะต่อกันจะเริ่มเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันทันที)
3. ใส่เดือยฟันลงในคลองรากฟันภายใน 1 นาที
4. ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงตามที่บริษัทแนะนำ แนะนำให้ฉายแสงจากด้านแก้ม (Buccal) และด้านลิ้น (Lingual)
5. หากความหนาของวัสดุมากกว่า 2 มิลลิเมตร ทิ้งไว้อย่างน้อย 6 นาที
6. กรอแต่งให้มีรูปร่างที่เหมาะสม

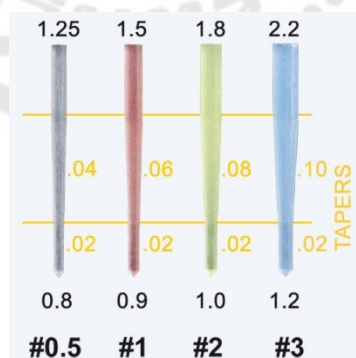


ภาพประกอบ 12 ผลิตภัณฑ์เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส

ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น (D.T.light-post® X-RO® ILLUSION®)

เป็นเดือยฟันไฟเบอร์สำหรับบูรณะฟันที่ผ่านการรักษารากฟัน ประกอบด้วยไฟเบอร์เอ็กซ์-อาร์โอสีเหลืองโปร่งแสง ซึ่งเป็น fiber-reinforced polymer ปริมาณร้อยละ 80 ล้อมรอบด้วยเมทริกซ์เรซินอีพอกซีไวนิล (epoxy-vinyl) ปริมาณร้อยละ 20

พื้นผิวของเดือยฟันเป็นพื้นผิวเรียบ (smooth-surfaced) มีความสอแบบสองเท่า (double taper) ลงไปทางปลายราก ความยาวเดือยฟัน 20 มิลลิเมตร สำหรับเดือยฟันเบอร์ 3 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่หัวเดือยฟันขนาด 2.18 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลายเดือยฟันขนาด 1.2 มิลลิเมตร (ภาพประกอบ 13)



ภาพประกอบ 13 ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น

8. การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติด

การทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดเป็นการทดสอบที่ทำได้ง่าย และราคาไม่แพง อย่างไรก็ตามมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

1. ความเค้น (stress) ที่พื้นผิวไม่ได้มีการกระจายตัวอย่างเป็นเอกกรูป (uniform): ความแข็งแรงของพันธะ (bond strength) มีค่าเป็นหน่วยเมกะปาสคาล (MPa; Megapascal) เกิดจากการนำค่า failure load ในหน่วยนิวตัน (Newton) หารด้วยพื้นที่ที่ถูกยึดติดในหน่วยตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่าความแข็งแรงของพันธะไม่ได้มีค่าเท่ากันทั้งหน้าตัดของพื้นที่ยึดติด การมีฟองอากาศ (void) บนพื้นผิวจะทำให้เกิดจุดรวมความเค้น (stress concentration) และ crack propagation ตามด้วยการเกิดการหลุด (debonding) เฉพาะที่ ซึ่งค่าความแข็งแรงของพันธะที่แท้จริงนั้นสามารถมีค่ามากกว่านั้นหลายเท่า

2. เกิดอุบัติเหตุการล้มเหลวแบบผสมและโคฮีซีฟ (mixed/cohesive failure) ได้มาก: การให้แรงบนพื้นสามารถทำให้เกิดรอยร้าวไปถึงชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน ทำให้การประเมินความแข็งแรงระหว่างพื้นผิว (interfacial strength) ที่ถูกต้องทำได้ยาก

3. ผลการศึกษาจากแต่ละการศึกษาไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้: เนื่องจากแต่ละการศึกษามีการเตรียมตัวอย่างทดลอง การเก็บตัวอย่างทดลอง วิธีในการให้แรงต่างกัน

4. ความแข็งแรงของพันธะขาดความสำคัญทางคลินิก: เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดสอบ ค่าที่ได้จากการทดสอบอาจไม่สามารถบอกประสิทธิภาพของวัสดุในการใช้งานทางคลินิกได้ แต่สามารถดูแนวโน้มได้ กล่าวคือ วัสดุที่ประสิทธิภาพแย่ในการทดสอบนอกช่องปากมักมีประสิทธิภาพแย่มากเมื่อใช้งานในช่องปากด้วย

มีวิธีการทดสอบความแข็งแรงระหว่างพื้นผิวหลากหลายวิธี โดยแบ่งตามขนาดของพื้นที่ที่ถูกยึดติดที่ทำการทดสอบ: มาโคร (macro) (4-28 ตารางมิลลิเมตร), ไมโคร (micro) (ประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร)

การทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก (push-out bond strength)

การทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกเป็นการทดสอบที่ถูกใช้มากในทางวิทยาเอ็นโดดอนต์ และใช้ในงานวิจัยด้าน biomedical มาเป็นเวลานานกว่า 4 ทศวรรษ แรกเริ่มได้ถูกนำมาใช้ทางทันตกรรมเพื่อหาค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างเนื้อฟันและวัสดุบูรณะ ต่อมาจึงได้ถูกใช้เพื่อหาค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างวัสดุที่ใช้กับคลองรากฟันและเนื้อฟันของคลองรากฟัน เช่น วัสดุอุดรากฟัน วัสดุซ่อมแซมรากฟัน วัสดุอุดปลายรากฟัน รวมถึงเดือยฟัน โดยรากฟันจะถูก

สไลด์ในแนวตั้งฉากกับแนวแกนฟันให้ได้ความหนา 1 ถึง 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำมากดด้วยหัวกดที่มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่ทดสอบจนเกิดการหลุดออกของวัสดุนั้น ค่าความแข็งแรงพันธะกดออกจะถูกคำนวณจากค่าแรงที่ใช้กดและพื้นที่ยึดติดระหว่างวัสดุและผนังคลองรากฟัน^(37, 38)

ข้อดีของการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกคือ การให้แรงกดตั้งฉากกับท่อเนื้อฟันในฟันธรรมชาติ ทำให้สามารถจำลองการเกิดความเค้นทางคลินิก (clinical stress) และสามารถทดสอบกับวัสดุที่ถูกล้อมรอบด้วยผนังคลองรากฟันได้ และเชื่อว่าเกิดความเค้นต่อพื้นผิวยึดติดระหว่างการเตรียมชิ้นงานน้อยกว่า แม้ว่าการทดสอบแรงยึดติดชนิดต่างๆ จะไม่สามารถใช้ทำนายพฤติกรรมทางคลินิกของวัสดุได้อย่างแน่ชัด แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่บ่งบอกได้ถึงความสามารถในการผนึก (sealing ability) ของวัสดุ และสะท้อนการใช้งานทางคลินิกที่ดีที่สุดที่มีในปัจจุบัน

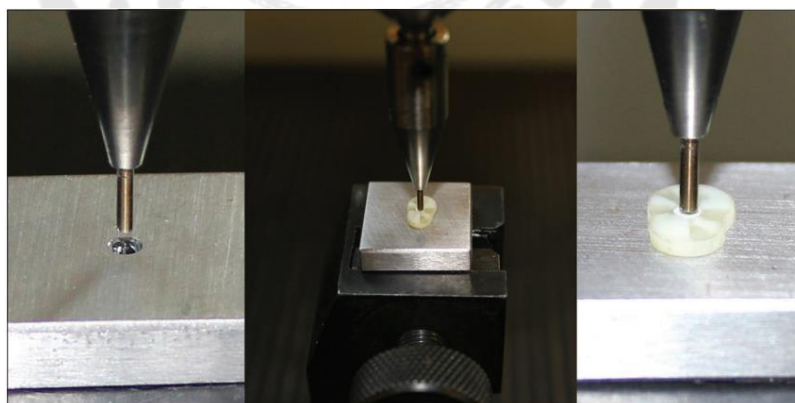
ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกสามารถทำให้เกิดเป็นมาตรฐานเดียวกัน โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ เช่น วิธีเตรียมคลองรากฟัน เวลาที่ใช้ในการอุดคลองรากฟัน การเลือกขนาดหัวกด ความเร็วหัวกด ความหนาของชิ้นงาน และคุณสมบัติของวัสดุที่ทดสอบ (ความแข็ง เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสอป) การกำหนดตัวแปรที่ต่างกันในแต่ละการศึกษาทำให้การแปลความผลลัพธ์และนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับระหว่างการศึกษาทำได้ยากและไม่เป็นที่ยอมรับ⁽³⁸⁾ โดยในระหว่างการทดสอบ ตำแหน่งการวางชิ้นงานและมุมที่ใช้ในการให้แรงก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลลัพธ์ จึงได้มีคำแนะนำให้ใช้คลองรากฟันสังเคราะห์ (artificial canal) ซึ่งจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสอปสม่ำเสมอตลอดความยาวราก ไม่เหมือนในฟันธรรมชาติซึ่งอาจมีความโค้งของคลองรากฟันที่ส่งผลให้แรงกดไม่ตั้งฉากกับบริเวณที่ถูกกดอย่างแท้จริง นอกจากนี้ขนาดของคลองรากฟันที่ต่างกันในแต่ละระดับทำให้ในฟันซี่เดียวกันต้องใช้หัวกดขนาดที่ต่างกันไปในแต่ละระดับด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อใช้คลองรากฟันสังเคราะห์ ข้อดีของการทดสอบในฟันธรรมชาติก็จะหายไป⁽³⁷⁾

จากการศึกษาของ Nagas และคณะ ในปี 2011 ได้ศึกษาถึงผลของขนาดหัวกด คือ 0.75 มิลลิเมตร 1 มิลลิเมตร และ 1.25 มิลลิเมตร ทดสอบกดลงบนวัสดุเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตรที่ไม่มีความสอป ได้แก่ กลุ่ม Resilon และ Epiphany กลุ่ม GP และ AH Plus และ กลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์และ Duolink ได้ผลว่าการใช้ขนาดหัวกดที่ใหญ่ขึ้นจะให้ค่าความแข็งแรงพันธะกดออกที่สูงขึ้นในทุกกลุ่ม แต่มีนัยสำคัญแค่กลุ่มเดือยฟันไฟเบอร์ การศึกษาของ Chen และคณะ ในปี 2013 ได้กล่าวว่าขนาดหัวกดต้องมีขนาดอย่างน้อยร้อยละ 85 ของบริเวณวัสดุที่จะกด (core diameter) และขนาดของบริเวณที่จะกดต้องเป็นอย่างน้อยร้อยละ 60 ของความหนาชิ้นงาน ซึ่ง

Pane และคณะ ในปีเดียวกันได้กล่าวว่าค่าความแข็งแรงพันธะกดออกจะได้ค่าน้อยลง เมื่อเลือกขนาดหัวกดที่เล็กกว่าร้อยละ 60 ของบริเวณวัสดุที่จะกด

เมื่อจะทำการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกระหว่างสารยึดติดและเนื้อฟัน ต้องทำการสร้างตัวอย่างทดลองจากแผ่นเนื้อฟันความหนา 1 ถึง 2 มิลลิเมตร เจาะรูทรงโคนที่มีความสอบ เตรียมพื้นผิวด้านในของรูด้วยสารยึดติด และอุดรูด้วยเรซินคอมโพสิต หลังจากเก็บตัวอย่างทดลองตามเวลาที่กำหนดแล้วจึงนำไปทดสอบโดยใช้หัวกด โดยเลือกหัวกดให้มีขนาดเล็กกว่าและใกล้เคียงกับบริเวณที่จะกดมากที่สุด เพื่อลด interfacial sliding friction⁽³⁷⁾ และกดจากด้านที่เรซินคอมโพสิตมีรัศมีเล็กกว่าจนเรซินคอมโพสิตหลุดออกจากเนื้อฟัน และคำนวณค่าความแข็งแรงพันธะกดออกจากค่าแรงในหน่วยนิวตัน (Newton) หารด้วยพื้นที่ที่ถูกยึดติด (ตารางมิลลิเมตร, mm²) โดยในการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเนื้อฟัน หรือเดือยฟันกับวัสดุก่อแกนฟันก็อาศัยหลักการเดียวกัน (ภาพประกอบ 14)

วิธีการนี้สามารถจำลองลักษณะทางคลินิกได้ดีกว่าวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดเฉือน หรือวิธีทดสอบค่ากำลังแรงยึดดึง (shear/ tensile test) เนื่องจากเรซินคอมโพสิตได้ถูกอุดลงในช่องว่าง (cavity) ทำให้มีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านการบ่มตัวของเรซินคอมโพสิต หรือความเค้นพอลิเมอร์ไรเซชัน ผู้วิจัยบางท่านอาจเรียกว่า micro push-out test สำหรับการทดสอบกับคลองรากฟันที่มีวัสดุอุดแล้วถูกตัดเป็นแผ่นเพื่อทำการทดสอบในลักษณะดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น⁽²⁵⁾



ภาพประกอบ 14 การทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก

ที่มา Ertas H, Kucukyilmaz E, Ok E, Uysal B. Push-out bond strength of different mineral trioxide aggregates. European Journal of Dentistry. 2014;8(3):348-52.

การดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด

สามารถใช้เครื่องมือในการช่วยจำแนกประเภทความล้มเหลว ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยแต่ละการศึกษาที่ทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดอกจะมีการจัดประเภทความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดแตกต่างกันไป ตั้งแต่ 4 ถึง 6 ประเภท ดังนี้

การจัดประเภทความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดเป็น 4 ประเภท⁽³⁹⁾ (ภาพประกอบ 15 16)

1. Adhesive failure จะพบชั้นสารยึดติดแยกจากพื้นผิวด้านนอกอย่างสมบูรณ์ โดยพื้นผิวด้านนอกในการทดลองมักเป็นเนื้อฟัน
2. Cohesive failure ของชั้นสารยึดติด จะพบการแตกภายในเนื้อสารยึดติด และพื้นผิวด้านนอกหรือเนื้อฟันจะยังถูกปกคลุมด้วยสารยึดติด
3. Mixed failure จะพบการเกิด adhesive และ cohesive failure ร่วมกัน
4. Cohesive failure ของพื้นผิวด้านนอก จะพบการแตกของพื้นผิวด้านนอก

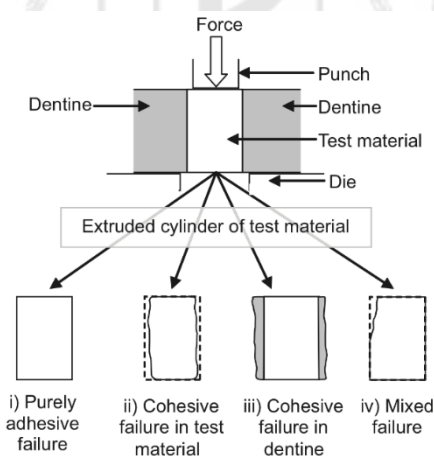


Figure 2 Characteristic features of the four possible failure modes. Dotted lines indicate boundary of original cement plug prior to push-out test. Shaded regions indicate dentine.

ภาพประกอบ 15 แผนภาพการจัดประเภทความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดเป็น 4 ประเภท

ที่ ม ๑ Formosa LM, Mallia B, Camilleri J. Push-out bond strength of MTA with antiwashout gel or resins. International Endodontic Journal. 2014;47(5):454-62.

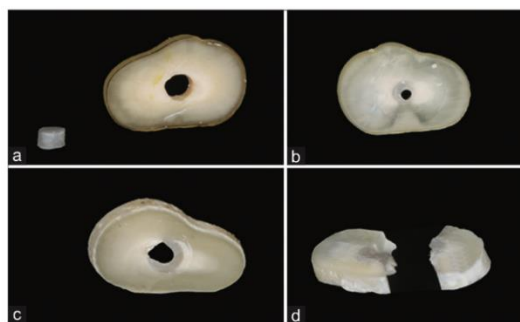


Figure 2: Types of failure occurring after the push-out test: (a) Adhesive failure, (b) cohesive/cement failure, (c) mixed failure, (d) cohesive/dentin failure

ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 4 ประเภท

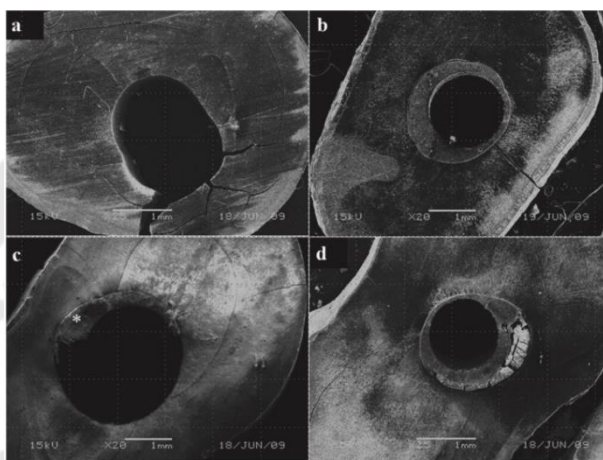
ที่ ม ๑ Delai D, Tedesco M, de Almeida J, Chain MC, da Silveira Teixeira C, Santos Felipe MC, et al. Influence of Infected Root Dentin on the Bond Strength of a Self-adhesive Resin Cement. Contemp Clin Dent. 2018;9(1):26-30.

การจัดประเภทความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดเป็น 5 ประเภท ⁽⁴⁰⁾

1. Adhesive failure ระหว่างพื้นผิวด้านนอกและชั้นสารยึดติด จะพบชั้นสารยึดติดแยกจากพื้นผิวด้านนอกอย่างสมบูรณ์
2. Adhesive failure ระหว่างเดือยพื้นหรือวัสดุทดลองที่อยู่ด้านใน (Test material) และชั้นสารยึดติด จะพบวัสดุทดลองหลุดออกไปโดยที่ชั้นสารยึดติดยังปกคลุมพื้นผิวด้านนอกอย่างสมบูรณ์
3. Mixed failure จะพบชั้นสารยึดติดปกคลุมพื้นผิวด้านนอกบางส่วน โดยที่วัสดุทดลองหลุดออกไป
4. Cohesive failure ของพื้นผิวด้านนอก จะพบการแตกของพื้นผิวด้านนอก
5. Cohesive failure ของชั้นสารยึดติด จะพบการแตกในชั้นสารยึดติด

หรือ⁽¹⁸⁾

1. Adhesive failure
2. Mixed failure โดยพบร่วมกับ Cohesive failure ของวัสดุทดลอง
3. Mixed failure โดยพบร่วมกับ Cohesive failure ของพื้นผิวด้านนอก
4. Cohesive failure ของวัสดุทดลอง
5. Cohesive failure ของพื้นผิวด้านนอก



ภาพประกอบ 17 ตัวอย่างภาพความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องกราด

a. Adhesive failure ระหว่างเนื้อฟันและชั้นสารยึดติด b. Adhesive failure ระหว่างวัสดุทดลองและชั้นสารยึดติด c. Mixed failure ดอกจันสีขาวในภาพแสดงถึงชั้นสารยึดติดที่หลงเหลืออยู่ d. Cohesive failure ในชั้นสารยึดติด

ที่ ม ๑ Mumcu E, Erdemir U, Topcu FT. Comparison of micro push-out bond strengths of two fiber posts luted using simplified adhesive approaches. Dental Materials. 2010;29(3):286-96.

การจัดประเภทความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดเป็น 6 ประเภท ตาม Alnaqbi และคณะ ในปี 2018

1. Cohesive failure ในวัสดุทดลอง
2. Adhesive failure ระหว่างวัสดุทดลองและชั้นสารยึดติด จะไม่พบสารยึดติดบนวัสดุทดลองเลย จัดเป็น Adhesive failure โดยสมบูรณ์ระหว่างวัสดุทดลองและชั้นสารยึดติด
3. Cohesive failure ของชั้นสารยึดติด จะพบสารยึดติดทั้งฝั่งวัสดุทดลองและฝั่งพื้นผิวด้านนอก
4. Adhesive failure ระหว่างชั้นสารยึดติดและพื้นผิวด้านนอก จะพบสารยึดติดปกคลุมวัสดุทดลอง และไม่พบสารยึดติดบนพื้นผิวด้านนอกเลย
5. Mixed failure subtype-1 พบสารยึดติดปกคลุม 25-50% ของพื้นผิววัสดุทดลอง จัดเป็น Adhesive failure เด่น ระหว่างวัสดุทดลองและชั้นสารยึดติด
6. Mixed failure subtype-2 พบสารยึดติดปกคลุม 75% ของพื้นผิววัสดุทดลอง จัดเป็น Adhesive failure ไม่เด่น ระหว่างวัสดุทดลองและชั้นสารยึดติด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การวิเคราะห์ข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

เต็อยฟั้นไฟเบอรืทียึดติดกับวัสดุก่อแกนพั้นชนิดบ่มตัวสองแบบด้วยสารยึดติดชนิดยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟภายในท่ออะคริลิกใส ใช้เต็อยฟั้นไฟเบอรืจำนวน 48 ชิ้น แบ่งเป็น 8 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ชิ้น

การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

ทดสอบค่าความแข็งแรงพั้นระกดออก และลักษณะความล้มเหลวที่พั้นผิวยึดติด แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 8 กลุ่ม ตามวิธีการใช้สารยึดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ การฉายแสง และระยะเวลาขณะทดสอบค่าความแข็งแรงพั้นระกดออก (ตาราง 1) ดังนี้

1. เต็อยฟั้นไฟเบอรืทียึดกับวัสดุก่อแกนพั้นชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ทำการฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพั้นระกดออกทันทีหลังการก่อตัวของเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส
2. เต็อยฟั้นไฟเบอรืทียึดกับวัสดุก่อแกนพั้นชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ทำการฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพั้นระกดออกเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง
3. เต็อยฟั้นไฟเบอรืทียึดกับวัสดุก่อแกนพั้นชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ไม่ฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพั้นระกดออกทันทีหลังการก่อตัวของเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส
4. เต็อยฟั้นไฟเบอรืทียึดกับวัสดุก่อแกนพั้นชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ไม่ฉายแสง และวัด

ค่าความแข็งแรงพันธะกดออกเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง

5. เดือยฟันไฟเบอร์ที่ยึดกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์ทพลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ทำการฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพันธะกดออกทันทีหลังการก่อตัวของเคลียร์ฟิลดีซีคอร์ทพลัส
6. เดือยฟันไฟเบอร์ที่ยึดกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์ทพลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ทำการฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพันธะกดออกเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง
7. เดือยฟันไฟเบอร์ที่ยึดกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์ทพลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ไม่ฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพันธะกดออกทันทีหลังการก่อตัวของเคลียร์ฟิลดีซีคอร์ทพลัส
8. เดือยฟันไฟเบอร์ที่ยึดกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ คือ เคลียร์ฟิลดีซีคอร์ทพลัส ด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ไม่ฉายแสง และวัดค่าความแข็งแรงพันธะกดออกเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง

ตาราง 1 การแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

Group	Adhesive	Light-cure	Time	Abbreviations
1	CLEARFIL™	yes	Immediate	NALI
2			24 hours	NALD
3	S ³ Bond	no	Immediate	NANLI
4	Universal		24 hours	NANLD
5	CLEARFIL™	yes	Immediate	ALI
6	S ³ Bond		24 hours	ALD
7	Universal +	no	Immediate	ANLI
8	CLEARFIL™ DC Activator		24 hours	ANLD

Abbreviations: A, Activator; NA, No activator; L, Light-cure; NL, No light-cure; I, Immediate; D, Delay 24 hours

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. วัสดุอุปกรณ์สำหรับทำแท่นสร้างตัวอย่างทดลอง

- 1.1 อะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเอง (self-cure acrylic) สีขาวและสีงาช้าง
- 1.2 ถ้วยผสมอะคริลิก
- 1.3 ไม้พายผสมอะคริลิก
- 1.4 เครื่องไมโครเมตร
- 1.5 หัวกรอซ้าก้านยาวแบบคาร์ไบด์และสตีล
- 1.6 ขี้ผึ้งแบบแผ่นสีชมพู (pink wax)
- 1.7 วาสลิน
- 1.8 putty

2.วัสดุที่ใช้ (ตาราง 2)

- 2.1 เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (ภาพประกอบ 18)
- 2.2 เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ (ภาพประกอบ 19)
- 2.3 เคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส (ภาพประกอบ 20)
- 2.4 ดีทีไลท์-โพล เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น เบอร์ 3 (ภาพประกอบ 21)
- 2.5 ท่ออะคริลิกใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง

ภายใน 6 มิลลิเมตร

3.อุปกรณ์ที่ใช้

- 3.1 กล้องโลหะทึบแสง
- 3.2 เครื่องฉายแสง (Elipar, 3M)
- 3.3 ตู้บ่ม (incubator) (Memmert GmbH, Germany)
- 3.4 เครื่องไอโซเมต (Isomet 1000, Buehler, USA)
- 3.5 ดิจิตอลคาลิเปอร์
- 3.6 เครื่องทดสอบสากล (EZ-LX, Universal testing machine, Shimadzu, Japan)
- 3.7 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Olympus SZ61, Japan)
- 3.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (JEOL, JSM-6510LV)

ตาราง 2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Materials	Compositions	Lot number
CLEARFIL™S ³ BOND Universal (Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	10-MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Colloidal silica, Silane coupling agent, CQ, Ethanol, Water	850042
CLEARFIL™DC activator (Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	Ethanol, Catalysts, Accelerators	A10009
CLEARFIL™DC CORE PLUS (Kuraray Noritake Dental Inc., Japan)	Paste A: Bis-GMA, Hydrophobic aliphatic dimethacrylate, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Silanated barium glass filler, Silanated colloidal silica, Colloidal silica, CQ, Initiators, Pigment Paste B: TEGDMA, Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Hydrophobic aromatic dimethacrylate, Silanated barium glass filler, Silanated colloidal silica, Aluminium oxide filler, Accelerators	AD0404, 410427
D.T.Light-post® X-RO® ILLUSION® (R.T.D., France)	Fiber-reinforced polymer, Epoxy-vinyl (matrix), Quartz (filler)	205351211, 472012010, 463652007

Abbreviations: 10-MDP, 10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate; Bis-GMA, Bisphenol A diglycidylmethacrylate; HEMA, 2-hydroxyethyl methacrylate; CQ, dl-Camphorquinone; TEGDMA: Triethyleneglycol dimethacrylate

*According to manufacturers' information



ภาพประกอบ 18 เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล



ภาพประกอบ 19 เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์



ภาพประกอบ 20 เคลียร์ฟิลดีซีคัวร์พลัส

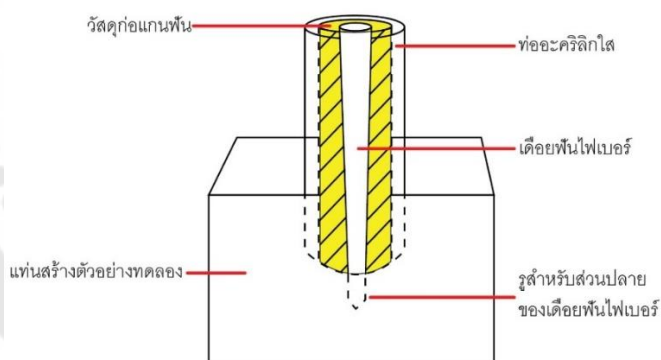


ภาพประกอบ 21 ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น เบอร์ 3

ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างทดลอง

1. การเตรียมแท่นสร้างตัวอย่างทดลอง

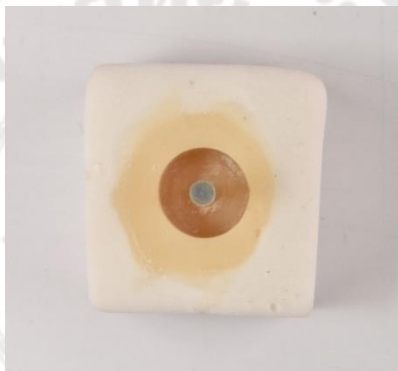
ใช้อะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองสีขาวมาขึ้นรูปเป็นแท่นทรงสี่เหลี่ยม โดยเทอะคริลิกลงในโมลด์ (mold) ทรงสี่เหลี่ยมที่ทำจากซีเมนต์แบบแผ่นสี่ชมพู จากนั้นเจาะรูตรงกลางขึ้นงานให้มีขนาดกว้างและลึกเพียงพอสำหรับเป็นที่อยู่ของท่ออะคริลิกใส โดยท่อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 มิลลิเมตร ปิดรูที่ส่วนปลายของท่ออะคริลิกให้มีลักษณะเป็นหน้าตัดตรงเพื่อไม่ให้อะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองเกินเข้าไปในท่อ ทาวาสลินที่ท่อและทำการ reline รูที่เจาะไว้ด้วยอะคริลิกชนิดบ่มด้วยตัวเองสีข้างพร้อมกับวางท่ออะคริลิกใสลงในตำแหน่งและความลึกที่ต้องการ เพื่อให้ท่ออะคริลิกใสมีความแนบพอดีกับแท่นที่สร้างไว้ เจาะรูขนาดเล็กที่กึ่งกลางของรูที่สร้างไว้ ลึกประมาณ 3 มิลลิเมตร เพื่อให้เป็นที่อยู่ของส่วนปลายเดือยฟัน และทำการ reline เพื่อให้เดือยฟันมีความแนบพอดีกับรูและสามารถตั้งตรงในตำแหน่งที่ต้องการ (ภาพประกอบ 22-25)



ภาพประกอบ 22 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของตัวอย่างทดลองบนแท่นสร้าง



ภาพประกอบ 23 แท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง



ภาพประกอบ 24 เดือยฟันไฟเบอร์บนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง



ภาพประกอบ 25 ท่ออะคริลิกใสและเดือยฟันไฟเบอร์บนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง

2. การเตรียมเดือยฟันไฟเบอร์

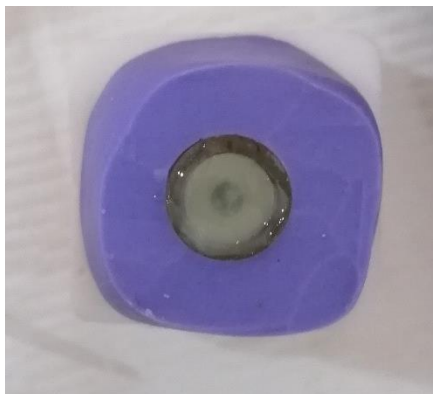
ในขั้นตอนนี้แบ่งเดือยฟันไฟเบอร์ เป็น 2 กลุ่ม

กลุ่ม “NA” (No activator) เตรียมพื้นผิวเดือยฟันด้วยการทาสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล 5 วินาที เป่าลม 5 วินาทีจนสารยึดติดไม่เคลื่อนไหว โดยสารยึดติดเมื่อหยดมาแล้วต้องใช้ภายในเวลา 7 นาที

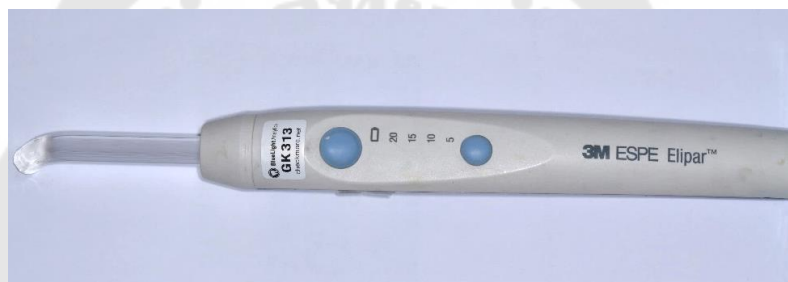
กลุ่ม “A” (Activator) ทาสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่ผสมเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เป็นเวลา 5 วินาที แล้วเป่าลม 5 วินาทีจนสารยึดติดไม่เคลื่อนไหว โดยสารยึดติดเมื่อผสมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบแล้วต้องใช้เวลาใน 90 วินาที

3. การยึดเดือยฟันไฟเบอร์ด้วยวัสดุก่อแกนฟันบนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง

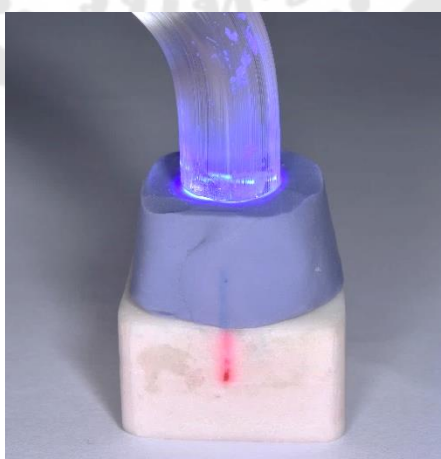
เตรียมแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลองโดยใช้สารคั่นกลาง กลีเซอรินเจล (KY gel) ทาโดยรอบบริเวณรูที่เตรียมไว้ จากนั้นนำเดือยฟันที่เตรียมพื้นผิวแล้ววางลงในตำแหน่งบนแท่น แล้วสวมทับด้วยท่ออะคริลิกใส เตรียมวัสดุก่อแกนฟันเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส โดยฉีดส่วน paste A และ paste B ทั้งจากปลายหลอดก่อนสวมปลายผสม (mixing tip) เพื่อให้ทั้ง 2 pastes ออกมาเท่ากัน จากนั้นฉีดเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสให้เต็มท่ออะคริลิก แล้วใช้ชิ้น putty ที่สร้างไว้สำหรับบังแสงทางด้านข้างสวมทับท่อลงไป เพื่อจำลองสภาวะที่ไม่มีแสงเหมือนคลองรากฟัน (ภาพประกอบ 26) สำหรับกลุ่มไม่ฉายแสง (“NL”) นำตัวอย่างทดลองเก็บในกล่องโลหะทึบแสงเป็นเวลา 6 นาทีตามระยะเวลาในการก่อตัวที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ ส่วนกลุ่มฉายแสง (“L”) ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง LED (Elipar, 3M) (ภาพประกอบ 27) ซึ่งปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่น (wavelength) 430-480 นาโนเมตร ความยาวคลื่นพีค (wavelength peak) ที่ 455 ± 10 นาโนเมตร ความเข้มแสง (light intensity) 1200 mW/cm^2 วางปลายท่อ นำแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ชิดกับหน้าตัดของท่ออะคริลิก แล้วฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที (ภาพประกอบ 28) นำตัวอย่างทดลองที่ได้ไปทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออกทันทีสำหรับกลุ่ม NALI, NANLI, ALI และ ANLI ส่วนตัวอย่างทดลองกลุ่มที่เหลือคือ กลุ่ม NALD, NANLD, ALD และ ANLD จะนำไปแช่ในน้ำปราศจากไอออน (deionized water) และเข้าตู้อบ (incubator) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ไม่มีแสงเข้า เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพประกอบ 29) แล้วนำมาทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังจากนำตัวอย่างทดลองออกจากตู้อบ



ภาพประกอบ 26 ขณะกำลังสร้างตัวอย่างทดลอง บังแสงด้านข้างด้วยวัสดุ putty



ภาพประกอบ 27 เครื่องฉายแสงที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดลอง



ภาพประกอบ 28 การฉายแสง



ภาพประกอบ 29 ตู้บ่ม อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

ตาราง 3 การเตรียมตัวอย่างทดลองและทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก

Group	Adhesive procedure	Test
1) NALI	1) apply CLEARFIL™ S ³ Bond Universal to the post surface, leave for 5 seconds	Immediate push-out bond strength test
2) NALD	2) blowing mild air for more than 5 seconds until bonding does not move 3) insert the post into the mold, squeeze CLEARFIL™ DC CORE PLUS from the syringe 4) light-cure from the top of the post for 40 seconds (with light protection barrier)	24 hours water storage at 37 °C before push-out bond strength test
3) NANLI	1) apply CLEARFIL™ S ³ Bond Universal to the post surface, leave for 5 seconds	Immediate push-out bond strength test
4) NANLD	2) blowing mild air for more than 5 seconds until bonding does not move 3) insert the post into the mold, squeeze CLEARFIL™ DC CORE PLUS from the syringe 4) leave the specimen in the dark (metal box) for 6 minutes (with light protection barrier)	24 hours water storage at 37 °C before push-out bond strength test

ตาราง 3 (ต่อ)

Group	Adhesive procedure	Test
5) ALI	1) mix 1 drop of CLEARFIL™ DC Activator with 1 drop of CLEARFIL™ S ³ Bond Universal	Immediate push-out bond strength test
6) ALD	2) apply bonding to the post surface, leave for 5 seconds	24 hours water storage at 37 °C before push-out bond strength test
	3) blowing mild air for more than 5 seconds until bonding does not move	
	4) insert the post into the mold, squeeze CLEARFIL™ DC CORE PLUS from the syringe	
	5) light-cure from the top of the post for 40 seconds (with light protection barrier)	
7) ANLI	1) mix 1 drop of CLEARFIL™ DC Activator with 1 drop of CLEARFIL™ S ³ Bond Universal	Immediate push-out bond strength test
8) ANLD	2) apply bonding to the post surface, leave for 5 seconds	24 hours water storage at 37 °C before push-out bond strength test
	3) blowing mild air for more than 5 seconds until bonding does not move	
	4) insert the post into the mold, squeeze CLEARFIL™ DC CORE PLUS from the syringe	
	5) leave the specimen in the dark (metal box) for 6 minutes (with light protection barrier)	

ขั้นตอนในการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก

1. ขั้นตอนการตัดตัวอย่างทดลองเป็นชิ้นทดสอบ

ตัดแบ่งตัวอย่างทดลองด้วยเครื่องไอโซเมต (Isomet 1000, Buehler, USA) (ภาพประกอบ 30) ภายใต้ น้ำหล่อเลี้ยง ตั้งฉากกับพื้นผิวยึดติด ให้แต่ละชิ้นมีความหนา 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร วัดความหนาของชิ้นทดสอบด้วยดิจิตอลคาลิเปอร์ (ภาพประกอบ 31) โดยจะไม่ใช่

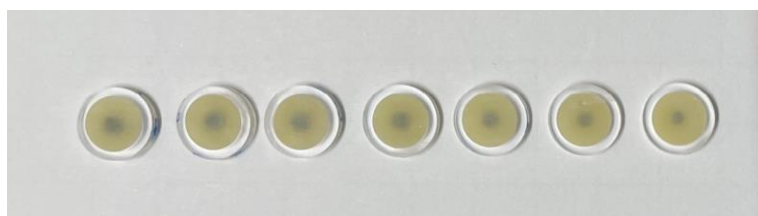
ส่วนบนสุดและล่างสุดของตัวอย่างทดลอง เดียวพันไฟเบอร์ 1 ชั้นจะได้ชั้นทดสอบจำนวน 7 ชั้น (ภาพประกอบ 32) แต่ละกลุ่มใช้เดือยพันไฟเบอร์ 6 ชั้น ดังนั้นแต่ละกลุ่มจะมีชั้นทดสอบ 42 ชั้น รวมทั้งหมด 336 ชั้นทดสอบจาก 8 กลุ่มการทดลอง



ภาพประกอบ 30 เครื่องไฮโซเมต



ภาพประกอบ 31 วัดความหนาของชั้นทดสอบด้วยดิจิตอลคาลิเปอร์



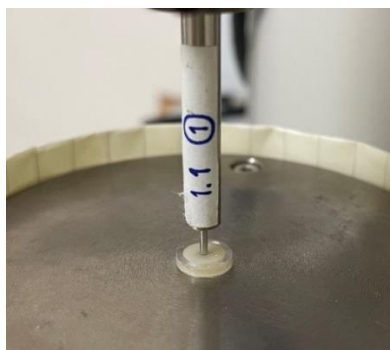
ภาพประกอบ 32 ชั้นทดสอบที่ผ่านการตัดแบ่งจากเดือยพันไฟเบอร์ 1 ชั้น

2.การกดขึ้นทดสอบ

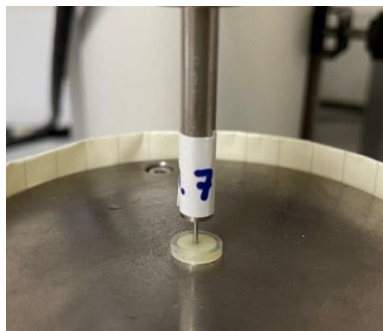
นำขึ้นทดสอบมาวางบนแท่นสำหรับกดขึ้นงานของเครื่องทดสอบสากล ใช้หัวกดทรงกระบอกปลายตัด (cylindrical stainless steel plunger) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าหน้าตัดของเดือยฟัน ตั้งปลายหัวกดใกล้บริเวณหน้าตัดเดือยฟันโดยไม่ให้โดนส่วนวัสดุก่อกันฟัน ใช้ความเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที กดจนเดือยฟันหลุดออกจากวัสดุก่อกันฟัน แล้วจดค่าแรง ณ จุดที่ยึดติดล้มเหลว บันทึกค่าในหน่วยนิวตัน หัวกดจะมีหน้าตัด 3 ขนาด ได้แก่ 1.1 0.7 และ 0.5 มิลลิเมตร ขนาด 1.1 มิลลิเมตรใช้กับขึ้นทดสอบที่มาจากระดับ 1 2 3 นับจากด้าน coronal ของเดือยฟัน ขนาด 0.7 มิลลิเมตรใช้กับขึ้นทดสอบที่มาจากระดับ 4 5 และขนาด 0.5 มิลลิเมตรใช้กับขึ้นทดสอบที่มาจากระดับ 6 7 (ภาพประกอบ 33-36)



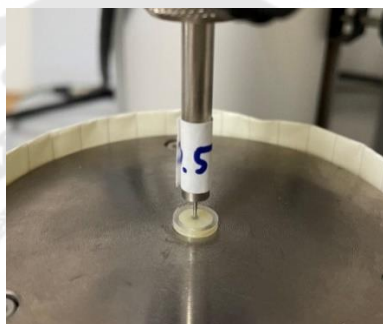
ภาพประกอบ 33 กดขึ้นทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล



ภาพประกอบ 34 หัวกดขนาด 1.1 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 35 หัวกดขนาด 0.7 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 36 หัวกดขนาด 0.5 มิลลิเมตร

นำค่าแรงในหน่วยนิวตัน มาหารด้วยพื้นที่ที่ถูกยึดติดหน่วยตารางมิลลิเมตร โดยคำนวณพื้นที่ที่ถูกยึดติดด้วยสูตร $A = \pi h(r_1 + r_2)$ เมื่อ r_1 คือ รัศมีของเดือยฟันด้าน apical และ r_2 คือ รัศมีของเดือยฟันด้าน coronal π คือค่าคงที่ 3.14 และ h คือความหนาของชิ้นทดสอบ จะได้ค่าความแข็งแรงพันธะกดออกในหน่วยเมกะปาสคาล (MPa) (Al-Assar และคณะ ในปี 2015)

ขั้นตอนในการดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด

ดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดด้วยตาเปล่าร่วมกับการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (ภาพประกอบ 37) และสุ่มตัวอย่างขึ้นทดสอบที่เป็นตัวแทนของลักษณะความล้มเหลวแต่ละประเภท เพื่อศึกษาลักษณะของความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดระหว่างเดือยฟันและวัสดุอุดแกนฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพประกอบ 38) บรรยายลักษณะที่พบด้วยการพรรณนา

จำแนกประเภทของความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด ดังนี้

ประเภทที่ 1 Cohesive failure ของเดือยฟันหรือวัสดุอุดแกนฟัน

ประเภทที่ 2 Mixed failure คือ Adhesive failure ที่พบร่วมกับ Cohesive failure ของเดือยฟันหรือวัสดุอุดแกนฟัน

ประเภทที่ 3 Adhesive failure ระหว่างเดือยฟันและวัสดุอุดแกนฟัน



ภาพประกอบ 37 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง



ภาพประกอบ 38 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) โดยนำค่าความแข็งแรงพันธะกดออกมาคำนวณด้วยโปรแกรม IBM[®] SPSS[®] Statistics 20 โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูกีย์ (Tukey's Honestly Significance Difference)



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

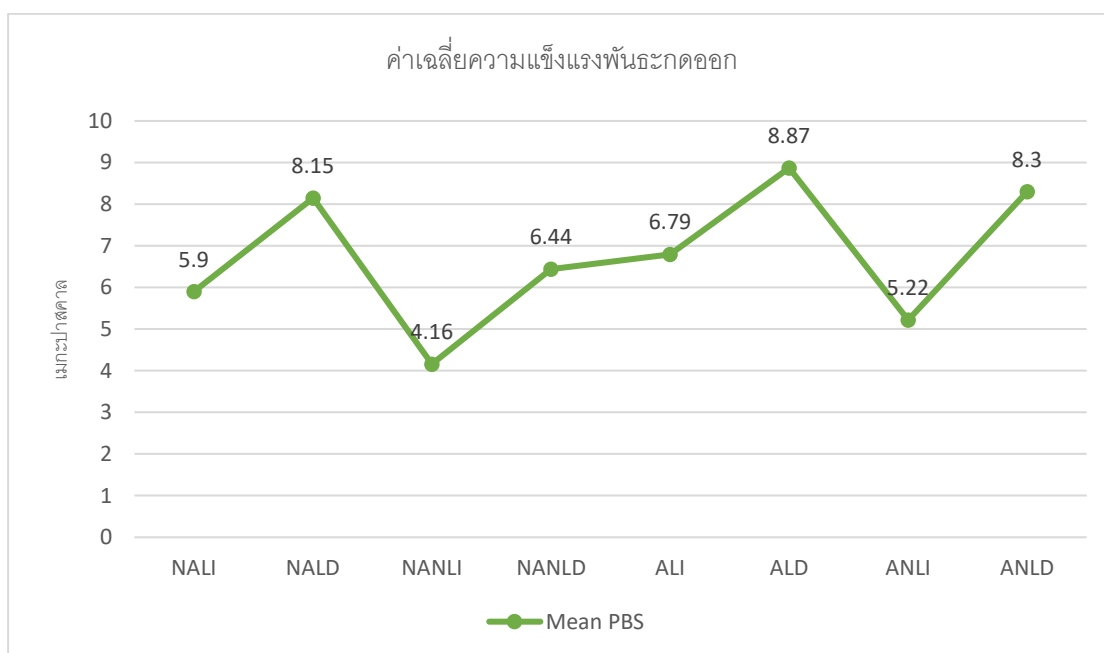
ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกและลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดของวัสดุก่อกั้นพื้นชนิดบ่มตัวสองแบบกับเดือยไฟเบอร์ ซึ่งมีกลุ่มตัวอย่าง 8 กลุ่ม กลุ่มละ 42 ชิ้น แบ่งกลุ่มตามวิธีการใช้สารยึดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ การฉายแสง และระยะเวลาขณะทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก ได้แก่ กลุ่ม NALI, NALD, NANLI, NANLD, ALI, ALD, ANLI และ ANLD มีรายละเอียดผลการศึกษา ดังนี้

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก

ผลการศึกษาด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics)

ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออก (ภาพประกอบ 39) ดังนี้ กลุ่มที่ทำการยึดเดือยไฟเบอร์กับวัสดุก่อกั้นพื้นเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ ฉายแสง และทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง 24 ชั่วโมง (ALD) ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกมากที่สุด คือ 8.87 ± 1.48 เมกะปาสคาล รองลงมาคือ กลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ ไม่ฉายแสง และทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง 24 ชั่วโมง (ANLD) ได้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับกลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ฉายแสงและทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง 24 ชั่วโมง (NALD) คือ 8.30 ± 1.25 และ 8.15 ± 2.04 เมกะปาสคาล ตามลำดับ กลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกรองลงมา ได้แก่ กลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ ฉายแสง และทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลองทันที (ALI) 6.79 ± 2.09 เมกะปาสคาล กลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ไม่ฉายแสงและทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลอง 24 ชั่วโมง (NANLD) 6.44 ± 1.96 เมกะปาสคาล กลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ฉายแสง และทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลองทันที (NALI) 5.90 ± 1.99 เมกะปาสคาล กลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ ไม่ฉายแสง และทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลองทันที (ANLI) 5.22 ± 0.69 เมกะปาสคาล และกลุ่มที่ได้

ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกน้อยที่สุดคือ กลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ไม่ฉายแสง และทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการเตรียมตัวอย่างทดลองทันที (NANLI) 4.16 ± 0.95 เมกะปาสคาล



ภาพประกอบ 39 แสดงแผนภูมิเส้นเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกทั้ง 8 กลุ่ม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวเพื่อทดสอบสมมติฐานงานวิจัย (ตาราง 4) พบว่า มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ค่า p -value เท่ากับ .000

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between groups	786.592	7	112.370	41.750	.000
Within groups	882.818	328	2.692		
Total	1669.410	335			

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูเกีย (Tukey's HSD)

เมื่อทราบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงนำข้อมูลมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (post hoc test) (ตาราง 5 และ 7) พบว่า กลุ่ม NALI เมื่อเทียบกับกลุ่ม ALI มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกไม่ต่างกัน หมายความว่า การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ฉายแสง ณ ช่วงเวลาทันทีภายหลังการยัดติด ในขณะที่กลุ่ม NALI มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกต่างจากกลุ่ม NALD อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หมายความว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบและมีการฉายแสง สามารถมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งกลุ่ม NALD มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกไม่ต่างจากกลุ่ม ANLD และกลุ่ม ALD ที่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

กลุ่ม NANLI เมื่อเทียบกับกลุ่ม ANLI มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกไม่ต่างกัน หมายความว่า การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความ

แข็งแรงพันธะกดออกสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ฉายแสง ณ ช่วงเวลาทันทีภายหลังการยึดติด แต่กลุ่ม NANLD มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกต่างจากกลุ่ม ANLD อย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้ฉายแสงและเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง

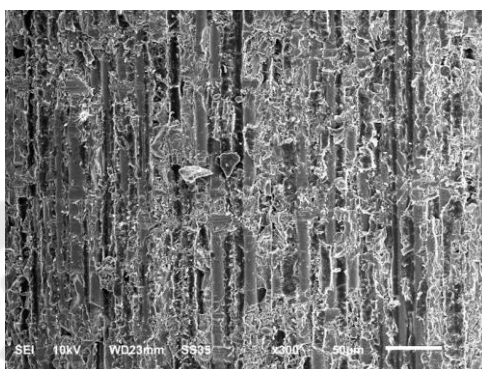
ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูกี

Group	Mean PBS (MPa)	S.D.	N
NANLI	4.16 ^A	0.95	42
ANLI	5.22 ^{AB}	0.69	42
NALI	5.90 ^{BC}	1.99	42
NANLD	6.44 ^C	1.96	42
ALI	6.79 ^C	2.09	42
NALD	8.15 ^D	2.04	42
ANLD	8.30 ^D	1.25	42
ALD	8.87 ^D	1.48	42

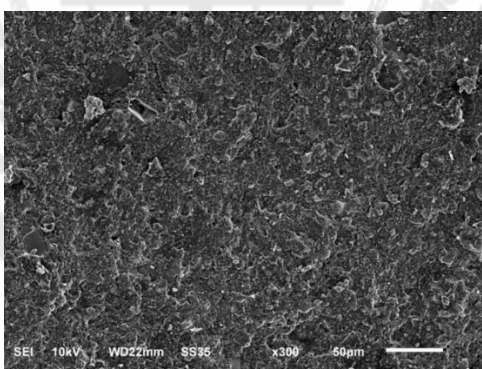
A, B, C, D ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างกลุ่มการทดลอง

ผลการดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า ดูลักษณะพื้นผิวของเดือยฟันไฟเบอร์ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (ภาพประกอบ 40) พบเส้นใยไฟเบอร์ที่เรียงตัวกันในแนวยาวและมีความต่อเนื่อง ส่วนพื้นผิวของวัสดุก่อกันพื้นเคลียร์ฟิลาตีชีคอร์พลาสที่มีการแตกหัก (ภาพประกอบ 41) พบเป็นพื้นผิวขรุขระ

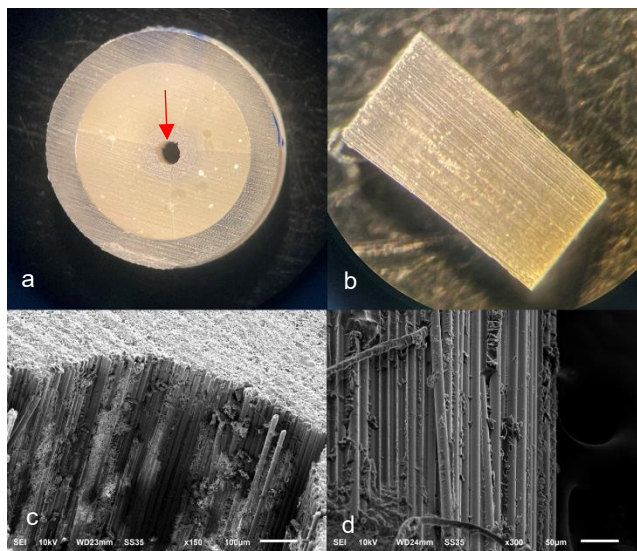


ภาพประกอบ 40 พื้นผิวของเดือยฟันไฟเบอร์



ภาพประกอบ 41 พื้นผิวของวัสดุก่อกันพื้นที่มีการแตกหัก

ขั้นตอนต่อไปเป็นตัวแทนของความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทต่างๆ ได้ถูกส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด บรรยายลักษณะที่พบด้วยการพรรณนา (ภาพประกอบ 42-46)



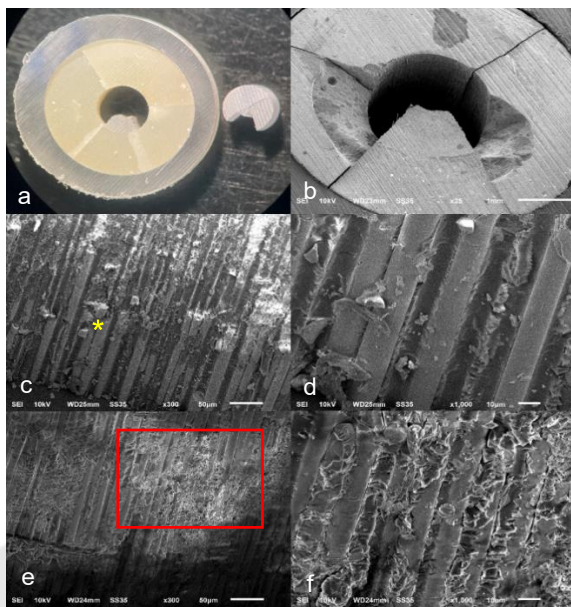
ภาพประกอบ 42 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 1 (Cohesive failure ของเดือยฟัน)

- a. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกัดออกแล้วมีการหลุดออกของเดือยฟันเฉพาะตรงกลางเดือยฟัน ส่วนพื้นผิวด้านนอกของเดือยฟันยังยึดติดอยู่กับวัสดุก่อแกนฟัน
- b. ชิ้นเดือยฟันที่หลุดออกมา พบเส้นใยไฟเบอร์แตกออกเป็นเส้น
- c. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 150 เท่า แสดงด้านในของเดือยฟันฝั่งที่ยังติดอยู่กับวัสดุก่อแกนฟัน (ลูกศรสีแดงชี้ในภาพ a) พบเส้นใยไฟเบอร์แตกออกเป็นเส้น
- d. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงเส้นใยไฟเบอร์ที่มีการเผยแผ่ แสดงให้เห็นถึงการเกิด Cohesive failure ของเดือยฟัน



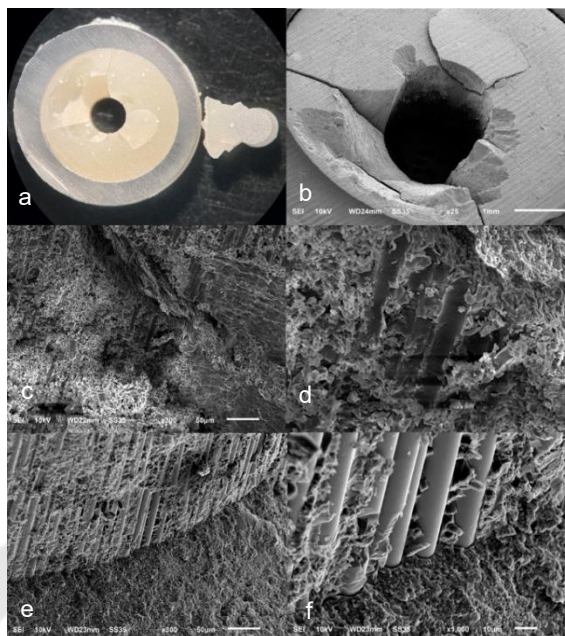
ภาพประกอบ 43 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 1 (Cohesive failure ของเดือยฟันและวัสดุก่อแกนฟัน)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (ภาพประกอบ 43) แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงพันธะกุดออกแล้ว พบการแตกหักของเดือยฟันและวัสดุก่อแกนฟันไปด้วยกัน โดยไม่มีพื้นผิวยึดติดระหว่างเดือยฟันและวัสดุก่อแกนฟันที่เกิดความล้มเหลวเลย ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทนี้จึงประกอบด้วยความล้มเหลวแบบ Cohesive failure ของเดือยฟันร่วมกับความล้มเหลวแบบ Cohesive failure ของวัสดุก่อแกนฟัน



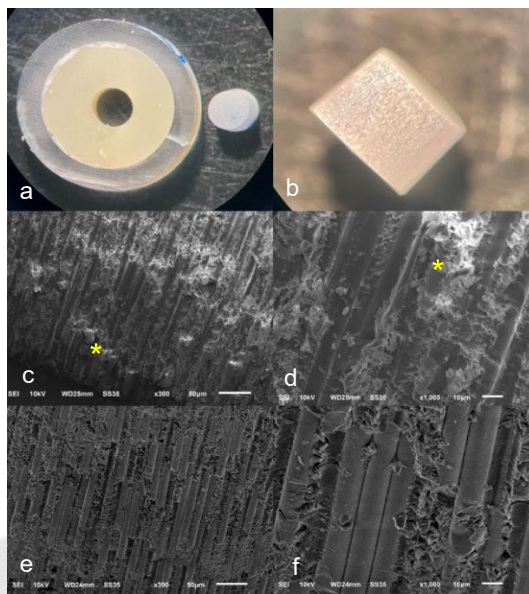
ภาพประกอบ 44 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 2 (Mixed failure แบบ Adhesive failure ที่พบร่วมกับ Cohesive failure ของเดือยฟัน)

- a. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกัดออกแล้วมีการหลุดออกของเดือยฟัน ทำให้เห็นเป็นวงที่เคยเป็นพื้นผิวยึดติดที่ฝังวัสดุก่อกันฟัน ส่วนเดือยฟันมีการแตกออกและบางส่วนติดอยู่ที่วัสดุก่อกันฟัน
- b. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 25 เท่า แสดงวัสดุก่อกันฟันมีรอยร้าวและแตกออกบางส่วน มีชิ้นส่วนเดือยฟันติดอยู่ที่วัสดุก่อกันฟัน
- c. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงพื้นผิวด้านในของวัสดุก่อกันฟัน ปรากฏรอยบวมตามทิศทางของเส้นใยไฟเบอร์ และพบเส้นใยไฟเบอร์หลุดติดอยู่ (แสดงด้วยดอกจันสีเหลือง) แสดงให้เห็นถึงการเกิด Cohesive failure ของเดือยฟัน
- d. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงเส้นใยไฟเบอร์ที่ติดอยู่ที่วัสดุก่อกันฟัน สลับกับรอยบวมที่เกิดจากเดือยฟัน
- e. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงพื้นผิวของเดือยฟัน พบมีสารยึดติดอยู่บนพื้นผิวเป็นบริเวณ (ในกรอบสีแดง) แสดงให้เห็นถึงการเกิด Adhesive failure ระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อกันฟัน
- f. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงพื้นผิวของเดือยฟันที่มีการแตกหักของเส้นใยไฟเบอร์



ภาพประกอบ 45 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 2 (Mixed failure แบบ Adhesive failure) ที่พบร่วมกับ Cohesive failure ของวัสดุท่อแกนฟ้าน

- a. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกุดออกแล้วมีการหลุดออกของเดือยฟัน ทำให้เห็นเป็นวงที่เคยเป็นพื้นผิวยึดติดที่ฝังวัสดุท่อแกนฟ้าน โดยวัสดุท่อแกนฟ้านมีรอยร้าวและแตกหัก ส่วนเดือยฟันที่หลุดออกมามีวัสดุท่อแกนฟ้านติดมาด้วย
- b. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 25 เท่า แสดงวัสดุท่อแกนฟ้านที่แตกหัก
- c. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงพื้นผิวด้านในของวัสดุท่อแกนฟ้านที่แตกหัก
- d. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงพื้นผิวด้านในของวัสดุท่อแกนฟ้านที่แตกหักและปรากฏรอยปมที่เกิดจากเดือยฟันเป็นแนวตามทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยไฟเบอร์
- e. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงบริเวณรอยต่อของเดือยฟันและวัสดุท่อแกนฟ้านที่ติดอยู่กับเดือยฟัน พื้นผิวของเดือยฟันพบมีสารยึดติดอยู่บนพื้นผิวกระจายตัวอยู่ทั่วไป ส่วนเส้นใยไฟเบอร์ขาดความต่อเนื่อง
- f. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงบริเวณรอยต่อของเดือยฟันและวัสดุท่อแกนฟ้าน



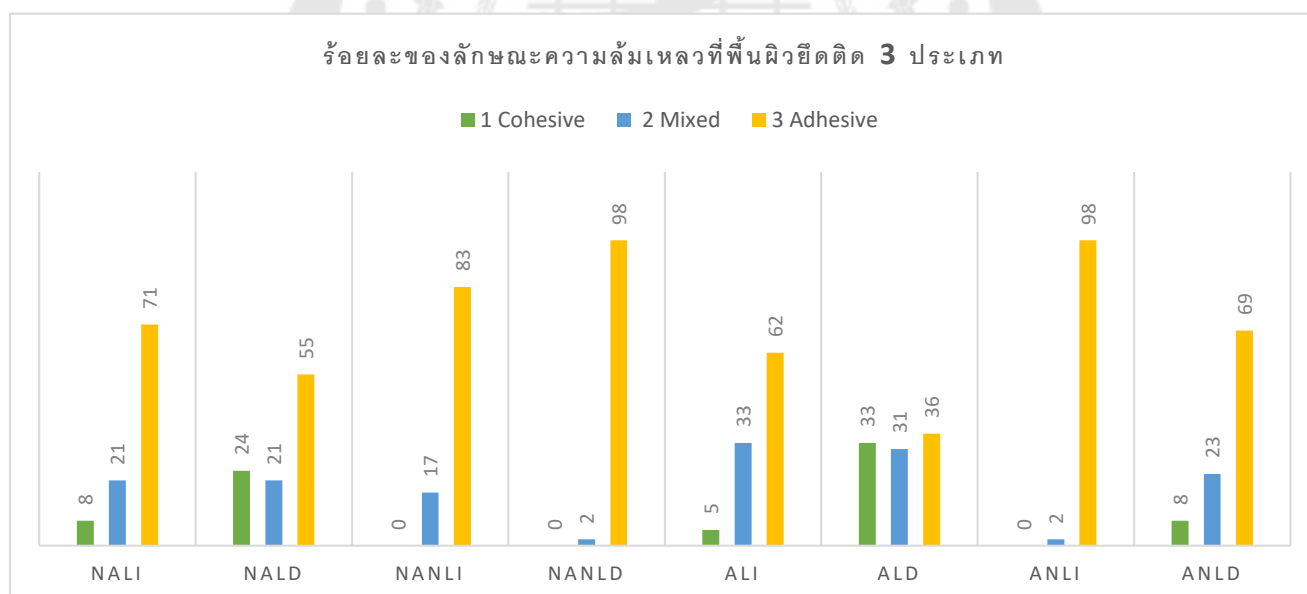
ภาพประกอบ 46 ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดประเภทที่ 3 Adhesive failure

- a. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกุดออกแล้วมีการหลุดออกของเดือยฟัน ทำให้เห็นเป็นวงที่เคยเป็นพื้นผิวยึดติดที่ฝังวัสดุกุดอกแกนฟัน
- b. ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงชิ้นเดือยฟันที่หลุดออกมาโดยไม่พบเศษวัสดุกุดอกแกนฟันบนพื้นผิว
- c. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงพื้นผิวด้านในของวัสดุกุดอกแกนฟัน ปรากฏรอยปัมตามทิศทางของเส้นใยไฟเบอร์ และ พบเส้นใยไฟเบอร์หลุดติดอยู่เป็นชิ้นสั้นๆ (แสดงด้วยดอกจันสีเหลือง)
- d. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงเส้นใยไฟเบอร์ชิ้นสั้นๆ (แสดงด้วยดอกจันสีเหลือง) ที่หลุดติดอยู่ที่วัสดุกุดอกแกนฟัน และปรากฏรอยปัมที่เกิดจากเดือยฟันเป็นแนวตามทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยไฟเบอร์
- e. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 300 เท่า แสดงพื้นผิวของเดือยฟัน พบมีสารยึดติดอยู่บนพื้นผิวกระจายตัวอยู่ทั่วไป แสดงให้เห็นถึงการเกิด Adhesive failure ระหว่างสารยึดติดและวัสดุกุดอกแกนฟัน ส่วนเส้นใยไฟเบอร์ขาดความต่อเนื่อง
- f. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงพื้นผิวของเดือยฟันที่เส้นใยไฟเบอร์ขาดความต่อเนื่อง

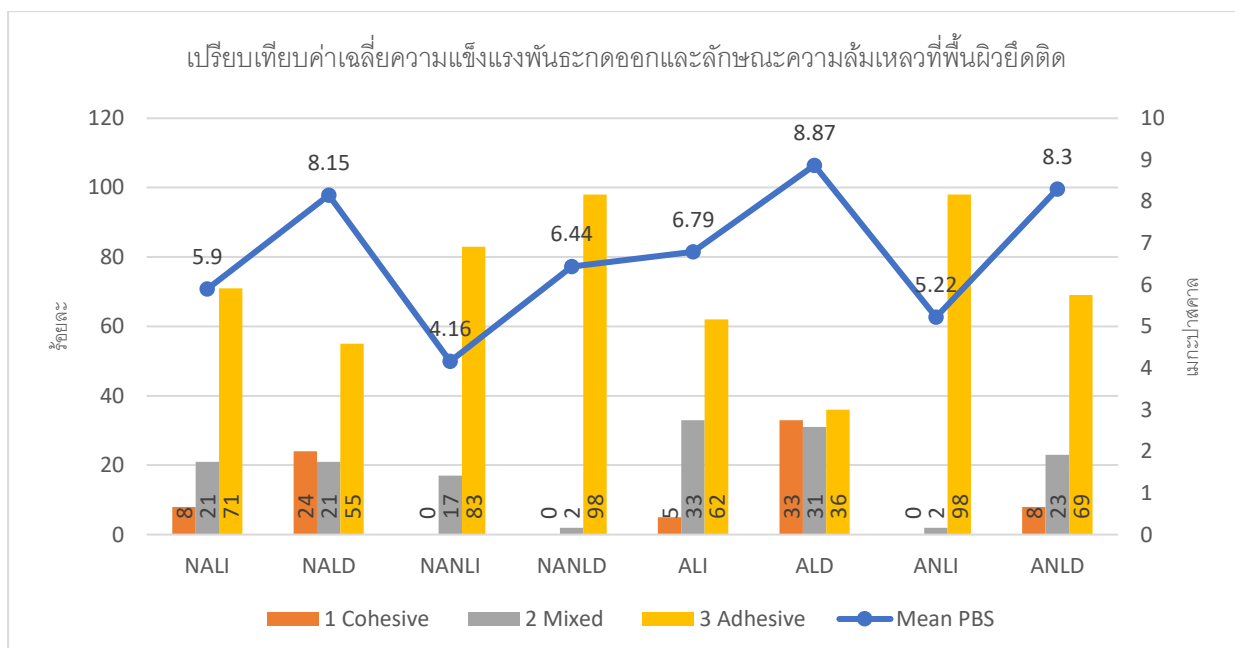
จำนวนชิ้นทดสอบจำแนกตามลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท แสดงดังตาราง 6 และร้อยละของลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท แสดงดังภาพประกอบ 47

ตาราง 6 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่พบลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท

Failure mode	NALI	NALD	NANLI	NANLD	ALI	ALD	ANLI	ANLD
1) Cohesive	3	10	-	-	2	14	-	3
2) Mixed	9	9	7	1	14	13	1	10
3) Adhesive	30	23	35	41	26	15	41	29
Total	42	42	42	42	42	42	42	42



ภาพประกอบ 47 ร้อยละของลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท



ภาพประกอบ 48 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกและร้อยละของ
ลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด

เมื่อนำผลค่าความแข็งแรงพันธะกุดออกมาเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์กับลักษณะการเกิดความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด (ภาพประกอบ 48) พบว่า กลุ่ม ALD ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกมากที่สุด 8.87 เมกะปาสคาล เกิดความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดแบบ Adhesive failure ระหว่างเดือยฟันและวัสดุก่อกันฟัน คิดเป็นร้อยละได้น้อยที่สุดคือร้อยละ 36 และพบเกิด Mixed failure ร้อยละ 31 และ Cohesive failure ร้อยละ 33

ในขณะที่กลุ่ม ANLD และ กลุ่ม NALD ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกรองลงมา คือ 8.30 และ 8.15 เมกะปาสคาลตามลำดับ พบว่ากลุ่ม ANLD เกิด Adhesive failure คิดเป็นร้อยละ 69 เกิด Mixed failure ร้อยละ 23 และ Cohesive failure ร้อยละ 8 ส่วนกลุ่ม NALD เกิด Adhesive failure คิดเป็นร้อยละ 55 เกิด Mixed failure ร้อยละ 21 และ Cohesive failure ร้อยละ 24 ซึ่งกลุ่ม ALD ANLD และ NALD มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกไม่ต่างกัน

ถัดมาคือกลุ่ม ALI NANLD และ NALI ซึ่งสามกลุ่มนี้ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกไม่ต่างกัน คือ 6.79 6.44 และ 5.90 เมกะปาสคาลตามลำดับ พบว่ากลุ่ม ALI เกิด Adhesive failure ร้อยละ 62 เกิด Mixed failure ร้อยละ 33 และ Cohesive failure ร้อยละ 5 กลุ่ม NANLD

เกิด Adhesive failure ร้อยละ 98 และเกิด Mixed failure ร้อยละ 2 และกลุ่ม NALI เกิด Adhesive failure ร้อยละ 71 เกิด Mixed failure ร้อยละ 21 และ Cohesive failure ร้อยละ 8

กลุ่ม ANLI และกลุ่ม NANLI ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกอยู่ในสองอันดับสุดท้ายและไม่ต่างกัน คือ 5.22 และ 4.16 เมกะปาสคาลตามลำดับ พบว่ากลุ่ม ANLI เกิด Adhesive failure ร้อยละ 98 และ Mixed failure ร้อยละ 2 ส่วนกลุ่ม NANLI เกิด Adhesive failure ร้อยละ 83 และ Mixed failure ร้อยละ 17

จะเห็นได้ว่ากลุ่ม ALD ANLD และ NALD ที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกสูงจะเกิดความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดได้ทั้งสามประเภท โดยมีแนวโน้มเกิด Cohesive failure และ Mixed failure สูงกว่ากลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกต่ำกว่า ส่วนกลุ่ม ALI NANLD และ NALI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกไม่ต่างกัน พบว่ากลุ่ม NANLD มีแนวโน้มเกิด Adhesive failure สูงกว่า ในขณะที่กลุ่ม ALI และ NALI เกิดความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดคล้ายคลึงกัน ส่วนกลุ่ม ANLI และ NANLI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกต่ำ ไม่พบ Cohesive failure เลย และเกิด Adhesive failure สูงถึงร้อยละ 98 และ 83 ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบความแข็งแรงพันธะกุดอกเมื่อทำการยึดเดือยไฟฟ้าเบอร์กับวัสดุ ก่อแกนพันธินิตบมตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสด้วยเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล หรือเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ พบว่า การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกสำหรับกลุ่มตัวอย่างทั้งที่ฉายแสง และไม่ฉายแสง ณ ช่วงเวลาทันทีภายหลังการยึดติด โดยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง กลุ่มที่ไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ และมีการฉายแสง สามารถมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและไม่ต่างจากกลุ่มที่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ ดังนั้นการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจไม่จำเป็น อย่างไรก็ตาม พบว่าสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้ฉายแสง ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ดังนั้นการศึกษานี้จึงปฏิเสธสมมติฐานงานวิจัย และสามารถสรุปได้ว่า การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเดือยไฟฟ้าเบอร์กับวัสดุ ก่อแกนพันธินิตบมตัวสองแบบก็ต่อเมื่อไม่มีการฉายแสงและเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังทำการยึดติด โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงพันธะกุดอก

ในแง่ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดพบว่ากลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกสูง มีแนวโน้มจะเกิด Adhesive failure น้อย และพบ Mixed failure หรือ Cohesive failure มากกว่า กลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกต่ำกว่า สอดคล้องกับกลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกต่ำจะเกิด Adhesive failure ได้มากกว่า และพบ Mixed failure หรือ Cohesive failure น้อยกว่า นอกจากนี้พบว่ากลุ่มที่ไม่ได้ฉายแสงมีแนวโน้มที่จะเกิด Adhesive failure ได้มากกว่ากลุ่มที่ฉายแสง แม้จะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกใกล้เคียงกันก็ตาม

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทราบผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัส (Touch-cure) กับวัสดุก่อกแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบในการยึดเดือยฟันไฟเบอร์ โดยสนใจประสิทธิภาพในการยึดติดซึ่งดูจากค่าความแข็งแรงพันธะกดออก และลักษณะการเกิดความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด อีกทั้งต้องการศึกษาผลของการฉายแสงต่อระบบการยึดติด โดยมีกลุ่มที่ไม่ฉายแสงเพื่ออุปมาถึงส่วนที่แสงไม่สามารถส่องถึงได้เลย งานวิจัยหวังผลเพื่อให้สามารถทราบแนวทางที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่สุดในการยึดเดือยฟันไฟเบอร์ด้วยวัสดุกลุ่มที่ทำการศึกษานี้ ได้แก่ การใช้เคลียร์ฟิลไดเรสบอนด์ยูนิเวอร์แซลในการยึดเดือยฟันไฟเบอร์กับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์ดพลัส และดูผลของการใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอดคิเวเตอร์

เดือยฟันจะถูกยึดกับวัสดุก่อกแกนฟันภายในท่ออะคริลิกโดยไม่มีเนื้อฟันเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงตัดปัจจัยเกี่ยวกับสภาพซึมผ่านได้ของเนื้อฟัน (dentin permeability) หรือสภาพซึมผ่านได้ของสารยึดติด (adhesive permeability) และสามารถศึกษาปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดที่มีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดและวัสดุก่อกแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ โดยตัดปัญหาความไม่เข้ากันทางกายภาพ (physical incompatibility) และดูเพียงความไม่เข้ากันทางเคมี (chemical incompatibility)⁽¹⁴⁾ เช่นเดียวกับหลายงานวิจัยที่ทำในคลองรากฟันจำลอง^(3, 4, 6, 18, 41, 42) ในขณะเดียวกันก็สามารถดูผลจากการบ่มตัวจากการสัมผัสได้ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกดออก (push-out bond strength) เนื่องจากการทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออกได้ถูกพิจารณาว่าเป็นการทดสอบที่มีความถูกต้อง เชื่อถือได้ และเหมาะสำหรับการวัดความแข็งแรงพันธะกับเดือยฟัน โดยการให้แรงกดที่ขนานกับพื้นผิวยึดติดทำให้เกิดความล้มเหลวจากการทดสอบแรงยึดเฉือน (shear test) ที่แท้จริง นอกจากนี้ยังจำลองสถานการณ์ทางคลินิกได้อย่างใกล้เคียง^(25, 43) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้หัวกดขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาดเพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถของเดือยฟันในแต่ละระดับและเพื่อไม่ให้หัวกดโดนบริเวณพื้นผิวยึดติดขณะทำการทดสอบเป็นการลด interfacial sliding friction⁽³⁷⁾ อย่างไรก็ตามขนาดหัวกดอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะกดออกที่ได้

การบ่มตัวจากการสัมผัส เกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสระหว่างสารยึดติดกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อกแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบที่มีสารเร่งปฏิกิริยาพิเศษที่จำเพาะต่อกันและจะเริ่มเกิดการพอลิเมอไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมี โดยการบ่มตัวจากการสัมผัสได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยให้สามารถเกิดพอลิเมอไรเซชันได้ดีขึ้นในบริเวณที่อาจมีการส่องผ่านของแสงลดลง บริษัทผู้ผลิตบางรายได้

วางขายสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ (Dual-curing activator) เพื่อให้ใช้ร่วมกับสารยึดติดชนิดบ่มตัวด้วยแสง โดยหวังผลเพื่อให้สารยึดติดเปลี่ยนเป็นสารยึดติดประเภทบ่มตัวสองแบบ (dual-cured adhesive) และหวังผลเพื่อกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวจากการสัมผัสด้วย จึงมีบางการศึกษาเรียกว่า สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวจากการสัมผัส (Touch-polymerization activator) อีกทั้งเพื่อช่วยเรื่องปัญหาความไม่เข้ากันของสารยึดติดลดขั้นตอนที่มีความเป็นกรดกับวัสดุก่อกันพื้นชนิดบ่มตัวสองแบบ ซึ่งปัจจุบันยังคงมีข้อกังวลเกี่ยวกับการก่อตัวได้ไม่ดี (low setting capacity) ของสารยึดติดประเภทบ่มตัวสองแบบเมื่อไม่ได้ใช้ร่วมกับเรซินที่มีสารเร่งปฏิกิริยาพิเศษที่จำเพาะต่อกัน และปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดลดขั้นตอนกับเรซินชนิดบ่มตัวสองแบบ แม้ว่าจะใช้ร่วมกับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบแล้วก็ตาม⁽³¹⁾

ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอดทิเวเตอร์ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อกันพื้นชนิดบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ในกลุ่มที่ไม่มีการฉายแสงและเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังทำการยึดติด โดยที่หากเป็นช่วงเวลาทันทีภายหลังการยึดติด สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะไม่ส่งผลเพิ่มความแข็งแรงพันธะกุดออก ซึ่งอาจหมายความว่า การบ่มตัวจากการสัมผัสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาทันทีที่เกิดการสัมผัสระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อกันพื้นโดยไม่ต้องอาศัยสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาช่วย ทั้งสภาวะที่มีการฉายแสงและไม่ฉายแสง แต่เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงหากเป็นสภาวะที่ไม่มีการฉายแสง การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะช่วยให้ความแข็งแรงพันธะกุดออกเพิ่มขึ้นกว่าการไม่ใช้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมีหลายการศึกษารายงานถึงค่าความแข็งแรงพันธะกุดออกที่มักลดลงในส่วนปลายรากฟันทั้งในฟันธรรมชาติและคลองรากฟันจำลอง⁽⁶⁾ โดยเกิดจากส่วนปลายรากฟันอาจไม่ได้รับการฉายแสงที่เพียงพอหรือแสงส่องไม่ถึง ทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับความแข็งแรงพันธะที่ได้ในส่วนปลายรากฟันนี้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้การฉายแสงกับส่วนปลายรากฟันที่ทำการปักเดือยฟัน และอ้างอิงผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะส่งผลดีต่อความแข็งแรงพันธะกุดออกของส่วนปลายรากฟันเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง โดยมีผลเพิ่มความแข็งแรงพันธะกุดออก

การศึกษาของ Dimitriadi และคณะ⁽³¹⁾ และ Dwiandhany และคณะ⁽³⁰⁾ ในปี 2021 ได้ทำการศึกษาเคลียร์ฟิลไดเรสบอนด์พลัส (CLEARFIL™ S³ Bond Plus) และเคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์ควิก (CLEARFIL™ Universal Bond Quick) เมื่อใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส โดย

มีการกล่าวว่าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์พลัสและเคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์วิกได้ถูกผสมสารเร่งปฏิกิริยาที่มีอยู่ในสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาในสารยึดติดแล้ว โดยในเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์พลัสจะมีการผสมเกลือเฮริลซัลไฟเนต (Aryl sulphinate salts) ในขณะที่เคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์วิกไม่พบการระบุว่าเป็นสารใด เพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสแล้วเกิดการบ่มตัวจากการสัมผัสโดยไม่ต้องอาศัยสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบที่เป็นขวดแยก⁽³¹⁾ ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่บริษัทผู้ผลิตแจ้งว่าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลสามารถบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ทั้งนี้ไม่ปรากฏว่ามีการเปิดเผยถึงองค์ประกอบที่อ้างว่าเป็นสารเร่งปฏิกิริยาหรือสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบในเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์พลัส เคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์วิกและเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลอย่างเป็นทางการจากบริษัทผู้ผลิต อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าสารเร่งปฏิกิริยาในเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ก็คือ เกลือเฮริลซัลไฟเนต เช่นกัน^(30, 44)

การศึกษาของ Dimitriadi และคณะได้สรุปว่าการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบทั้งที่รวมมาในสารยึดติดและที่ต้องผสมแบบขวดแยก ทำให้สมบัติบ่มด้วยตัวเองของเรซินดีขึ้น ผ่านการกระตุ้นกลไกการบ่มตัวจากการสัมผัส โดยส่งผลดีต่อการก่อตัวของวัสดุเรซินที่สัมผัสกับสารยึดติดในระยะ 30 ไมครอน (μm) จึงอาจช่วยปรับปรุงการบ่มตัวที่ผิวสัมผัส ส่งผลต่อความทนทานที่พื้นผิว (interfacial durability)⁽³¹⁾ และเพิ่มความยืนยาว (longevity) ของวัสดุบูรณะ⁽³⁰⁾ และจากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ก็ทำให้เห็นแนวโน้มว่าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลน่าจะได้รับการเติมสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาในสัดส่วนที่เพียงพอต่อการใช้งานและสามารถเกิดการบ่มตัวจากการสัมผัส ทำให้สามารถใช้งานร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสได้ โดยไม่มีความแตกต่างกันของการใช้หรือไม่ใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ยกเว้น สภาวะที่ไม่ได้ฉายแสงเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าการใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ส่งผลเพิ่มค่าความแข็งแรงพันธะกดออก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ต้องอาศัยเวลาในการทำงานและอาจช่วยเรื่องความทนทานของความแข็งแรงพันธะ (bond durability) ได้

จากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่าค่าความแข็งแรงพันธะกดออกที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากการใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ เมื่อเทียบระหว่างกลุ่ม NANLD (6.44 เมกะปาสคาล) และ ANLD (8.30 เมกะปาสคาล) ($p = .000$) ได้ค่าเพิ่มขึ้นมา 1.86 เมกะปาสคาล ค่าที่เพิ่มมานี้อาจไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดในทางคลินิก อย่างไรก็ตามหากมีการก่อแกนฟันที่มีความหนาหรือมีบริเวณที่การส่องผ่านของแสงลดลง แล้วต้องการเพิ่มความแข็งแรงพันธะ ทันตแพทย์อาจพิจารณาการก่อแกนฟันในการนัดหมายครั้งแรก และกรอครอบฟันในการนัด

หมายครั้งถัดไป โดยห่างกันอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เนื่องจากความแข็งแรงพันธะยังสามารถเพิ่มขึ้นได้ในช่วง 24 ชั่วโมงแรก⁽⁴⁵⁾ และหากอ้างอิงจากผลการศึกษา⁽⁴⁵⁾ เมื่อมีการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วม การรอมากกว่า 24 ชั่วโมงจะเป็นการให้เวลาเพื่อให้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบทำงานได้และอาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงพันธะกดออก

ปัญหาความไม่เข้ากันทางเคมีสามารถเกิดขึ้นระหว่างมอนอเมอร์ที่เป็นกรดในสารยึดติดลดขั้นตอนกับเอมีนตติยภูมิที่อยู่ในวัสดุก่อแกนพันธินบ่มตัวสองแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือความไม่เข้ากันระหว่างเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลและวัสดุก่อแกนพันธินเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส โดยวัสดุก่อแกนพันธินบ่มตัวสองแบบมักมีเอมีนตติยภูมิเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการช่วยสร้างอนุมูลอิสระสำหรับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งปัญหาสำคัญของการมีเอมีนคือ เอมีนมีการเสื่อมสลายเมื่อเวลาผ่านไปส่งผลให้ซีเมนต์มีการเปลี่ยนสี และเอมีนไม่สามารถทำงานได้เต็มที่เมื่อสัมผัสกับความชื้นหรือความเป็นกรด ซึ่งปริมาณของสารตั้งต้นปฏิกิริยาและสารเร่งปฏิกิริยา (self-cure initiator, light-cure initiator, accelerator) มีความแตกต่างกันในแต่ละบริษัทผู้ผลิต⁽²⁵⁾ วัสดุก่อแกนพันธินบ่มตัวสองแบบแต่ละยี่ห้อจึงมี curing profile ที่แตกต่างกัน และมีพฤติกรรมในการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่ต่างกัน (material dependent) โดยการศึกษาของ Dumanli และคณะในปี 2016 แสดงองค์ประกอบที่เป็นเอมีนในเคลียร์ฟิลดีซีคอร์ คือ *N, N*-Diethanol *p*-toluidine อย่างไรก็ตามไม่ปรากฏเอกสารที่เปิดเผยปริมาณของเอมีนตติยภูมิในเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสอย่างเป็นทางการจากบริษัทผู้ผลิตหรือการศึกษาใด

ทั้งนี้ปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดลดขั้นตอนกับวัสดุก่อแกนพันธินหรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบ ได้ถูกรายงานตั้งแต่ปี 1999 ซึ่งเป็นยุคที่มีการเกิดของสารยึดติดลดขั้นตอนรุ่นก่อน ในขณะที่สารยึดติดลดขั้นตอนรุ่นใหม่จะมีสมบัติความชอบน้ำลดลง เนื่องจากมีการเติม 10-MDP ซึ่งมีสายคาร์บอนยาว ทำให้น้ำซึมผ่านได้น้อยลง⁽³⁵⁾ ซึ่งเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลก็มี 10-MDP เป็นองค์ประกอบแต่ไม่มีการเปิดเผยถึงสัดส่วนอย่างชัดเจน ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ที่บริษัทผู้ผลิตเปิดเผยสัดส่วน ได้แก่ Bis-GMA ร้อยละ 15-35 ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Di-methacrylate มีพฤติกรรมไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) HEMA ร้อยละ 10-35 มีพฤติกรรมชอบน้ำ (hydrophilic) และเอธานอล น้อยกว่าร้อยละ 20 ส่วนที่ไม่เปิดเผยสัดส่วน ได้แก่ Hydrophilic aliphatic dimethacrylate, Colloidal silica, Silane coupling agent, dl-Camphorquinone และน้ำ ดังนั้นองค์ประกอบของเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลอาจจะค่อนข้างมีความชอบน้ำ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างสารยึดติดที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากัน แต่มีองค์ประกอบที่ชอบน้ำต่างกัน ก็จะมีพฤติกรรมการยึดติดที่ต่างกันได้⁽³⁵⁾ และเมื่อพิจารณาถึง

สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบที่ใช้กันในปัจจุบัน จะประกอบด้วย เกลือโซเดียมซัลไฟเนตและตัวทำละลาย ซึ่งในเคเลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ใช้ตัวทำละลายคือ เอทานอล เป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 90 เมื่อนำไปใช้งานโดยการผสมกับเคเลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่มีเอทานอลเป็นองค์ประกอบอยู่แล้ว จึงต้องเพิ่มความระมัดระวังในการเป่าให้ตัวทำละลายระเหยออกไปให้หมด⁽³⁵⁾ เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีตัวทำละลายหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันหรือการเกิดชั้นไฮบริด โดยตัวทำละลายอาจไปอยู่ในช่องว่างที่ควรจะมีการแทรกซึมของเรซิน⁽²⁸⁾ ส่งผลให้การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจส่งผลเสียมากกว่าผลดี นอกจากนี้ยังมีแนวคิดที่กล่าวว่า ความไม่เข้ากันทางเคมีอาจไม่สามารถถูกกำจัดให้หมดไปด้วยการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ และอาจมีความไม่เข้ากันทางเคมีระหว่างสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบกับองค์ประกอบบางอย่างในสารยึดติดได้ อีกทั้งสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจไปเจือจางสารยึดติด โดยทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นปฏิกิริยาด้วยแสงและฟังก์ชันนอลมอนอเมอร์ลดลง ส่งผลเสียต่อการเกิดชั้นไฮบริด^(13, 26, 34) ในขณะที่ Suh และคณะในปี 2003⁽⁴⁶⁾ รายงานว่าอัตราการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยปฏิกิริยาเคมีของเรซินลดลงและถูกยับยั้งจากการมีมอนอเมอร์ที่เป็นกรด ซึ่งโซเดียมเบนซีนซัลโฟเนต (Sodium benzene sulfonate) ช่วยให้การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันดีขึ้นได้ และมีหลายการศึกษาที่รายงานว่าสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยไปทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่เป็นกรดทำให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้น และช่วยกระตุ้นให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีมากขึ้น อีกทั้งไปลดความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เป็นกรดให้ใกล้เคียงความเข้มข้นของเอมีนจึงลดความไม่เข้ากันของวัสดุสองชนิด^(12, 15, 27, 28, 33) โดยที่เคเลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์มีค่าความเป็นกรดต่าง 3.2 และเคเลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีค่าความเป็นกรดต่าง 2.3⁽³⁰⁾ นอกจากนี้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะทำให้จำนวนออกซิเจนน้อยลง ส่งผลให้เกิดชั้นออกซิเจนอินิทิเพียบางลง⁽²⁸⁾ และช่วยกระตุ้นให้เกิดการบ่มตัวจากการสัมผัสได้⁽³²⁾ ดังนั้นการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบควรจะทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินดีขึ้น ซึ่งปัจจุบันพบว่ามีการศึกษาทั้งที่สนับสนุนและไม่สนับสนุนการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ ซึ่งถ้าเคเลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีการเติมเกลือเอริลซัลไฟเนตมาแล้วจริง ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเคเลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ ปัญหาความไม่เข้ากันนี้อาจได้รับการปรับปรุงจากบริษัทผู้ผลิตมาแล้ว

การฉายแสงยังคงเป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้สำหรับการพอลิเมอร์ไรเซชันวัสดุประเภทบ่มตัวสองแบบ มีหลายการศึกษาที่รายงานว่าวัสดุประเภทบ่มตัวสองแบบจะได้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์และความแข็งที่แตกต่างกันมากระหว่างวัสดุที่ได้รับการฉายแสงและไม่ได้รับการฉายแสง^(14, 29) โดยการกระตุ้นด้วยแสงทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่คำนึงถึงว่ามีการใช้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมหรือสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบหรือไม่ ซึ่งในกลุ่มที่ไม่ได้ใช้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมพบว่าวัสดุที่บ่มด้วยตัวเองมีค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ต่ำมาก⁽¹⁵⁾ และแม้จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสและบ่มตัวสองแบบ การเพิ่มเวลาในการฉายแสงจาก 10 วินาทีเป็น 20 วินาทีก็มิได้เพิ่มความแข็งแรงพันธะ⁽³⁰⁾ ทั้งนี้หากไม่มีการกระตุ้นด้วยแสงเลย และปล่อยให้วัสดุก่อนแกนพันธิตบ่มตัวสองแบบเกิดการบ่มด้วยตัวเองเวลาที่ผ่านไปจะทำให้เกิดการแพร่ของมอนอเมอร์ที่เป็นกรดมายังบริเวณพื้นผิวระหว่างสารยึดติดและเรซิน เกิดการทำให้เอมีนเป็นกลาง (amine neutralization) ขัดขวางกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่เหมาะสมที่พื้นผิวยึดติด นำมาสู่ความแข็งแรงพันธะพื้นผิว (interfacial bond strength) ที่ต่ำ การขาดการกระตุ้นด้วยแสงและเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันซ้ำจึงนำมาซึ่งปัญหาที่เกี่ยวกับความไม่เข้ากันทางเคมีได้^(15, 47) การฉายแสงให้มากและนานเพียงพอจึงยังคงเป็นสิ่งที่ละเอียดไม่ได้ในวัสดุประเภทบ่มตัวจากการสัมผัสและบ่มตัวสองแบบ นอกจากนี้ Kournetas และคณะ ในปี 2011⁽²⁹⁾ ก็รายงานไปในทิศทางเดียวกันว่า การกระตุ้นกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุก่อนแกนพันธิตบ่มตัวสองแบบด้วยการฉายแสง ทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สูงกว่าการไม่กระตุ้นด้วยการฉายแสงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.0001$) โดยวัสดุที่ไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยแสงจะต้องอาศัยเวลานานอย่างมีนัยสำคัญเพื่อที่จะได้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เทียบเท่าวัสดุที่ได้รับการกระตุ้นด้วยแสง 20 วินาที คือต้องใช้เวลาในการเกิดพอลิเมอร์ตั้งแต่ 20-60 นาที โดยเคลียร์ฟิลดีซีคอร์นั้น บริษัทผู้ผลิตแนะนำให้รอ 5-7 นาทีเพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันที่เพียงพอสำหรับการบ่มด้วยตัวเอง แต่กลับพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาทีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เคลียร์ฟิลดีซีคอร์มีค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์น้อยกว่าร้อยละ 10 เคลียร์ฟิลดีซีคอร์จึงเป็นวัสดุก่อนแกนพันธิตบ่มตัวสองแบบที่มีความเด่นของการบ่มด้วยแสงมากกว่าบ่มด้วยตัวเอง สอดคล้องกับอีกหลายงานวิจัย รวมถึงงานวิจัยนี้ที่บ่งชี้ว่าการฉายแสงและเวลาที่มากขึ้นส่งผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะกดออกที่สูงขึ้น โดยเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทั้งกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอกทิเวเตอร์ กลุ่มที่ฉายแสงและไม่ฉายแสง

เมื่อมาพิจารณาลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด จะเห็นได้ว่าการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตออร์มีแนวโน้มทำให้ adhesive failure เกิดขึ้นน้อยลง เมื่อเทียบระหว่างกลุ่ม NALI และ ALI NALD และ ALD NANLD และ ANLD ในขณะที่ระหว่างกลุ่ม NANLI และ ANLI การใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตออร์ไม่ทำให้ adhesive failure ลดลง โดยกลุ่ม ANLI เกิด adhesive failure มากถึงร้อยละ 98 ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการที่สารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟันไม่สามารถพอลิเมอร์ไรเซชันได้อย่างสมบูรณ์เพราะขาดการกระตุ้นด้วยแสง ในขณะที่ระหว่างกลุ่ม NANLD และ ANLD เกิด adhesive failure น้อยลง ทั้ง ๆ ที่ไม่มีการฉายแสง อาจเป็นผลจากเวลาที่ผ่านไป 24 ชั่วโมงภายหลังการยึดติดทำให้ความแข็งแรงพันธะสูงขึ้นได้ดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น

โดยที่การศึกษานี้สนับสนุนว่าการบ่มตัวจากการสัมผัสของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย คือ การใช้เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลเป็นสารยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์และเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาทันทีที่เกิดการสัมผัสระหว่างสารยึดติดและวัสดุก่อแกนฟัน เนื่องจากไม่พบความแตกต่างระหว่างการใช้หรือไม่ใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตออร์ แต่หากเป็นสภาวะที่ไม่มีการฉายแสงและเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตออร์จะส่งผลเพิ่มค่าความแข็งแรงพันธะกอดออกอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นหากจะนำมาประยุกต์ใช้ในทางคลินิก การใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตออร์ร่วมกับเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลอาจช่วยเพิ่มความแข็งแรงพันธะกอดออกของเดือยฟันและวัสดุก่อแกนฟันเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสที่บริเวณปลายรากฟันหรือบริเวณที่แสงไม่สามารถส่องถึงได้ อย่างไรก็ตาม เคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตออร์ไม่ใช่สิ่งจำเป็น และในการทำงานยังคงต้องมีการฉายแสงที่เพียงพอร่วมด้วยเสมอ ซึ่งผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจเป็นเพียงแค่สิ่งเสริมการยึดติดเท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารเร่งปฏิกิริยาและสารตั้งต้นปฏิกิริยาด้วยแสงที่แตกต่างกันไปในแต่ละผลิตภัณฑ์ด้วย⁽³⁰⁾

สำหรับผลิตภัณฑ์อื่นที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสและบ่มตัวสองแบบ เช่น สารยึดติดประเภทเซลฟ์เอชท์ 2 ขั้นตอน ออพติบอนด์ เอ็กซ์ทีอาร์ (Optibond™ XTR) ที่บริษัทแนะนำให้ใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่เฉพาะเจาะจงต่อกัน คือ เนกซ์สตรี่ (NX3 resin cement) สารยึดติดประเภทเซลฟ์เอชท์ 2 ขั้นตอนจะมีขดที่สอ่งเป็นเรซินไม่ชอบน้ำ (hydrophobic resin) ซึ่งอาจช่วยลดปัญหาความไม่เข้ากันของวัสดุได้ ทำให้การใช้งานวัสดุในกลุ่มนี้ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยมีคำแนะนำให้ทันตแพทย์เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกันเสมอ⁽²⁸⁾ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดหากผลิตภัณฑ์มีสมบัติของการบ่มตัวจากการสัมผัส นอกจากนี้ควรตระหนักว่าวัสดุที่มีสมบัติบ่มตัวสองแบบไม่ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุที่บ่มตัวด้วยกลไกเดียว ผู้ปฏิบัติจึงควร

ทราบวิธีที่จะทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สูงสุด และคำนึงถึงข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัดของวัสดุ แต่ละชนิดเสมอเวลาที่เลือกใช้งาน

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเพียงแต่ตัววัสดุจนสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพอาจไม่ได้รับรองถึงผลสำเร็จทางคลินิก จึงควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับพื้นผิวที่จะถูกยึดติด ทำให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงทางคลินิกมากขึ้น หรือศึกษาในแง่มุมอื่นเพิ่ม เช่น ทำการทดลองในฟันธรรมชาติ มีกระบวนการ Aging ที่ยาวนานขึ้น ศึกษาค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ นอกจากนี้อาจขยายการศึกษาไปยังวัสดุที่มีขายในท้องตลาดให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น



บรรณานุกรม

1. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials*. 2011 Jan; 27(1): 17-28.
2. Pashley DH, Tay FR, Breschi L, Tjäderhane L, Carvalho RM, Carrilho M, et al. State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*. 2011 Jan; 27(1): 1-16.
3. Aksornmuang J, Nakajima M, Tagami J. Effect of viscosity of dual-cure luting resin composite core materials on bond strength to fiber posts with various surface treatments. *Journal of Dental Sciences*. 2014; 9(4): 320-7.
4. Alnaqbi IOM, Elbishari H, Elsubeihi ES. Effect of Fiber Post-Resin Matrix Composition on Bond Strength of Post-Cement Interface. *International Journal of Dentistry*. 2018: 1-11.
5. Calixto LR, Bandeca MC, Clavijo V, Andrade MF, Vaz LG, Campos EA. Effect of resin cement system and root region on the push-out bond strength of a translucent fiber post. *Operative Dentistry*. 2012 Jan-Feb; 37(1): 80-6.
6. Zicari F, De Munck J, Scotti R, Naert I, Van Meerbeek B. Factors affecting the cement-post interface. *Dental Materials*. 2012 Mar; 28(3): 287-97.
7. Perdigao J. Restoration of root canal-treated teeth. *Springer*; 2016. p. 128, 37-44, 85.
8. Cadenaro M, Maravic T, Comba A, Mazzoni A, Fanfoni L, Hilton T, et al. The role of polymerization in adhesive dentistry. *Dental Materials*. 2019; 35(1): e1-e22.
9. Okuma M, Nakajima M, Hosaka K, Itoh S, Ikeda M, Foxton RM, et al. Effect of composite post placement on bonding to root canal dentin using 1-step self-etch dual-cure adhesive with chemical activation mode. *Dental Materials* 2010 Nov; 29(6): 642-8.
10. Kawano S, Fu J, Saikaew P, Chowdhury AA, Fukuzawa N, Kadowaki Y, et al. Microtensile bond strength of a newly developed resin cement to dentin. *Dental Materials* 2015; 34(1): 61-9.
11. Araoka D, Hosaka K, Nakajima M, Foxton R, Thanatvarakorn O, Prasansuttiporn T, et al. The strategies used for curing universal adhesives affect the micro-bond strength of

resin cement used to lute indirect resin composites to human dentin. *Dental Materials* 2018; 37(3): 506-14.

12. Cavalcanti SC, de Oliveira MT, Arrais CA, Giannini M. The Effect of the Presence and Presentation Mode of Co-initiators on the Microtensile Bond Strength of Dual-cured Adhesive Systems Used in Indirect Restorations. *Operative Dentistry*. 2008 Nov-Dec; 33(6): 682-9.

13. Michaud P-L, MacKenzie A. Compatibility between dental adhesive systems and dual-polymerizing composite resins. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016; 116.

14. Kwon TY, Bagheri R, Kim YK, Kim KH, Burrow MF. Cure mechanisms in materials for use in esthetic dentistry. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*. 2012 Feb; 3(1): 3-16.

15. Arrais CAG, Giannini M, Rueggeberg FA. Effect of sodium sulfinate salts on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems exposed to attenuated light-activation. *Journal of Dentistry*. 2009 Mar; 37(3): 219-27.

16. Ubaldini ALM, Benetti AR, Sato F, Pascotto RC, Medina Neto A, Baesso ML, et al. Challenges in luting fibre posts: Adhesion to the post and to the dentine. *Dental Materials*. 2018 Jul; 34(7): 1054-62.

17. Kul E, Yeter KY, Aladag LI, Ayrancı LB. Effect of different post space irrigation procedures on the bond strength of a fiber post attached with a self-adhesive resin cement. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2016; 115(5): 601-5.

18. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *Journal of Dentistry*. 2004 Aug; 32(6): 443-50.

19. Rodig T, Nusime AK, Konietschke F, Attin T. Effects of different luting agents on bond strengths of fiber-reinforced composite posts to root canal dentin. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2010 Jun; 12(3): 197-205.

20. Aksornmuang J, Nakajima M, Foxton R, Panyayong W, Tagami J. Regional Bond Strengths and Failure Analysis of Fiber Posts Bonded to Root Canal Dentin. *Operative dentistry*. 2008; 33: 636-43.

21. Skupien JA, Sarkis-Onofre R, Cenci MS, Moraes RR, Pereira-Cenci T. A systematic review of factors associated with the retention of glass fiber posts. *Brazilian Oral Research*. 2015; 29.
22. Radovic I, Monticelli F, Cury AH, Bertelli E, Vulicevic ZR, Ferrari M. Coupling of composite resin cements to quartz fiber posts: a comparison of industrial and chairside treatments of the post surface. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2008 Feb; 10(1): 57-66.
23. Meda EM, Rached RN, Ignácio SA, Fornazari IA, Souza EM. Effect of Different Adhesive Strategies and Time on Microtensile Bond Strength of a CAD/CAM Composite to Dentin. *Operative Dentistry*. 2019 May-Jun; 44(3): 262-72.
24. Bakaus TE, Gruber YL, Reis A, Gomes JC, Gomes GM. Bonding properties of universal adhesives to root canals prepared with different rotary instruments. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019 Feb; 121(2): 298-305.
25. Sakaguchi R, Ferracane J, Powers J. *Craig's Restorative Dental Materials*. 14. Elsevier; 2019.
26. Gutierrez MF, Sutil E, Malaquias P, de Paris Matos T, de Souza LM, Reis A, et al. Effect of self-curing activators and curing protocols on adhesive properties of universal adhesives bonded to dual-cured composites. *Dental Materials*. 2017 Jul; 33(7): 775-87.
27. 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 Sep; 28(26): 3757-85.
28. Rathke A, Balz U, Muche R, Haller B. Effects of self-curing activator and curing protocol on the bond strength of composite core buildups. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2012 Feb; 14(1): 39-46.
29. Kournetas N, Tzoutzas I, Eliades G. Monomer conversion in dual-cured core buildup materials. *Operative Dentistry*. 2011 Jan-Feb; 36(1): 92-7.
30. Dwiandhany W, Abdou A, Tichy A, Yonekura K, Ikeda M, Hosaka K, et al. Additive effects of touch-activated polymerization and extended irradiation time on bonding of light-activated adhesives to root canal dentin. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2021.
31. Dimitriadi M, Petropoulou A, Masouras K, Zafiropoulou M, Zinelis S, Eliades G. The

Effect of Touch-Cure Polymerization on the Conversion and Hardness of Core Build-Up Resin Composites: A Laboratory Study. *Materials*. 2021; 14(20): 6025.

32. Kadowaki Y, Kakuda S, Kawano S, Katsumata A, Ting S, Hoshika S, et al. Bond performance of "Touch and Cure" adhesives on resin core systems. *Dental Materials* 2016; 35(3): 386-91.

33. Nunes TG, Erhardt MC, Toledano M, Osorio R. One-step self-etching adhesive polymerization: influence of a self-curing activator. *Journal of Dentistry*. 2009 Aug; 37(8): 616-21.

34. Shade AM, Wajdowicz MN, Bailey CW, Vandewalle KS. The Effect of Simplified Adhesives on the Bond Strength to Dentin of Dual-cure Resin Cements. *Operative Dentistry*. 2014; 39(6): 627-36.

35. Malaquias P, Gutiérrez MF, Sutil E, Matos TdP, Hanzen TA, Reis A, et al. Universal adhesives and dual-cured core buildup composite material: adhesive properties. *Journal of applied oral science*. 2020; 28.

36. Arrais CAG, Giannini M, Rueggeberg FA, Pashley DH. Microtensile bond strength of dual-polymerizing cementing systems to dentin using different polymerizing modes. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2007 Feb; 97(2): 99-106.

37. Pane ES, Palamara JEA, Messer HH. Critical Evaluation of the Push-out Test for Root Canal Filling Materials. *Journal of Endodontics*. 2013; 39(5): 669-73.

38. Brichko J, Burrow MF, Parashos P. Design Variability of the Push-out Bond Test in Endodontic Research: A Systematic Review. *Journal of Endodontics*. 2018 Aug; 44(8): 1237-45.

39. Delai D, Tedesco M, de Almeida J, Chain MC, da Silveira Teixeira C, Santos Felipe MC, et al. Influence of Infected Root Dentin on the Bond Strength of a Self-adhesive Resin Cement. *Contemp Clin Dent*. 2018 Jan-Mar; 9(1): 26-30.

40. Mumcu E, Erdemir U, Topcu FT. Comparison of micro push-out bond strengths of two fiber posts luted using simplified adhesive approaches. *Dental Materials*. 2010 May; 29(3): 286-96.

41. Kurt M, Güler AU, Duran İ, Uludamar A, İnan Ö. Effects of different surface

treatments on the bond strength of glass fiber-reinforced composite root canal posts to composite core material. *Journal of Dental Sciences*. 2012; 7(1): 20-5.

42. do Prado M, da Silva EM, Marques JDN, Gonzalez CB, Simão RA. The effects of non-thermal plasma and conventional treatments on the bond strength of fiber posts to resin cement. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2017 May; 42(2): 125-33.

43. Lee Y, Kim J, Shin Y. Push-Out Bond Strength Evaluation of Fiber-Reinforced Composite Resin Post Cemented with Self-Adhesive Resin Cement Using Different Adhesive Bonding Systems. *Materials* 2021 Jun 29; 14(13).

44. Keiichi H, Kazuhide Y, Keita T, Antonin T, Yusuke K, Daiki N, et al. The Influence of a Touch-cure System on the Micro-tensile Bond Strength of Self-etch Adhesives to Root Canal Dentin. *The Japanese Journal of Conservative Dentistry*. 2019; 62(1): 39-46.

45. Sadek FT, Goracci C, Monticelli F, Grandini S, Cury AH, Tay F, et al. Immediate and 24-hour evaluation of the interfacial strengths of fiber posts. *Journal of Endodontics*. 2006 Dec; 32(12): 1174-7.

46. Suh BI, Feng L, Pashley DH, Tay FR. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *The Journal of Adhesive Dentistry*. 2003 Winter; 5(4): 267-82.

47. Bolhuis PB, de Gee AJ, Kleverlaan CJ, El Zohairy AA, Feilzer AJ. Contraction stress and bond strength to dentin for compatible and incompatible combinations of bonding systems and chemical and light-cured core build-up resin composites. *Dental Materials*. 2006 Mar; 22(3): 223-33.



ตาราง 7 แสดงผลการทดสอบที

Group	Group	Mean difference	Std.Error	Sig.	95% Confidence interval	
					Lower bound	Upper bound
NALI	NALD	-2.244737	0.35800	.000	-3.336871	-1.152603
	NANLI	1.740684	0.35800	.000	0.648550	2.832818
	NANLD	-0.537863	0.35800	.806	-1.629997	0.554271
	ALI	-0.892800	0.35800	.202	-1.984934	0.199334
	ALD	-2.973805	0.35800	.000	-4.065939	-1.881672
	ANLI	0.680031	0.35800	.552	-0.412103	1.772165
	ANLD	-2.399783	0.35800	.000	-3.491916	-1.307649
NALD	NALI	2.244737	0.35800	.000	1.152603	3.336871
	NANLI	3.985421	0.35800	.000	2.893287	5.077555
	NANLD	1.706874	0.35800	.000	0.614741	2.799008
	ALI	1.351937	0.35800	.005	0.259803	2.444071
	ALD	-0.729068	0.35800	.459	-1.821202	0.363066
	ANLI	2.924768	0.35800	.000	1.832634	4.016902
	ANLD	-0.155045	0.35800	1.000	-1.247179	0.937088
NANLI	NALI	-1.740684	0.35800	.000	-2.832818	-0.648550
	NALD	-3.985421	0.35800	.000	-5.077555	-2.893287
	NANLD	-2.278547	0.35800	.000	-3.370680	-1.186413
	ALI	-2.633484	0.35800	.000	-3.725618	-1.541350
	ALD	-4.714489	0.35800	.000	-5.806623	-3.622355
	ANLI	-1.060653	0.35800	.064	-2.152787	0.031481
	ANLD	-4.140466	0.35800	.000	-5.232600	-3.048333

ตาราง 7 (ต่อ)

Group	Group	Mean difference	Std.Error	Sig.	95% Confidence interval	
					Lower bound	Upper bound
NANLD	NALI	0.537863	0.35800	.806	-0.554271	1.629997
	NALD	-1.706874	0.35800	.000	-2.799008	-0.614741
	NANLI	2.278547	0.35800	.000	1.186413	3.370680
	ALI	-0.354937	0.35800	.975	-1.447071	0.737197
	ALD	-2.435943	0.35800	.000	-3.528076	-1.343809
	ANLI	1.217893	0.35800	.017	0.125760	2.310027
	ANLD	-1.861920	0.35800	.000	-2.954054	-0.769786
ALI	NALI	0.892800	0.35800	.202	-0.199334	1.984934
	NALD	-1.351937	0.35800	.005	-2.444071	-0.259803
	NANLI	2.633484	0.35800	.000	1.541350	3.725618
	NANLD	0.354937	0.35800	.975	-0.737197	1.447071
	ALD	-2.081005	0.35800	.000	-3.173139	-0.988872
	ANLI	1.572831	0.35800	.000	0.480697	2.664964
	ANLD	-1.506983	0.35800	.001	-2.599117	-0.414849
ALD	NALI	2.973805	0.35800	.000	1.881672	4.065939
	NALD	0.729068	0.35800	.459	-0.363066	1.821202
	NANLI	4.714489	0.35800	.000	3.622355	5.806623
	NANLD	2.435943	0.35800	.000	1.343809	3.528076
	ALI	2.081005	0.35800	.000	0.988872	3.173139
	ANLI	3.653836	0.35800	.000	2.561702	4.745970
	ANLD	0.574023	0.35800	.748	-0.518111	1.666157

ตาราง 7 (ต่อ)

Group	Group	Mean difference	Std.Error	Sig.	95% Confidence interval	
					Lower bound	Upper bound
ANLI	NALI	-0.680031	0.35800	.552	-1.772165	0.412103
	NALD	-2.924768	0.35800	.000	-4.016902	-1.832634
	NANLI	1.060653	0.35800	.064	-0.031481	2.152787
	NANLD	-1.217893	0.35800	.017	-2.310027	-0.125760
	ALI	-1.572831	0.35800	.000	-2.664964	-0.480697
	ALD	-3.653836	0.35800	.000	-4.745970	-2.561702
	ANLD	-3.079813	0.35800	.000	-4.171947	-1.987679
ANLD	NALI	2.399783	0.35800	.000	1.307649	3.491916
	NALD	0.155045	0.35800	1.000	-0.937088	1.247179
	NANLI	4.140466	0.35800	.000	3.048333	5.232600
	NANLD	1.861920	0.35800	.000	0.769786	2.954054
	ALI	1.506983	0.35800	.001	0.414849	2.599117
	ALD	-0.574023	0.35800	.748	-1.666157	0.518111
	ANLI	3.079813	0.35800	.000	1.987679	4.171947

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปรางทิพย์ สุขศรีจักรวาท
วัน เดือน ปี เกิด	3 มิถุนายน 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2559 ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

