



ผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับยูนิเวอร์แซลแอคทีฟต่อ
ค่าความแข็งแรงพันธะกอดออกของวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบกับเดือยฟันไฟเบอร์

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^{1*} และวิบูลย์ ไพศาลกอบฤทธิ์²

Prangthip Suksrijakrawal^{1*} and Vibul Paisankobrit²

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาทันตกรรมบูรณะ, ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์
และทันตกรรมประดิษฐ์, คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹ Graduate student, Restorative Dentistry, Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics,
Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

² อาจารย์ ดร., ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์, คณะทันตแพทยศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

² Ph.D., Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Srinakharinwirot University.

*Corresponding author, E-mail: prangthip.sjw@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับสารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอคทีฟ และศึกษาผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรงพันธะกอดออก ใช้วัสดุอุปกรณ์และวิธีการโดยแบ่งกลุ่มการทดลองเป็นสี่กลุ่ม ตามวิธีการใช้สารยึดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ และเวลาเมื่อทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกอดออก แต่ละกลุ่มใช้เดือยฟันไฟเบอร์หกชิ้น โดยพื้นผิวเดือยฟันไฟเบอร์ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์-อาร์โอ อิลลูชั่น จะถูกเตรียมด้วยสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (NA ; No Activator) หรือเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลผสมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ (A ; Activator) นำเดือยฟันที่เตรียมพื้นผิวแล้วและท่ออะคริลิกใสวางลงบนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง ฉีดเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสจนเต็มท่อ ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดีเป็นเวลา 40 วินาที จากนั้นตัวอย่างทดลองจะถูกตัดและทดสอบความแข็งแรงพันธะกอดออกทันที (I ; Immediate) หรือเก็บในตู้บ่มที่บ่มแสง อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนที่จะถูกตัดและทดสอบความแข็งแรงพันธะกอดออก (D; Delay) ตัวอย่างทดลองจะถูกตัดเป็นแผ่นหนา 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างทดลองที่เตรียมจากเดือยฟันไฟเบอร์หนึ่งชิ้นเมื่อตัดแล้วจะได้ชิ้นทดสอบ 6 ชิ้น แบ่งเป็นกลุ่มย่อย Coronal third 2 ชิ้น Middle third 2 ชิ้น และ Apical third 2 ชิ้น วิเคราะห์ข้อมูล

โดยใช้สถิติความแปรปรวนทางเดียวและการทดสอบทีก็ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) คุณลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองคือ กลุ่ม “AD” มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกสูงสุดและกลุ่ม “NAI” มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกต่ำสุด ซึ่งกลุ่มย่อย Coronal third จะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกสูงกว่ากลุ่มย่อย Middle third และ Apical third เสมอ โดยพบมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ระหว่างกลุ่มที่มีวิธีการใช้สารยึดติดเหมือนกัน ณ เวลาทดสอบที่ต่างกัน (“NAI” และ “NAD”, “AI” และ “AD”) ในทุกระดับของเดือยฟัน แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ระหว่างกลุ่มที่มีวิธีการใช้สารยึดติดต่างกัน ณ เวลาทดสอบเดียวกัน (“NAI” และ “AI”, “NAD” และ “AD”) ในทุกระดับของเดือยฟัน ผลการทดลองสรุปได้ว่า สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันในทุกระดับของเดือยฟัน เมื่อใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอตชีฟที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบและได้รับการฉายแสงโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออก

คำสำคัญ: สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ, บ่มตัวจากการสัมผัส, วัสดุก่อแกนฟัน, เดือยฟันไฟเบอร์

Abstract

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 four groups according to adhesive 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.) surfaces were either treated with a universal adhesive (Clearfil™ Tri-S Bond Universal; Kuraray Noritake Dental Inc) alone (“NA”) or with universal adhesive mixed with a dual-cured activator (Clearfil™ DC Activator; Kuraray Noritake Dental Inc) (“A”) and then luted with dual-cured core build-up material (Clearfil™ DC Core Plus; Kuraray Noritake Dental Inc) in a clear acrylic tube on the positioning mold then light-cured for 40 seconds. 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. Each specimen was serially cut into six sections, with a thickness of 1.5 ± 0.1 mm for the PBS test. The data were divided into three subgroups

(Coronal third/ Middle third/ Apical third) and analyzed using one-way ANOVA and Tukey's Honest Significant Difference test. ($\alpha=0.05$) SEM testing was performed on representative failed specimens from each failure mode. The results revealed the following: the group with the highest PBS was "AD", while the "NAI" group had the lowest PBS. Coronal third subgroups showed higher PBS than middle third and apical third subgroups. A post-hoc test revealed a significant difference between the testing time with the same adhesive protocol ("NAI" and "NAD", "AI" and "AD") in all subgroups. ($p \leq 0.05$), but no significant difference between the adhesive protocol with the same testing time ("NAI" and "AI", "NAD" and "AD") in all subgroups. ($p > 0.05$) In conclusion, the addition of a dual-cured activator did not improve the PBS between fiber posts and core materials when touch-cure adhesive system was used and light cured in all levels of fiber post.

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

บทนำ

ระบบสารยึดติด (bonding system) ที่ใช้ทางทันตกรรมได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีการลดขั้นตอนการทำงานเพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ลดโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดในแต่ละขั้นตอนของการใช้สารยึดติด และลดเวลาในการทำงาน อย่างไรก็ตาม การใช้งานได้ง่ายขึ้นไม่ได้หมายถึงประสิทธิภาพที่ดีเสมอไป มีรายงานว่าระบบสารยึดติดลดขั้นตอน (simplified adhesive) ให้ค่าความแข็งแรงยึดติด (bond strength) ที่ต่ำ เนื่องจากมีองค์ประกอบที่รวมน้ำและฟังก์ชันนาลมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic functional monomer) เข้าด้วยกัน โดยสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์ (self-etch) 1 ขั้นตอน มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับเนื้อฟันน้อยที่สุด ในขณะที่สารยึดติดชนิดโททอลเอทช์ (total-etch) 3 ขั้นตอนมีประสิทธิภาพดีที่สุด (Pashley et al., 2011; Van Meerbeek et al., 2011) โดยสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน หรือ ยูนิเวอร์แซลแอดฮีซีฟ (Universal adhesive) ได้เข้ามามีบทบาทและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น รวมถึงใช้ในการยึดติดใยไฟเบอร์ (fiber post) ซึ่ง Perdigao (2016) กล่าวว่า ระบบสารยึดติดที่ให้การยึดติดที่เชื่อถือได้สำหรับการยึดติดใยไฟเบอร์ คือการใช้สารยึดติดประเภทโททอลเอทช์ ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์หรือวัสดุอุดแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ (dual-cure) อย่างไรก็ตาม การใช้สารยึดติดประเภทเซลฟ์เอทช์ยังคงมีข้อดีเนื่องจากไม่ต้องมีขั้นตอนการล้างน้ำ จึงลดปัญหาในการควบคุมความชื้นภายในคลองรากฟันซึ่งอาจทำได้ไม่สมบูรณ์

ปัจจุบันได้มีการนำเสนอลักษณะการบ่มตัว (cure) พิเศษที่เรียกว่า การบ่มตัวจากการสัมผัส (Touch cure) โดยเมื่อใช้สารยึดติดคู่กับเรซินซีเมนต์ (resin cement) หรือวัสดุอุดแกนฟัน (core build-up) ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะต่อกัน (specific accelerator) อยู่ในองค์ประกอบ การสัมผัสกัน

ระหว่างสองส่วนจะทำให้เริ่มเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นด้วยแสง และทำให้ระบบในการยึดติดมีการบ่มตัวสองแบบ (Araoka et al., 2018; Kawano et al., 2015) โดยจะเกิดการบ่มด้วยตัวเอง (self-cure) ในบริเวณที่แสงไม่สามารถส่องถึงได้สมบูรณ์ เช่น ส่วนปลายของคลองรากฟัน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีสารเร่งปฏิกิริยาที่มีความจำเพาะต่อกันมักมาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกัน อย่างไรก็ตาม พบว่ายังมีการศึกษาไม่มากนักเพียงพอที่จะรองรับประสิทธิภาพของการใช้สารยึดติดที่มีสมบัติการบ่มตัวจากการสัมผัส ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัส เช่น เคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล (CLEARFILTMS3 BOND Universal, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) กับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส (CLEARFILTM DC CORE PLUS, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) สก๊อตช์บอนด์ยูนิเวอร์แซล (Scotchbond Universal adhesive, 3M ESPE) กับรีเลย์เอกซ์อัลทิมेट (Rely X Ultimate, 3M ESPE) เป็นต้น

มีการศึกษารายงานถึงปัญหาความไม่เข้ากัน (incompatibility) ของสารยึดติดลดขั้นตอนกับเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อกันฟันชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือชนิดบ่มตัวสองแบบ หากเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อกันฟันชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือชนิดบ่มตัวสองแบบมีเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) เป็นองค์ประกอบจะสามารถเกิดปัญหาความไม่เข้ากันกับสารยึดติดลดขั้นตอนที่มีความเป็นกรดได้ โดยปัญหาความไม่เข้ากันนี้หลายบริษัทได้มีการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ (dual-cured activator) ซึ่งประกอบด้วยสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม (co-initiator) มาช่วยแก้ (Arrais, Giannini, & Rueggeberg, 2009; Cavalcanti, de Oliveira, Arrais, & Giannini, 2008) โดยไม่พบผลการศึกษาที่บ่งบอกชัดเจนเกี่ยวกับประสิทธิภาพการยึดติดหรือผลของการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับสารยึดติดและเรซินซีเมนต์หรือวัสดุก่อกันฟันในการยึดติดเยื่อฟันไฟเบอร์ นำมาซึ่งความไม่ชัดเจนเกี่ยวกับการใช้งานผลิตภัณฑ์ในกลุ่มดังกล่าว เช่น หากใช้สารยึดติดลดขั้นตอนร่วมกับวัสดุก่อกันฟันชนิดบ่มตัวสองแบบที่มีสมบัติการบ่มตัวจากการสัมผัสจะทำให้เกิดการบ่มตัวได้ดีหรือไม่ จะเกิดปัญหาความไม่เข้ากันระหว่างวัสดุหรือไม่ และจะส่งผลดีหรือเสียอย่างไรหากใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมด้วย ทั้งหมดจึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างเยื่อฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อกันฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ โดยใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอตชีฟชนิดบ่มด้วยแสง (light-cure) ที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับวัสดุก่อกันฟัน เปรียบเทียบความต่างเมื่อใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

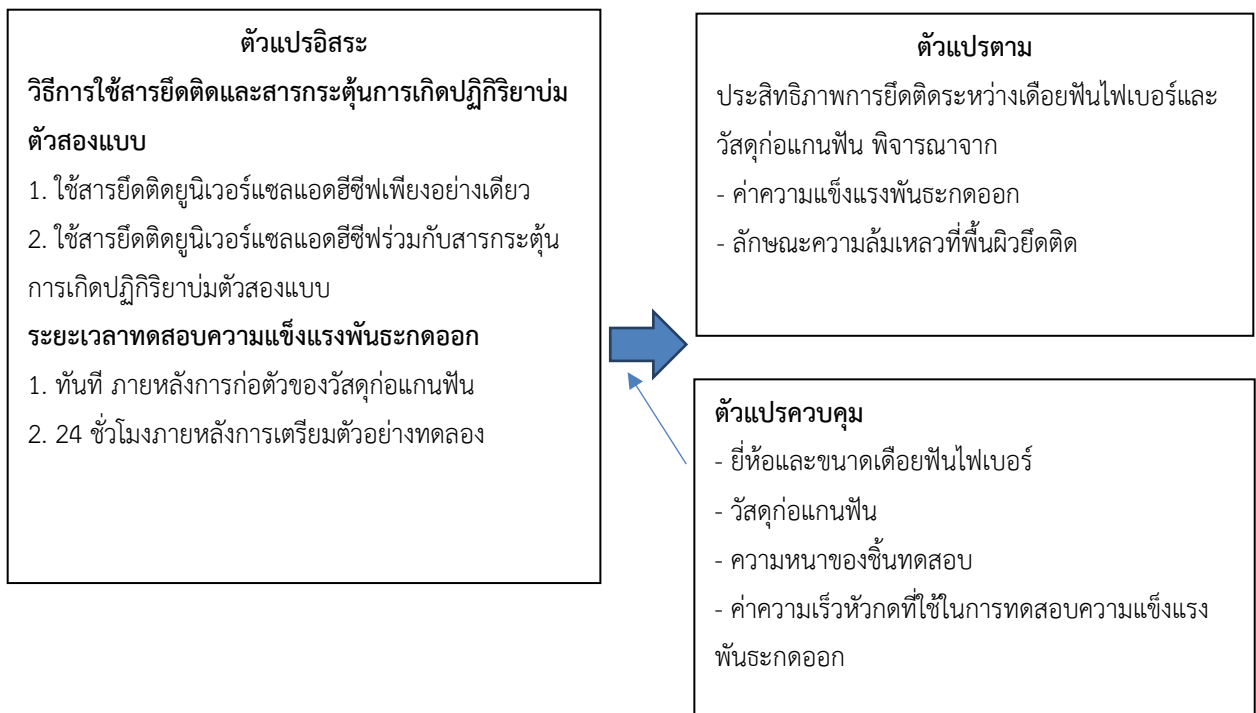
การทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันวัสดุท่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์มักถูกใช้ร่วมกับสารยึดติดลดขั้นตอน ซึ่งสารยึดติดลดขั้นตอนอาจให้ค่าความแข็งแรงยึดติดที่ไม่ดีระหว่างสารยึดติดและเนื้อฟัน อีกทั้งอาจมีความไม่เข้ากันระหว่างสารยึดติดลดขั้นตอนที่มีความเป็นกรดกับวัสดุท่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยตัวเองและบ่มตัวสองแบบที่มีเอมีนตติยภูมิเป็นองค์ประกอบ เนื่องจาก 1. การมีมอนอเมอร์ที่เป็นกรดอยู่ในองค์ประกอบจะไปขัดขวางการทำงานของเอมีนตติยภูมิในการสร้างอนุมูลอิสระ (free radical) ส่งผลให้การบ่มตัวผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox) ลดลง การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันก็น้อยลงด้วย กล่าวคือ เกิดความไม่เข้ากันทางเคมี (chemical incompatibility) ซึ่งข้อนี้เป็นสาเหตุหลักของค่าความแข็งแรงยึดติดที่ลดลง (Cavalcanti et al., 2008; Meda, Rached, Ignácio, Fornazari, & Souza, 2019; Michaud & MacKenzie, 2016; Nunes, Erhardt, Toledano, & Osorio, 2009) 2. การทำให้เกิดสภาพแวดล้อมไฮเปอร์โทนิก (hypertonic environment) ในชั้นออกซิเจนอินฮิบิท (oxygen inhibited layer) ของสารยึดติดลดขั้นตอนและกระตุ้นการเกิดออสโมซิส (osmotic fluid transport) มีการดึงน้ำจากเนื้อฟันผ่านชั้นสารยึดติดที่มีสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้ (semipermeable) เกิดปรากฏการณ์ต้นไม้ (water tree phenomenon) หรือเกิดความไม่เข้ากันทางกายภาพ (physical incompatibility) เป็นสาเหตุที่นำมาซึ่งความล้มเหลวก่อนเวลาอันควร (premature failure) ในการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเนื้อฟัน (Malaquias et al., 2020; Meda et al., 2019; Rathke, Balz, Muche, & Haller, 2012)

เพื่อจะแก้ปัญหาความไม่เข้ากันของสารยึดติดลดขั้นตอนกับวัสดุท่อแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ และให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้ดีขึ้นในส่วนที่แสงอาจส่องถึงไม่สมบูรณ์ สารยึดติดที่เป็นชนิดบ่มด้วยแสงบางยี่ห้อจึงได้ถูกจับคู่กับสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบหรือที่ Kadowaki et al. (2016) เรียกว่า สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวจากการสัมผัส (Touch-polymerization activator) ซึ่งมักประกอบด้วยสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วม เช่น เกลืออะโรมาติกโซเดียมซัลไฟเนต (Aromatic Sodium Sulfinat salts) และเกลือเอริลซัลไฟเนต (Arylsulfinat salts) (Arrais et al., 2009; Cavalcanti et al., 2008; Rathke et al., 2012) โดยอาจถูกผสมลงในบอนด์ดิ้ง หรือทำเป็นขวดแยกที่เรียกว่า “Activator solution” สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมมักถูกผสมในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น อะซิโตน (Acetone) หรือเอทานอล (Ethanol) และนำมาใช้ร่วมกับสารยึดติดตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต (Meda et al., 2019) สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบที่พบได้ในปัจจุบัน เช่น เคลียร์ฟิลต์ซีแอคทีเวเตอร์ (CLEARFILTMDC activator, Kuraray Noritake Dental Inc., Japan) และ สก็อตช์บอนด์ดูอัลเคียวแอคทีเวเตอร์ (Scotchbond dual cure activator, 3M ESPE) เป็นต้น

สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยารีดอกซ์โดยไปทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ที่เป็นกรด ทำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระฟีนิล (Phenyl) เบนซีนซัลโฟนิล (Benzenesulfonyl) หรือเอริลซัลโฟนิล (Arylsulfonyl) ทำให้มีจำนวนอนุมูลอิสระมากขึ้นและไปกระตุ้นให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันจากปฏิกิริยาเคมีมากขึ้น (Dwiandhany et al., 2021) อีกทั้งไปลดความเข้มข้นของมอนอเมอร์ที่เป็นกรดให้ใกล้เคียงความเข้มข้นของเอมีน จึงลดความไม่เข้ากันของวัสดุสองชนิด (Arrais et al., 2009; Cavalcanti et al., 2008; Nunes et al., 2009; Rathke et al., 2012; Van Landuyt et al., 2007) นอกจากนี้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมจะทำให้จำนวนออกซิเจนน้อยลง ส่งผลให้เกิดชั้นออกซิเจนอินิทิเพอร์ที่บางลง (Rathke et al., 2012) และช่วยกระตุ้นให้เกิดการบ่มตัวจากการสัมผัสได้ (Kadowaki et al., 2016) ดังนั้นการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบควรจะทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (degree of conversion) ของเรซินดีขึ้น

อย่างไรก็ตาม ความไม่เข้ากันทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างมอนอเมอร์ที่เป็นกรดและเอมีนตติยภูมิอาจไม่สามารถถูกกำจัดให้หมดไปด้วยการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ เนื่องจากอาจมีความไม่เข้ากันทางเคมีระหว่างสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบกับองค์ประกอบบางชนิดในสารยึดติดได้อีก และสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอาจไปเจือจางสารยึดติด โดยทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นปฏิกิริยาดำแสง (photoinitiators) และฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ลดลง ส่งผลเสียต่อการเกิดชั้นไฮบริด (hybrid layer) (Michaud & MacKenzie, 2016) ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ และค่าความแข็งแรงยึดติดกับเนื้อฟันในระยะยาว (Meda et al., 2019) ซึ่ง Nunes et al. (2009) กล่าวว่าสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบจะไปเพิ่มสัดส่วนของอะซิโตนหรือน้ำในระบบสารยึดติด ส่งผลให้การระเหยตัวทำละลายลดลง การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันลดลง และทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดแย่งในที่สุด สอดคล้องกับ Malaquias et al. (2020) และ Rathke et al. (2012) ที่กล่าวว่าการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับวัสดุเรซินชนิดบ่มด้วยตัวเองหรือบ่มตัวสองแบบขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของสารยึดติดแต่ละระบบ (material dependent) โดยไม่จำเป็นที่จะต้องใส่สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมเมื่อใช้สารยึดติดลดขั้นตอนเสมอไป โดยบางการศึกษาพบว่าแม้จะใช้สารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมก็ไม่ทำให้ค่าความแข็งแรงยึดติดดีขึ้น

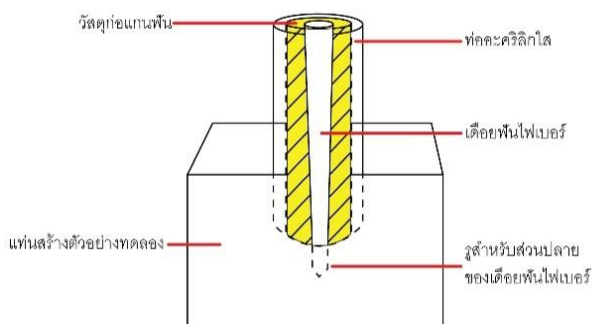


ภาพประกอบที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) โดยใช้เครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine) หาค่าความแข็งแรงพันธะกุดอก (Push-out bond strength) ระหว่างเดือฟันไฟเบอร์ดีทีไลท์-โพส เอ็กซ์อาร์โอ อิลลูชั่น เบอร์ 3 (D.T.Light-post® X-RO® ILLUSION®, R.T.D., France) และวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ยึดติดโดยใช้ยูนิเวอร์แซลแอคทีฟชนิดบ่มตัวด้วยแสงเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล ที่มีสมบัติบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับวัสดุก่อแกนฟัน เปรียบเทียบผลเมื่อใช้หรือไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ แบ่งกลุ่มทดลองเป็น 4 กลุ่ม ตามวิธีการใช้สารยึดติดและสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบและระยะเวลาขณะทดสอบค่าความแข็งแรงพันธะกุดอก ดังนี้ 1) กลุ่ม NA; No Activator, Immediate 2) กลุ่ม NAD; No Activator, Delay 24 hours 3) กลุ่ม AI; Activator, Immediate และ 4) กลุ่ม AD; Activator, Delay 24 hours และแยกเป็น 3 กลุ่มย่อย (subgroup) ตามระดับที่มาของชั้นทดสอบ คือ Coronal third Middle third และ Apical third แต่ละกลุ่มใช้เดือฟันไฟเบอร์ 6 ชิ้น มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

เตรียมพื้นผิวเดือยฟันไฟเบอร์ โดยกลุ่ม “NA” (No activator) จะทาสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลจนทั่วเดือยฟันและเป่าลมจนสารยึดติดไม่เคลื่อนไหว ส่วนกลุ่ม “A” (Activator) ทาสารยึดติดเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลที่ผสมเคลียร์ฟิลดีซีแอคทีเวเตอร์ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 แล้วเป่าลมจนสารยึดติดไม่เคลื่อนไหว จากนั้นนำเดือยฟันไฟเบอร์มายึดติดกับวัสดุท่อแกนฟันบนแท่นสำหรับสร้างตัวอย่างทดลอง โดยนำเดือยฟันที่เตรียมพื้นผิวแล้ววางลงในตำแหน่งที่กำหนดแล้วสวมทับด้วยท่ออะคริลิกใส ฉีดเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสให้เต็มท่ออะคริลิก บังแสงทางด้านข้างเพื่อจำลองสภาวะไม่มีแสงเสมือนคลองรากฟัน ฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงแอลอีดี (Elipar, 3M) โดยวางปลายท่อนำแสงชิดกับหน้าตัดของท่ออะคริลิก ฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที นำตัวอย่างทดลองที่ได้ไปทดสอบความแข็งแรงพันธะกุดออกทันทีสำหรับกลุ่ม “NAI” และ “AI” ส่วนตัวอย่างทดลองกลุ่ม “NAD” และ “AD” จะนำไปแช่น้ำปราศจากไอออน (deionized water) และเข้าตู้บ่ม (incubator) อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสที่ไม่มีแสงเข้า เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำมาทดสอบความแข็งแรงพันธะกุดออก



ภาพประกอบที่ 2 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของตัวอย่างทดลองบนแท่นสร้างตัวอย่างทดลอง

ตัวอย่างทดลองจะถูกตัดแบ่งด้วยเครื่องไอโซเมต (Isomet 1000, Buehler, USA) ให้แต่ละชิ้นมีความหนา 1.5 ± 0.1 มิลลิเมตร วัดความหนาของชิ้นทดสอบด้วยดิจิตอลคาลิเปอร์ โดยจะไม่ใช่ส่วนบนสุดและล่างสุดของตัวอย่างทดลอง (เดือยฟันไฟเบอร์ 1 ชิ้นจะได้ชิ้นทดสอบจำนวน 6 ชิ้น แต่ละกลุ่มใช้เดือยฟันไฟเบอร์ 6 ชิ้น ดังนั้น แต่ละกลุ่มจะมีชิ้นทดสอบ 36 ชิ้น รวมทั้งหมด 144 ชิ้นทดสอบจาก 4 กลุ่มการทดลอง) จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาวางบนแท่นสำหรับกดยื่นงานของเครื่องทดสอบสากล (EZ-LX, Universal testing machine, Shimadzu, Japan) ใช้หัวกดทรงกระบอกปลายตัด (cylindrical stainless steel plunger) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าหน้าตัดของเดือยฟัน ตั้งปลายหัวกดใกล้บริเวณหน้าตัดเดือยฟันโดยไม่ให้โดนส่วนวัสดุท่อแกนฟัน ใช้ความเร็วหัวกด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที กดจนเดือยฟันหลุดออกจากวัสดุท่อแกนฟัน แล้วจดค่าแรง ณ จุดที่ยึดติดล้มเหลว บันทึกค่าในหน่วย นิวตัน (Newton)



ภาพประกอบที่ 3 ชิ้นทดสอบที่ถูกทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล

นำค่าแรงในหน่วยนิวตันมาหารด้วยพื้นที่ที่ถูกยึดติดหน่วยตารางมิลลิเมตร 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, Abd El-Ghani, & Mandour, 2015) ในการวิเคราะห์ทางสถิติชิ้นทดสอบที่มาจากระดับ 1 2 จะถูกจัดเป็นกลุ่มย่อย Coronal third ชิ้นทดสอบที่มาจากระดับ 3 4 เป็น กลุ่มย่อย Middle third และชิ้นทดสอบที่มาจากระดับ 5 6 เป็นกลุ่มย่อย Apical third วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำค่าความแข็งแรงพันธะกดออกมาคำนวณด้วยโปรแกรม IBM® SPSS® Statistics 20 โดยกำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยการทดสอบทูกีย์ (Tukey's Honestly Significance Difference) และดูลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดด้วยตาเปล่าร่วมกับการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) และสุมชิ้นทดสอบที่เป็นตัวแทนของความล้มเหลวแต่ละประเภทมาส่งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) โดยจำแนกประเภทของความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด ดังนี้

ประเภทที่ 1 Cohesive failure ของเดือยฟันหรือวัสดุก่อกันฟัน

ประเภทที่ 2 Mixed failure คือ Adhesive failure ที่พบร่วมกับ Cohesive failure ของเดือยฟันหรือวัสดุก่อกันฟัน

ประเภทที่ 3 Adhesive failure ระหว่างเดือยฟันและวัสดุก่อกันฟัน

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวพบว่า มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ค่า p-value เท่ากับ .000 โดยปัจจัยการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วมกับระยะเวลาขณะทดสอบ และปัจจัยระดับที่มาของชิ้นทดสอบ (subgroup) ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะกดออกอย่างมีนัยสำคัญ ($p=.000$) โดยพบว่าในทุกกลุ่มชิ้นทดสอบที่มาจาก subgroup Coronal third จะมีค่าความแข็งแรงพันธะกดออกสูงที่สุดเสมอ และต่างจากชิ้นทดสอบที่มาจาก subgroup Middle third และ Apical third

โดยขึ้นทดสอบจาก subgroup Middle third และ Apical third จะมีค่าความแข็งแรงพันธะกดออกไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (post hoc test) โดยแยกตาม subgroup และแสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่าในทุกระดับที่มาของขึ้นทดสอบ เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาทดสอบเดียวกันและเทียบระหว่างการใช้หรือไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ (กลุ่ม NAI เทียบกับกลุ่ม AI และกลุ่ม NAD เทียบกับกลุ่ม AD) ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกไม่ต่างกัน ดังนั้นการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกในทุกระดับของขึ้นทดสอบ ทั้งช่วงเวลาทันทีภายหลังการยึดติดและ 24 ชั่วโมงภายหลังการยึดติด และเมื่อพิจารณากลุ่มที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบที่ระยะเวลาทดสอบต่างกัน (กลุ่ม NAI เทียบกับกลุ่ม NAD และกลุ่ม AI เทียบกับกลุ่ม AD) พบว่าในทุกระดับที่มาของขึ้นทดสอบ กลุ่มที่ทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออกทันทีจะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกต่ำกว่าและต่างจากกลุ่มที่ทดสอบความแข็งแรงพันธะกดออกภายหลังการยึดติด 24 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงทั้งกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบสามารถมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกเพิ่มขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญจากเวลาที่มากขึ้น โดยไม่สัมพันธ์กับการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

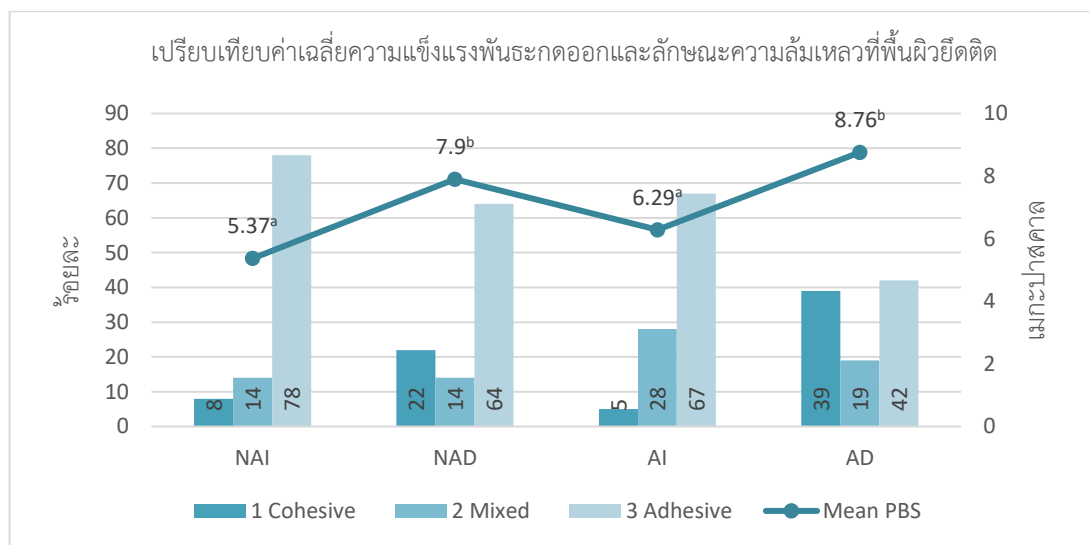
ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออก (เมกะปาสคาล) $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

กลุ่ม	Coronal third (n=12)	Middle third (n=12)	Apical third (n=12)	Total (n=36)
NAI	6.53 $\pm$ 1.78 aA	4.99 $\pm$ 0.79 aB	4.60 $\pm$ 1.29 aB	5.37 $\pm$ 1.56 a
NAD	9.77 $\pm$ 1.41 bcA	7.20 $\pm$ 1.57 bB	6.73 $\pm$ 1.82 bcB	7.90 $\pm$ 2.07 b
AI	8.07 $\pm$ 1.64 abA	5.64 $\pm$ 0.88 aB	5.17 $\pm$ 1.03 abB	6.29 $\pm$ 1.75 a
AD	9.85 $\pm$ 1.45 cA	8.30 $\pm$ 1.14 bB	8.14 $\pm$ 1.47 cB	8.76 $\pm$ 1.53 b
Total (n=48)	8.55 $\pm$ 2.06 A	6.53 $\pm$ 1.71 B	6.16 $\pm$ 1.97 B	

a, b, c ตัวอักษรเหมือนกันในแนวตั้ง และ A, B ตัวอักษรเหมือนกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างกลุ่มการทดลอง จำนวนขึ้นทดสอบจำแนกตามลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท แสดงดังตารางที่ 2 และร้อยละของลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกของแต่ละกลุ่ม แสดงดังภาพประกอบที่ 4

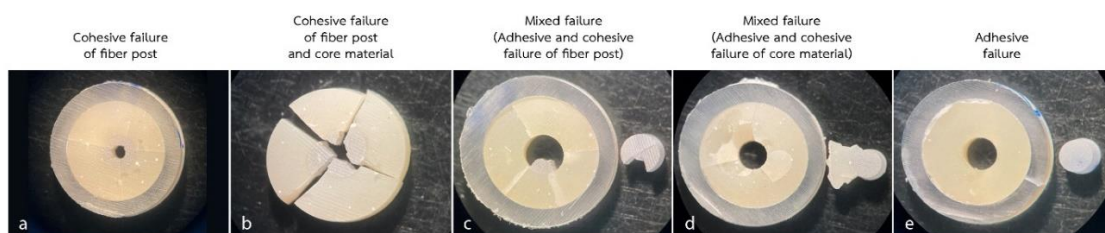
ตารางที่ 2 แสดงจำนวนชิ้นทดสอบที่พบลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด 3 ประเภท

กลุ่ม	NAI	NAD	AI	AD
ลักษณะความล้มเหลว				
Cohesive failure	3	8	2	14
Mixed failure	5	5	10	7
Adhesive failure	28	23	24	15
จำนวนชิ้นรวม	36	36	36	36

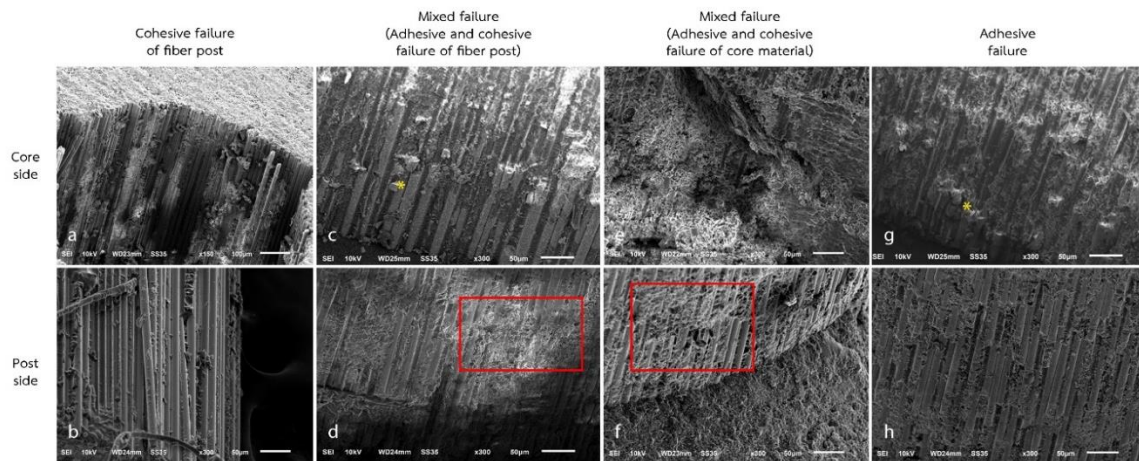


ภาพประกอบที่ 4 แผนภูมิเส้นแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกของแต่ละกลุ่ม และแผนภูมิแท่งแสดงร้อยละของลักษณะความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด

เมื่อนำค่าความแข็งแรงพันธะกุดอกมาเปรียบเทียบเพื่อหาความสัมพันธ์กับลักษณะการเกิดความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด จะเห็นได้ว่ากลุ่ม AD ที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกสูงจะมีแนวโน้มเกิด Cohesive failure และ Mixed failure สูงกว่ากลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกต่ำกว่า ซึ่งกลุ่ม NAI ที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดอกต่ำกว่า มีแนวโน้มเกิด Adhesive failure สูงกว่า



ภาพประกอบที่ 5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดแบบต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติด กำลังขยาย 300 เท่า (ยกเว้นภาพ b กำลังขยาย 150 เท่า) (*แสดงชิ้นส่วนเดือยฟันไฟเบอร์ และภายในกรอบสีแดง แสดงเศษของสารยึดติด)

สรุปและอภิปรายผล

การใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่มีผลต่อค่าความแข็งแรงพันธะกุดออก ระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อแกนฟันในทุกระดับของชั้นทดสอบ ทั้งช่วงเวลาทันทีภายหลังการยึดติดและเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง โดยทั้งกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบสามารถมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกเพิ่มขึ้นได้จากเวลาที่มากขึ้น โดยไม่สัมพันธ์กับการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ ในแง่ความล้มเหลวที่พื้นผิวยึดติดพบว่ากลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกสูง มีแนวโน้มจะเกิด Adhesive failure น้อย และพบ Mixed failure หรือ Cohesive failure มากกว่ากลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกต่ำ สอดคล้องกับกลุ่มที่ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกุดออกต่ำจะเกิด Adhesive failure ได้มากกว่า และพบ Mixed failure หรือ Cohesive failure น้อยกว่า โดยการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ อาจมีแนวโน้มทำให้ Adhesive failure เกิดขึ้นน้อยลง เมื่อเทียบระหว่างกลุ่ม NAI กับ AI และกลุ่ม NAD กับ AD

ผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ซึ่งอาจหมายความว่า การบ่มตัวจากการสัมผัสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาของ Dimitriadi et al. (2021) และ Dwiandhany et al. (2021) ได้ทำการศึกษาเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์พลัส (CLEARFIL™ S3 Bond Plus) และเคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์ควิก (CLEARFIL™ Universal Bond Quick) เมื่อใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส โดยมีการกล่าวว่าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์พลัสและเคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์ควิกได้ถูกผสมสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมที่มีอยู่ในสาร

กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาในสารยึดติดแล้ว โดยในเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์พลัสจะมีการผสมเกลือเอริลซิลฟิเนต ในขณะที่เคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์คิวิกไม่พบการระบุว่าเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมใด โดยผสมเพื่อให้สามารถใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสแล้วเกิดการบ่มตัวจากการสัมผัสโดยไม่ต้องอาศัยสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบที่เป็นขวดแยก ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่บริษัทผู้ผลิตแจ้งว่าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลสามารถบ่มตัวจากการสัมผัสร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส ทั้งนี้ ไม่ปรากฏว่ามีการเปิดเผยถึงองค์ประกอบที่เป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมหรือสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบอย่างเป็นทางการจากบริษัทผู้ผลิต ทั้งในเคลียร์ฟิลไตร เอสบอนด์พลัส เคลียร์ฟิลยูนิเวอร์แซลบอนด์คิวิกและเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซล อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าสารตั้งต้นปฏิกิริยาร่วมในเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ก็คือเกลือเอริลซิลฟิเนตเช่นกัน (Dwiandhany et al., 2021; Keiichi et al., 2019) และจากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ทำให้เห็นแนวโน้มว่าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลน่าจะได้รับการเติมสารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบมาในสัดส่วนที่เพียงพอต่อการใช้งานและสามารถเกิดการบ่มตัวจากการสัมผัส ทำให้สามารถใช้งานร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสได้โดยไม่มี ความแตกต่างของการใช้หรือไม่ใช้เคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์

ปัญหาความไม่เข้ากันทางเคมีสามารถเกิดขึ้นระหว่างมอนอเมอร์ที่เป็นกรดในสารยึดติดลดขั้นตอนกับเอมีนตติยภูมิที่อยู่ในวัสดุก่อนแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้คือความไม่เข้ากันระหว่างเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลและวัสดุก่อนแกนฟันเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัส โดยวัสดุก่อนแกนฟันชนิดบ่มตัวสองแบบมักมีเอมีนตติยภูมิเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการสร้างอนุมูลอิสระสำหรับการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน ซึ่งเอมีนไม่สามารถทำงานได้เต็มที่เมื่อสัมผัสกับความเป็นกรด โดยการศึกษาของ Aksornmuang, Foxton, Nakajima, and Tagami (2004) แสดงองค์ประกอบที่เป็นเอมีนในเคลียร์ฟิลดีซีคอร์ คือ N, N-Diethanol p-toluidine อย่างไรก็ตาม ไม่ปรากฏเอกสารที่เปิดเผยปริมาณของเอมีนตติยภูมิในเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสอย่างเป็นทางการจากบริษัทผู้ผลิตหรือการศึกษาใด ซึ่งถ้าเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลมีการเติมเกลือเอริลซิลฟิเนตมาแล้วจริงดังที่ได้กล่าวไป ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเคลียร์ฟิลดีซีแอคทิเวเตอร์ ปัญหาความไม่เข้ากันทางเคมีนี้อาจได้รับการปรับปรุงจากบริษัทผู้ผลิตมาแล้ว ซึ่ง Rathke et al. (2012) แนะนำให้ทันตแพทย์เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มาจากบริษัทผู้ผลิตเดียวกันเสมอ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดหากผลิตภัณฑ์มีสมบัติของการบ่มตัวจากการสัมผัส นอกจากนี้ควรตระหนักว่าวัสดุที่มีสมบัติบ่มตัวสองแบบไม่ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุที่บ่มตัวด้วยกลไกเดียว ผู้ปฏิบัติจึงควรทราบวิธีที่จะทำให้ค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์สูงที่สุด และคำนึงถึงข้อดี ข้อเสีย ข้อจำกัดของวัสดุแต่ละชนิดเสมอเวลาที่เลือกใช้งาน โดยการศึกษาเพียงแง่มุมใดแง่มุมหนึ่งไม่สามารถรับรองถึงผลสำเร็จทางคลินิกได้ จึงควรมีศึกษาเพิ่มเติมและทำให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงทางคลินิกมากขึ้นซึ่งส่วนนี้ถือเป็นข้อจำกัดของการวิจัยในครั้งนี้ เช่น ทำการทดลองในฟันธรรมชาติ มีกระบวนการ Aging ที่ยาวนานขึ้นหรือมีกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมากขึ้น ส่วนการศึกษานี้ใช้จำนวนตัวอย่างอ้างอิงจากงานของ Kurt, Güler, Duran, Uludamar, and İnan (2012) ซึ่งมี 6 กลุ่มการทดลอง ใช้เดือยฟันกลุ่มละ 3 ชิ้น เดือยฟัน 1 ชิ้น

ตัดแบ่งเป็น 4 ชั้นทดสอบ แต่ละกลุ่มจึงมีชั้นทดสอบ 12 ชั้น รวมทั้งหมด 72 ชั้นทดสอบ และงานของ Al-Assar et al. (2015) มี 6 กลุ่มการทดลอง ใช้เดือยฟันกลุ่มละ 8 ชั้น เดือยฟัน 1 ชั้นตัดแบ่งเป็น 3 ชั้นทดสอบ แต่ละกลุ่มจึงมีชั้นทดสอบ 24 ชั้น รวมทั้งหมด 144 ชั้นทดสอบ โดยการศึกษาในอนาคตอาจขยายไปยังวัสดุที่มีในท้องตลาดให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น หรือศึกษาค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์

ทั้งนี้การใช้วัสดุที่มีการบ่มตัวสองแบบยังคงต้องมีการฉายแสงที่เพียงพอร่วมด้วยเสมอ เพราะแสงจะเป็นสิ่งที่กระตุ้นให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันได้สมบูรณ์ที่สุด โดยการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันแค่จากปฏิกิริยาเคมีนั้นไม่เพียงพอ (Arrais et al., 2009; Cavalcanti et al., 2008; Rathke et al., 2012) เนื่องจากเกิดขึ้นได้ช้า และเกิดพอลิเมอร์ได้ไม่ดีเท่าการถูกกระตุ้นด้วยแสง ส่งผลให้วัสดุเรซินมีความแข็งต่ำและมีการละลายตัวสูง (Arrais, Giannini, Rueggeberg, & Pashley, 2007) สอดคล้องกับการศึกษาในที่พบว่าชั้นทดสอบที่มาจากกลุ่มย่อย Coronal third จะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงพันธะกดออกสูงกว่าชั้นทดสอบที่มาจากกลุ่มย่อย Middle third และกลุ่มย่อย Apical third ซึ่งได้รับการกระตุ้นด้วยแสงน้อยกว่าเสมอ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้สนับสนุนว่าการบ่มตัวจากการสัมผัสของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย คือ การใช้สารยึดติดยูนิเวอร์แซลแอตชีฟเคลียร์ฟิลไตรเอสบอนด์ยูนิเวอร์แซลเป็นสารยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์และวัสดุก่อกันฟันชนิดบ่มตัวสองแบบเคลียร์ฟิลดีซีคอร์พลัสสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบร่วม และการใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างเดือยฟันไฟเบอร์กับวัสดุก่อกันฟันเมื่อพิจารณาจากค่าความแข็งแรงพันธะกดออก โดยค่าความแข็งแรงพันธะกดออกสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเวลาภายหลังการยึดติดมากขึ้นทั้งกลุ่มที่ใช้และไม่ใช้สารกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาบ่มตัวสองแบบ

เอกสารอ้างอิง

- Aksornmuang, J., Foxton, R. M., Nakajima, M., & Tagami, J. (2004). Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *Journal of Dentistry*, 32(6), 443-450.
- Al-Assar, R. M. A., Abd El-Ghani, O. S., & Mandour, M. H. (2015). Effect of relining, cement type, and thermocycling on push-out bond strength of fiber reinforced posts. *Future Dental Journal*, 1(1), 13-22.
- Araoka, D., Hosaka, K., Nakajima, M., Foxton, R., Thanatvarakorn, O., Prasansuttiorn, T., . . . Tagami, J. (2018). 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*, 37(3), 506-514.



- Arrais, C. A. G., Giannini, M., & Rueggeberg, F. A. (2009). Effect of sodium sulfinate salts on the polymerization characteristics of dual-cured resin cement systems exposed to attenuated light-activation. *Journal of Dentistry*, 37(3), 219-227.
- Arrais, C. A. G., Giannini, M., Rueggeberg, F. A., & Pashley, D. H. (2007). Microtensile bond strength of dual-polymerizing cementing systems to dentin using different polymerizing modes. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 97(2), 99-106.
- Cavalcanti, S. C., de Oliveira, M. T., Arrais, C. A., & Giannini, M. (2008). 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*, 33(6), 682-689.
- Dimitriadi, M., Petropoulou, A., Masouras, K., Zafiropoulou, M., Zinelis, S., & Eliades, G. (2021). The Effect of Touch-Cure Polymerization on the Conversion and Hardness of Core Build-Up Resin Composites: A Laboratory Study. *Materials*, 14(20), 6025.
- Dwiandhany, W., Abdou, A., Tichy, A., Yonekura, K., Ikeda, M., Hosaka, K., . . . Nakajima, M. (2021). 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*.
- Kadowaki, Y., Kakuda, S., Kawano, S., Katsumata, A., Ting, S., Hoshika, S., . . . Sano, H. (2016). Bond performance of "Touch and Cure" adhesives on resin core systems. *Dental Materials*, 35(3), 386-391.
- Kawano, S., Fu, J., Saikaew, P., Chowdhury, A. A., Fukuzawa, N., Kadowaki, Y., . . . Sano, H. (2015). Microtensile bond strength of a newly developed resin cement to dentin. *Dental Materials*, 34(1), 61-69.
- Keiichi, H., Kazuhide, Y., Keita, T., Antonin, T., Yusuke, K., Daiki, N., . . . Junji, T. (2019). 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*, 62(1), 39-46.
- Kurt, M., Güler, A. U., Duran, İ., Uludamar, A., & İnan, Ö. (2012). 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*, 7(1), 20-25.



- Malaquias, P., Gutiérrez, M. F., Sutil, E., Matos, T. d. P., Hanzen, T. A., Reis, A., . . . Loguercio, A. D. (2020). Universal adhesives and dual-cured core buildup composite material: adhesive properties. *Journal of applied oral science*, 28.
- Meda, E. M., Rached, R. N., Ignácio, S. A., Fornazari, I. A., & Souza, E. M. (2019). Effect of Different Adhesive Strategies and Time on Microtensile Bond Strength of a CAD/CAM Composite to Dentin. *Operative dentistry*, 44(3), 262-272.
- Michaud, P.-L., & MacKenzie, A. (2016). Compatibility between dental adhesive systems and dual-polymerizing composite resins. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 116.
- Nunes, T. G., Erhardt, M. C., Toledano, M., & Osorio, R. (2009). One-step self-etching adhesive polymerization: influence of a self-curing activator. *Journal of Dentistry*, 37(8), 616-621.
- Pashley, D. H., Tay, F. R., Breschi, L., Tjäderhane, L., Carvalho, R. M., Carrilho, M., & Tezvergil-Mutluay, A. (2011). State of the art etch-and-rinse adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 1-16.
- Perdigao, J. (2016). Restoration of root canal-treated teeth. In (pp. 128, 137-144, 185): Springer.
- Rathke, A., Balz, U., Muche, R., & Haller, B. (2012). Effects of self-curing activator and curing protocol on the bond strength of composite core buildups. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 14(1), 39-46.
- Van Landuyt, K. L., Snauwaert, J., De Munck, J., Peumans, M., Yoshida, Y., Poitevin, A., . . . Van Meerbeek, B. (2007). Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials*, 28(26), 3757-3785.
- Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Yoshida, Y., Mine, A., De Munck, J., & Van Landuyt, K. L. (2011). State of the art of self-etch adhesives. *Dental Materials*, 27(1), 17-28.