

Self-Adhesive Resin Cements

Awiruth Klaisiri¹ and Nantawan Krajangta¹

¹Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, Thammasat University, Khlong Luang, Pathumthani, Thailand

Correspondence to:

Awiruth Klaisiri. Faculty of Dentistry, Thammasat University, 99, Moo 18, Khlong 1, Khlong Luang, Pathumthani 12121 Thailand Tel: 02-9869213 Fax: 02-9869205 E-mail: Dentton@hotmail.com

Abstract

A self-adhesive resin cement system is produced for clinical use for the purpose of permanently luting indirect restoration onto abutment. This cement system essentially does not require any phosphoric etching or primer applying step in order to make a convenience and a simplified procedure. This leads to a wide use of self-adhesive resin cements in dental clinic. In principal, this resin cement is an acidic functional monomer-containing luting system. The acidic derivative, hydrophilic part, could modify tooth surface along with penetration into partially decalcified dentin and then chemically interact with residual hydroxyapatite. In addition, functional monomer also contains the unsaturated c=c, hydrophobic part, which could be polymerized to form a polymer network. Therefore, the bond strength may result from both of micro-mechanical interlocking and chemical bonding. One of the advantages of selfadhesive resin cement is no chemical agents for pretreatment on tooth surface prior to cementation with resin cement thereby minimizing the technique sensitivity and thus the risk of making errors when using acid etch and rinse system. However, the bond strength of self-adhesive resin cements is lower than those etch and rinse, and self-etch systems but it is more biocompatible than other resin cement systems.

Key words: Bond strength; Resin cement; Self-adhesive resin cements

Received Date: Sept 9, 2014, Accepted Date: Oct 22, 2014

เซล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

อวิรุทธ์ คล้ายศิริ¹ และนันทวรรณ กระจ่างตา¹

¹ สาขาวิชาทันตกรรมทันตการ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

อวิรุทธ์ คล้ายศิริ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 หมู่ 18 ต. คลองหนึ่ง อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121 โทรศัพท์: 02-9869213

โทรสาร: 02-9869205 อีเมล: Dentton@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบเซลล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ถูกผลิตขึ้นสำหรับใช้งานในคลินิกทันตกรรมเพื่อเป็นสารยึดชิ้นงานบูรณะเข้ากับพื้นหลักแบบถาวร เรซินซีเมนต์ระบบนี้ไม่ต้องทำการปรับสภาพผิวฟันหลักด้วยกรดฟอสฟอริก หรือการทำด้วยสารไพรเมอร์ที่มีความเป็นกรด เพื่อให้เกิดความสะอาด และใช้งานง่าย ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้มีการใช้เซลล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ในคลินิกทันตกรรมอย่างกว้างขวาง หลักการของเรซินซีเมนต์ระบบนี้คือ การใช้มอนอเมอร์ที่หมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดที่สามารถปรับสภาพผิวฟันพร้อมกับการแทรกซึมไปตามผิวฟันที่ถูกละลายแร่ธาตุพร้อมกับเกิดพันธะเคมีกับผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ยังหลงเหลืออยู่ นอกจากนี้ มอนอเมอร์ยังประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่ไม่ชอบน้ำซึ่งมีพันธะไม่อิ่มตัวระหว่างธาตุคาร์บอนกับคาร์บอน ซึ่งจะเกิดพอลิเมอร์ระหว่างมอนอเมอร์เป็นโครงข่ายร่างแหตามมามา ดังนั้น กำลังแรงยึดกับผิวฟันอาจเป็นผลจากการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค และด้วยพันธะเคมี ข้อดีประการหนึ่งของเซลล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์คือ สามารถใช้ยึดชิ้นงานกับผิวฟันได้เลย โดยไม่ต้องมีการเตรียมผิวฟันด้วยสารเคมีใด ๆ ก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ จึงทำให้ลดความเสี่ยง และข้อผิดพลาดที่เกิดจากการปรับสภาพผิวเนื้อฟันได้ โดยเฉพาะกรณีที่ใช้ระบบกรดกัดแล้วล้างน้ำออก อย่างไรก็ตาม กำลังแรงยึดของเซลล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยังคงด้อยกว่าเรซินซีเมนต์ระบบเอนด์รินส์ และระบบเซลล์เอทซ์ แต่เซลล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์มีความเข้ากันทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อฟันได้ดีกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ

คำสำคัญ: กำลังแรงยึด; เรซินซีเมนต์; เซลล์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์

งานบูรณะฟันด้วยชิ้นงานที่ผลิตจากห้องปฏิบัติการ (indirect restoration) เช่น ครอปฟัน (crown) สะพานฟัน (bridge) วีเนียร์ (veneer) อินเลย์ (inlay) ออนเลย์ (onlay) ที่ทำจากวัสดุเรซินคอมโพสิต (resin composite) เซรามิก (ceramic) หรือโลหะเจือ (metal alloys) ต่าง ๆ เหล่านี้ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จ ได้แก่ การยึดติดระหว่างชิ้นงานกับเนื้อเยื่อฟันด้วยซีเมนต์ โดยซีเมนต์ทางทันตกรรมที่ใช้เป็นกาวยึด (luting) สามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่คือ ซิงก์ฟอสเฟตซีเมนต์ (zinc phosphate cement) โพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์ (polycarboxylate cement) กلاسส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cement) กلاسส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ชนิดดัดแปรด้วยเรซิน (resin modified glass ionomer cement) และเรซินซีเมนต์ (resin cement) แม้ว่าซีเมนต์ทั้ง 5 กลุ่มนี้ จะมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง และมีสมบัติที่โดดเด่นเฉพาะตัว แต่ก็ยังไม่มีซีเมนต์กลุ่มใดที่สามารถใช้ได้กับชิ้นงานบูรณะทุกชนิด

ในปัจจุบันเรซินซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีบทบาทสำคัญ และนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการยึดชิ้นงานที่ผลิตจากห้องปฏิบัติการให้ติดกับตัวฟัน¹ เนื่องจากสมบัติเด่นคือ ความแข็งแรง การละลายตัวต่ำ การเกิดการรั่วซึมระหว่างรอยต่อของวัสดุกับตัวฟันต่ำ ยึดติดด้วยพันธะเคมีทั้งที่พื้นหลัก และชิ้นงาน และมีความสวยงามสูง แต่ข้อด้อยของเรซินซีเมนต์คือ วิธีการใช้งานที่ยุ่งยาก ไวต่อความชื้นสูง กาวจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกยาก และมีราคาแพงเมื่อเทียบกับซีเมนต์กลุ่มอื่น ๆ²⁻⁶

เรซินซีเมนต์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบ ตามวิธีการเตรียมผิวฟัน⁷ ระบบแรกคือ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบการยึดติดที่เตรียมผิวฟันโดยใช้กรดทาแล้วล้างออก (resin cement with etch and rinse adhesive system) ระบบนี้เตรียมผิวฟันด้วยกรด ทั่วไปนิยมใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30 - 40 เป็นเวลา 15 วินาที โดยกรดจะไปละลายแร่ธาตุในชั้นเคลือบฟันและกำจัดชั้นสเมียร์ ทำให้เกิดความขรุขระในระดับจุลภาค และเพิ่มพลังงานพื้นผิว เมื่อทาด้วยสารยึดติดจะเกิดการแทรกซึมไปตามรูพรุนเล็ก ๆ เกิดเป็นเรซินแท็ก ส่วนในเนื้อฟันกรดจะไปละลายแร่ธาตุ กำจัดชั้นสเมียร์ ทำให้เกิดการเผยของเส้นใยคอลลาเจน และท่อเนื้อฟันเปิดออก แต่พลังงานพื้นผิวลดลง จึงต้องทาสารไพรเมอร์เพื่อปรับสภาพเส้นใยคอลลาเจน และเพิ่มพลังงานพื้นผิว ส่งผลต่อการเพิ่มความสามารถในการไหลผ่านพื้นผิวเนื้อฟัน ดังนั้น เมื่อทาสารยึดติดจะเกิดการแทรกซึมไปตามช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน จากนั้นเกิดพอลิเมอร์และกลายเป็นชั้นไฮบริดในที่สุด เรซินซีเมนต์ระบบนี้มีข้อดีคือ ให้แรง

ยึดกับโครงสร้างของฟันที่สูง แต่มีข้อด้อยคือ มีการใช้งานที่ยุ่งยากหลายขั้นตอน ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ระบบนี้ ได้แก่ ซุปเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Superbond C&B[®], Sun medical) วาไรโอลิงค์ทู (Variolink II[®], Ivoclar vivadent) เป็นต้น ระบบที่สองคือ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับระบบการยึดติดแบบเซลฟ์เอทช์ (resin cement with self-etch adhesive system) ระบบนี้มีขั้นตอนการใช้งานที่ง่ายขึ้น โดยรวมกรด และไพรเมอร์ หรือรวมกรด ไพรเมอร์ และสารยึดติดเข้าด้วยกัน ไม่มีการกำจัดชั้นสเมียร์ มีเพียงการละลายแร่ธาตุ และปรับชั้นสเมียร์ให้เหมาะต่อการยึดติด เรซินซีเมนต์ระบบนี้มีข้อดีคือ ลดขั้นตอนการทำงาน ลดการเสียวฟันหลังการบูรณะ แต่มีข้อด้อยคือ ให้แรงยึดที่ต่ำกว่าซีเมนต์ระบบแรก ที่กล่าวมา ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ระบบนี้ ได้แก่ ปานาเวียเอฟ (Panavia F[®], Kuraray) มัลติลิงค์ออโตมิคซ์ (Multilink automix[®], Ivoclar vivadent) เป็นต้น จนกระทั่งในปี ค.ศ. 2002⁸ ได้มีเรซินซีเมนต์ที่มีการยึดติดแบบเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟ (resin cement with self-adhesive system) หรือ เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ (self-adhesive resin cement) ซึ่งจัดเป็นระบบที่สามารถออกวางจำหน่าย

เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ เป็นการรวมสมบัติการปรับสภาพผิวด้วยกรด และการแทรกซึมของเรซินเข้าด้วยกัน และยังเป็น การรวมสมบัติของซีเมนต์กลุ่มดั้งเดิม และกลุ่มเรซินซีเมนต์ที่ใช้งานง่ายไม่ต้องเตรียมผิวฟัน และสามารถเกิดพอลิเมอร์ได้อีกด้วย⁹ วัตถุประสงค์ของซีเมนต์ระบบนี้เพื่อลดขั้นตอนการทำงาน^{1,9} สร้างกลไกการยึดติดเกิดทั้งเชิงกลระดับจุลภาค (micro-mechanical bonding) จากมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidic monomer) เพื่อละลายแร่ธาตุ ปรับสภาพ และยึดติดไปพร้อม ๆ กัน โดยเชื่อว่าสามารถเกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมี (chemical bonding) ระหว่างมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน (functional group) กับไฮดรอกซีอะพาไทต์ เนื่องจากเรซินซีเมนต์ระบบนี้ชั้นสเมียร์ไม่ได้ถูกกำจัดออก ไม่มีการเปิดของท่อเนื้อฟัน ไม่เกิดการเสียวฟัน^{1,10,11} จึงทำให้เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ถูกใช้งานอย่างกว้างขวาง และเป็นที่นิยมมากขึ้น¹ แต่อย่างไรก็ตาม เรซินซีเมนต์ไวต่อความชื้นสูง จึงต้องควบคุมความชื้นให้ระหว่างการใช้งาน ตัวอย่างเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ เช่น รีไลเอ็กซ์ยูนิเซ็ม (RelyX Unicem[®], 3M ESPE) แม็กเซ็ม (Maxcem[®], Kerr) บิสเซ็ม (Biscem[®], Bisco) มัลติลิงค์ สปลินท์ (Multilink splint[®], Ivoclar vivadent) จีเซ็ม (G-Cem[®], GC) เป็นต้น

ปัจจุบันมีเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์หลายผลิตภัณฑ์ และเริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น ดังนั้น การศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของเรซินซีเมนต์ระบบนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้เกิดความเข้าใจ และนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้องสำหรับยึดชิ้นงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยบทความปริทัศน์นี้จะกล่าวถึงสมบัติต่าง ๆ ของเซลฟ์แอ็ด-

อีซีพีเรซินซีเมนต์ ดังนี้

1. สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

สมบัติเชิงกลของเรซินซีเมนต์คือ สมบัติที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับพฤติกรรมของเรซินซีเมนต์ที่บ่มตัวแล้วภายใต้แรงที่มากระทำ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เมื่อมีแรงจากภายนอกกระทำที่เรซินซีเมนต์แล้ว วัสดุนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์แต่ละผลิตภัณฑ์มีสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของวัสดุ และประสิทธิภาพของการเกิดพอลิเมอร์ ตัวอย่างเช่น เรซินซีเมนต์ที่มีวัสดุอัดแทรกปริมาณสูง จะมีสมบัติเด่นด้านความทนแรงอัด การสึก ส่วนประสิทธิภาพของการเกิดพอลิเมอร์จะส่งผลต่อกำลังแรงดึง กำลังแรงเฉือน และยังเกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ อีกด้วย อาทิเช่น การดูดน้ำ และการละลายตัวในน้ำ เป็นต้น

1.1 ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of conversion)

ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์คือ จำนวนของพันธะคู่ระหว่างธาตุคาร์บอน (C=C) ที่เปลี่ยนเป็นพันธะเดี่ยว (C-C) ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดพอลิเมอร์ โดยเรซินซีเมนต์ที่ก่อตัวด้วยปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ที่สูงจะส่งผลให้ซีเมนต์มีสมบัติบางประการที่ดี ขณะที่การเกิดพอลิเมอร์ที่ไม่สมบูรณ์ มักมีมอนอเมอร์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหลงเหลืออยู่เป็นปริมาณมาก และส่งผลให้ซีเมนต์มีสมบัติที่ด้อยลง Kumbuloglu และคณะ¹² ศึกษาปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ 4 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ รีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม รีไลเอ็กซ์เออาร์ซี วาโรลิงค์ทู และพานาเวียเอฟ พบว่า ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ของรีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม มีค่าต่ำที่สุด โดยถ้าปล่อยให้มีการบ่มตัวเอง (self-curing) เพียงอย่างเดียวจะมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์เพียงร้อยละ 26 แต่ถ้ากระตุ้นด้วยแสง และปล่อยให้มีการบ่มร่วม (dual-curing) ปริมาณการเกิดพอลิเมอร์จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 56 ในขณะที่เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มีค่าปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ร้อยละ 55 - 61 เมื่อปล่อยให้บ่มตัวเองเพียงอย่างเดียว และเพิ่มเป็นร้อยละ 64 - 81 เมื่อมีการกระตุ้นจากแสงร่วมด้วย

1.2 ความทนแรงอัด (Compressive strength) และ กำลังดัดขวาง (Flexural strength)

ความทนแรงอัด และกำลังดัดขวาง เป็นการบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุ โดยความแข็งแรงของเรซินซีเมนต์สามารถทำนายความสำเร็จ และอายุการใช้งานทางคลินิก เพราะค่าดังกล่าวสัมพันธ์กับการแตกหักในเนื้อซีเมนต์ และการหลุดของชิ้นงาน นอกจากนี้ ความแข็งแรงบอกลักษณะสมบัติของวัสดุในการต้านทานแรงบิดเคี้ยวในช่องปาก Piwowarczyk และคณะ¹³ ศึกษาความทนแรงอัดของเรซินซีเมนต์ 4 ผลิตภัณฑ์ คือ รีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม รีไลเอ็กซ์เออาร์ซี วาโรลิงค์ทู และพานาเวียเอฟ พบว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็มมีความทนแรงอัดประมาณ 198.3 - 240.6 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่า

เรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีความทนแรงอัดอยู่ในช่วง 224.2 - 303.5 เมกะพาสคาล ขณะที่ Kumbuloglu และคณะ¹² รายงานว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็มมีความทนแรงอัดเท่ากับ 145 เมกะพาสคาล ซึ่งสูงกว่าเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีความทนแรงอัดอยู่ระหว่าง 57 - 127 เมกะพาสคาล

ส่วนกำลังดัดขวางของเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ^{12,13} พบว่า กำลังดัดขวางของรีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็มมีกำลังดัดขวางอยู่ในช่วง 49 - 63 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่มีกำลังดัดขวางอยู่ในช่วง 72 - 105.5 เมกะพาสคาล

1.3 การดูดน้ำ และการละลายตัวในน้ำ (Water sorption and solubility)

ปัญหาการดูดน้ำ และการละลายตัวในน้ำของเรซินซีเมนต์เป็นสาเหตุที่ทำให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติเชิงกลที่ด้อยลง Vrochari และคณะ¹⁴ ศึกษาการดูดน้ำ และการละลายตัวในน้ำของเรซินซีเมนต์ 5 ผลิตภัณฑ์ คือ รีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม แม็กซีเอ็ม บิสซีเอ็ม มัลติลิงค์สปลินท์ และมัลติลิงค์ค้อโตมิคซ์ พบว่า แม็กซีเอ็ม และบิสซีเอ็ม ดูดน้ำ และละลายตัวในน้ำมากกว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม มัลติลิงค์สปลินท์ และมัลติลิงค์ค้อโตมิคซ์ จากการศึกษานี้อาจสรุปได้ว่า ถึงแม้จะเป็นเรซินซีเมนต์ระบบเดียวกัน แต่อาจมีพฤติกรรมการดูดน้ำ และการละลายตัวในน้ำที่ต่างกันได้ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเรซินซีเมนต์หลังก่อตัวเข้าสู่ความเป็นกลาง (neutral) ด้วยระยะเวลาที่ต่างกัน เพราะเรซินซีเมนต์ที่เป็นกลางจะดูดน้ำน้อย และละลายตัวในน้ำต่ำ ซึ่งพบว่า แม็กซีเอ็ม และบิสซีเอ็มจะเข้าสู่ความเป็นกลางได้ช้ากว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิซีเอ็ม และมัลติลิงค์สปลินท์

2. การยึดติดกับชั้นเคลือบฟัน (Bonding to enamel layer)

การยึดติดของซีเมนต์กับชั้นเคลือบฟัน สามารถทำนายความสำเร็จ และอายุการใช้งานของวัสดุบูรณะฟันได้ โดยเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ที่มีกำลังแรงยึดที่สูงจะสามารถยึดติดกับชั้นเคลือบฟันได้ดี ทำให้มีความสำเร็จทางคลินิกที่สูง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยกำลังแรงยึดสามารถวัดได้ทั้งแรงยึดเฉือน และแรงยึดดึง มีรายงานถึงวิธีที่ทำให้กำลังแรงยึดของเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์กับชั้นเคลือบฟันสูงขึ้นได้ เช่น การเตรียมผิวของชั้นเคลือบฟันโดยใช้กรดฟอสฟอริก แล้วล้างน้ำออกพร้อมกับเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ หรือใช้กรดฟอสฟอริก แล้วล้างน้ำออก ตามด้วยการทาสารยึดติดร่วมกับการใช้เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ เป็นต้น

2.1 กำลังแรงยึดเฉือน (Shear bond strength) และ กำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค (Microtensile bond strength)

การศึกษากำลังแรงยึดของเรซินซีเมนต์ในชั้นเคลือบฟันมีทั้งกำลังแรงยึดเฉือน¹⁵ และกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค¹⁶ พบว่า

กำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิซึมอยู่ในช่วง 14.5 – 19.6 เมกะพาสคาล^{15,16} ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่มีกำลังแรงยึดในช่วง 17.8 – 49.3 เมกะพาสคาล^{15, 16} แต่รีไลเอ็กซ์ยูนิซึมมีกำลังแรงยึดสูงกว่ากลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่มีกำลังแรงยึดประมาณ 6.1 เมกะพาสคาล¹⁵ และหลังจากการเร่งอายุด้วยการแช่น้ำสลับร้อนเย็น¹⁵ พบว่ารีไลเอ็กซ์ยูนิซึมมีกำลังแรงยึดที่ต่ำลงซึ่งแตกต่างกับเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ แต่กำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิซึมยังคงสูงกว่ากลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ที่ผ่านการเร่งอายุด้วยสภาวะเดียวกัน เนื่องจากกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีระยะเวลาการก่อตัวที่ยาวนาน และช่วงที่ปฏิกิริยากำลังก่อตัวอยู่นั้น ช่วงต้นวัสดุชอบดูดน้ำ ขณะที่ช่วงท้ายอาจมีการสูญเสีย น้ำออกไป หากไม่มีการเคลือบผิวของวัสดุอาจเป็นสาเหตุของค่าแรงยึดที่ต่ำได้¹⁷

2.2 การเตรียมผิวชั้นเคลือบฟัน (Enamel surface treatment)

การเตรียมผิวของชั้นเคลือบฟันโดยใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 35 – 37 โดยปริมาตร แล้วล้างน้ำออกพบว่า ชั้นเคลือบฟันที่ถูกกรดละลายสารอินทรีย์ออกไป จะเกิดการเผยของแท่งเคลือบฟัน (enamel rod) ก่อให้เกิดสภาพที่สนับสนุนการเกิดแรงยึดที่สูงขึ้น มีการศึกษาโดยใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 35 – 37 เตรียมผิวเคลือบฟันก่อนที่จะยัดขึ้นงานด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิซึม^{16,18,19} พบว่า มีกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคสูงขึ้นโดยอยู่ในช่วง 35.2 – 35.6 เมกะพาสคาล ขณะที่ Peumans และคณะ¹⁰ ศึกษาโดยการยัดขึ้นเซรามิกอินเลย์หรือเซรามิกออนเลย์ในผู้ป่วย 31 รายด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิซึม ซึ่งการเตรียมผิวฟันมีทั้งชนิดที่ใช้ และไม่ใช้กรดฟอสฟอริกกัดผิวเคลือบฟันก่อนยัดขึ้นงานด้วยเรซินซีเมนต์พบว่า การกัดหรือไม่กัดผิวเคลือบฟันด้วยกรดไม่มีผลต่อการเสียฟันของผู้ป่วยหลังยัดขึ้นงานไปแล้ว นอกจากนี้ อัตราการคงอยู่ของชิ้นงานสูงถึงร้อยละ 96.6 ภายในระยะเวลา 2 ปี

จากการศึกษาในภาวะเทียมนอกกาย (*in vitro*)^{16,19} พบว่า การใช้กรดฟอสฟอริกกัดชั้นเคลือบฟันจะเพิ่มกำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิซึมอย่างมีนัยสำคัญ เป็นการวัดแรงยึดเฉพาะที่ชั้นเคลือบฟันเท่านั้น แต่ Peumans และคณะ¹⁰ ได้ทำการศึกษากับฟันธรรมชาติในช่องปากผู้ป่วยจริง ซึ่งฟันที่ถูกกรอแต่ง มีทั้งเคลือบฟัน และเนื้อฟัน โดยโพรงฟันจะมีเคลือบฟันเฉพาะที่ขอบเท่านั้น ดังนั้น ผลลัพธ์ของกลุ่มที่กัด หรือไม่กัดด้วยกรดฟอสฟอริกที่ผิวฟันก่อนยัดขึ้นงานด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิซึม จึงไม่แตกต่างกัน

การเตรียมผิวของชั้นเคลือบฟันรวมกับการใช้สารยึดติดระบบบออล-อิน-วัน ความเป็นกรดของมอนอเมอร์ในสารยึดติดสามารถกัดผิวของชั้นเคลือบฟันเกิดรูพรุนพร้อมกับการแทรกซึมของสารยึดติดลงไปในท่อเนื้อฟัน ทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคได้ นอกจากนี้ สารมอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันสามารถเกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมีกับไฮดรอกซีอะพาไทต์บนผิวฟัน

ได้อีกด้วย แต่จากการศึกษาถึงการเตรียมผิวเคลือบฟันด้วยสารยึดติดระบบบออล-อิน-วัน^{16,18} ร่วมกับรีไลเอ็กซ์ยูนิซึม พบว่า กำลังแรงยึดสูงขึ้น แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้เตรียมผิวชั้นเคลือบฟันด้วยสารยึดติดระบบบออล-อิน-วัน¹⁶

นอกจากนี้ ยังพบว่า เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 35 รวมกับการใช้สารยึดติดระบบบออล-อิน-วัน¹⁸ จะให้กำลังแรงยึดที่สูงกว่าการใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 35 – 37 หรือการใช้สารยึดติดระบบบออล-อิน-วันเพียงอย่างเดียว ในการเตรียมผิวชั้นเคลือบฟันเนื่องจากกรดฟอสฟอริกจะละลายสารอินทรีย์ในเคลือบฟันทำให้เกิดการเผยของแท่งเคลือบฟัน และเกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็กซึ่งสารยึดติดสามารถแทรกซึมได้ดี เมื่อเกิดพอลิเมอร์ก็จะเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค^{16,18,19}

กำลังแรงยึดของเซลฟ์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์กับชั้นเคลือบฟันมีค่าต่ำเนื่องจากความเป็นกรดของมอนอเมอร์ในซีเมนต์ชนิดนี้ไม่เพียงพอที่จะละลายแร่ธาตุในชั้นเคลือบฟัน^{1,19} ทำให้เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคได้น้อย²⁰ ประกอบกับเรซินซีเมนต์มีความหนืดสูงทำให้การไหลแผ่ลงสู่ชั้นเคลือบฟันได้ลำบาก^{1,19} จึงเกิดการยึดติดเฉพาะที่ส่วนต้นบนเคลือบฟันเท่านั้น ดังนั้น เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกเตรียมผิวชั้นเคลือบฟัน^{16,18,19} หรือใช้สารยึดติดร่วมด้วย^{16,18} จะสามารถเพิ่มการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคได้ ทำให้มีกำลังแรงยึดที่สูงขึ้น

3. การยึดติดกับชั้นเนื้อฟัน (Bonding to dentin layer)

เนื้อฟันมีโครงสร้างที่ซับซ้อนแตกต่างจากเคลือบฟัน โดยในชั้นเนื้อฟันมีสารอินทรีย์มากกว่าเคลือบฟัน และยังมีส่วนของโปรตีนคอลลาเจนอยู่ด้วย ดังนั้น หากสามารถทำให้เซลฟ์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์สามารถยึดติดกับชั้นเนื้อฟันได้ดี จะส่งผลต่อความสำเร็จทางคลินิกที่สูง แต่งานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในภาวะเทียมนอกกาย โดยวัดกำลังแรงยึดระหว่างซีเมนต์กับเนื้อฟันมีทั้งแรงเฉือน²¹ และแรงดึง²²

3.1 กำลังแรงยึดเฉือน (Shear bond strength) และกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค (Microtensile bond strength)

การศึกษากำลังแรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันมีทั้งแรงยึดเฉือน²¹ และแรงยึดดึงระดับจุลภาค²² พบว่า กำลังแรงยึดเฉือน²¹ ของเซลฟ์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์อยู่ในช่วง 8.6 – 9.2 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่อยู่ในช่วง 10.3 – 15.6 เมกะพาสคาล และกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค²² ของเซลฟ์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์อยู่ในช่วง 4.6 – 16.9 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่อยู่ในช่วง 33.7 – 69.9 เมกะพาสคาล ได้มีการอธิบายกำลังแรงยึดที่ต่ำของเซลฟ์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์อาจเป็นผลมาจาก 1) หลังการผสมส่วนประกอบของเซลฟ์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์เข้าด้วยกัน วัสดุจะมีฤทธิ์ ความเป็นกรด-ด่างต่ำ

ในช่วง 1 - 2 นาทีแรก²² จากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะค่อย ๆ เข้าสู่ความเป็นกลาง ดังนั้น ความเป็นกรดในช่วงแรก ๆ จึงมีฤทธิ์ไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการละลายสารอินทรีย์ในชั้นเนื้อฟัน^{9,22,23} จึงไม่มีชั้นไฮบริดเกิดขึ้นเหมือนการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยกรดกัดแล้วล้างน้ำออก หรือการใช้เซลฟ์เอทซ์ไพรเมอร์ได้²³ แต่บริเวณรอยต่อระหว่างเซลฟ์เอ็ดอีซีฟเรซินซีเมนต์ และเนื้อฟันจะเกิดเป็นชั้นที่ผสมผสานกันของเรซินเมทริกซ์ วัสดุอัดแทรก แคลเซียมฟอสเฟตที่ถูกละลายด้วยมอนอเมอร์ที่มีความเป็นกรด และก้อนสเมียร์ด้วยลักษณะโครงสร้างแบบนี้จึงทำให้มีกำลังแรงยึดเหนี่ยวต่ำ ได้มีการพยายามทำให้ความเป็นกรด-ด่างในช่วงแรกมีค่าต่ำลงและยาวนานขึ้น²³ แต่กลับส่งผลให้เรซินซีเมนต์มีความชอบน้ำมากขึ้น และขัดขวางการเกิดพอลิเมอร์ได้²³ 2) เซลฟ์เอ็ดอีซีฟเรซินซีเมนต์มีวัสดุอัดแทรกมากกว่าร้อยละ 60 ทำให้ความหนืดสูง²² เมื่อเทียบกับสารยึดติด จึงไม่สามารถแทรกซึมลงไปบนเนื้อฟันได้ 3) ผลของความเป็นกลาง (neutralized effect)²² ของวัสดุจะทำให้เรซินซีเมนต์มีสมบัติที่ดีขึ้นในด้านลดการดูดน้ำ และลดการละลายตัว แต่การเข้าสู่ความเป็นกลางอย่างรวดเร็วทำให้มอนอเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของกรดไม่สามารถละลายแร่ธาตุในชั้นเนื้อฟันได้อย่างเพียงพอ แต่ Abo-Hamar และคณะ¹⁵ ได้ศึกษา กำลังแรงยึดเหนี่ยวของเนื้อฟันใช้เรซินซีเมนต์คือ รีไลเอ็กซ์ยูนิซึม วาริโอลิงก์ทู ฟานาเวียเอฟ ไดร็กท์เซ็มพลัส และคิแท็กเซ็ม พบว่า กำลังแรงยึดเหนี่ยวของรีไลเอ็กซ์ยูนิซึมไม่แตกต่างกันทางสถิติกับเรซินซีเมนต์ตัวอื่น ๆ

3.2 การเตรียมผิวเนื้อฟัน (Dentin surface treatment)

จากงานวิจัยหลายฉบับที่ศึกษาวิธีปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารยึดติดเนื้อฟันระบบต่าง ๆ^{7,9,24} เมื่อใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิซึมร่วมกับใช้สารยึดติดเนื้อฟัน เช่น อ็อพติบอนด์เอฟแอล (Optibond FL) และจีบอนด์ (G-bond) ให้ กำลังแรงยึดอยู่ในช่วง 16.5 - 16.91 เมกะพาสคาล ซึ่งสูงกว่าการไม่ใช้สารยึดติดเนื้อฟันที่มีกำลังแรงยึดอยู่ในช่วง 7.1 - 12.81 เมกะพาสคาล^{7,9} เนื่องจากเมื่อใช้สารยึดติดเนื้อฟันระบบ 3 ขั้นตอน หรือระบบเซลฟ์เอทซ์ทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุในชั้นเนื้อฟันได้ดี เกิดการแทรกซึมของสารยึดติดไปตามช่องว่างของเส้นใยคอลลาเจน และลงไปในท่อเนื้อฟัน เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค ทำให้มีกำลังแรงยึดที่สูง

กรณีการใช้กรดกัดผิวเนื้อฟันแล้วล้างออก และไม่ทาสารยึดติด เมื่อยึดขึ้นทดสอบด้วยเซลฟ์เอ็ดอีซีฟเรซินซีเมนต์จะให้กำลังแรงยึดต่ำกว่ากรณีที่ไม่ถูกกัดด้วยกรด ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า กรดจะละลายแร่ธาตุที่ผิวเนื้อฟันออกไปทำให้เส้นใยคอลลาเจนเผย และเส้นใยคอลลาเจนอาจเกิดการพุด หากเป่าผิวเนื้อฟันจนแห้ง ประกอบกับเรซินซีเมนต์ซึ่งมีความหนืดสูงจึงไม่สามารถไหลแผ่ไปตามช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจนได้⁹ การ

ยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคจึงเกิดได้น้อย ขณะที่กลุ่มที่สารยึดติดโดยเฉพาะระบบบออล-อิน-วัน ผลิตภัณฑ์จีบอนด์ หรือจะเรียกว่าเป็นสารยึดระบบเซลฟ์เอทซ์ ซึ่งเป็นสารที่มีความเหลวสูง และมีฟอสเฟสเอสเทอร์เป็นมอนอเมอร์ ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันที่มีฤทธิ์เป็นกรด และสามารถเกิดพันธะเคมีกับแคลเซียมไอออนได้ จึงเกิดการยึดติดทั้งเชิงกลระดับจุลภาค และด้วยพันธะเคมีโดยการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคเกิดจากการมอนอเมอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 2 สามารถละลายชั้นสเมียร์ และแร่ธาตุที่ผิวเนื้อฟันออกได้บางส่วน ทำให้เกิดรูพรุนขึ้น ส่วนการยึดด้วยพันธะเคมีเกิดจากการละลายแร่ธาตุออกไปบางส่วน แต่ฟลักไฮดรอกซีอะพาไทต์ยังหลงเหลืออยู่ จึงสามารถสร้างพันธะกับฟอสเฟสเอสเทอร์มอนอเมอร์ได้⁷ จากงานวิจัยของ Ibarra และคณะ²⁴ พบว่า การเตรียมผิวของชั้นเนื้อฟันด้วยสารยึดติดเนื้อฟันระบบบออล-อิน-วัน ผลิตภัณฑ์แอ๊ดเปอร์พรอมพ์แอลป๊อป (Adper prompt L-pop) ก่อนการยึดด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิซึมให้กำลังแรงยึดที่ต่ำกว่าการไม่เตรียมผิวของชั้นเนื้อฟันก่อนการยึดด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิซึม อาจเป็นเพราะสารยึดติดเนื้อฟันระบบเซลฟ์เอทซ์มีมอนอเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดหลงเหลืออยู่ ทำปฏิกิริยากับสารเอมีนตติยภูมิ (tertiary amine) ที่เป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาแบบบ่มเอง (self-curing) ในเรซินซีเมนต์ ทำให้สารเอมีนตติยภูมิมีปริมาณลดลงจนไม่สามารถกระตุ้นเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ให้เกิดอนุมูลอิสระ จึงส่งผลต่อการเกิดพอลิเมอร์ของเรซินซีเมนต์ได้²¹ นอกจากนี้การใช้สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์จะทำให้เกิดชั้นที่น้ำแพร่ผ่านบางส่วนได้ (semi-permeable membrane) ทำให้น้ำที่อยู่ในชั้นเนื้อฟันสามารถซึมผ่านมายังบริเวณรอยต่อของเรซินซีเมนต์ ส่งผลเสียต่อการยึดติดได้

เป็นที่ทราบกันว่า กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 35 - 40 สามารถละลายแร่ธาตุที่โครงสร้างของฟันได้ โดยเฉพาะเมื่อใช้กรดนี้ปรับสภาพเนื้อฟัน จะเกิดการเผยของเส้นใยคอลลาเจน ดังนั้นเมื่อใช้เป่าลมที่เนื้อฟันจนแห้งเกินไป มักก่อให้เกิดการพุดตัวของเส้นใยคอลลาเจนซึ่งยากต่อการแทรกซึมของเรซินซีเมนต์⁹ จึงมีงานวิจัยที่ใช้กรดอ่อนเป็นสารปรับสภาพผิวเพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ออกจากผิวหน้าของเนื้อฟัน โดย Mazzitelli และคณะ²⁵ ใช้กรดอ่อน 2 ชนิดคือ เอทิลีนไดอะมีนเททราอะซิติก (ethylene diamine tetra-acetic acid, EDTA, อีดีทีเอ) และกรดโพลีอะคริลิก (polyacrylic acid, PAA, พีเอเอ) เข้มข้นร้อยละ 10 ร่วมกับเซลฟ์เอ็ดอีซีฟเรซินซีเมนต์ 3 ผลิตภัณฑ์ คือ รีไลเอ็กซ์ยูนิซึม บิสเซ็ม และจีเซ็ม พบว่า การปรับหรือไม่ปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยอีดีทีเอ หรือพีเอเอ สำหรับกลุ่มรีไลเอ็กซ์ยูนิซึมมีกำลังแรงยึดติดระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลที่ว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิซึมมีสมบัติไม่ชอบน้ำ และมีความหนืดสูง สำหรับกลุ่มบิสเซ็ม พบว่า

การปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยอีทีทีเอ หรือพีเอเอ ทำให้แรงยึดติดลดลง ซึ่งอาจเกิดจากไฮดร็อกซีเอทิลเมทาคริเลต หรืออีมา (hydroxyethyl methacrylate, HEMA) ที่มีอยู่ในบิสเซมเป็นสารที่ขบุดน้ำ ซึ่งอาจรบกวนต่อการเกิดพอลิเมอร์ของซีเมนต์ได้²⁶ เนื่องจากน้ำจะทำหน้าที่กลายเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer)²⁷ และส่งผลต่อแรงยึดติดนั่นเอง²⁸ ขณะที่กลุ่มของจีเซม การปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยพีเอเอจะช่วยให้เพิ่มแรงยึดติดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเกิดจากจีเซมเป็นเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบหลักคือสารโพรมีทา (4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride, 4-META) น้ำ และฟลูออโรอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาสส์ (fluoro-alumino-silicate glass) โดยเฉพาะโพรมีทานั้น เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก เมื่อสัมผัสน้ำจะแสดงสมบัติความเป็นกรดซึ่งอาจสามารถละลายแร่ธาตุที่ผิวเนื้อฟันได้พร้อมกับแทรกซึมไปตามรูพรุนที่เกิดขึ้น เมื่อเกิดพอลิเมอร์จึงทำให้มีแรงยึดติดที่สูงขึ้น

4. การยึดติดกับชั้นเนื้อฟันของคลองรากฟัน (Bonding to root canal)

4.1 กำลังแรงยึดเนื้อฟันของคลองรากฟัน (Dentin bond strength of root canal)

การศึกษา กำลังแรงยึดเนื้อฟันของคลองรากฟัน^{29,30} พบว่า กำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมอยู่ในช่วง 5.01 – 9.1 เมกะพาสคาล ซึ่งต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ ที่อยู่ในช่วง 5.04 – 12.3 เมกะพาสคาล^{29,30} และเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM)³⁰ พบว่า เทพซ์แอนดรินส์เรซินซีเมนต์สามารถกำจัดชั้นสเมียร์ออกอย่างสมบูรณ์ โดยเกิดขึ้นไฮบริดที่มีความหนา 8 - 10 ไมโครเมตร ในขณะที่เรซินซีเมนต์อีก 2 ระบบยังคงมีชั้นสเมียร์ และก้อนสเมียร์หลงเหลืออยู่ โดยในเซลล์เทพซ์เรซินซีเมนต์ เกิดชั้นไฮบริดที่มีความหนา 1 - 1.5 ไมโครเมตร แต่ในเซลล์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์ไม่มีชั้นไฮบริดเกิดขึ้น³⁰ จากกำลังแรงยึดที่ต่ำของเซลล์แอ็ดฮิซีฟเรซินซีเมนต์ อาจเป็นผลจากความแตกต่างของมอนอเมอร์ที่ไม่เพียงพอ ไม่สามารถเกิดการละลายแร่ธาตุ ไม่มีชั้นไฮบริด ทำให้มีกำลังแรงยึดที่ต่ำ^{29,30} แต่มีบางการศึกษากลับพบว่า กำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมสูงกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ^{31, 32} โดยพบว่า กำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีค่า 20.4 เมกะพาสคาล³² ซึ่งสูงที่สุด ขณะที่เรซินซีเมนต์ตัวอื่น ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 9.5 - 14.9 เมกะพาสคาล³² และพบว่า รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีความหนาของชั้นไฮบริดน้อยที่สุดประมาณ 0.07 ไมโครเมตร³² นอกจากนี้ ยังพบว่า มีจำนวนของเรซินแท่งที่แทรกซึมลงไปในท่อเนื้อฟันแบบกระจุกกระจาย และมีปริมาณน้อยสุดด้วย³² จากการที่ค่ากำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมสูงที่สุด^{31,32} อาจจะสรุปได้ว่า 1) การเข้าสู่สภาวะความเป็นกลาง (neutral) ของตัววัสดุซึ่งเกิดจากปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างมอนอเมอร์กับวัสดุอุดแทรก และระหว่างมอนอเมอร์กับ

ไฮดร็อกซีอะพาไทต์ที่ผนังคลองรากฟัน จึงทำให้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมมีความคงทนต่อความชื้น เมื่อใช้ในเนื้อฟันของคลองรากฟันที่สามารถควบคุมความชื้นได้ยาก³¹ 2) ความหนาของชั้นไฮบริดและการแทรกซึมของเรซินแท่งที่แทรกซึมลงไปในท่อเนื้อฟันไม่มีผลต่อกำลังแรงยึดที่เนื้อฟันของคลองรากฟันกับเรซินซีเมนต์³² แต่ผลจากการมีการยึดด้วยพันธะเคมีที่เกิดจากมอนอเมอร์ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริกทำปฏิกิริยากับไฮดร็อกซีอะพาไทต์ในเนื้อฟัน^{7,9,21-23,25,33} จึงทำให้กำลังแรงยึดระหว่างผนังคลองรากฟันกับเรซินซีเมนต์มีค่าสูง

ส่วนจากการเร่งอายุชั้นหดสอโดยการแช่น้ำสลับร้อนเย็นด้วยเครื่องเทอร์โมไซคลิง^{31,34} พบว่า กำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซมสูงขึ้น ในขณะที่เรซินซีเมนต์ตัวอื่น ๆ ไม่พบการเปลี่ยนแปลง³¹ แต่ในอีกการศึกษาหนึ่ง³⁴ กลับพบว่า หลังการเร่งอายุด้วยการทำเทอร์โมไซคลิงกำลังแรงยึดของรีไลเอ็กซ์ยูนิเซม และเรซินซีเมนต์ตัวอื่น ๆ ลดลงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยให้เหตุผลว่า หลังจากการเกิดพอลิเมอร์ที่สมบูรณ์แล้ว เรซินซีเมนต์จะดูดน้ำระหว่างที่เก็บชั้นทดสอบไว้ในน้ำ ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัว (hygroscopic expansion) ขึ้น ส่งผลให้เกิดความแนบสนิของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟันของคลองรากฟัน และทำให้มีกำลังแรงยึดสูงขึ้นได้³⁴

5. ความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility)

เมื่อมีวัสดุบูรณะสัมผัสกับเนื้อฟันปัญหาที่นักวิจัยกังวลคือ การซึมผ่านของสารเคมีจากวัสดุเข้าสู่เนื้อเยื่อในโพรงฟัน (pulp tissue)³⁵ เนื่องจากมีรายงานว่า สารมอนอเมอร์ที่หลุดออกจากวัสดุสามารถทำให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อเซลล์มนุษย์ที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการได้^{36,37} จากการศึกษาของ Costa และคณะ³⁸ ได้ศึกษาถึงการตอบสนองของเนื้อเยื่อในโพรงฟันของมนุษย์ต่อเรซินซีเมนต์ผลิตภัณฑ์รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม และวารีโอลิงค์ทู ในการยึดติดงานบูรณะชนิดอินเลย์ พบว่า 7 วันหลังจากการใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมเกิดการรบกวน และการอักเสบระดับต่ำถึงปานกลางขึ้นในชั้นของโอดอนโตบลาสต์เนื่องจาก เกิดการหลั่งสารสื่อประสาท (mediator) ของโมโนนิวเคลียร์เซลล์ (mononuclear cell) เกิดการเพิ่มจำนวนของเส้นเลือดแดงขนาดเล็ก (arterioles) เกิดการคั่งของสารในหลอดเลือดที่ชั้นของโอดอนโตบลาสต์ นอกจากนี้ ยังไม่มีการแทรกซึมของเรซินแท่งลงในท่อเนื้อฟันด้วย

หลังจากการใช้รีไลเอ็กซ์ยูนิเซมยึดติดงานบูรณะชนิดอินเลย์หลัง 60 วัน พบว่า ไม่พบการอักเสบ และมีลักษณะทางมิถุวิทยา (histology) ที่ปกติ และไม่พบการแทรกซึมของเรซินแท่งลงในท่อเนื้อฟันหลังจากใช้วารีโอลิงค์ทู การยึดติดงานบูรณะชนิดอินเลย์หลัง 7 วัน พบการอักเสบระดับปานกลาง อาจพบโอดอนโตบลาสต์เซลล์อยู่ในท่อเนื้อฟันได้ มีเซลล์อักเสบ เช่น โมโนนิวเคลียร์เซลล์อยู่ในชั้นของโอดอนโตบลาสต์ มีการขยายของ

หลอดเลือด และมีการคั่งของสารในหลอดเลือด นอกจากนี้ ยังพบเรซินแท้ที่ยาลงไปในเนื้อฟันอีกด้วยหลังจากใช้วาริโอลิงค์ทูเพื่อยึดติดงานบูรณะชนิดอินเลย์เป็นเวลา 60 วัน พบว่า ยังคงมีการอักเสบระดับปานกลางอยู่ และสามารถพบเซลล์ของการอักเสบได้

จากการศึกษาสรุปได้ว่า เรซินซีเมนต์ระบบเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟซึ่งในการศึกษานี้คือ รีไลเอ็กซ์ยูนิซึมก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันของมนุษย์น้อยกว่าเรซินซีเมนต์ระบบเอพท์แอนดรีนส์ ในการศึกษานี้คือ วาริโอลิงค์ทู เนื่องจาก 1) การยึดด้วยพันธะเคมีกับโครงสร้างของฟันได้จากการที่มีหมู่มอนอเมอร์ที่เป็นอนุพันธ์ของกรดฟอสฟอริก 2) มีการละลายตัวในน้ำต่ำ 3) การเกิดความเป็นกลาง โดยในช่วงแรกจะมีความเป็นกรดที่สูงจากนั้นจะเกิดการปรับสภาพให้เป็นกลางอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าความเป็นกรดในช่วงแรกจะสามารถทำให้เกิดการอักเสบได้บ้าง แต่หลังจากนั้นการอักเสบก็จะค่อย ๆ หายไป 4) การที่ชั้นสเมียร์และก้อนสเมียร์ไม่ถูกกำจัดออกไป จึงเป็นทางขวางกั้นตามธรรมชาติที่ป้องกันไม่ให้เนื้อเยื่อในโพรงฟันได้รับอันตรายจากกรด

นอกจากนี้ ความหนาของเนื้อฟันที่เหลืออยู่ (remaining dentin thickness, RDT) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งของการรบกวนเนื้อเยื่อในโพรงฟันจากเรซินซีเมนต์ โดยพบว่า ความหนาของเนื้อฟันที่เหลืออยู่ 223 ไมโครเมตร จะส่งผลต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันได้ หลังจากการยึดติดงานบูรณะชนิดอินเลย์หลัง 60 วันด้วยรีไลเอ็กซ์ยูนิซึม และพบว่า ความหนาของเนื้อฟันที่เหลืออยู่มากกว่า 500 ไมโครเมตร สามารถป้องกันอันตรายจากสารเคมีของวาริโอลิงค์ทู หลังจากการยึดติดงานบูรณะชนิดอินเลย์หลัง 60 วันได้

บทสรุป

เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ถูกผลิตขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดขั้นตอนการทำงาน เพื่อให้ใช้งานในคลินิกได้สะดวกมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง และเป็นที่นิยมมากขึ้น ซึ่งเป็นการรวมการใช้กรดกัด และการแทรกซึมของเรซินเอาไว้อยู่ด้วยกัน กลไกการยึดติดได้ทั้งจากเชิงกลระดับจุลภาค เกิดจากการที่ผิวฟันที่ถูกกรอแต่งและจากมอนอเมอร์ที่เป็นกรดที่สามารถละลายแร่ธาตุ ปรับสภาพ และเคลือบสารยึดติดไปพร้อม ๆ กัน และกลไกการยึดด้วยพันธะเคมี เกิดจากมอนอเมอร์ที่มีหมู่หน้าที่กับส่วนของไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่ผิวฟัน นอกจากนี้ ชั้นสเมียร์จะไม่ถูกกำจัดออกจึงไม่ทำให้เกิดการเสียฟัน แต่เนื่องจากอยู่ในกลุ่มของเรซินซีเมนต์จึงมีความไวต่อความชื้นสูง จึงจำเป็นต้องควบคุมความชื้นให้ดีก่อนทำการยึดชิ้นงาน

จากสมบัติเด่นของเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์คือ เรซินซีเมนต์ระบบนี้สามารถใช้ยึดชิ้นงานกับผิวฟันได้เลย โดยไม่ต้องมีการเตรียมผิวฟันก่อนยึดชิ้นงาน ทำให้ลดความเสี่ยง และข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเตรียมฟันได้ แต่เรื่องสมบัติบางประการยังคงด้อยกว่าเรซินซีเมนต์ระบบที่ใช้ร่วมกับระบบการยึดติดแบบเอพท์แอนดรีนส์ และระบบที่ใช้ร่วมกับระบบการยึดติดแบบเซลฟ์เอพท์ เช่น กำลังแรงยึดทั้งชนิดกำลังแรงยึดเฉือน และชนิดกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาคในชั้นเคลือบฟัน และเนื้อฟัน ยังคงต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมา แต่อย่างไรก็ตาม กำลังแรงยึดของเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยังคงสูงกว่าซีเมนต์แบบดั้งเดิม และกลุ่มกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ จึงแนะนำให้พิจารณาเป็นทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นสารยึดติดแทนซีเมนต์กลุ่มซีเมนต์แบบดั้งเดิม และกลุ่มกลาสส์ไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ นอกจากนี้ มีการแนะนำให้ใช้เรซินซีเมนต์ระบบนี้ในการยึดติดวัสดุบูรณะฟันที่มีความต้านทานต่อการหลุดค่อนข้างดี²² และแนะนำให้ใช้ในงานวีเนียร์ เนื่องจากมีความต้านทานต่อการหลุดที่ต่ำ²²

การเตรียมผิวชั้นเคลือบฟัน และเนื้อฟัน พบว่า ถ้ามีการใช้สารยึดติดร่วมกับการใช้เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ จะทำให้มีกำลังแรงยึดสูงขึ้น จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มการยึดติดของเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์^{16,18}

แต่จากการศึกษากำลังแรงยึดของเซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ มีทั้งชนิดกำลังแรงยึดเฉือน และชนิดกำลังแรงยึดดึงระดับจุลภาค^{9,15,16,18-22} ซึ่งทำในห้องปฏิบัติการที่มีวิธีการทดสอบที่ต่างกัน และทำในสภาวะที่ต่าง ๆ กัน เช่น อุณหภูมิที่ทำการทดสอบ จำนวนรอบของการเร่งอายุด้วยการแช่น้ำสลับร้อนเย็น จึงเป็นไปได้ยากที่จะนำกำลังแรงยึดที่ได้มาเปรียบกันเอง และเปรียบเทียบกับสภาวะการใช้งานจริงในช่องปาก

นอกจากนี้ เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ยังมีความเข้ากันทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อฟันได้ดีกว่าเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ อาจเป็นผลมาจากความเป็นกรดของเรซินซีเมนต์ระบบนี้ไม่สามารถจะละลายแร่ธาตุในเนื้อเยื่อฟันได้ จึงทำให้กรดไม่สามารถไปรบกวนเนื้อเยื่อในโพรงฟันได้ และความหนาของเนื้อฟันที่เหลืออยู่ก็มีส่วนสำคัญในการป้องกันอันตรายแก่เนื้อเยื่อในโพรงฟันได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตาม เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์ถูกผลิตออกมาได้ไม่นาน ยังไม่มีการศึกษาผลทางคลินิกในระยะยาวอย่างเพียงพอ จึงจำเป็นต้องติดตามผลการวิจัยทางคลินิกต่อไป เพื่อให้สามารถมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน¹⁰ มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดีที่สุด และเกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ป่วยได้

เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เป็นกาวยึดวัสดุบูรณะฟันที่มีสมบัติเด่นคือ สามารถเกิดการยึดติดด้วยพันธะเคมีกับโครงสร้างฟัน

มีการเข้ากันได้ทางชีวภาพ และมีค่าการละลายตัวในน้ำที่ต่ำโดย เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟ เรซินซีเมนต์เป็นระบบกาวยึดที่ไม่ต้องการเตรียมสภาพผิวของฟันหลัก ประกอบกับเรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีความหนืดสูง ส่งผลให้สมบัติส่วนใหญ่มีค่าต่ำเมื่อเทียบกับเรซินซีเมนต์ระบบอื่น ๆ จึงมีบางการศึกษาแนะนำให้มีการเตรียมสภาพผิวฟัน หรือใช้สารยึดติดร่วมกับการใช้เซลฟ์แอ็ดฮีซีฟเรซินซีเมนต์เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ อ.ทพญ.จารุพรรณ อุ้นสมบัติ อาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมทันตกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ผศ. ทพ. ดร. นิยม อารังค์อนันต์สกุล อาจารย์ประจำภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้คำปรึกษา และชี้แนะในการเขียนบทความครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Cantoro A, Goracci C, Carvalho CA, Coniglio I, Ferrari M. Bonding potential of self-adhesive luting agents used at different temperatures to lute composite onlays. *J Dent* 2009;37:454-61.
- Christensen GJ. Why use resin cements? *J Am Dent Assoc* 2010;141:204-6.
- Weiner R. An advanced self-etching resin cement: clinical application. *Dent Today* 2008;27:82, 84.
- Burgess JO, Ghuman T, Cakir D. Self-adhesive resin cements. *J Esthet Restor Dent* 2010;22:412-9.
- Christensen GJ. Resin cements and postoperative sensitivity. *J Am Dent Assoc* 2000;131:1197-9.
- Christensen GJ. Should resin cements be used for every cementation? *J Am Dent Assoc* 2007;138:817-9.
- El-Guindy J, Selim M, El-Agroudi M. Alternative pretreatment modalities with a self-adhesive system to promote dentin/alloy shear bond strength. *J Prosthodont* 2010;19:205-11.
- Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent* 2008;10:251-8.
- Brunzel S, Yang B, Wolfart S, Kern M. Tensile bond Strength of a so-called self-adhesive luting resin cement to dentin. *J Adhes Dent* 2010;12:143-50.
- Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K, Poitevin A, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Two-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. *J Adhes Dent* 2010;12:151-61.
- Taschner M, Frankenberger R, García-Godoy F, Rosenbusch S, Petschelt A, Krämer N. IPS Empress inlays luted with a self-adhesive resin cement after 1 year. *Am J Dent* 2009;22:55-9.
- Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont* 2004;17:357-63.
- Piwowarczyk A, Lauer HC. Mechanical properties of luting cements after water storage. *Oper Dent* 2003;28:535-42.
- Vrochari AD, Eliades G, Hellwig E, Wrbas KT. Water sorption and solubility of four self-etching, self-adhesive resin luting agents. *J Adhes Dent* 2010;12:39-43.
- Abo-Hamar SE, Hiller KA, Jung H, Federlin M, Friedl KH, Schmalz G. Bond strength of a new universal self-adhesive resin luting cement to dentin and enamel. *Clin Oral Investig* 2005;9:161-7.
- Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, et al. Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater* 2007;23:71-80.
- Mount GJ, Bryant RW. Glass-ionomer materials; In: Mount GJ, Hume WR, editors. Preservation and restoration of tooth structure. 1st ed. London, UK: Mosby; 1998. p. 77-78.
- Lin J, Shinya A, Gomi H, Shinya A. Bonding of self-adhesive resin cements to enamel using different surface treatments: bond strength and etching pattern evaluations. *Dent Mater J* 2010;29:425-32.
- De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 2004;20:963-71.
- Goracci C, Cury AH, Cantoro A, Papacchini F, Tay FR, Ferrari M. Microtensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin cements used to lute composite onlays under different seating forces. *J Adhes Dent* 2006;8:327-35.
- Holderegger C, Sailer I, Schuhmacher C, Schlapfer R, Hammerle C, Fischer J. Shear bond strength of resin cements to human

- dentin. *Dent Mater* 2008;24:944-50.
22. Viotti RG, Kasaz A, Pena CE, Alexandre RS, Arrais CA, Reis AF. Microtensile bond strength of new self-adhesive luting agents and conventional multistep systems. *J Prosthet Dent* 2009;102:306-12.
 23. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 2008;87:974-9.
 24. Ibarra G, Johnson GH, Geurtsen W, Vargas MA. Microleakage of porcelain veneer restorations bonded to enamel and dentin with a new self-adhesive resin-based dental cement. *Dent Mater* 2007;23:218-25.
 25. Mazzitelli C, Monticelli F, Toledano M, Ferrari M, Osorio R. Dentin treatment effects on the bonding performance of self-adhesive resin cements. *Eur J Oral Sci* 2010;118:80-6.
 26. Nunes TG, Ceballos L, Osorio R, Toledano M. Spatially resolved photopolymerization kinetics and oxygen inhibition in dental adhesives. *Biomaterials* 2005;26:1809-17.
 27. Carvalho RM, Pegoraro TA, Tay FR, Pegoraro LF, Silva NR, Pashley DH. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentine. *J Dent* 2004;32:55-65.
 28. Van Landuyt KL, Snauwaert J, Peumans M, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. The role of HEMA in one-step self-etch adhesives. *Dent Mater* 2008;24:1412-9.
 29. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, *et al.* The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci* 2004;112:353-61.
 30. Goracci C, Sadek FT, Fabianelli A, Tay FR, Ferrari M. Evaluation of the adhesion of fiber posts to intraradicular dentin. *Oper Dent* 2005;30:627-35.
 31. Bitter K, Meyer-Lueckel H, Priehn K, Kanjuparambil JP, Neumann K, Kielbassa AM. Effects of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. *Int Endod J* 2006;39:809-18.
 32. Bitter K, Paris S, Pfuertner C, Neumann K, Kielbassa AM. Morphological and bond strength evaluation of different resin cements to root dentin. *Eur J Oral Sci* 2009;117:326-33.
 33. Gerth HU, Dammaschke T, Zuchner H, Schafer E. Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study. *Dent Mater* 2006;22:934-41.
 34. 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. *J Endod* 2006;32:1174-7.
 35. Costa CA, Hebling J, Hanks CT. Current status of pulp capping with dentin adhesive systems: a review. *Dent Mater* 2000;16:188-97.
 36. Lefevre M, Amjaad W, Goldberg M, Stanislawski L. TEGDMA induces mitochondrial damage and oxidative stress in human gingival fibroblasts. *Biomaterials* 2005;26:5130-7.
 37. Schweikl H, Hiller KA, Bolay C, Kreissl M, Kreismann W, Nusser A, *et al.* Cytotoxic and mutagenic effects of dental composite materials. *Biomaterials* 2005;26:1713-9.
 38. de Souza Costa CA, Hebling J, Randall RC. Human pulp response to resin cements used to bond inlay restorations. *Dent Mater* 2006;22:954-62.