

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาการทบทวนวรรณกรรมในบทนี้ ได้ทำการศึกษาทบทวนในหัวข้อเรื่องเซรามิกส์ทันตกรรม ซีเมนต์ยึดชั่วคราว เฉพาะซึ่งคือออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์และชนิดไม่มียูจินอล ซีเมนต์ยึดถาวรชนิดเรซินซีเมนต์ สารยึดติดเนื้อฟัน และหลักการยึดติด ซึ่งจะได้กล่าวถึงในแต่ละหัวข้อดังต่อไปนี้

1. เซรามิกส์ทันตกรรม [24]

ในงานครอบฟันและฟันเทียมบางส่วนชนิดติดแน่น เซรามิกส์เป็นวัสดุหนึ่งที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีสมบัติจุดหลอมเหลวสูง การนำความร้อนและไฟฟ้าต่ำ มีความแข็งแรงต่อแรงกด (compressive strength) สูง ความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) ต่ำ มีสมบัติทางแสง (optical qualities) ต่างๆ กัน ตั้งแต่ใสจนทึบแสง อีกทั้งยังมีสมบัติเฉื่อยต่อปฏิกิริยาต่างๆ และไม่ละลายน้ำ จากสมบัติของเซรามิกส์ข้างต้น ส่วนใหญ่แล้วเป็นสมบัติที่ดีและเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุที่ใช้ในงานครอบฟันและฟันเทียมบางส่วนชนิดติดแน่น ยกเว้นสมบัติที่มีความแข็งแรงต่อแรงดึงต่ำและเปราะ ซึ่งเป็นสมบัติที่ควรจะได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้น

1.1 องค์ประกอบทางเคมี

เซรามิกส์ทั่วไปมีองค์ประกอบหลักคือ ดิน (clay) เฟลด์สปาร์ (feldspar) และควอตซ์ (quartz) ในเนื้อของเซรามิกส์ประกอบด้วยโลหะหนึ่งชนิดหรือมากกว่าร่วมกับอโลหะ ซึ่งเนื้อของเซรามิกส์ส่วนใหญ่เป็นออกซิเจนและมีอะตอมของโลหะแทรกอยู่ในช่องว่างของอะตอมออกซิเจน เมื่อผ่านกระบวนการเผาแล้วจะมีโครงสร้างสองส่วนคือ ส่วนของเนื้อแก้ว (glass matrix) และส่วนของผลึก (crystalline phase) พันธะระหว่างอะตอมมีทั้งพันธะโควาเลนต์และไอออนิก ซึ่งพันธะที่แข็งแรงนี้ทำให้เซรามิกส์มีความแข็งแรงสูง มีความสามารถในการทนความร้อนและทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ได้ดี แต่วัสดุนี้ก็มีความเปราะ

เซรามิกส์ทันตกรรมที่ใช้แต่เดิมนั้นประกอบด้วย ดิน (clay: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ควอตซ์ (quartz: SiO_2) และเฟลด์สปาร์ (feldspar: $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ซึ่งจะทำให้องค์ประกอบอยู่ในช่วงของมาลไลต์ (mullite) ในแผนภาพวิภาค $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ($\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ phase diagram) เมื่อเผาแล้วจะได้เซรามิกส์ที่มีองค์ประกอบของมาลไลต์ ควอตซ์ที่ตกค้างและเนื้อแก้ว เฟลด์สปาร์ ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้มีค่าการหักเหของแสงที่แตกต่างกันมาก ทำให้ความใส

ของเซรามิกส์แตกต่างจากพินธรรมชาติมาก การทำให้เซรามิกส์มีความใสมากขึ้นจะต้องขจัดเอา มาลโลต์ออกไป และลดปริมาณของควอตซ์ที่ตกค้างลง ซึ่งสามารถทำได้โดยลดปริมาณดินหรือ อาจจะไม่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบเลยและลดปริมาณของควอตซ์ลงแต่เพิ่มปริมาณของ เฟลด์สปาร์มากขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้เซรามิกส์ที่ย้ายจากช่วงของมาลโลต์ไปอยู่ในส่วนของลูไซต์ ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$) ตามแผนภาพวัฏภาค $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ซึ่งผลึก ลูไซต์ที่เกิดขึ้นนี้มีค่า ดัชนีหักเหของแสงต่ำกว่าเนื้อแก้วน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ ทำให้การผ่านของแสงเกิดขึ้นได้ดีกว่า ส่งผลทำให้ความใสเพิ่มขึ้น อีกทั้งการเพิ่มปริมาณลูไซต์ให้มากขึ้นทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และ ในกรณีที่ทำกรอบพินเซรามิกส์เชื่อมกับโลหะ การขยายตัวของเซรามิกส์โดยรวมเพิ่มขึ้นสัมพันธ์ กับการขยายตัวของโลหะที่รองรับเซรามิกส์ ทำให้การแตกร้าวของเซรามิกส์ลดลง

นอกจากองค์ประกอบสามส่วนหลักๆ ของเซรามิกส์ที่ได้กล่าวแล้วนั้น ยังมี องค์ประกอบอื่นๆ ที่เพิ่มเข้ามาเพื่อให้เซรามิกส์มีสมบัติต่างๆ ตามต้องการ เช่น เซรามิกส์ที่ต้องการ ความทึบแสงเพื่อปิดบังสีของโลหะที่อยู่ภายในของกรอบพิน จะทำได้โดยการเติมออกไซด์ของ โลหะบางชนิดลงไป เช่น ออกไซด์ของตะกั่ว (SnO_2) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) เซอร์โคเนียม ออกไซด์ (ZrO_2) ซีเรียมออกไซด์ (CeO_2) หรือเซอร์คอนออกไซด์ ($\text{ZrO}_2-\text{SiO}_2$) ซึ่งออกไซด์ของโลหะ เหล่านี้มีค่าดัชนีการหักเหของแสงสูง ทำให้เซรามิกส์มีความทึบแสงสามารถปิดบังสีของโลหะ ภายในได้ และยังสามารถเชื่อมยึดกับออกไซด์ของโครงโลหะชั้นในได้อีกด้วย ส่วนเซรามิกส์ที่ใช้ เป็นชั้นของเนื้อพิน ซึ่งเป็นชั้นที่ให้สีแก่กรอบพิน อาจเติมอินเดียมออกไซด์ (InO_2) เพื่อให้ได้สี เหลือง หรือซีเรียมออกไซด์ ไททาเนียมออกไซด์ เซอร์โคเนียมออกไซด์ เพื่อให้ได้สีขาวหรือเหล็ก ออกไซด์เพื่อให้ได้สีดำ เป็นต้น

1.2 การจำแนกเซรามิกส์ทันตกรรม

การจัดแบ่งประเภทของเซรามิกส์สามารถแบ่งได้หลายระบบ หากแบ่งเซรามิกส์ ตามระบบการผลิตได้ 5 ประเภท ดังนี้ [41, 42]

1.2.1 เซรามิกส์ดั้งเดิม (Conventional powder slurry ceramics)

เป็นการใช้น้ำผสมกับส่วนผงของเซรามิกส์ ให้เกิดเป็น slurry และค่อยๆ เป็นชั้นๆ บนแบบหลักทอนไฟ (dies) ตัวอย่างเซรามิกส์ประเภทนี้เช่น Optec HSP, Duceram LFC และ vitadure

1.2.2 เซรามิกส์ขึ้นรูปด้วยการเหวี่ยง (Castable ceramic)

จะมีการใช้แท่งเซรามิกส์ (ceramic ingots) ในการสร้างแกนหรือกรอบ พินเซรามิกส์ทั้งซี่ โดยการใช้วิธีเผาและเหวี่ยง (lost wax technique) ซึ่งจะได้สีเดียวและทำการพอก ทับด้วยเซรามิกส์เฟลด์สปาร์หรือเคลือบสี ตัวอย่างเซรามิกส์ประเภทนี้เช่น ไดคอร์ (Dicor)

1.2.3 ระบบขึ้นรูปโดยใช้เครื่องควบคุม (Machinable ceramics)

ระบบขึ้นรูปโดยใช้เครื่องควบคุมจะมีการใช้แท่งเซรามิกส์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและผลิตชิ้นงาน (Computer-Aided-Design-Computer-Aided-Manufacturing: CAD-CAM) ในการผลิต แล้วจึงนำมาแต่งสี ตัวอย่างเซรามิกส์ประเภทนี้ได้แก่ Cerec Celay Procera และ Dicor MGC

1.2.4 เซรามิกส์ขึ้นรูปด้วยการกดอัด (Pressable ceramic)

เซรามิกส์ขึ้นรูปด้วยการกดอัดจะให้ความร้อนหลอมละลายแท่งเซรามิกส์ที่อุณหภูมิสูง แล้วกดอัดเข้าแม่แบบ ซึ่งได้ใช้เทคนิคการเผา (loss wax technique) ไว้ก่อนแล้ว โดยจะได้เป็นรูปร่างพื้นที่สมบูรณ์ (full contour) หรือทำเป็นแกนแล้วใช้เซรามิกส์พอกทับได้ เซรามิกส์นี้มี 2 ชนิด คือ

ใช้ลูโซต์เป็นสารพื้น (leucite based) โดยมีลูโซต์ประมาณร้อยละ 35-50 โดยปริมาตร เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุ โดยแท่งเซรามิกส์จะถูกหลอมที่อุณหภูมิ 900-1165 องศาเซลเซียส เช่น IPS Empress, Optimal ceramic

ใช้ลิเทียมไดซิลิเกตเป็นสารพื้น (Lithium disilicate based) มีผลึกของลิเทียมไดซิลิเกตประมาณร้อยละ 70 โดยปริมาตร โดยจะถูกหลอมที่อุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียส เช่น IPS Empress 2

1.2.5 เซรามิกส์ชนิดแทรกกระจาย (Infiltrated ceramic) [41]

เซรามิกส์ชนิดนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือผง (Aluminum oxide หรือ spinel) โดยผสมผงอะลูมินากับน้ำให้ผงแขวนลอยอยู่ในน้ำเรียกว่า สลิป (slip) ทาบนแบบหลักทนไฟแล้วนำไปเผา จากนั้นนำแก้วมาทาแล้วเผาให้เกิดการแทรกตัวของแก้ว (infiltrated) เมื่อขัดแต่งเสร็จแล้วจึงนำมาพอกทับด้วยเซรามิกส์ชนิดเฟลด์สปาทต่อไป ตัวอย่างเซรามิกส์ประเภทนี้เช่น อินซีเรม (In-ceram)

2. ซีเมนต์ยึดชั่วคราว

ซีเมนต์ยึดครอบฟันหรือฟันเทียมบางส่วนติดแน่นชนิดชั่วคราวที่นิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์ เนื่องจากยูจินอลมีสมบัติระงับปวด ใช้มากในกรณีที่มีท่อเนื้อฟันผอกจากการกรอแต่ง มีความแข็งแรงปานกลาง ความเป็นกรดต่ำทำให้มีผลระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อในโพรงฟันน้อยและรื้อง่าย [3] ส่วนซีเมนต์ยึดถาวรที่นิยมใช้มีหลายชนิด สำหรับครอบฟันหรือฟันเทียมบางส่วนชนิดติดแน่นเซรามิกส์ส่วนซึ่งได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน มักใช้เรซินซีเมนต์ในการยึด เนื่องจากให้การยึดอยู่ที่ดี การละลายตัวต่ำ ลดการรั่วซึมที่ขอบและมีให้เลือกหลายสี[2,3] การทบทวน

วรรณกรรมนี้จะกล่าวถึงซีเมนต์ยึดชั่วคราว คือ ซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์ชนิดมียูจินอล (ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์) และชนิดไม่มียูจินอล

2.1 ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์ (zinc oxide eugenol cement)

ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์เป็นสารประกอบยูจินิโนเลต (zinc eugenolate) ที่อ่อนนุ่ม แข็งตัวช้า ซึ่งได้จากปฏิกิริยาระหว่างซิงค์ออกไซด์กับยูจินอล ถ้าเพิ่มสารเพิ่มประสิทธิภาพ (additive) เช่น ตัวเร่ง (accelerator) ตัวเพิ่มกำลังความแข็งแรง (strengtheners) ทำให้ซิงค์ยูจินิโนเลตมีกำลังความแข็งแรงสูงและแข็งตัวเร็วขึ้น นำไปใช้เป็นวัสดุพิมพ์ปาก ซีเมนต์บุพื้นโพรงฟัน (cement base) วัสดุอุดฟันชั่วคราว (temporary stopping material) และใช้เป็นทันตวัสดุอื่นๆ ได้บางกรณี [24] American National Standard/American Dental Association (ANSI/ADA) Specification no. 30 กำหนดมาตรฐานสำหรับซิงค์ออกไซด์-ยูจินอลซีเมนต์และซิงค์ออกไซด์-ยูจินอลซีเมนต์ ชนิดไม่มียูจินอล ซึ่งครอบคลุมทั้ง ขอบเขตการใช้งาน การแบ่งประเภท องค์ประกอบ สมบัติที่ต้องการ วิธีการทดสอบสมบัติ รวมถึงรูปแบบผลิตภัณฑ์และอื่น [38] รายละเอียดดังนี้

ขอบเขตการใช้งาน

ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ยึดชั่วคราวทางการค้าชนิด ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์และซิงค์ออกไซด์ชนิดไม่มียูจินอล ซึ่งเป็นซีเมนต์ชนิดปราศจากน้ำ แต่อาศัยน้ำขณะเกิดปฏิกิริยามีส่วนประกอบของยูจินอลหรืออโรมาติกออยล์ (aromatic oil) ใช้ในทางทันตกรรมบูรณะ ใช้เป็นซีเมนต์ยึดชั่วคราว ซีเมนต์ยึดถาวร วัสดุบูรณะชั่วคราวและวัสดุบุพื้นโพรงฟัน ส่วนรูปแบบผลิตภัณฑ์อาจอยู่ในรูปผงกับส่วนเหลว หรืออยู่ในรูปเพสต์ 2 หลอด คือ เบสเพสต์ (base paste) กับตัวเร่ง (accelerator paste) [38]

การแบ่งประเภท

ซิงค์ออกไซด์ยูจินอลซีเมนต์และซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์ชนิดไม่มียูจินอล แบ่งได้ตามลักษณะการใช้งานและส่วนประกอบ [38] ได้ดังนี้

ประเภท 1 สำหรับซีเมนต์ยึดชั่วคราว (temporary cementation)

ชนิด 1 : ผงกับส่วนเหลว

ชนิด 2A : เซตติงเพสต์และเพสต์ที่มียูจินอล (setting paste and paste containing eugenol)

ชนิด 2B : เซตติงเพสต์และเพสต์ที่ไม่มียูจินอล (setting paste and paste not containing eugenol)

ชนิด 3 : นอนเซตติงเพสต์และเพสต์ (non-setting paste and paste)

ประเภท 2 สำหรับซีเมนต์ยึดถาวร (permanent cementation)

ชนิด 1 : ผงกับส่วนเหลว

ชนิด 2 : เพสต์ และ เพสต์

ประเภท 3 สำหรับวัสดุบูรณะชั่วคราวและบุพื้น (temporary restorations and bases)

ชนิด 1 : ผงกับส่วนเหลว

ชนิด 2 : เพสต์ และ เพสต์

ประเภท 4 สำหรับแควิตี (cavity liners)

ชนิด 1 : ผงกับส่วนเหลว

ชนิด 2 : เซตติงเพสต์ และ เพสต์

องค์ประกอบ

ส่วนผง (powder) ต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการ หากมีการใส่รงควัตถุหรือสี ต้องเป็นเนื้อเดียวกันมีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง ประกอบด้วย องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) อาจมีการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (magnesium oxide) ทำปฏิกิริยากับยูจีนอล ได้ แมกนีเซียมยูจีนโอเลต ช่วยเพิ่มกำลังอัดของซีเมนต์ ซิงค์อะซิเตต (zinc acetate) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ชนิดหนึ่ง สารเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น สารเพิ่มความชื้น ได้แก่ ยางสน (resin) ไดแคลเซียมฟอสเฟต (dicalcium phosphate) ซิลิกา (silica) เอทิลเซลลูโลส (ethyl cellulose) และผงไมกา (mica) สารเพิ่มการคืบเหนียว ได้แก่ Canada balsam, Peru balsam [24, 37, 38]

ส่วนเหลว (liquid) จะต้องใส สีส่อนหรือเหลืองอ่อน ไม่มีฟองหรือวัสดุอื่นที่ไม่ต้องการเจือปน ประกอบด้วย [24, 37, 38] องค์ประกอบหลัก คือ ยูจีนอล (eugenol) ซึ่งมีในน้ำมันกานพลู (oil of clove) ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และอาจมีสารเพิ่มประสิทธิภาพอื่นๆ เช่น ตัวทำให้เนื้อส่วนผสมนุ่มและลื่น ช่วยให้ปั้นง่ายขึ้น (plasticizer) เช่น น้ำมันมะกอก (olive oil) น้ำมันลินสีด (linseed oil)

ปัจจุบันมีการพัฒนาซีเมนต์ยึดชั่วคราวให้อยู่ในรูปเพสต์ (paste) บรรจุในรูปหลอด 2 หลอด [37, 38] เพื่อสะดวกต่อการใช้งาน หลอดที่ 1 ซิงค์ออกไซด์เพสต์ อาจมีการเติมสารเพิ่มประสิทธิภาพ หลอดที่ 2 ยูจีนอลเพสต์ หรือ เพสต์ซึ่งใช้โรมาติกออยล์แทนยูจีนอล เนื้อเพสต์ต้องเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีสิ่งเจือปน

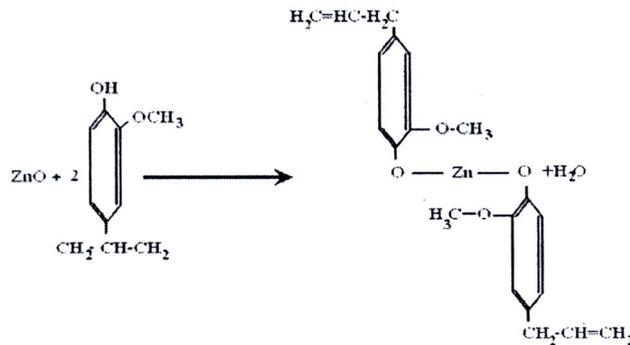
วิธีผสม

รูปแบบที่เป็นส่วนผงกับส่วนเหลว ใช้อัตราส่วนระหว่าง 4:1 ถึง 6:1 รูปแบบที่เป็นเพสต์ (paste) ประกอบ ใช้ เบสเพสต์ต่อแอคซีทีเรติงเพสต์ ผสมตามที่ผู้ผลิตระบุ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าว ปรับเปลี่ยนได้แล้วแต่ต้องการข้นมากหรือน้อย [24]

ปฏิกิริยาก่อตัว (setting reaction)

เมื่อผสมซิงค์ออกไซด์กับยูจีนอล เกิดปฏิกิริยาแบบคีเลชัน (chelation) ได้ซิงค์ยูจีนโนเลตกับน้ำ [24]

คีเลชัน หมายถึง การรวมแบบวงปิด (closed ring) ของสารประกอบโดยมีอะตอมยึดล้อมไอออน ซึ่งอยู่ใจกลางของวงปิดและไอออนนั้นต้องเป็นโลหะ



ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาก่อตัวของซิงค์ออกไซด์ยูจีนโนเลตซีเมนต์

ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีน้ำผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย โดยน้ำทำปฏิกิริยากับผงซิงค์ออกไซด์กลายเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ $[Zn(OH)_2]$ แล้วซิงค์ไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยาแบบคีเลชันกับยูจีนอลปราศจากน้ำ (dehydrated zinc oxide) ฉะนั้นน้ำจึงเป็นตัวช่วยให้ซิงค์ออกไซด์ชนิดปราศจากน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับยูจีนอลชนิดปราศจากน้ำ แต่น้ำมีความจำเป็นเฉพาะตอนเริ่มปฏิกิริยาเท่านั้น ถ้านำผงซิงค์ยูจีนโนเลตไปส่งกองล้อจลทรรศน์ จะพบผงซิงค์ออกไซด์และยูจีนอลที่ตกค้างยังไม่ทำปฏิกิริยากระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อของซิงค์ยูจีนโนเลต ปริมาณของผงซิงค์ออกไซด์และยูจีนอลที่ตกค้างนี้มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุด้วย [24]

เวลาก่อตัว (Setting time)

เป็นระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมส่วนต่างๆจนกระทั่งแข็งตัว [24] แบ่งออกเป็น

1. ระยะเวลาผสม (Mixing time) เริ่มผสมแต่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา สังเกตวัสดุนั้นมีผิวเรียบ เป็นเงาตัดออกได้ง่าย

2. ระยะเวลาเริ่มก่อตัว (Initial setting time) เป็นระยะตั้งแต่เริ่มเกิดปฏิกิริยาจากนิวเคลียสตัวแรกไปจนเกือบตัวสุดท้าย สังเกตเงามันที่ผิวเริ่มหายไปและรอยแยกตัว (crumble) เริ่มปรากฏเป็นก้อนแข็งบางส่วน

3. ระยะเวลาก่อตัวสิ้นสุด (Final setting time) เป็นระยะสิ้นสุดของปฏิกิริยา เป็นระยะที่วัสดุนั้นแข็งตัวทั้งก้อน ตัดหรือตกแต่งค่อนข้างลำบาก

ในทางทันตกรรมค่าเวลาก่อตัว ช่วยให้ทันตแพทย์ปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดทั้งเวลาและวัสดุ ค่าเวลาผสม เป็นเวลาที่เหมาะสำหรับผสม เทแบบและตกแต่ง ค่าเวลาของการก่อตัวสิ้นสุดช่วยเป็นแนวให้ทราบถึงเวลาที่ควรจะปฏิบัติในขั้นต่อไปได้ โดยไม่เสียรูปหรือแตกหัก โดยทั่วไปเวลาก่อตัวสิ้นสุดของวัสดุที่ก่อตัวในช่องปากอยู่ระหว่าง 3-12 นาที และเวลาก่อตัวของวัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการอยู่ระหว่าง 10-30 นาที

สมบัติ

สมบัติทั่วไปของซีเมนต์ยึดชั่วคราวชนิดซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลซีเมนต์มีดังนี้ [24]

1. กลสมบัติ ซีเมนต์ชนิดนี้ มีกลสมบัติดีกว่าซีเมนต์ทุกชนิด เว้นแต่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซีเมนต์ สมบัติเชิงกลที่สำคัญ ได้แก่

1.1 ความทนแรงอัด (compressive strength) มีค่าเพียง 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (5.5 เมกะนิวตันต่อตารางนิ้ว) เมื่อใช้อัตราส่วนผสมส่วนผงกับส่วนเหลว 3:1 แต่ค่ากำลังอัดต่ำเช่นนี้ไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุอุดฟันถาวรและบุพื้นโพรงฟัน แต่กรณีใช้เป็นซีเมนต์ยึดชั่วคราว ไม่ควรเกิน 35 MPa

1.2 การละลาย (solubility) สามารถละลายในน้ำได้ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนผสมส่วนผงกับส่วนเหลว 3:1 หลังแช่ในน้ำนาน 24 ชั่วโมง

2. ความสามารถกันการซึมของกรด จากส่วนเกินของกรดหลังปฏิกิริยาของซีเมนต์บางชนิด ซีเมนต์ชนิดนี้สามารถกันไม่ให้กรดผ่านไปสัมผัสกับประสาทฟันได้ เช่น กันส่วนเกินของกรดฟอสฟอริกของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ และซิลิเกตซีเมนต์

3. ทึบแสง ซีเมนต์ชนิดนี้จึงไม่เหมาะสำหรับฉาบพื้นโพรงฟัน จะเห็นสีทึบของซีเมนต์

4. ความเป็นกรด-เบส (pH) เท่ากับ 7 ถือเป็นกลาง ไม่ระคายเคืองหรือเป็นอันตรายต่อประสาทฟัน

5. เป็นยาระงับปวด เพราะสมบัติของยูจีนอลใช้ปิดบริเวณที่ประสาทฟันทะลุ

6. เป็นยาฆ่าเชื้อแบคทีเรียให้หยุดเจริญ

American National standard/American Dental Association (ASNI/ADA) Specification No. 30 กำหนดมาตรฐานสำหรับซีเมนต์ทางทันตกรรมชนิดซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลและซิงค์ออกไซด์ชนิดไม่มียูจีนอล [45] โดยต้องมีสมบัติตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติที่ต้องการสำหรับซีเมนต์ทันตกรรม ซิงค์ออกไซด์ชนิดไม่มียูจีนอล และ ซิงค์ออกไซด์ชนิดไม่มียูจีนอล

Type and class	Setting time (at 37°C)		Compressive strength at 24 h		Disintegration after 24 h	Film thickness	Acid soluble arsenic content
	Min.		MPa		%m/m	μm	Mg/kg(ppm)
	Min.	Max.	Min.	Max.	Max.	Max.	Max.
Type I-class 1	4	10	-	35	2.5	25	2
Type I-class 2A	4	10	-	35	2.5	25	2
Type I-class 2B	4	10	-	35	2.5	25	2
Type I-class 3	Penetration at 1 h		NA	NA	NA	25	2
Type II-class 1	4	10	35	-	1.5	25	2
Type III-class 1	2	10	25	-	1.5	NA	2
Type III-class 2	2	10	35	-	1.5	NA	2
Type IV-class 1	4	10	5	-	1.5	NA	2
Type IV-class 2	4	10	5	-	1.5	NA	2

2.2 ซิงค์ออกไซด์ซีเมนต์ชนิดไม่มียูจีนอล (non-eugenol zinc oxide cement)

ใช้กลุ่มน้ำมันมีกลิ่นหอม เช่น คลอโรไทมอล (chlorothymol) แทนยูจีนอล เหมาะสำหรับผู้ที่แพ้หรือไม่ชอบกลิ่นยูจีนอล สมบัติ เวลาก่อตัวและกำลังแรงอัดซ้ำและต่ำกว่า ซิงค์ออกไซด์ยูจีนอลและไม่ติดแน่นกับครอปฟันหรือฟันเทียมบางส่วนติดแน่น แต่ไม่ทำให้ครอปฟันหรือฟันเทียมบางส่วนติดแน่นอะคริลิกอ่อนตัว [24]



3. เรซินซีเมนต์ (resin cements)

เรซินซีเมนต์ เป็นซีเมนต์ยึดถาวรที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เรซินซีเมนต์เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการบูรณะฟัน เนื่องจากมีข้อดีคือ มีให้เลือกใช้หลายสี การละลายตัวต่ำ ชัดแต่งได้ ทนต่อการสึกกร่อน เพิ่มการยึดติดแก่ชิ้นงาน ให้การยึดติดกับโครงสร้างฟัน และการรั่วซึมต่ำ

ส่วนประกอบ

เรซินซีเมนต์มีองค์ประกอบพื้นฐานคล้ายกับคอมโพสิตเรซินที่ใช้ในการบูรณะฟัน คือประกอบด้วย เรซินเมทริกซ์เป็นบิสจีเอ็มเอ (Bis-GMA) และวัสดุอุดแทรกที่เป็นอนินทรีย์สาร ซึ่งผนึกด้วยสารคู่ควบไซเลน (organosilane coupling agent) เพื่อให้ยึดติดกับเมทริกซ์ได้ดี วัสดุอุดแทรกที่ใช้เป็นกลุ่มเดียวกับที่ใช้ในคอมโพสิตเรซิน อาจเป็นอนุภาคของแก้วซิลิกา (silica glass particle) ที่มีขนาด 10-15 ไมโครเมตร หรือ ซิลิกาที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอย (colloidal silica) เป็นวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กประมาณ 0.04 ไมโครเมตร หรือมีทั้งสองอย่างผสมกัน (hybrid filler) มีปริมาณร้อยละ 30-80 โดยน้ำหนัก ชนิดของวัสดุอุดแทรกทำให้เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน นอกจากนี้มีการเพิ่มสารลดความหนืดที่เป็น โมโนเมออร์ประเภทเมทิลเมทาคริเลต (methylmethacrylate) หรือ ไดเมทาคริเลต (dimethacrylate)

เมื่อต้องการให้เรซินซีเมนต์ยึดติดกับเนื้อฟัน ต้องใช้สารยึดติดผิวเนื้อฟันร่วมด้วย เพื่อช่วยส่งเสริมให้เกิดการยึดติด โดยโมโนเมออร์ที่ผสมในสารยึดติดเนื้อฟันและเรซินซีเมนต์ ได้แก่ HEMA, 4-META (4-methacryloxyethyl trimellitic anhydride) และกลุ่มของฟอสเฟต (organophosphate) เช่น MDP (10-methacryloyloxy-decamethylene phosphoric acid) [25]

สมบัติ

เรซินซีเมนต์แต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพและทางกลแตกต่างกันไปตามส่วนประกอบทั้งที่เป็นเมทริกซ์และวัสดุอุดแทรก รวมทั้งประสิทธิภาพของกลไกการเกิดปฏิกิริยา โดยพบว่าเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกสูงกว่า จะมีสมบัติทางกายภาพสูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกน้อยกว่า [25] เช่น ค่ากำลังความแข็งแรง (strength) และความแข็ง (stiffness) สูง โดยเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอุดแทรกสูงจะมีความทนแรงยึด (bond strength) สูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่ไม่มีวัสดุอุดแทรก ลดการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันและมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (coefficient of thermal expansion) ต่ำ ลดการรั่วซึม (microleakage) ช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อน (abrasive resistance) บริเวณขอบของวัสดุบูรณะและสามารถกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินได้ง่ายขึ้น



เรซินซีเมนต์บางชนิดลดปริมาณวัสดุอัดแทรกกลง เพื่อให้ซีเมนต์ไหลแผ่ได้ดี และทำให้พื้นผิวเปียก (surface wettability) เพื่อใส่วัสดุบูรณะได้ง่ายขึ้น เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูง จะมีการรั่วซึมที่ขอบบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันกับเรซินน้อยกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดต่ำ นอกจากนี้เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูงสามารถกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินได้ง่ายกว่า แต่อาจจะดึงซีเมนต์บริเวณใต้ขอบวัสดุบูรณะทำให้เกิดช่องว่างขึ้นได้ ส่วนเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดต่ำสามารถกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินได้ยากกว่า

เรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดต่ำจะมีการละลายตัวสูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีความหนืดสูง ดังนั้นเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกมากและมีความหนืดสูงน่าจะมีสมบัติดีกว่าอย่างไรก็ตาม ช่องว่างระหว่างฟันและวัสดุบูรณะ (marginal gap) ยิ่งมากมีโอกาทำให้เกิดการละลายตัวของซีเมนต์มากขึ้น เรซินซีเมนต์ที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) สูง ช่วยป้องกันการรั่วซึมตามขอบ นอกจากนี้เรซินซีเมนต์ควรมีความทึบรังสี (radiopacity) เพื่อช่วยในการวินิจฉัยรอยผุ ตรวจหาช่องว่างบริเวณขอบ และหาซีเมนต์ส่วนเกิน โดยเรซินซีเมนต์ควรมีความทึบแสงมากกว่าเนื้อฟันเพื่อให้มองเห็นได้ชัดเจน

ประเภทของเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์จำแนกตามกลไกปฏิกิริยาการบ่มตัวได้ 3 ประเภท คือ

1. เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (light cured resin cement)

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้สามารถบ่มตัวด้วยการฉายแสงเท่านั้น โดยจะใช้ยึดชิ้นงานที่ไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบและชิ้นงานนั้นต้องมีความหนาไม่เกิด 2 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดการบ่มตัวของซีเมนต์อย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้หากชิ้นงานหนาเกิน 2 มิลลิเมตร แสงจากเครื่องฉายแสงจะไม่สามารถส่องผ่านถึงชั้นของซีเมนต์ได้ ส่งผลให้ซีเมนต์ไม่แข็งตัวอย่างสมบูรณ์

เรซินซีเมนต์ระบบนี้จะแข็งตัวโดยอาศัย campheroquinone เป็นตัวดูดซับแสงสีฟ้า ความยาวคลื่น 400-500 นาโนเมตร เพื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันต่อไป

เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มักผลิตมาในรูปแบบที่มีส่วนผสมเดียว (single component system) มีให้เลือกหลายสี นิยมใช้ในงานบูรณะที่ทำโดยอ้อม (indirect restoration) และมีความหนาของวัสดุไม่มาก เช่น วีเนียร์ที่ทำจากเซรามิกส์หรือคอมโพสิต ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ ความเข้มของแสงที่ใช้ เวลาในการฉายแสง และความหนาของวัสดุบูรณะ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์

2. เรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยตนเอง (chemical cured resin cement)

เรซินซีเมนต์นี้มีส่วนผสม 2 ส่วน (two component system) ซึ่งอาจผลิตมาในรูปแบบของผงกับน้ำ เพลสต์กับน้ำ หรือเพลสต์กับเพลสต์แล้วนำมาผสมกัน โดยมีเพอร์ออกไซด์เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา (peroxide initiator) และเอมีนเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา (amine activator) โดยมักใช้



ในการยึดวัสดุแกนฟันโลหะ หรือเซรามิกส์ทึบแสง (metal, opaque ceramic core) ซึ่งแสงไม่สามารถส่องผ่านถึงชั้นซีเมนต์ได้ เช่น Procera Inceram ระบบนี้ไม่นิยมใช้ในงานบูรณะฟันเพื่อความสวยงาม เนื่องจากมักจะมีสีให้เลือกน้อย ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ Panavia Ex (Kuraray X), SuperBond C&B, C&B Metabond

3. เรซินซีเมนต์ชนิดที่บ่มตัวทั้งสองรูปแบบ (dual cured resin cement)

เรซินซีเมนต์นี้มีส่วนผสม 2 ส่วนเหมือนเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มตัวด้วยตนเองที่ต้องนำมาผสมกันแล้วจะเกิดการกระตุ้นทางเคมีอย่างช้าๆ ช่วยให้มีเวลาในการทำงานมากขึ้น โดยอาศัย tertiary amine เป็นตัวกระตุ้นเบนโซอิลเพอรอกไซด์ให้แตกตัวเป็นอนุมูลอิสระเพื่อเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันต่อไป จนกระทั่งฉายแสงจะทำให้เรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันทันทีโดยส่วนที่บ่มตัวด้วยแสงอาศัย campheroquinone เป็นตัวดูดซับแสงสีฟ้า ส่วนการกระตุ้นทางเคมียังคงดำเนินต่อไปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์บริเวณที่ฉายแสงไม่ถึง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าเรซินซีเมนต์ชนิดแข็งตัวด้วยแสง และทำให้เรซินซีเมนต์มีค่ากำลังความแข็งแรงสูงขึ้น เรซินซีเมนต์ระบบนี้เป็นทางเลือกสำหรับการยึดติดชิ้นงานวัสดุบูรณะที่ทำโดยอ้อม [25] ตัวอย่างเรซินซีเมนต์ชนิดนี้คือ Dual cement (Vivadent), Dicor light-activated cement (Dentsply), Duo cement (Coltene), Panavia F 2.0 (Kuraray) ในที่นี้จะกล่าวรายละเอียดของ Panavia F 2.0

Panavia F 2.0 เป็นเรซินซีเมนต์ที่มีสารช่วยเพิ่มการยึดติด (adhesive promoter) ประเภท MDP (10-methacryloxydecamethylene phosphoric acid) ซึ่งกลุ่มฟังก์ชันนี้จะเป็นตัวสำคัญในการยึดติดของซีเมนต์ชนิดนี้

ซีเมนต์ชนิดนี้เป็นระบบ self etching system โดยมี ED primer เป็นตัวปรับสภาพผิวฟัน โดยระบบนี้ไม่ต้องล้างน้ำหลังการปรับสภาพผิวฟันโดย ED primer ทำให้มีความเป็นกรดคงเหลือหลังการปรับสภาพผิวฟัน ซึ่งต่างจากเรซินซีเมนต์ตัวอื่นซึ่งต้องล้างน้ำออกหลังปรับสภาพผิวฟัน ในระบบของเรซินซีเมนต์นี้ประกอบด้วย

1. ED primer ประกอบด้วย liquid A และ liquid B ในการใช้งานจะนำมาผสมกันแล้วทาบนผิวฟัน

Liquid A เป็น transparent liquid ซึ่งละลายน้ำได้บางส่วน ในสภาวะปกติจะไม่เสถียร (unstable) ประกอบด้วย MDP, HEMA, 5-NMSA (N-methacryloyl 5-aminosalicylic acid) ซึ่งเป็น salicylic acid derivative, N,N-diethanol P toluidine, water

Liquid B ประกอบด้วย 5-NMSA, sodium benzene sulfinate, N,N-diethanol P toluidine, water

ใช้ priming time ลดลงเหลือเพียง 30 วินาที เนื่องจาก ED primer มีค่าความเป็นกรดค่าเป็น 3.0 ทำให้ต้องการเวลาในการปรับสภาพผิวฟันลดลง

2. Panavia paste A และ paste B มีการปรับ catalyst system โดยเปลี่ยนในส่วน ของ paste B เพื่อให้มี working time นานขึ้น

3. Oxyguard เป็นเจลสีเขียวละลายน้ำได้ ในสภาวะปกติจะไม่เสถียร ประกอบด้วย polyethelene glycol, glycerine, sodium benzene sulfinate, N,N-diethanol P toluidine

4. K etch gel ประกอบด้วย 37.5 % phospholic acid

5. Clearfis Porcelain Bond

6. Alloy primer ใช้ในการยึดชิ้นงานที่เป็น precious alloy ทั้งนี้บริษัทผู้ผลิต แนะนำว่า หลังการใช้ alloy primer ทาบนผิวโลหะแล้ว ถ้ามีการปนเปื้อนของน้ำลายหรือเลือดอีก ให้ทำความสะอาดผิวด้วยสำลีชุบแอลกอฮอล์เช็ดแล้วทา alloy primer ใหม่

4. สารยึดติดเนื้อฟัน

ระบบสารยึดติดได้รับการค้นคว้าปรับปรุงและพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องจากอดีตซึ่งให้ความสำคัญกับกลไกการยึดทางเคมีเป็นหลัก รวมถึงการยึดที่เกิดขึ้นระหว่างสารยึดติดกับชั้นสเมียร์แทนที่จะเกิดกับโครงสร้างของฟันโดยตรง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยึดติดยังไม่เป็นที่พอใจจนถึงปัจจุบันซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ากลไกการยึดทางกลเป็นหลักสำคัญในการยึดระหว่างสารยึดติดกับโครงสร้างของฟัน รวมทั้งการใช้กรดหรือสารบางอย่างในการทำความสะอาดและปรับสภาพผิวฟันให้เหมาะสมต่อการยึดติด ทำให้โดยทั่วไปการจำแนกประเภทของสารยึดติดมักจัดแบ่งตามช่วงเวลาและพัฒนาการ (generation) ของวัสดุ [43] ได้แก่

รุ่นที่ 4 (fourth-generation) คือ รุ่นที่มีทั้งการบ่มตัวด้วยแสงและบ่มตัวได้สองรูปแบบ (light cured and dual cured) เป็นระบบที่มีหลายขั้นตอน (multibottle systems) โดยแยกกรดไพรเมอร์และแอคซีทีฟคอนละขวด ตัวอย่างเช่น All-Bond 2 (Bisco), Scotchbond MP (3M ESPE), OptiBond FL (Kerr)

รุ่นที่ 5 (fifth-generation) คือ รุ่นที่มีการบ่มตัวด้วยแสง และมีการรวมขั้นตอน (single-bottle system) โดยรวมไพรเมอร์กับแอคซีทีฟในขวดเดียวกัน ตัวอย่างเช่น Bond-1 (Pentron), One-step Plus (Bisco), Optibond Solo Plus (SDS/Kerr), Prime & Bond NT (Dentsply), Single Bond (3M ESPE)

รุ่นที่ 6 (sixth-generation) คือ รุ่นที่เป็นระบบ self etching ที่มีไพรเมอร์หรือแอคซีทีฟมีสมบัติเป็นกรด (acidic primer/adhesive) ทำให้ไม่ต้องใช้กรดปรับสภาพผิวฟันก่อนและไม่ต้องล้าง

ออก ตัวอย่างเช่น Clearfil SE Bond (Kuraray), FI-Bond (Shofu), One-Step Plus with Tyrian SPE (Bisco)

รุ่นที่ 7 (seventh-generation) คือ รุ่นที่เป็นระบบ self etching systems ไม่มีการรวมแอต ฮีซีฟ (no-mix adhesive) ตัวอย่างเช่น iBond (Heraeus Kulzer)

อย่างไรก็ตามการจำแนกด้วยวิธีดังกล่าวนี้มีความซับซ้อนและเข้าใจได้ยากรวมถึงไม่สอดคล้องกับการนำไปใช้งานทางคลินิก ในการทบทวนวรรณกรรมนี้จะจำแนกประเภทของสารยึดติดตามขั้นตอนการใช้งาน (application step) ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ระบบ [44] คือ

4.1 etch and rinse adhesive system

เป็นระบบที่ใช้กรดฟอสฟอริกในขั้นตอนทำความสะอาดและปรับสภาพผิวฟัน (etching or conditioning step) รวมถึงขั้นตอนการล้างน้ำ (rinsing step) เป็นขั้นตอนเบื้องต้นก่อนการใช้สารยึดติด ระบบนี้นิยมเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “total etch adhesive system” ในอดีตการใช้กรดฟอสฟอริกทำความสะอาดและปรับสภาพเนื้อฟันนั้นเป็นที่โต้เถียงกันว่าอาจทำให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อประสาทฟันได้ ดังนั้นการใช้กรดฟอสฟอริกทำความสะอาดและปรับสภาพผิวฟันจึงจำกัดอยู่เฉพาะส่วนเคลือบฟันเท่านั้น แต่ปัจจุบันมีรายงานที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้กรดฟอสฟอริกในการกำจัดชั้นสเมียร์ที่เนื้อฟันรวมถึงการละลายอินทรีย์สารในเนื้อฟันออกบางส่วน ซึ่งจะส่งผลให้สารยึดติดมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นในการยึดติด ทำให้การทำความสะอาดและปรับสภาพผิวฟันฟันนิยมใช้กรดฟอสฟอริกกับทั้งส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟัน การเรียกระบบสารยึดติดดังกล่าวจึงใช้ชื่อว่า “total etch adhesive system” อย่างไรก็ตามในระยะต่อมาที่มีการพัฒนาสารยึดติดขึ้นมากมาย โดยเกือบทั้งหมดมีการใช้สารปรับสภาพผิวฟันทั้งกับส่วนเคลือบฟันและเนื้อฟัน การใช้ชื่อเรียกว่า “total etch adhesive system” จึงไม่ชัดเจนและเฉพาะเจาะจงถึงสารยึดติดในระบบนี้ที่ใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพผิวฟันร่วมกับการล้างน้ำ จึงมีผู้เสนอให้ใช้คำว่า “etch and rinse system” หรือ “water rinsing system” จะทำให้สื่อความหมายได้ถูกต้องยิ่งขึ้น สารยึดติดในระบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยตามขั้นตอนการใช้งานได้แก่

2.4.2.1 three step etch and rinse adhesive system เป็นกลุ่มของสารยึดติดที่แยกขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ภายหลังจากปรับสภาพผิวฟันด้วยกรด และล้างน้ำออกเรียบร้อยแล้ว จะเป็นขั้นตอนการทาสารส่งเสริมการยึดติดกับผิวฟัน (primer or adhesion-promoting agent) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงผิวฟันที่มีสมบัติเข้ากันได้ดีกับความชื้น (hydrophilic) ให้มีสมบัติไม่เข้ากับความชื้น (hydrophobic) อันเป็นสิ่งจำเป็นก่อนการยึดติด สารดังกล่าวนี้ประกอบด้วย โมโนเมอร์ที่มีสมบัติทั้งสองอย่างดังที่กล่าวข้างต้น รวมทั้งมีส่วนประกอบเป็นตัวทำละลายซึ่งสามารถแทนที่น้ำบนผิวฟัน ทำให้มีการแทรกซึมของโมโนเมอร์ลงไปในรูพรุนขนาดเล็กที่เกิดขึ้นภายหลัง

การปรับสภาพผิวฟันได้ และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการทาสารยึดติด (adhesive resin or bonding agent) ซึ่งองค์ประกอบหลักเป็น โมโนเมอร์ที่ไม่เข้ากับความร้อน รวมทั้งไม่มีตัวทำละลายเป็นส่วนประกอบ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Clearfil new bond (Kuraray), Scotchbond Multi-Purpose (3M ESPE), Optibond FL (Kerr), Al-Bond 3 (Bisco)

2.4.2.2 two step etch and rinse adhesive system เป็นกลุ่มของสารยึดติดที่ลดขั้นตอนการทำงานลงเหลือเพียง 2 ขั้นตอน โดยรวมขั้นตอนการทาสาร primer และ bonding agent เข้าไว้ด้วยกันซึ่งใช้เพียงสารเดียวที่มีสมบัติรวมของทั้ง 2 ขั้นตอนดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ให้สามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น สารยึดติดในกลุ่มนี้จึงอาจเรียกชื่อว่า “self-priming adhesive system” หรือ “one-bottle adhesive system” อย่างไรก็ตามการรวมขั้นตอนทั้งสองนี้เข้าด้วยกันโดยใช้สารที่มีสมบัติรวมระหว่าง primer และ bonding agent จะทำให้ประสิทธิภาพที่ต้องการของแต่ละขั้นตอนด้อยลง มีการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการยึดติดกับผิวฟันของสารยึดติดในกลุ่มนี้ยังด้อยกว่ากลุ่มที่มีแยกขั้นตอนการทำงานออกจากกันอย่างชัดเจน จึงมีผู้แนะนำให้ทาสารดังกล่าวหลายๆ ชั้น โดยการทาสารชั้นแรกจะทำหน้าที่คล้ายกับ primer ในการเพิ่มพลังงานอิสระที่ผิวฟัน และในการทาสารชั้นต่อไปจะทำหน้าที่คล้ายกับ bonding agent รวมทั้งช่วยเพิ่มความสามารถในการแทรกซึมของสารลงไปยังผิวฟันที่ผ่านการปรับสภาพแล้วให้เกิดขึ้นอย่างทั่วถึงและสมบูรณ์ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ได้แก่ Single Bond (3M ESPE), Prime&Bond NT และ XP Bond (Dentsply DeTrey), One-Step (Bisco), OptiBond Solo Plus (Kerr), Excite DSC (Vivadent)

อย่างไรก็ตามปัญหาที่พบจากการใช้งานสารยึดติดในระบบ etch and rinse คือ ขั้นตอนการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริกและการล้างน้ำ ซึ่งทำให้สมบูรณ์และถูกต้องได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อทำงานกับส่วนเนื้อฟัน เนื่องจากเนื้อฟันทึบมีองค์ประกอบอินทรีย์เป็นเส้นใยคอลลาเจนซึ่งคงอยู่ภายหลังการปรับสภาพผิวฟันด้วยกรดฟอสฟอริก การรักษาความชื้นของเนื้อฟันให้พอเหมาะเพื่อคงช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน (interfibrilla space) และป้องกันไม่ให้เกิดการยุบตัว (collapse) ก่อนการทาสารยึดติดนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้สารยึดติดสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้การใช้กรดฟอสฟอริกซึ่งมีความรุนแรงค่อนข้างสูงในการปรับสภาพผิวฟัน อาจทำให้มีการละลายองค์ประกอบอินทรีย์ของเนื้อฟันออกมากจนเกินไปหากใช้งานอย่างไม่ถูกต้อง ทำให้การแทรกซึมของสารยึดติดอาจเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นช่องว่างในส่วนเล็กๆ ของชั้นที่มีการเชื่อมกันระหว่างสารยึดติดกับเนื้อฟัน อันส่งผลเสียระยะยาวต่อความคงทนในการยึดได้

4.2 self etch adhesive system

เป็นระบบที่ขจัดชั้นตอนการใช้กรดฟอสฟอริกและการล้างน้ำออก โดยใช้สาร ซึ่งเป็น โมโนเมอร์ที่มีสมบัติเป็นกรด (acidic monomers) สารดังกล่าวสามารถปรับสภาพผิวฟัน พร้อมกับเกิดการแทรกซึมของโมโนเมอร์ลงไป ในขณะที่เดียวกัน รวมทั้งไม่ต้องล้างน้ำเพื่อกำจัดสาร ดังกล่าวออกภายหลังการใช้งาน ทำให้ปัญหาข้อผิดพลาดในการรักษาความชื้นของเนื้อฟันภายหลัง การใช้กรดฟอสฟอริกในการปรับสภาพและการล้างน้ำของยึดติดระบบ etch and rinse ถูกกำจัด ออกไป นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาอาการเสียวฟันภายหลังการบูรณะเนื่องจากการคงสภาพของ ชั้นสเมียร์ที่ละลายตัวบางส่วนเอาไว้เป็นชั้นป้องกันตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของ สารยึดติดในระบบนำขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ของแต่ละบริษัท รวมถึงสมบัติความเป็นกรดที่ไม่มากเมื่อ เทียบกับกรดฟอสฟอริก ทำให้ความสามารถในการปรับสภาพผิวฟัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนเคลือบ ฟันที่ไม่ได้รับการกรอตัดยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ สารยึดติดระบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ย่อยตามขั้นตอนการใช้งานได้แก่

2.4.2.1 two step self etch adhesive system เป็นกลุ่มของสารยึดติดที่รวมขั้นตอน การปรับสภาพผิวฟัน (etching) และขั้นตอนการส่งเสริมการยึดติด (priming) ด้วยกัน โดยใช้ โมโนเมอร์ที่มีสมบัติเป็นกรดดังที่กล่าวข้างต้น และแยกออกจากขั้นตอนการทำสารยึดติด มีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าบางผลิตภัณฑ์ของสารยึดติดในระบบ etch and rinse โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการยึดกับเนื้อฟัน ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Clearfil SE Bond (Kuraray), Tyrian SPE (Bisco), OpitBond Solo Plus Self-Etch (Kerr), AdheSE (Vivadent)

2.4.2.2 one step self etch adhesive system เป็นกลุ่มของสารยึดติดที่รวม ทุกขั้นตอนการทำงานให้เหลือเพียงขั้นตอนเดียว จึงอาจเรียกชื่อว่า “All-in-one adhesive system” ซึ่งช่วยให้สามารถทำงานได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการที่โมโนเมอร์จะแสดงสมบัติ ความเป็นกรดได้นั้นจำเป็นต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางเพื่อช่วยให้โมโนเมอร์เกิดการแตกตัว การมีน้ำ และตัว ทำละลายอื่นๆ เป็นองค์ประกอบร่วมในสารยึดติดอาจส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพการยึดกับ ผิวฟันได้หากการกำจัดน้ำและการระเหยของตัวทำละลายเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ รวมถึงความเป็น กรดของสารยึดติดที่ทำให้เกิดความไม่เข้ากันกับวัสดุบูรณะคอมโพสิตชนิดบ่มตัวด้วยปฏิกิริยา ทางเคมี นอกจากนี้การที่สารยึดติดในกลุ่มนี้มีสมบัติเข้ากันได้ดีกับความชื้น ทำให้สารยึดติด ประพฤติตัวเสมือนเป็นชั้นที่ยอมให้มีการซึมผ่านของน้ำได้ (semi-permeable membrane) อันทำให้เกิดปัญหาการสลายตัว (hydrolysis) และการเสื่อม (degradation) ของคุณภาพการยึดติดในระยะยาว ตัวอย่างของสารยึดติดในกลุ่มนี้อาจผลิตในรูปบรรจุภัณฑ์ 2 ส่วน ซึ่งต้องผสมกันก่อนใช้ ได้แก่ Adper Prompt (3M ESPE), Xeno III (Dentspy DeTrey), One-Up Bond F (Tokuyama), UniFil

Bond (GC) หรือในลักษณะบรรจุภัณฑ์เดียว ได้แก่ Clearfil Tri-S Bond (Kuraray), Bond Force (Tokuyama), OptiBond All-in-one (Kerr), G-Bond (GC), iBond (Heraeus Kulzer)

2.4.3 glass ionomer / resin modified glass ionomer adhesive system

เป็นระบบสารยึดติดที่ใช้กลไกพื้นฐานในการยึดกับผิวฟันของแก้วไอโอโนเมอร์ ซึ่งเป็นวัสดุทางทันตกรรมที่มีสมบัติสามารถยึดกับผิวฟันได้โดยไม่ต้องอาศัยขั้นตอนการปรับสภาพผิวฟัน (auto-adhesive) หลักการทั่วไปคล้ายคลึงกับการยึดติดของสารยึดติดในระบบ self etch กล่าวคือ ความเป็นกรดของวัสดุสามารถละลายอินทรีย์สารที่ผิวฟันออกบางส่วน และมีการแทรกซึมของวัสดุลงไปเกิดการยึดติดทางกลระดับจุลภาคกับผิวฟัน นอกจากนี้ยังเกิดการยึดทางเคมีจากพันธะไอออนิกระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของวัสดุกับแคลเซียมของผิวฟันได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม มีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพผิวฟันก่อนด้วยกรดอ่อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดของวัสดุให้สูงขึ้นได้ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้ได้แก่ Fuji Bond LC (GC)

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพความแข็งแรงของสารยึดติดแต่ละระบบกับผิวฟันในห้องทดลอง พบว่าสารยึดติดระบบ etch and rinse มีประสิทธิภาพในการยึดกับส่วนเคลือบฟันได้ดีที่สุด โดยสารยึดติดในกลุ่ม two step self etch มีประสิทธิภาพรองลงมา ส่วนสารยึดติดในกลุ่ม one step self etch และระบบ glass ionomer adhesive ยังมีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่าเมื่อเทียบกับสองกลุ่มข้างต้น

ส่วนการยึดติดกับเนื้อฟันพบว่า สารยึดติดในกลุ่ม three step etch and rinse มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาเป็นสารยึดติดในกลุ่ม two step etch and rinse ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกลุ่ม two step self etch ส่วนสารยึดติดในกลุ่ม one step self etch และระบบ glass ionomer adhesive ยังมีประสิทธิภาพในการยึดกับเนื้อฟันที่ไม่ดีนัก

ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาประสิทธิภาพทางคลินิกของสารยึดติดเมื่อใช้ในการบูรณะรอยโรคบริเวณคอฟัน (non-cariou class V lesions) พบว่าสารยึดติดในกลุ่ม three step etch and rinse และ two step self etch มีประสิทธิภาพดีและมีอัตราการคงอยู่ของวัสดุบูรณะ (retention) ก่อนข้างสูง ในขณะที่สารยึดติดในกลุ่ม one step self etch มีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่า รวมทั้งอัตราการคงอยู่ของวัสดุยังไม่เป็นที่น่าพอใจในทางคลินิก แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาสารยึดติดโดยการลดขั้นตอนการใช้งาน เพื่อให้สามารถทำงานได้สะดวกเร็วขึ้นนั้น ไม่ได้สะท้อนถึงประสิทธิภาพและสมบัติของวัสดุที่ดีขึ้นตามไปด้วย สารยึดติดกลุ่มใหม่ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้น ยังคงมีความละเอียดอ่อนในการใช้งานก่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติที่เข้ากัน ได้ดีกับความชื้นที่มากเกินไป



5. หลักการและกลไกการยึดติด

ในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงหลักการการยึดติด กลไกการยึดติด และการยึดติดของเรซินซีเมนต์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การที่สารยึดติดจะสามารถยึดกับโครงสร้างของฟันอย่างมีประสิทธิภาพได้นั้น จำเป็นต้องมีการปรับสภาพผิวฟันให้เกิดลักษณะที่เหมาะสมในการยึดติด กล่าวคือผิวฟันต้องสะอาด ปราศจากสิ่งสกปรกคลุมอยู่ รวมถึงมีพลังงานอิสระที่ผิวฟัน (surface free energy) สูง เพื่อให้สารยึดติดสามารถแผ่ขยาย (wet) ไปบนผิวฟันได้อย่างเพียงพอ อันจะทำให้เกิดความแนบสนิทกันของโครงสร้างทั้งสองส่วนนี้มากที่สุด

กลไกการยึดระหว่างสารยึดติดและโครงสร้างของฟันจำแนกได้ 3 ประเภท [44] คือ

1. กลไกการยึดทางกล (mechanical bonding)

เกิดจากความขรุขระบนผิวฟัน ซึ่งสารยึดติดสามารถแทรกซึมเข้าไปและต่อกันกับร่องขรุขระดังกล่าวเหมือนการติดสลัก (interlock) กลไกดังกล่าวนี้มีความสำคัญและเป็นหลักใหญ่ของการยึดระหว่างสารยึดติดและโครงสร้างของฟัน

2. กลไกการยึดติดทางเคมี (chemical bonding)

เป็นการยึดติดของพันธะในระดับปฐมภูมิ (primary bonds) ระหว่างโครงสร้างอะตอมที่แตกต่างกันของผิวฟันและสารยึดติด เช่น พันธะไอออนิก (ionic bond) พันธะโควาเลนต์ (covalent bond) การยึด โดยอาศัยกลไกนี้มีข้อจำกัดในชนิดของสารยึดติดที่ใช้ รวมถึงมีความสำคัญไม่มากนักต่อการยึดติดโดยภาพรวม

3. กลไกการยึดติดทางกายภาพ (physical bonding)

เป็นการยึดติดของพันธะในระดับทุติยภูมิ (secondary forces) ระหว่างโครงสร้างอะตอมของผิวฟันและสารยึดติด เช่น พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) แรงแวน เดอ วาลส์ (van der waals force) กลไกดังกล่าวนี้มีความสำคัญน้อยในการยึดติด

จากหลักการและกลไกดังกล่าวข้างต้น วิธีการปรับสภาพผิวฟันให้มีลักษณะขรุขระเพื่อให้สารยึดติดแทรกซึมเข้าไปได้นั้น สามารถกระทำได้โดยการใช้เครื่องมือในการกรอแต่งผิวฟัน อย่างไรก็ตามการใช้เครื่องมือต่างๆ ในขั้นตอนการทำหัตถการนั้นจะทำให้เกิดชั้นสเมียร์ปกคลุมบนผิวฟัน อันจะส่งผลให้ผิวฟันมีพลังงานอิสระต่ำ ดังนั้นวิธีการที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องอาศัยกรดหรือสารบางอย่างปรับสภาพผิวฟันให้มีลักษณะเป็นรูพรุน รวมทั้งทำความสะอาดผิวฟันเพื่อให้ผิวฟันมีพลังงานอิสระสูง อันเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อการยึดติดมากยิ่งขึ้น

การยึดติดของเรซินซีเมนต์ ประกอบด้วย

1. การยึดติดของเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน

องค์ประกอบและโครงสร้างของเนื้อฟันนั้นแตกต่างกับเคลือบฟันอย่างสิ้นเชิง โดยเนื้อฟันมีสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ส่วนที่เหลือเป็นสารอนินทรีย์ประมาณร้อยละ 30 โดยปริมาตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอลลาเจนชนิดที่ 1 (type I collagen) และน้ำประมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตร ลักษณะโครงสร้างของเนื้อฟันจะประกอบด้วยท่อเนื้อฟันจำนวนมากแผ่กระจายจากโพรงเนื้อเยื่อประสาทฟันไปตลอดความหนาของชั้นเนื้อฟัน ท่อเนื้อฟันเป็นส่วนที่เชื่อมต่อโดยตรงกับโพรงเนื้อเยื่อประสาทฟัน และมีส่วนแขนงของเซลล์สร้างเนื้อฟัน (odontoblastic process) อยู่ ทำให้เนื้อฟันเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิตซึ่งสามารถตอบสนองต่ออันตรายต่างๆ ที่จะมากระทำต่อฟันได้ ท่อเนื้อฟันแต่ละท่อจะถูกล้อมรอบด้วย “peritubular dentin” ซึ่งเป็นบริเวณเนื้อฟันที่มีการสะสมของแร่ธาตุสูง และเนื้อฟันที่อยู่ระหว่างท่อเนื้อฟันแต่ละท่อ เรียกว่า “intertubular dentin” ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยคอลลาเจนจำนวนมาก และมีการสะสมของแร่ธาตุน้อยกว่า โครงสร้างทั้งหมดของเนื้อฟันนี้มีอยู่ในปริมาณและขนาดที่แตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณและตำแหน่งของฟัน จึงกล่าวได้ว่าเนื้อฟันมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) สูง

กลไกการยึดติดกับเนื้อฟันนั้นเกิดขึ้นจากการใช้สารเคมีขจัดชั้นสเมียร์ ซึ่งในขณะเดียวกันก็เกิดการละลายของแร่ธาตุบริเวณผิวเนื้อฟันออก โดยยังคงไว้ซึ่งโครงสร้างของเส้นใยคอลลาเจน เมื่อสารยึดติดแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยคอลลาเจน จะทำให้เกิดการผสานกันระหว่างส่วนของเนื้อฟันและสารยึดติดเรียกบริเวณที่มีการผสานกันนี้ว่า “ชั้นไฮบริด” (hybrid layer) นอกจากนี้สารยึดติดยังสามารถแทรกลงไป ในท่อเนื้อฟันเกิดเป็นลักษณะของแท่งเรซิน (resin tag) ได้ด้วย อย่างไรก็ตามการเกิดชั้นไฮบริดถือว่ามีความสำคัญที่สุดต่อประสิทธิภาพการยึดติดกับเนื้อฟัน ในขณะที่การเกิดแท่งเรซินนั้นอาจไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดโดยรวมหากแท่งเรซินนั้นไม่สามารถยึดกับเนื้อฟันโดยรอบผนังท่อได้

จากลักษณะโครงสร้างของเนื้อฟันดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ร่วมกับเหตุผลที่เนื้อฟันมีความชื้นสูงเนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างมาก จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการยึดกับสารยึดติดมีความไม่แน่นอนเมื่อเทียบกับส่วนเคลือบฟัน นอกจากนี้ระดับความชื้นของเนื้อฟันยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเนื้อฟันอีกด้วย โดยเนื้อฟันส่วนลึกที่อยู่ใกล้โพรงประสาทฟันจะมีความหนาแน่นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเนื้อฟันมากกว่าเนื้อฟันส่วนบน ทำให้ได้รับอิทธิพลจากความชื้นที่เกิดจากการไหลของของเหลวในท่อเนื้อฟันมากกว่า ซึ่งส่งผลให้การยึดติดกับเนื้อฟันในตำแหน่งดังกล่าวประสบความสำเร็จค่อนข้างยาก

กรณีที่เกิดย้อนรอยขึ้นกับฟันในระดับที่ไม่รุนแรง หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงของฟันตามอายุขัย จะพบมีการสะสมแร่ธาตุในเนื้อฟันมากขึ้น เกิดเป็นเนื้อฟันกระด้าง (sclerotic dentin) ซึ่งเป็นกลไกป้องกันตามธรรมชาติของเนื้อฟันในการลดความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่าน (dentinal permeability) และเป็นการป้องกันโพรงเนื้อเยื่อประสาทฟัน ลักษณะดังกล่าวนี้อาจทำให้การยึดของสารยึดติดกับเนื้อฟันมีประสิทธิภาพที่ด้อยลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสารยึดติดในระบบ self etch มีผู้แนะนำให้เลือกใช้สารยึดติดในระบบ etch and rinse ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการยึดกับเนื้อฟันกระด้างได้ดีกว่า รวมถึงการเพิ่มเวลาในการปรับสภาพผิวฟันให้นานขึ้นและการกำจัดเนื้อฟันส่วนนอกที่มีการสะสมแร่ธาตุมากออกก่อน

สภาพเนื้อฟันภายหลังการตัดก็ยังสามารถส่งผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดได้เช่นเดียวกัน การใช้เครื่องมือต่างๆ ในขั้นตอนการทำหัตถการนั้นจะทำให้เกิดชั้นสเมียร์ปกคลุมบนผิวฟัน ซึ่งความหนา ความหยาบ และความแน่นของชั้นสเมียร์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสารยึดติดในระบบ self etch ที่รวมชั้นสเมียร์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของชั้นไฮบริด ลักษณะของชั้นสเมียร์ที่เกิดขึ้นนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของหัวกรอที่เลือกใช้ ความเร็วรอบของหัวกรอในการตัด แรงในการกรอตัด รวมถึงการระบายความร้อนในระหว่างกรอตัดด้วย ดังนั้นจึงควรเลือกใช้หัวกรอให้เหมาะสม รวมทั้งมีการระบายความร้อนอย่างเพียงพอ และไม่ออกแรงดันหัวกรอในระหว่างกรอตัด ซึ่งจะทำให้เกิดชั้นสเมียร์ที่ไม่หนามากและไม่อัดตัวกันแน่น รวมทั้งง่ายต่อการปรับสภาพผิวฟัน

2. การยึดติดของเรซินซีเมนต์กับเซรามิกส์

การยึดติดของเรซินซีเมนต์กับเซรามิกส์เกิดได้ 2 กลไก คือ การยึดติดทางเคมีและการยึดติดทางกล ซึ่งอาศัยวิธีต่างๆ ได้แก่ การทำร่อง การใช้สารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสด้วยการเป่าทราย (sandblast) การทำให้ผิวขรุขระด้วยการกรอผิวด้วยหัวกรอกากเพชร (diamond bur) การใช้กรดกัด (Hydrofluoric acid etching)

ทั้งนี้การยึดติดดังกล่าวยังต้องใช้วิธีที่เหมาะสมสำหรับเซรามิกส์แต่ละชนิดด้วย กล่าวคือ

2.1 silica-based ceramics เช่น Empress, Empress II

ใช้ 2.5-10% HF acid etching 2-3 นาที ตามด้วยการทาสารคู่ควบไซเลน โดยไม่จำเป็นต้องใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารช่วยเพิ่มการยึดติด

2.2 glass-infiltrated alumina ceramics อาจใช้

2.1.1 Airborne particle abrasion ด้วย 50-110 ไมครอน Al_2O_3 ที่ความดัน 2.5 บาร์ ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารช่วยเพิ่มการยึดติด เช่น phosphate-modified resin cement จำพวก Panavia 21

2.1.2 Pretreatment ด้วยการทำให้ silica coating ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ชนิด conventional Bis-GMA resin cement เช่น Variolink

2.1.3 Hydrofluoric acid etching ใช้กับเซรามิกที่เป็น leucite reinforced feldspathic porcelain (glass ceramics) โดยการเตรียมผิววัสดุวิธีนี้เป็นการเพิ่มความขรุขระบนพื้นผิว เนื่องจากกรดจะไปละลาย glass matrix (leucite phase) ของเซรามิกส้อออก ช่วยให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระคล้ายรังผึ้ง เป็น micromechanically retentive surface ที่จะเกิดพันธะทางเคมีกับเรซินซีเมนต์ต่อไป

2.3 Zirconium-oxide ceramics

Airborne particle abrasion ด้วย 50-110 ไมครอน Al_2O_3 ที่ความดัน 2.5 บาร์ ร่วมกับการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสารช่วยเพิ่มการยึดติด

ปัจจัยที่มีผลต่อกลไกการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน

1. โครงสร้างเนื้อฟัน

ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

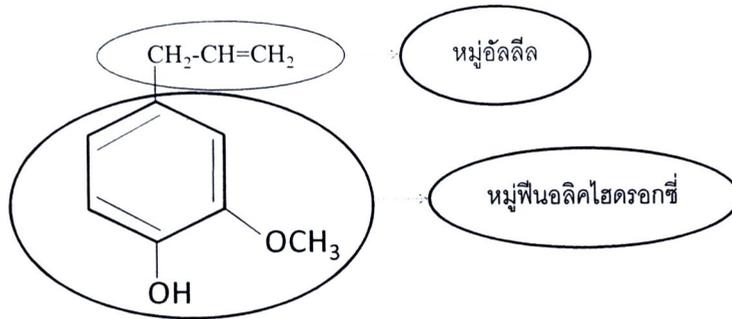
2. ชั้นสเมียร์ (smear layer)

ภายหลังการกรอแต่งฟันมักมีเนื้อฟันร่วมกับเชื้อแบคทีเรียหลงเหลือบนผิวฟัน เรียกว่า ชั้นสเมียร์ ซึ่งลักษณะพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการยึดติดไม่ควรมีการปนเปื้อนใดๆ [27] ชั้นสเมียร์ที่พบบนผิวเนื้อฟันที่เกิดภายหลังจากการกรอแต่งฟัน มีความหนาประมาณ 1-2 ไมโครเมตร และมีส่วนที่ฝังในท่อเนื้อฟัน (smear plug) หนาประมาณ 1-2 ไมโครเมตร แต่อาจลึกได้มากถึง 10 ไมโครเมตร ชั้นสเมียร์จะลดความสามารถซึมผ่านได้ (permeability) ของเนื้อฟันและอาการเสียวฟันได้ แต่ขณะเดียวกันก็จำกัดกำลังความแข็งแรงของการยึดติดกับเนื้อฟันเช่นเดียวกัน เนื่องจากแรงที่ยึดกับเนื้อฟันมีเพียงแรงยึดระหว่างอนุภาคซึ่งเป็นแรงยึดที่ต่ำ พบว่าหากกำจัดชั้นสเมียร์ก่อนการใช้สารยึดติดเนื้อฟันจะทำให้ได้ค่าความทนแรงยึดสูงกว่ากรณีที่ไม่ได้กำจัดชั้นสเมียร์ โดยพบว่าการกำจัดชั้นสเมียร์ที่ฝังในท่อเนื้อฟันจะช่วยเพิ่มความสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น 5-20 เท่า และยังทำให้เกิดการไหลแผ่ได้ซึ่งช่วยให้การยึดติดดีขึ้น แต่การกำจัดชั้นสเมียร์ด้วยการล้างน้ำหรือการขัดก็ไม่สามารถกำจัดออกได้หมด ซึ่งสารยึดติดเนื้อฟันบางชนิดจะอาศัยแรงยึดกับแคลเซียม ซึ่งถ้าหากกำจัดชั้นสเมียร์ออกไป การเลือกใช้สารยึดติดเนื้อฟันที่ยึดกับคอลลาเจนเป็นทางเลือกที่เหมาะสมมากกว่า ซีเมนต์ดั้งเดิมที่อาศัยการยึดติดกับแคลเซียมเท่านั้น [18]

3. ยูจินอล

ยูจินอลเป็นอนุพันธ์ของฟีนอลที่ไม่ละลายน้ำ มีสูตรทางเคมีคือ 2-methoxy-4-(2-propenyl) phenol ประกอบด้วยหมู่ฟีนอลิก ไฮดรอกซีและอัลลิล ดังภาพที่ 2 ที่สามารถแย่งจับกับอนุมูลอิสระ

ของตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของสารเรซิน ทำให้การปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของสารเรซินเกิดไม่สมบูรณ์

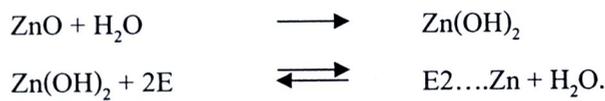


ภาพที่ 2 สูตรทางเคมีของยูจินอล

จากการศึกษาโดย Fujisawa และ Kadoma [10] พบว่ายูจินอลทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากตัวเริ่มต้นของปฏิกิริยาโดยทั่วไปนิยมใช้เบนโซอิล เพอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) ทำให้เกิดการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของเมทิลเมทาคริเลตโมโนเมอร์ได้ แม้ว่าจะมีสารยูจินอลปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม อีกทั้งพบว่ายูจินอลมีผลไปลดความทนแรงยึดกับเนื้อฟันด้วย [4-9] แม้ว่าจะมีบางการศึกษาที่พบว่ายูจินอลไม่มีผลต่อค่ากำลังการยึดติดก็ตาม [4, 12]

1. ซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่หลงเหลือ

ยูจินอลทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ได้เป็นผลึกของซิงค์ยูจิโนเลต (zinc eugenolate) โดยมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาคือเมื่อซิงค์ออกไซด์รวมกับน้ำเกิดเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ จากนั้นจะเกิดพันธะกับยูจินอลดังสมการ



ในทางคลินิกภายหลังการผสมวัสดุอาจพบซิงค์ออกไซด์ส่วนเกินได้ ดังนั้นเมื่อซิงค์ออกไซด์แข็งตัวแล้ว จะพบอนุภาคของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาแทรกอยู่ในส่วนเมทริกซ์ของซิงค์ยูจิโนเลต จากการศึกษาของ Watanabe และคณะ [6] พบว่าซีเมนต์ยึดชั่วคราวที่หลงเหลือ มีผลลดค่าความทนแรงยึดเช่นเดียวกัน เนื่องจากซีเมนต์ที่หลงเหลืออยู่ขัดขวางสารยึดที่จะแพร่เข้าไปในท่อเนื้อฟัน [28] ดังนั้นการกำจัดยูจินอลและซีเมนต์ยึดชั่วคราวจึงมีความสำคัญ และ

ควรทำก่อน ที่จะยึดด้วยซีเมนต์ยึดถาวรต่อไป โดยเฉพาะในกลุ่มของเรซินซีเมนต์ ซึ่งวิธีการกำจัดสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้มีได้หลายวิธี

นอกจากนี้ยังมีผู้แนะนำการปนเปื้อนผิวฟันด้วยการผึงผิวเนื้อฟันด้วยสารยึดเนื้อฟันภายหลังการกรอแต่ง การผึงผิวเนื้อฟันด้วยเรซิน เป็นการป้องกันการปนเปื้อนของซีเมนต์ยึดชั่วคราวบนผิวเนื้อฟัน สามารถกำจัดซีเมนต์ยึดชั่วคราวออกได้ง่ายขึ้น เพิ่มค่าความต้านแรงยึด ซึ่งมีผลทำให้ค่าความทนแรงยึดอยู่กับเนื้อฟันลดลง ทั้งนี้พบว่าการผึงผิวเนื้อฟันมีข้อดีคือ เพิ่มค่าความต้านแรงยึดกับวัสดุบูรณะ [19-22] ป้องกันการรั่วซึมตามขอบและลดอาการเสียวฟันได้ [23] วิธีการดังกล่าวมีขั้นตอนดังนี้คือ ภายหลังกรอแต่งฟันหลักแล้วทำการผึงผิวเนื้อฟันด้วยสารยึดติดเนื้อฟันและพิมพ์ปากชั้นสุดท้าย จากนั้นยึดวัสดุบูรณะชั่วคราวด้วยซีเมนต์ยึดชั่วคราวตามปกติ ทั้งนี้ความสำเร็จของวิธีการดังกล่าวอยู่ที่การยึดติดระหว่างสารยึดติดผิวเนื้อฟันกับซีเมนต์ยึดถาวร โดยปัจจัยที่มีผลต่อการยึดติด คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der Waals interaction) ซึ่งเป็นแรงยึดระหว่างโมเลกุล การยึดติดทางกล (micromechanical interlocking) และอนุมูลอิสระที่หลงเหลืออยู่ โดยอนุมูลอิสระจะกระตุ้นเรซินที่ถูกยับยั้งจากการสัมผัสกับออกซิเจน (oxygen inhibited layer) เกิดปฏิกิริยาเคมีและเป็นผลให้เกิดพันธะยึดระหว่างเรซินชั้นแรกและชั้นถัดมาได้ [30]