

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรม

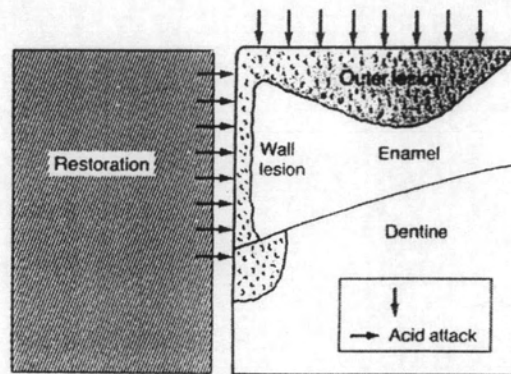
แม้ว่าอัตราการเกิดฟันผุจะลดลงในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาเนื่องจากการพัฒนาคุณภาพวัสดุบูรณะและมีมาตรการให้การป้องกันฟันผุที่ดีขึ้น แต่การรื้อและเปลี่ยนวัสดุบูรณะใหม่ยังเป็นปัญหาที่สำคัญในงานทันตกรรม Manhart และคณะ (2004) รายงานถึงความล้มเหลวภายหลังการบูรณะฟันหลัง พบว่ามีสาเหตุเนื่องจากฟันผุซ้ำ วัสดุแตกหัก ขอบวัสดุมีตำหนิ (marginal deficiencies) การสึกและการเสียวฟันภายหลังการบูรณะ ตามลำดับ เมื่อจำแนกตามชนิดวัสดุที่บูรณะพบว่าวัสดุอะมัลกัม คอมโพสิตแบบอุดโดยตรง (direct posterior composite restorations) และคอมโพเมอร์ (compomer restorations) ล้มเหลวเนื่องจากฟันผุซ้ำเป็นสาเหตุใหญ่ที่สุด สำหรับวัสดุที่บูรณะโดยอ้อม (indirect posterior restorations) เช่นคอมโพสิตและเซรามิกอินเลย์ ออนเลย์มักล้มเหลวเนื่องจากวัสดุแตกหัก ขอบวัสดุมีตำหนิ ฟันผุซ้ำและการเสียวฟันภายหลังการบูรณะ ตามลำดับ ส่วนอินเลย์ ออนเลย์ชนิดหล่อด้วยทอง (cast gold inlays onlays) มักล้มเหลวเนื่องจากฟันแตกหัก ขอบวัสดุมีตำหนิ การยึดอยู่ไม่เพียงพอ และฟันผุซ้ำตามลำดับ สำหรับความล้มเหลวที่พบในการใส่ฟันปลอมชนิดติดแน่น Foster (1990) รายงานว่าฟันปลอมชนิดติดแน่นล้มเหลวเนื่องจากฟันผุและการเกิดพยาธิสภาพปลายรากมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สูญเสียเพชชิ่ง ขอบไม่แนบ การยึดซีเมนต์ การสบฟัน ข้อต่อหัก การยึดอยู่และโรคปริทันต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกับ Libby และคณะ (1997) ซึ่งรายงานว่าฟันปลอมชนิดติดแน่นล้มเหลวเนื่องจากฟันผุมากที่สุด รองลงมาได้แก่ การเกิดพยาธิสภาพปลายราก ด้านสบฟันทะเลดูเดียวฟันแตกหัก ขอบมีตำหนิ ฟันแตกและพอร์ซเลนแตก ตามลำดับ

ฟันผุซ้ำ

นิยาม

Fédération Dentaire Internationale ให้คำนิยามของฟันผุซ้ำไว้ว่า ฟันผุซ้ำหมายถึงรอยโรคฟันผุที่เกิดขึ้นที่ขอบของวัสดุบูรณะที่มีอยู่เดิม (Baume, 1962) พบว่าในการศึกษาเรื่องฟันผุที่เกิดกับฟันที่บูรณะแล้วมีการใช้คำศัพท์ต่างกัน เช่น secondary caries, recurrent caries และ residual caries การใช้คำที่ต่างกันนี้แตกต่างกันตามแต่ผู้ศึกษาซึ่งให้นิยามและจุดสนใจต่างกัน จึงมีผู้แนะนำว่า ในการสำรวจทางระบาดวิทยาซึ่งไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเป็นฟันผุใหม่หรือเก่าจึงควรใช้คำว่าฟันผุเกี่ยวข้องกับวัสดุบูรณะ (caries associated with restorations) จะเหมาะสมกว่า (International Caries Detection and Assessment System [ICDAS], 2005) อย่างไรก็ตามคำนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักโดยแพร่หลาย

สาเหตุและกลไกการเกิด



รูปที่ 1 แสดงกลไกการเกิดฟันผุ

Kidd, Toffenetti และ Mjör (1992) กล่าวว่าลักษณะทางจุลพยาธิวิทยาของฟันผุในระยะแรกประกอบด้วยรอยโรคด้านนอก (outer lesion) และรอยโรคชิดผนัง (wall lesion) ดังภาพ โดยอธิบายถึงกลไกการเกิดฟันผุว่ารอยโรคด้านนอกเป็นจุดแรกที่เกิดฟันผุขึ้นก่อนบนผิวฟันแล้วลุกลามเป็นหลุมชิดกับวัสดุบูรณะ สำหรับรอยโรคชิดผนังจะเห็นเมื่อมีการรั่วซึมของแบคทีเรีย, ของเหลว, โมเลกุลหรือไฮโดรเจนไอออนไปตามรอยต่อระหว่างผนังฟันกับวัสดุบูรณะ รอยโรคเกิดขึ้นลึกลงไปตามขอบของวัสดุบูรณะและเกิดการสูญเสียแร่ธาตุของเนื้อฟันภายใต้เคลือบฟันที่ชิดกับวัสดุบูรณะ

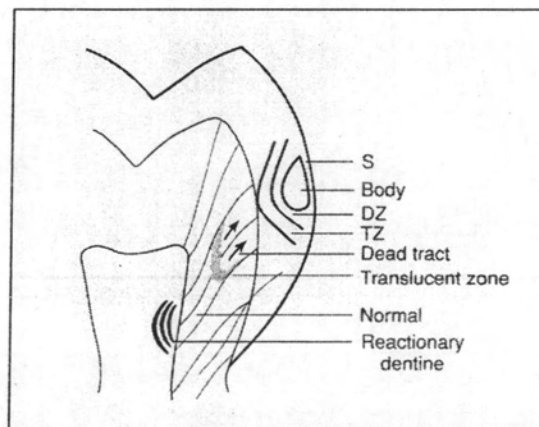
โรคฟันผุเป็นกระบวนการต่อเนื่องที่เกิดขึ้นในแผ่นคราบจุลินทรีย์ซึ่งเป็นผลจากการรบกวนสมดุลระหว่างฟันและคราบจุลินทรีย์โดยรอบเป็นเวลานานจนกระทั่งเป็นผลให้สูญเสียแร่ธาตุจากผิวฟัน สาเหตุการเกิดฟันผุขึ้นกับปัจจัยร่วมหลายประการ โดยปัจจัยพื้นฐานได้แก่ ฟัน, เชื้อโรคและอาหาร การจะเกิดฟันผุหรือไม่ขึ้นขึ้นกับสมดุลระหว่างปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคหรือการละลายแร่ธาตุ (demineralization) และปัจจัยที่ป้องกันการเกิดโรคหรือการคืนกลับของแร่ธาตุ (remineralization) กระบวนการละลายแร่ธาตุและกระบวนการคืนกลับของแร่ธาตุนี้เกิดขึ้นหลายครั้งในแต่ละวัน ดังนั้นฟันผุจึงรวมตั้งแต่การละลายแร่ธาตุอะตอมแรกไปจนถึงรอยโรคบนเคลือบฟันและรากฟันไปจนเกิดรอยโรคในเนื้อฟันและจนกระทั่งเกิดเป็นหลุมในที่สุด (Featherstone, 2004)

กลไกการเกิดฟันผุเริ่มจากเชื้อแบคทีเรียในคราบแบคทีเรียย่อยคาร์โบไฮเดรตที่คนรับประทานไปใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต กระบวนการนี้ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น กรดแลคติก กรดฟอร์มิก กรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก (Featherstone, 2004) กรดแลคติกทำให้ค่าความเป็นกรดต่างต่ำลง (Bowden and Edwardsson, 1994) Fejerskov, Nyvad และ Kidd (2003: 75-76) กล่าวว่าเมื่อคราบแบคทีเรียสะสมบนเคลือบฟัน 1 สัปดาห์ กรดจะละลายผลึกแร่ธาตุในผิวเคลือบฟันออกทำให้เคลือบฟันเริ่มมีรูพรุนเพิ่มขึ้น รูพรุนเกิดจากผลึก

แร่ธาตุถูกละลายบางส่วนจึงหดตัวทำให้ช่องว่างระหว่างผลึก (intercrystalline spaces) ขยายใหญ่ขึ้นเกิดเป็นรูพรุนภายในเคลือบฟัน (Kidd, 2005: 22) หลังจากนั้น 14 วันเมื่อเป่าแห้งจะเห็นเคลือบฟันมีสีขุ่นเนื่องจากรูพรุนในเคลือบฟันเพิ่มขึ้น มีการละลายแร่ธาตุจากข้างใต้และเริ่มเกิดขบวนการละลายแร่ธาตุใต้ผิวฟัน (subsurface demineralization) หลังจากคราบแบคทีเรียสะสมบนเคลือบฟันนานถึง 3-4 สัปดาห์ ผิววนอกสุดของเคลือบฟันละลาย ช่องว่างระหว่างผลึกเคลือบฟันขยายใหญ่ทำให้มีรูพรุนเพิ่มขึ้นจนสามารถเห็นเคลือบฟันมีสีขุ่นได้โดยไม่ต้องเป่าแห้ง และยังคงมีการสูญเสียแร่ธาตุใต้ผิวฟันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง Larsen และ Bruun (1994) อธิบายถึงกลไกการเกิดขบวนการละลายแร่ธาตุใต้ผิวฟันว่าเมื่อสภาพความเป็นกรดต่างในคราบแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 5.5-4.5 น้ำลายจะอยู่ในภาวะไม่อิ่มตัวต่อไฮดรอกซีอะปาไทต์แต่อิ่มตัวต่อฟลูออโรอะปาไทต์ ทำให้ไฮดรอกซีอะปาไทต์ละลายตัวแต่ฟลูออโรอะปาไทต์ตกผลึกบนผิวเคลือบฟันจึงเกิดขบวนการละลายแร่ธาตุใต้ผิวฟัน แต่ถ้าสภาพความเป็นกรดต่างมีค่าต่ำกว่า 4 น้ำลายจะอยู่ในภาวะไม่อิ่มตัวต่อทั้งไฮดรอกซีอะปาไทต์และฟลูออโรอะปาไทต์ ทำให้เกิดการละลายตัวของเคลือบฟันจากผิววนอกเข้ามาเรื่อยๆ เกิดเป็นรอยโรคแบบสึกกร่อน (erosive lesion)

ลักษณะรอยโรคจุดขาว (white-spot lesion) ที่เกิดขึ้นในรอยโรคฟันผุระยะแรกนี้ ในทางคลินิกเห็นเป็นเคลือบฟันสีขาวขุ่นทึบแสง ในทางจุลกายวิภาคศาสตร์เมื่อดูรอยโรคที่ตัดขวางด้วยกล้องแสงโพลาไรซ์จะเห็นว่ารอยโรคประกอบด้วย 4 ชั้นซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาตรของรูพรุน (pore volume) ในแต่ละตำแหน่งของรอยโรค ได้แก่ (Fejerskov et al., 2003: 80-83)

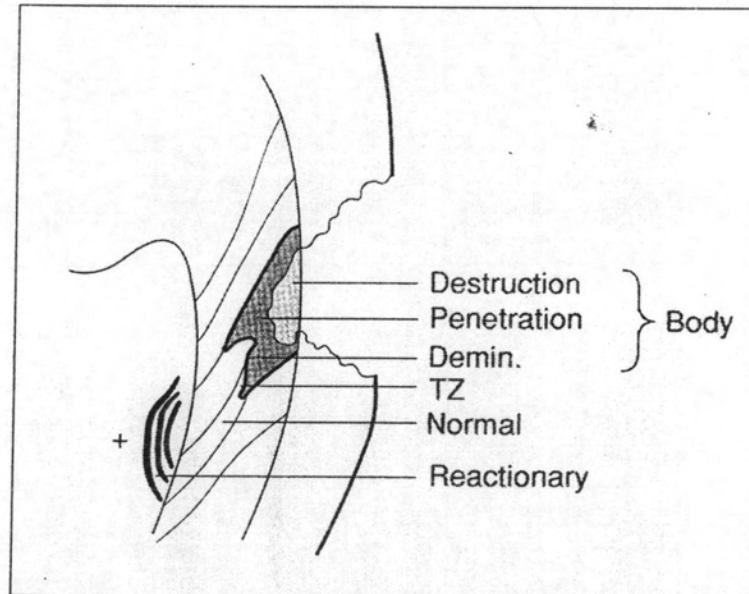
- Surface zone มีปริมาตรของรูพรุนประมาณ 1 %
- Body มีปริมาตรของรูพรุนมากกว่า 5 %
- Dark zone มีปริมาตรของรูพรุน 2-4 %
- Translucent zone มีปริมาตรของรูพรุนมากกว่า 1 % เล็กน้อย



รูปที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคในเคลือบฟันและเนื้อฟันก่อนจะเกิดหลุมบนเคลือบฟัน (Kidd, 2005: 31)

เมื่อมีรอยโรคในเคลือบฟัน กรดที่เข้ามาตามรูพรุนของรอยโรคในจุดที่ลึกที่สุดจะกระตุ้นการตอบสนองอย่างแรกของเนื้อฟัน คือการเกิดสเคลอโรซิสของท่อเนื้อฟัน (tubular sclerosis) ซึ่งเกิดจากการสร้างแร่ธาตุในบริเวณรอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) และการเคลือบผิวเค้นของโอโดนต์โอบลาสติกโพเรซ (odontoblastic process) และตามมาด้วยการสร้างเทอเชียรีเดนทิน (tertiary dentin, reactionary dentin หรือ reparative dentin) ภายในโพรงประสาทฟันเพื่อลดความสามารถในการซึมผ่าน (permeability) ของเนื้อฟัน (Fejerskov et al., 2003: 87-90)

เมื่อใดที่เคลือบฟันเกิดการทะลุเป็นหลุม เนื้อฟันส่วนนอกสุดจะเผยผิวดังต่อแบคทีเรียจำนวนมากและถูกย่อยสลายด้วยกรดและเอนไซม์จากแบคทีเรีย เรียกบริเวณนี้ว่า zone of destruction ภายใต้บริเวณนี้พบแบคทีเรียแทรกเข้าไปในท่อเนื้อฟันเรียกบริเวณนี้ว่า zone of penetration หากการลุกลามเกิดขึ้นรวดเร็วจะพบเดดแทรก (dead tract) ซึ่งเป็นท่อเนื้อฟันที่โอโดนต์โอบลาสติกโพเรซถูกทำลายก่อนจะเกิดสเคลอโรซิสของท่อเนื้อฟัน ในระยะนี้ยังคงมีการตอบสนองของร่างกาย คือการเกิดสเคลอโรซิสของท่อเนื้อฟัน และการสร้างเทอเชียรีเดนทินภายในโพรงประสาทฟัน ถ้าการทำลายยังดำเนินต่อไปจะทำให้เกิดการอักเสบของโพรงประสาทฟัน (pulpitis) (Fejerskov et al., 2003: 90-92; Kidd, 2005: 31-32)



รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคหลังจากเกิดหลุมบนเคลือบฟัน (Kidd, 2005: 31)

ในกรณีของรากฟันผุ เมื่อเกิดการละลายแร่ธาตุจะทำให้เส้นใยคอลลาเจนเผยผิวดังออกมา ซึ่งต่อมาเส้นใยคอลลาเจนสามารถถูกทำลายได้ด้วยเอนไซม์จากแบคทีเรีย และเกิดการลุกลามเป็นหลุมได้อย่างรวดเร็ว (Featherstone, 2004) ในรอยโรคระยะแรกของรากฟันผุมี

ลักษณะคล้ายกับในเคลือบฟันคือชั้นผิว (surface zone) มีแร่ธาตุมากกว่าปกติ (hypermineralized) และข้างใต้มีบริเวณของการละลายแร่ธาตุ ภายใต้รอยโรคเหล่านี้มักพบสเคลอโรซิสของท่อเนื้อฟัน และเทอเชียรีเดนทีนภายในโพรงประสาทฟัน (Kidd, 2005: 37)

González-Cabezas และคณะ (2002) พบว่าเชื้อแบคทีเรียที่พบในฟันผุซ้ำเป็นชนิดเดียวกับที่พบในฟันผุใหม่ (primary caries) Kidd และ Beighton (1996) เชื่อว่ารอยโรคด้านนอกมีกระบวนการทางเคมีและจุลพยาธิวิทยาเหมือนกับฟันผุใหม่ และฟันผุซ้ำก็คือรอยโรคฟันผุใหม่ที่เกิดขึ้นติดกับขอบของวัสดุบูรณะ (Mjör and Toffenetti, 2000) อย่างไรก็ตามกลับมีความเห็นที่แตกต่างจาก Kidd ในเรื่องกระบวนการเกิดรอยโรคชนิดนี้ โดย Mjör และ Toffenetti กล่าวว่าลักษณะรอยโรคชนิดนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการรั่วซึม โดยเชื่อว่าเมื่อเกิดรอยโรคด้านนอกเริ่มจากเห็นเป็นรอยโรคจุดขาว (white-spot lesion) เคลือบฟันมีสีขุ่นทึบแสง ต่อมารอยโรคจะลุกลามขึ้นจนผิวแตกออกเกิดเป็นหลุมอยู่ติดกับวัสดุบูรณะ การลุกลามของฟันผุในเคลือบฟันจะลามไปตามแท่งเคลือบฟัน ดังนั้นทิศทางของแท่งเคลือบฟันจะเป็นตัวกำหนดว่าจะมีรอยโรคชนิดนี้หรือไม่ โดยถ้าแท่งเคลือบฟันจากรอยโรคเอียงไปถึงรอยต่อของฟันกับวัสดุบูรณะก็จะทำให้มีลักษณะรอยโรคชนิดนี้ โดยอ้างถึงการศึกษาของ Jørgensen และ Wakumoto 1968 ซึ่งรายงานว่าช่องระหว่างฟันกับวัสดุบูรณะที่มีขนาดกว้างกว่า 35-50 ไมครอนเสี่ยงต่อการเกิดฟันผุซ้ำมากกว่าช่องที่มีความกว้างน้อยกว่านี้ เขาเชื่อว่าสภาวะที่ทำให้เกิดฟันผุซ้ำคือเมื่อมีการสะสมของคราบจุลินทรีย์ ดังนั้นเมื่อมีการรั่วซึมบริเวณรอยต่อบริเวณขอบของวัสดุอุดก็ไม่จำเป็นต้องเกิดฟันผุซ้ำตามมาเสมอไปดังจะเห็นได้ว่าไม่ค่อยพบฟันผุซ้ำบริเวณด้านบดเคี้ยว

ในขณะเดียวกันก็มีการศึกษาที่แสดงว่าฟันผุซ้ำไม่มีความเกี่ยวข้องกับขอบวัสดุมีตำหนิ ดังเช่นจากการศึกษาของ Kidd และ O'Hara (1990) ซึ่งศึกษาลักษณะรอยโรคฟันผุซ้ำของวัสดุบูรณะอะมัลกัมบนด้านบดเคี้ยว โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนรอยโรคฟันผุซ้ำบนขอบวัสดุที่มีลักษณะปกติทางคลินิกกับรอยโรคบนขอบวัสดุที่บิ่น (ditching) บนพื้นที่เดียวกัน พบว่าขอบวัสดุทั้งสองลักษณะมีจำนวนรอยโรคฟันผุไม่แตกต่างกัน โดยพบรอยโรคด้านนอกในขอบวัสดุที่บิ่นร้อยละ 16.67 และในขอบวัสดุที่มีลักษณะปกติร้อยละ 3.57 และพบรอยโรคชนิดนี้ร้อยละ 54 ทั้งในรอยโรคบนขอบวัสดุที่บิ่นและขอบวัสดุที่มีลักษณะปกติทางคลินิกแต่ไม่มีรอยโรคใดที่ลุกลามจนเกิดหลุม ซึ่งให้เห็นว่ารอยโรคเกิดขึ้นหลังจากอุดฟันขณะที่ยังมีการรั่วซึมก่อนที่จะมีสารจากการสึกกร่อน (corrosion product) มาปิดช่องระหว่างฟันกับวัสดุบูรณะ ผลการศึกษาของ Kidd และ O'Hara ที่แตกต่างจาก Jørgensen และ Wakumoto อาจเนื่องมาจากวิธีการศึกษาที่ต่างกันโดย Jørgensen และ Wakumoto ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ ในขณะที่ Kidd ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ซึ่งสามารถตรวจพบรอยโรคขนาดเล็กได้ง่ายกว่า

ตำแหน่งที่มักพบฟันผุซ้ำ คือบริเวณขอบใกล้เหงือก (gingival margin) ร้อยละ 80-90 (Mjör, 1998) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fontana และ González-Cabezas (2000) ซึ่งรายงานว่ามีฟันผุซ้ำพบได้บ่อยบริเวณคอฟันและด้านประชิดของวัสดุบูรณะโดยพบได้ร้อยละ 94 ของอะมัลกัม และร้อยละ 62 ของเรซินคอมโพสิต Kidd และคณะ (1992) ให้ความเห็นถึงสาเหตุที่ขอบใกล้เหงือกมักมีฟันผุซ้ำอาจเนื่องมาจาก

- คนไข้มักไม่สามารถทำความสะอาดได้
- บริเวณดังกล่าวตรวจสอบได้ยาก
- การกดอัดของวัสดุบริเวณขอบใกล้เหงือกทำได้ไม่ดี
- บริเวณขอบใกล้เหงือกไม่มีเคลือบฟันเหลืออยู่ จึงยึดกับสารยึดเรซินไม่ดี
- การเกิดการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization shrinkage) ของเรซินคอมโพสิต
- เมทริกซ์ (matrix) และเวดจ์ (wedge) บังแสงทำให้การแข็งตัวของเรซินคอมโพสิตไม่สมบูรณ์
- บริเวณขอบใกล้เหงือกจะควบคุมความชื้นได้ยาก

สำหรับการบูรณะโดยอ้อมและการใส่ฟันเช่นการทำครอบฟัน สะพานฟัน อินเลย์ ออนเลย์และลามิเนทวีเนียร์ โดยทั่วไปเชื่อว่าความแนบสนิทของขอบครอบฟันจะลดโอกาสการเกิดฟันผุซ้ำและโรคปริทันต์ (Rosenstiel, Land and Fujimoto, 2001) และปัจจัยที่มีผลต่อความแนบสนิทเมื่อพิจารณาจากความหนาของซีเมนต์ที่ยึดครอบฟันได้แก่ แรงที่ใช้ในการยึดครอบฟัน ความหนืดของซีเมนต์ และความลาดเอียงของผนังฟันหลัก (Jørgenson, 1960) ในทางทฤษฎีการเบเวล (bevel) ขอบฟันหลัก (finish line) อาจช่วยเพิ่มความแนบสนิทของขอบครอบฟัน (crown margin) ได้ แต่ในทางคลินิกกลับพบว่าการเบเวลขอบฟันหลักทำให้สร้างขอบครอบฟันให้ถูกต้องได้ยาก และใส่ครอบฟันไม่ลงที่เนื่องจากซีเมนต์ไหลออกลำบาก (Hunter and Hunter, 1990) อย่างไรก็ตามมีรายงานว่ารูปร่างของขอบฟันหลักไม่มีผลต่อความแนบสนิทของขอบครอบฟัน (Byrne, 1992; Piemjai, 2001) และพบการรั่วซึมในฟันทุกซี่ไม่ว่าจะมีรูปร่างของขอบฟันหลักแบบใดเมื่อยึดครอบฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ โดยทั้งหมดมีรูปแบบเหมือนกันคือรั่วซึมจากขอบฟันหลักลงไปตามท่อเนื้อฟันเข้าไปถึงโพรงประสาทฟัน (Goldman et al., 1992) เมื่อพิจารณาถึงชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ยึดครอบฟัน พบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์หรือกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ให้ความแนบสนิทของขอบครอบฟันไม่ต่างกัน (Piemjai, 2001) และพบการรั่วซึมบนขอบด้านเคลือบฟันกับซีเมนต์ 4 ชนิดคือซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ โพลีคาร์บอเนตซีเมนต์และเรซินซีเมนต์ (ยี่ห้อ Super-Bond C&B) ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามชนิดของซีเมนต์มีผลต่อการรั่วซึมแตกต่างกันบนขอบด้านเคลือบรากฟัน โดยพบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์รั่วซึม

มากกว่าโพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์ และเรซินซีเมนต์ (ยี่ห้อ Super-Bond C&B) มีการรั่วซึมน้อยที่สุดตามลำดับ (Piemjai et al., 2002) White และคณะ (1992) รายงานถึงการรั่วซึมของซีเมนต์ชนิดต่างๆจากมากไปน้อยตามลำดับดังนี้ โพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์ ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ เรซินซีเมนต์ยี่ห้อ Den-Mat Thin Film กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ เรซินซีเมนต์ยี่ห้อ Panavia Ex และเรซินซีเมนต์ยี่ห้อ Den-Mat Thin Film with Tenure ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งที่เกิดการรั่วซึม พบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์มีการรั่วซึมที่รอยต่อระหว่างฟันกับซีเมนต์มากกว่ากลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ แต่ที่รอยต่อระหว่างซีเมนต์กับครอบฟันพบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีการรั่วซึมไม่แตกต่างกัน (Tjan et al., 1991)

อย่างไรก็ตาม White, Ingles และ Kipnis (1994) รายงานว่าความแนบสนิทของขอบครอบฟันไม่มีความสัมพันธ์กับการรั่วซึมไม่ว่าจะวางอยู่บนเคลือบฟันหรือเนื้อฟัน โดยพบว่าเรซินซีเมนต์ (ยี่ห้อ Thin Film Cement and Tenure และ Panavia Ex) ทำให้ขอบครอบฟันเปิด (marginal opening) มากกว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และซิงค์โพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์แต่กลับมีการรั่วซึมน้อยกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Staninec และคณะ (1988) ซึ่งพบว่าซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ทำให้ใส่ครอบฟันแนบสนิทได้มากกว่าเรซินซีเมนต์ (ยี่ห้อ Crown Reline Kit) แต่กลับมีการแทรกซึมของฟันผุ (caries penetration) ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นความแนบสนิทของครอบฟันอาจมีผลต่อการสะสมคราบแบคทีเรียและโรคปริทันต์ แต่ไม่มีผลต่อการรั่วซึมและยังไม่สามารถบอกได้ว่ามีผลต่อการเกิดฟันผุซ้ำหรือไม่ (White, Ingles and Kipnis, 1994)

การวินิจฉัยและรักษา

มีบางการศึกษารายงานว่าช่องห่างของขอบวัสดุจากฟัน (marginal gap) และอนามัยช่องปากมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดฟันผุซ้ำ (Goldberg et al., 1981; Goldberg, 1990) อย่างไรก็ตามการศึกษาล่าสุดส่วนใหญ่ชี้ว่าการที่ขอบวัสดุมีตำหนิไม่มีความเกี่ยวข้องกับฟันผุซ้ำ (Hamilton et al., 1983; Kidd and O'Hara, 1990; Kidd et al., 1992; Kidd, Joyston-Bechal, and Beighton, 1994; Pimenta, Navarro, and Consolaro, 1995) และการเปลี่ยนสีของฟันบริเวณรอบวัสดุบูรณะก็ไม่สามารถใช้ในการวินิจฉัยได้ว่าเป็นฟันผุซ้ำ (Kidd et al., 1994; Kidd, Joyston-Bechal, and Beighton, 1995; Kidd, and Beighton, 1996) เนื่องจากการเปลี่ยนสีนั้นอาจเกิดจากฟันติดสีของสารจากการสีกร่อนของวัสดุอะมัลกัมโดยไม่มีรอยโรคฟันผุ หรือการติดสีของอาหารเช่นชากาแฟ หรืออาจเป็นไปได้ว่าอาจเป็นรอยโรคฟันผุซึ่งหยุดลุกลามแล้ว ดังนั้นการวินิจฉัยว่าเป็นรอยโรคฟันผุซ้ำโดยการดูจากขอบวัสดุมีตำหนิหรือขอบวัสดุบูรณะเปลี่ยนสีเพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะสมและเกินจริง การวินิจฉัยที่เที่ยงตรงเพียงอย่างเดียวคือการพบว่ามี

ลักษณะของรอยโรคฟันผุ (NIH, 2001) ดังนั้นจึงแนะนำว่าวัสดุอะมัลกัมที่มีขอบวัสดุมีตำหนิกว้างหรือมีรอยโรคฟันผุจึงควรเปลี่ยนใหม่ แต่วัสดุที่มีขอบวัสดุมีตำหนิแคบหรือมีการเปลี่ยนสีอย่างเดียวไม่สมควรเปลี่ยนใหม่ทั้งสิ้น (Kidd et al., 1995) Mjör และ Gordon (2002) แนะนำว่าฟันผุซ้ำมักจะมีเกิดเฉพาะที่ ดังนั้นในรอยโรคฟันผุซ้ำขนาดเล็กหรือขอบวัสดุที่ติดสีควรกำจัดออกโดยการขัดแต่งใหม่ (refurnishing) ส่วนรอยโรคฟันผุซ้ำขนาดใหญ่ควรเอาส่วนของวัสดุบูรณะที่ใกล้เคียงออกเพื่อกำจัดรอยโรคได้ทั้งหมดจากนั้นจึงบูรณะด้วยวัสดุที่เหมาะสม วิธีการนี้จะช่วยรักษาเนื้อฟันและคุ้มค่าต่อค่าใช้จ่ายมากกว่าการรื้อเปลี่ยนวัสดุใหม่ทั้งสิ้น

การเชื่อมยึดของสารยึดเรซิน

การเชื่อมยึดของสารยึดเรซินกับเคลือบฟัน

ในปี 1955 Buonocore ได้ทดลองปรับสภาพเคลือบฟันก่อนบูรณะด้วยอะคริลิกเรซินด้วยการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85 โดยสังเกตมาจากวิธีทำความสะอาดผิวโลหะก่อนเคลือบด้วยเรซินในทางอุตสาหกรรม ปรากฏว่าให้ผลการยึดอยู่ที่ดี Retief (1975) รายงานว่าการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 50 เหมาะสมในการปรับสภาพผิวเคลือบฟัน เนื่องจากมีค่ากำลังการยึดอยู่ที่ไม่แตกต่างจากความเข้มข้นที่น้อยกว่านี้ แต่ปรับสภาพเคลือบฟันตื้นกว่าและทำให้เกิดผิวขรุขระมากกว่าความเข้มข้นที่น้อยกว่านี้ ส่วนกรดฟอสฟอริกที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นไปจะละลายผลึกอะพาไทต์ได้น้อยลง ปรับสภาพเคลือบฟันตื้นและทำให้เกิดผิวขรุขระน้อยให้มีความกำลังการยึดอยู่ต่ำกว่า การยึดติดบนเคลือบฟันเกิดจากสารปรับสภาพฟันเคลือบฟันให้ขรุขระและง่ายต่อการแทรกซึมของเรซิน ดังนั้นความขรุขระของเคลือบฟันจึงเป็นส่วนสำคัญมากกว่าความลึกของเคลือบฟันที่โดนกรดปรับสภาพ (Retief et al., 1986) Nakabayashi และ Pashley (1998: 38-39) รายงานว่าชนิดของสารช่วยแทรกซึม (adhesion-promoting monomers) ที่ใช้ร่วมกับ โมโนเมอร์ชนิดเอ็มเอ็มเอทีบีพีจะส่งผลต่อความสามารถในการซึมผ่านของโมโนเมอร์ลงไปบนเคลือบฟัน จึงมีผลต่อความหนาของการเกิดชั้นไฮบริดในเคลือบฟัน เช่น การใช้สารช่วยแทรกซึมชนิด 5% โฟร์เมตา (4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride: 4-META) ทำให้เกิดไฮบริดไคซ์แตกยาวกว่า 5% Phenyl-P (2-methacryloyloxyethyl phenyl phosphoric acid) เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่าความแข็งแรงของการยึดขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดโดยรวม (cumulative cross sectional area) ของเรซินที่แทรกซึมเข้าสู่เคลือบฟันมากกว่าความยาวของเรซินแตกที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ของการปรับสภาพผิวเคลือบฟันด้วยกรดนั้นเพื่อทำความสะอาดเคลือบฟัน เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ เพื่อทำให้เกิดพื้นผิวที่ขรุขระโดยการละลายปริซึมและผลึกแร่ธาตุ

ระหว่างปริซึม และ ช่วยเพิ่มพลังงานพื้นผิว (surface energy) ทำให้สารยึดเรซินสามารถแทรกซึมเข้าไปง่าย เมื่อสารยึดเรซินเข้าทดแทนไฮดรอกซีอะปาไทต์ซึ่งถูกละลายด้วยกรดและท่อหุ้มไฮดรอกซีอะปาไทต์ส่วนที่เหลือ แล้วเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้เป็นชั้นไฮบริดซึ่งประกอบด้วยเคลือบฟันที่ถูกแทรกซึมด้วยเรซิน เรซินที่แทรกซึมลงไปนี้ประกอบด้วยไมโครแทกขนาดเล็กๆ เส้นผ่านศูนย์กลางราว 0.05 ไมครอน (Nakabayashi and Pashley, 1998: 8-9) เรซินที่ยื่นไปในเคลือบฟันนี้อาจแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือแมโครแทกซึ่งเกิดรอบๆ ผลึกเคลือบฟัน และไมโครแทกซึ่งเกิดตรงกลางของผลึกเคลือบฟันซึ่งเรซินแผ่ลงไป ในรูเล็กๆ จำนวนมากของผลึกไฮดรอกซีอะปาไทต์ที่ถูกละลาย (Van Meerbeek et al., 2001)

การเชื่อมยึดของวัสดุเรซินกับเนื้อฟัน

ในปี 1979 Fusayama และคณะ ได้แนะนำการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 40 ปรับสภาพเนื้อฟัน 60 วินาที ร่วมกับสารยึดเรซิน Clearfil Bond System - F (Kuraray) ในขณะนั้นเชื่อว่าสารยึดเรซินนี้ยึดด้วยพันธะเคมีกับฟัน Fusayama แนะนำวิธีการเตรียมหลุมช่องฟันว่าทำโดยการกำจัดเฉพาะเนื้อฟันผุชั้นนอกที่ย้อมติดสี ไม่ขยายไปสู่เนื้อฟันปกติ

ในปี 1982 Nakabayashi และคณะรายงานถึงการยึดที่ดีระหว่างเรซินและเนื้อฟันโดยเกิดชั้นไฮบริดไดซ์เดนทิน (hybridized dentin) ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยปรับสภาพฟันด้วยสารละลายกรดซิตริกร้อยละ 10 และกรดเพอริกร้อยละ 3 เพื่อกำจัดชั้นสเมียร์ที่ปกคลุมอยู่บนเนื้อฟันและบางส่วนของกรดได้แทรกซึมลงไปละลายแร่ธาตุทำให้เกิดช่องว่างบริเวณภายในท่อเนื้อฟันและระหว่างท่อเนื้อฟัน จากนั้นให้โมโนเมอร์ของเรซินแทรกซึมผ่านเข้าสู่เนื้อฟัน เมื่อเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์จะแข็งตัวเกิดชั้นไฮบริดมีค่าความแข็งแรงยึดกับเนื้อฟันประมาณ 18 เมกกะปาสคาล กลไกการยึดติดที่ดีของเรซินกับเนื้อฟันจึงเกิดจากชั้นไฮบริดไมใช่การยึดของเรซินแทกกับท่อเนื้อฟัน Van Meerbeek และคณะ (2001) กล่าวว่าชั้นไฮบริดประกอบด้วยลักษณะสามอย่างคือ 1) พรหมที่ยุ่งเหยิง (shag-carpet appearance) อันเกิดจากเส้นใยคอลลาเจนที่วางตัวอย่างหลวมๆ ที่ขึ้นสู่สารยึดเรซินและมักจะคลายตัวออกเห็นปลายที่เป็นไมโครไฟบริล 2) การเกิดไฮบริดกับผนังของท่อเนื้อฟัน (tubule-wall hybridization) เชื่อว่าเป็นผลดีในการฉีกระบบท่อเนื้อฟัน ป้องกันการเกิดการรั่วซึมและแม้ว่าจะเกิดความล้มเหลวจนชั้นเรซินแยกออกจากชั้นไฮบริดก็ยังคงเหลือเรซินแทกปกป้องทางเข้าสู่โพรงประสาทฟัน 3) การเกิดไฮบริดกับท่อเนื้อฟันย่อยด้านข้าง (lateral tubule hybridization) เกิดชั้นไฮบริดเล็กๆ กับผนังของท่อเนื้อฟันย่อยด้านข้างล้อมรอบเรซินที่อยู่ตรงกลางซึ่งเรียกว่าไมโครเรซินแทก (micro-resin tag)

การสร้างชั้นไฮบริดไดซ์เดนทินขึ้นกับสองปัจจัยสำคัญ (Nakabayashi and Pashley, 1998: 25-27) หนึ่งคือความสามารถของเนื้อฟันในการยอมให้สารยึดเรซินติดผ่านลงไป

(permeability of a dentin substrate) และสองคือความสามารถในการซึมผ่าน (diffusion) ของโมโนเมอร์โดยปัจจัยแรกขึ้นกับลักษณะของเนื้อฟันที่ถูกเตรียมขึ้นมา ส่วนปัจจัยที่สองขึ้นกับลักษณะและคุณสมบัติของสารยึดเรซินชนิดนั้นๆ (Nakabayashi and Hiranuma, 2000)

ในขั้นตอนของการละลายแร่ธาตุของเนื้อฟันนั้น เมื่อทำให้ดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินแห้งจะทำให้คอลลาเจนเกิดการยุบตัวได้ (Ten Cate et al., 1991) และเมื่อคอลลาเจนมีการยุบตัวจะสูญเสียช่องว่างระหว่างเส้นใย ทำให้ไพรเมอร์หรือโมโนเมอร์ไม่สามารถแทรกเข้าไปจึงเกิดขึ้นไฮบริดที่ไม่สมบูรณ์ ความแข็งแรงของการยึดติดกับเนื้อฟันจะลดลงตามไปด้วย ในช่วงต้นทศวรรษที่เก้าสิบด้วยองค์ความรู้ในขณะนั้นทำให้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดเมื่อทำการเตรียมเนื้อฟันด้วยการทากรดและเป่าแห้งแล้วส่งผลทำให้เนื้อฟันอยู่ในสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้ไพรเมอร์และสารยึด ทำให้การยึดอยู่ไม่ดีเท่าที่ควร แต่ระบบการยึดของเรซินซีเมนต์ชนิดไฟร์เมตาเอ็มเอ็มเอทีบีบีหรือในชื่อซูเปอร์บอนด์ซีแอนบี (Super-Bond C&B) ในขณะนั้นเป็นระบบเดียวที่มีการยึดอยู่ที่ดีแม้ไม่ใช่ไพรเมอร์ก็ตาม (Nakabayashi et al., 1982) Nakabayashi รายงานว่าเมื่อใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิติริกร้อยละ 10 (10-3) เป็นสารปรับสภาพผิว (conditioning agent) จะยังคงทำให้เนื้อฟันมีความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านสูงไม่ว่าจะเตรียมเนื้อฟันในห้วงทดลองทั้งแบบแห้ง (Nakabayashi et al., 1982; Nakabayashi and Takarada, 1992) แบบชื้น (Nakabayashi and Hiranuma, 2000) หรือการเตรียมในช่องปากซึ่งมีความดันในโพรงประสาทฟัน (pulpal pressure) (Nakabayashi, Watanabe and Ikeda, 1995) โดยเฟอร์ริกคลอไรด์จะป้องกันการยุบตัวของดีมีเนอรอลไลซ์เดนติน เมื่อร่วมกับการใช้สารไฟร์เมตาในโมโนเมอร์จะเพิ่มความสามารถในการซึมผ่านของโมโนเมอร์ไปยังเนื้อฟันที่ผ่านการปรับสภาพแล้วได้ดีขึ้นเนื่องจากสารไฟร์เมตามีทั้งกลุ่มที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และกลุ่มที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) อยู่ในโมเลกุล (Nakabayashi et al., 1982) ในทางตรงกันข้ามเมื่อไม่มีเฟอร์ริกคลอไรด์ในสารปรับสภาพโดยมีเพียงสารละลายกรดซิติริกร้อยละ 10 (10-0) จะไม่สามารถเกิดขึ้นไฮบริดไคซ์เดนตินที่ดีได้ มีค่าความแข็งแรงดึงยึดต่ำ ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมเนื้อฟันแบบแห้ง (Nakabayashi and Takarada, 1992) หรือแบบชื้น (Nakabayashi and Hiranuma, 2000)

เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกปรับสภาพฟันแบบแห้ง หลังจากเป่าแห้งพบว่าเส้นใยคอลลาเจนยุบตัวลง Nakabayashi และ Pashley (1998: 47-48) ให้สมมุติฐานไว้ 2 ประการ คือ ประการแรกเชื่อว่าเส้นใยคอลลาเจนลอยอยู่ในน้ำซึ่งแทนที่ช่องที่เคยเป็นที่อยู่ของผลึกแร่ธาตุ เมื่อเป่าแห้งทำให้น้ำระเหยไปกลายเป็นช่องว่าง เส้นใยคอลลาเจนจึงยุบตัวลง สมมุติฐานอีกประการคือ เมื่อเส้นใยคอลลาเจนสูญเสียน้ำระหว่างไมโครไฟบริลทำให้เส้นใยหดสั้นลง และดึงให้ทั้งเครือข่ายคอลลาเจนยุบตามกันไปด้วย โมเลกุลคอลลาเจนที่เข้ามาใกล้กันอาจเกิดพันธะไฮโดรเจน

ระหว่างกันหรือเกิดแรงดึงดูทางประจุไฟฟ้า อย่างไรก็ตามหากเส้นใยคอลลาเจนที่ยุบตัวได้รับน้ำหรือไพโรเมอร์ที่เหมาะสม คอลลาเจนจะสามารถคืนตัวได้ (Nakabayashi and Takarada, 1992; Gwinnett, 1994) โดยน้ำสร้างพันธะไฮโดรเจนกับคอลลาเจนเปปไทด์(collagen peptide) จะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลคอลลาเจนได้ Nakabayashi และ Takarada (1992) รายงานว่าการทาสารละลาย HEMA ร้อยละ 30 (2-hydroxyethyl methacrylate:) บนเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพด้วยกรดซิตริกร้อยละ 10 สามารถทำให้ดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่แห้งเพิ่มความสามารถในการยอมให้สารซึมผ่านได้เช่นกัน แต่ต้องใช้เวลาจนถึง 1 ชั่วโมงจึงจะมีค่ากำลังแรงดึงยึดเท่ากับเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิตริก ร้อยละ 10

นอกจากการใช้เพอริกคลอไรด์แล้ว มีวิธีการหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันการยุบตัวของเส้นใยคอลลาเจนคือ การทำให้เนื้อฟันมีสภาพชื้นขณะทำการยึดติดเพื่อคงช่องว่างของคอลลาเจนไว้ Gwinnett (1992) แนะนำว่าภายหลังจากการใช้กรดกำจัดชั้นสเมียร์และละลายแร่ธาตุในเนื้อฟัน ควรให้เนื้อฟันอยู่ในสภาพชื้น แล้วตามด้วยการใช้ไพโรเมอร์ชนิดอะซิโตน โดยอะซิโตนจะแทนที่น้ำในดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินและระเหยออกไปเหลือเรซินไว้ พบว่าการเตรียมเนื้อฟันแบบชื้นทำให้มีค่ากำลังแรงดึงยึดเฉือนสูงชันกว่าการเตรียมเนื้อฟันแบบแห้ง DéJou, Sindres และ Camps (1996) ศึกษาการรั่วซึมในสารยึดเรซินหลายยี่ห้อ พบว่าในสารยึดเรซินที่ใช้ได้ทั้งกับเนื้อฟันแบบชื้นและแบบแห้งเช่น Scotchbond Multi-purpose และ All-Bond 2 มีการรั่วซึมเมื่อยึดกับเนื้อฟันในสภาพแห้งมากกว่าการรั่วซึมเมื่อยึดกับเนื้อฟันในสภาพชื้น

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการยึดกับเนื้อฟันในสภาพชื้นจะส่งผลดีต่อการคงช่องว่างของคอลลาเจนไว้ แต่น้ำที่อยู่ระหว่างเส้นใยคอลลาเจนจะต้องถูกกำจัดออกหมดเพื่อให้เรซินโมโนเมอร์สามารถเข้าห่อหุ้มได้สมบูรณ์และเกิดเป็นชั้นไฮบริดที่คุณภาพดี Tay, Gwinnett และ Wei (1996) รายงานถึงปรากฏการณ์น้ำตกค้างอยู่มากเกินไป (overwet phenomenon) เมื่อใช้สารยึดเรซินยี่ห้อ All-Bond 2 ยึดกับเนื้อฟันในสภาพชื้น โดยพบว่ายิ่งมีน้ำมากขึ้นเท่าใดยิ่งพบช่องว่างที่รอยต่อของเนื้อฟันกับไพโรเมอร์ ภายได้ช่องว่างนี้พบว่าเรซินในท่อเนื้อฟันไม่สมบูรณ์พบเรซินกลอบูล (resin globule) ภายในท่อเนื้อฟันและบนเนื้อฟัน แสดงว่าปริมาณน้ำที่ตกค้างขัดขวางการทำงานของไพโรเมอร์และส่งผลต่อความแข็งแรงการยึดของสารยึดเรซินกับเนื้อฟันด้วย Van Meerbeek และคณะ (2003) กล่าวว่าขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการใช้สารยึดเรซินกลุ่มที่ใช้กรดกัดแล้วล้างออกคือการไพรม์ เมื่อใช้สารยึดชนิดอะซิโตนจำเป็นต้องควบคุมเทคนิคการยึดกับเนื้อฟันในสภาพชื้นให้ดี ในขณะที่เมื่อใช้สารยึดชนิดเอธานอลและน้ำร่วมกับเทคนิคการยึดกับเนื้อฟันในสภาพแห้งจะให้การยึดที่มั่นใจได้มากกว่า

Kato และ Nakabayashi (1996; 1998) ศึกษาการเตรียมเนื้อพืชม้วนแบบขึ้นด้วยกรดฟอสฟอริกตามด้วยไพโรเมอร์ชนิดไพโรเมตาในอะซิโตน พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกร้อยละ 10 และร้อยละ 65 เตรียมผิวพืชม้วนแบบขึ้นให้ค่ากำลังแรงยึดดึงสูงกว่าการเตรียมผิวพืชม้วนแบบแห้ง อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณเรซินในชั้นไฮบริดมีน้อยกว่าที่ควร มีเส้นใยคอลลาเจนที่ไม่ถูกห่อหุ้มจึงสลายตัวจากน้ำ (hydrolysis) ได้ในระยะยาว ทำให้ได้ชั้นไฮบริดที่คุณภาพต่ำไม่ทนทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นไฮบริดที่เตรียมจากสารละลายเฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซัลฟูริกร้อยละ 10 ร่วมกับเรซินชนิดไพโรเมตาเอ็มเอ็มเอทีบีบี และจากการทดลองเมื่อใช้เรซินชนิดไพโรเมตาเอ็มเอ็มเอทีบีบี เปรียบเทียบระหว่างการเตรียมผิวพืชม้วนแบบแห้งและแบบขึ้นด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซัลฟูริกร้อยละ 10 (10-3) ร่วมกับสารไพโรเมตาในไพโรเมอร์ชนิดอะซิโตน พบว่าการเตรียมผิวพืชม้วนทั้งสองแบบต่างให้การยึดอยู่ที่ดี แต่การเตรียมผิวพืชม้วนแบบขึ้นมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่าซึ่งแสดงว่าเทคนิคการเตรียมผิวพืชม้วนแบบขึ้นควบคุมได้ยากกว่า (Nakabayashi and Hiranuma, 2000) ดังนั้นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นและการยึดกับเนื้อฟันในสภาพชื้นจึงเป็นเทคนิคที่ไวต่อความผิดพลาดได้ง่าย

Van Meerbeek และคณะ (1992) รายงานการพบดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือซึ่งไม่ถูกหุ้มด้วยเรซิน Nakabayashi และคณะ (1998) เปรียบเทียบค่ากำลังแรงยึดดึงระหว่างเรซินกับเนื้อฟันมนุษย์ โดยใช้สารละลาย 10-3 หรือเฟอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซัลฟูริก ร้อยละ 10 ร่วมกับสารยึดเรซินเรซินชนิดไพโรเมตาเอ็มเอ็มเอทีบีบี พบว่าเมื่อใช้กรดปรับสภาพเป็นเวลา 10 วินาที ฟันมนุษย์และฟันวัวให้ค่ากำลังแรงยึดดึงสูงกว่าเมื่อใช้กรดปรับสภาพ 30 วินาที และ 60 วินาที และหากใช้เวลา 10 วินาที ฟันมนุษย์พบการแตกในชั้นเรซินเท่านั้นและยังใช้กรดปรับสภาพฟันนานขึ้นจะพบการแตกหักในชั้นของเรซินและดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนที่เหลือร่วมด้วยจากการศึกษาชั้นไฮบริดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด โดยนำฟันที่ยึดด้วยสารยึดเรซินแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร เพื่อละลายผลิตภัณฑ์ไฮดรอกซีอะพาไทต์ในเนื้อฟันได้ชั้นไฮบริดที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซินออก ทำให้เห็นชั้นไฮบริดชัดเจนขึ้น และแช่ต่อในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ร้อยละ 1 เพื่อกำจัดคอลลาเจนที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซิน จะเห็นความแตกต่างระหว่างเนื้อฟันส่วนที่ถูกหุ้มและไม่ถูกหุ้มชัดเจนขึ้น แสดงว่าการใช้กรดที่มีความเข้มข้นมากหรือใช้เวลาในการปรับสภาพผิวเนื้อฟันนาน ทำให้เกิดความหนาของชั้นดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนมาก ความลึกในการแทรกซึมของกรดเข้าไปในเนื้อฟันไม่ได้ช่วยให้กำลังแรงยึดสูงขึ้น แต่จะมีผลเสียต่อการยึดเนื่องจากเรซินไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปหุ้มดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนได้หมด ทำให้มีดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือทำให้เกิดบริเวณที่อ่อนแอ

จากองค์ความรู้ข้างต้น มีข้อเสนอแนะให้ทำการปรับสภาพเนื้อฟันด้วยกรดอ่อน ร่วมกับการปรับสภาพแบบขึ้นเพื่อป้องกันการเกิดชั้นดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนที่มีความหนา

เกินไปและเพื่อให้เกิดการยึดอยู่ที่ดีขึ้น และจากผลการทดลองพบว่าเมื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยแบบขึ้นด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 1 ในกรดซิตริกร้อยละ 1 (1-1) เป็นเวลา 10 ถึง 60 วินาที ค่าความแข็งแรงดึงยึดของเรซินไม่ต่างจากเมื่อปรับสภาพแบบขึ้นด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 1 ถึง 5 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 เป็นเวลา 10 วินาที ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่หลงเหลือ การใช้สารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 1 ในกรดซิตริก ร้อยละ 1 (1-1) จึงมีความปลอดภัยกว่าแม้จะทาครอนานถึง 60 วินาที และพบว่าความหนาของชั้นไฮบริดเพิ่มขึ้นตามเวลาที่สัมผัสกรดโดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1-3 ไมโครเมตรเมื่อทาครอนาน 10-60 วินาทีแต่ค่าความแข็งแรงยึดดึงไม่ขึ้นกับความหนาของชั้นไฮบริด ลักษณะของชั้นไฮบริดที่เกิดขึ้นสามารถต้านทานต่อกรดแก่และสารละลายไฮโปคลอไรท์ได้ดีต่างจากชั้นไฮบริดที่เกิดจากการปรับสภาพด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 10 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 (10-10) เป็นเวลา 10 วินาที ซึ่งเมื่อสัมผัสกรดแก่และสารละลายไฮโปคลอไรท์ได้เปลี่ยนสภาพโดยมีความหนาลดลงจากมากกว่า 5 ไมโครเมตรเหลือประมาณ 4 ไมโครเมตรและแรงดึงมีค่าต่ำลง เกิดการแตกหักในชั้นเรซินและดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่หลงเหลืออยู่ ความเข้มข้นของเพอริกคลอไรด์ที่เหมาะสมในการปรับสภาพเนื้อฟันคือ ร้อยละ 1-5 (Piemjai and Nakabayashi, 2001) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความแข็งแรงยึดถึงแม้จะใช้หรือไม่ใช้ไพรเมอร์ชนิดอะซิโตน (Piemjai and Nakabayashi, 2003) เนื่องจากชั้นดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่เกิดขึ้นจากการปรับสภาพแบบขึ้นด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 1 ในกรดซิตริกร้อยละ 1 (1-1) มีความหนาประมาณเพียง 1 ไมโครเมตรทำให้โมโนเมอร์เข้าแทนที่น้ำได้ง่ายและให้ผลดี ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้ไพรเมอร์และช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นลงอีกด้วย

การยึดโดยเตรียมผิวฟันแบบใช้ไพรเมอร์ชนิดเป็นกรดปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ (self-etching primer) ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดในขั้นตอนการล้างกรดออก ป้องกันการยุบตัวของคอลลาเจนจากการเป่าแห้ง การตกค้างของกรดแก่บนผิวฟันจากการล้างออกไม่หมด การตกค้างของน้ำที่มีมากเกินไป และป้องกันการเกิดดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินหลงเหลือ และยังช่วยลดความยุ่งยากในการทำงานอีกด้วย (Nakabayashi and Pashley, 1998: 54-55; Nakabayashi, 2004) โดยใช้สารปรับสภาพที่ประกอบด้วยกรดอ่อนและไพรเมอร์ซึ่งอยู่ในขวดเดียวกันปรับสภาพเนื้อฟันและชั้นสเมียร์พร้อมกัน ไม่ต้องล้างออกแต่เป่าลมเบาๆ การทำทิ้งไว้นานเพียงพอจะทำให้สารปรับสภาพมีเวลาในการละลายและแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์ไปยังเนื้อฟันด้านล่าง Watanabe และ Nakabayashi (1993) รายงานการใช้เอทิลฟีนิลไฮโดรเจนฟอสเฟต (phenyl-P) และเอ็นฟีนิลไกลซีน (NPG) ในไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมธาคริเลต (TEGDMA) เป็นไพรเมอร์ชนิดเป็นกรดปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ พบว่าค่ากำลังแรงยึดดึงหลังยึด 1 วันมีค่า 6.7 เมกะปาสคาล และลดลงเหลือ 2.8 เมกะปาสคาลภายใน 1 ปี ซึ่งว่าการยึดระหว่างเรซินและเนื้อฟัน

ที่มีชั้นสเมียร์อ่อนแอเนื่องจากสารยึดเรซินแทรกซึมลงไปในพื้นที่ว่างได้ไม่เพียงพอ ซึ่งต่อมาเมื่อเข้าน้ำชั้นสเมียร์และเนื้อฟันจึงสลายตัวไป Nakabayashi และ Pashley (1998: 55) ให้แนวคิดเกี่ยวกับการยึดผ่านชั้นสเมียร์ว่า หากชั้นนี้มีความหนาถึง 2 ไมโครเมตรและอัดตัวกันแน่นจะต้านการแทรกผ่านของสารปรับสภาพ ทำให้เกิดชั้นไฮบริดที่บางมากเกินไปก่อให้เกิดการรื้อซึมได้ง่าย นอกจากนี้ชั้นสเมียร์สามารถปรับสภาพบัพเฟอร์ได้ (buffer capacity) อาจปรับเปลี่ยนสภาพกรดอ่อนให้เจือจางลง ประสิทธิภาพของสารยึดเรซินจะลดลงทำให้กำลังแรงยึดต่ำลงด้วย หากมีแรงกระทำอาจจะเกิดแตกหักระหว่างชั้นสเมียร์และชั้นไฮบริดได้ ดังนั้นสารปรับสภาพชนิดนี้ต้องสามารถแทรกผ่านชั้นสเมียร์ลงไปยังเนื้อฟันด้านล่างอย่างน้อย 1 ไมโครเมตร เพื่อให้เกิดชั้นไฮบริดที่ให้ความแนบสนิทและความแข็งแรง

ระบบสารยึดเรซิน

ปี 1992 Van Meerbeek และคณะ แบ่งสารยึดเรซินตามลักษณะของเนื้อฟันที่ยึดกับเรซินออกเป็นกลุ่มใหญ่ 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่กำจัดชั้นสเมียร์ทำให้ท่อเนื้อฟันเผยผิ่ พบชั้นไฮบริดและเรซินแทรกชัดเจน แบ่งย่อยออกได้อีก 2 กลุ่มย่อยคือ
 - 1.1. แบบ1 เนื้อฟันที่หุ้มด้วยเรซินอยู่บริเวณระหว่างท่อเนื้อฟัน (intertubular dentin) ได้แก่สารยึดเรซินดังนี้ Denthesive (Kulzer), Gluma Bonding System (Bayer Dental), Scotchbond 2 (3M), Superlux Universalbond 2 (DMG), Syntac (Vivadent), Super-Bond D Liner (Sun Medical), Clearfil Liner Bond System (Kuraray)
 - 1.2. แบบ2 เนื้อฟันที่หุ้มด้วยเรซินอยู่บริเวณระหว่างท่อเนื้อฟันและรอบท่อเนื้อฟัน (peritubular dentin) ได้แก่สารยึดเรซินดังนี้ Restobond 3 (LeePharmaceutical), Tenure (Den-Mat), Mirage Bond (Chamleon), All-Bond All-Etch (Bisco)
2. กลุ่มที่เก็บชั้นสเมียร์ ภายในท่อเนื้อฟันยังพบสเมียร์พลักและไม่พบชั้นไฮบริด ได้แก่สารยึดเรซินดังนี้ All-Bond (Bisco), Optec Univ. Bond. Syst. (Jeneric/Pentron), Pentra Bond II (Jeneric/Pentron), Pertac Universal Bond (ESPE), Prisma Universal Bond 2 (Caulk-Dentsply), Prisma Universal Bond 3 (Caulk-Dentsply), Tripton (ICI), Tokuso Light Bond (Tokuyama Soda)
3. กลุ่มที่ละลายชั้นสเมียร์เป็นบางส่วน พบเนื้อฟันที่หุ้มด้วยเรซินอยู่บริเวณระหว่างท่อเนื้อฟันเป็นชั้นบางๆ ภายในท่อเนื้อฟันยังพบสเมียร์พลัก ได้แก่สารยึดเรซินดังนี้

J&J LC Dentin-Enamel BA (Johnson & Johnson), XR-Bond (Kerr), Imperva Bond (Shofu)

ปี 1998 Nakabayashi และ Pashley (1998: 42-55) ได้แบ่งระบบสารยึดเรซินตามเทคนิคการเตรียมเนื้อฟันออกเป็น 4 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่ทาสารยึดเรซินลงบนดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินซึ่งไม่ยวบตัว
 - 1.1 ปรับสภาพฟันด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 (10-3) ทาสารยึดเรซินชนิดโฟร์เมตาเอ็มเอ็มเอทีบีปี ได้แก่ Super-Bond C&B (Sun Medical) หรือ C&B Metabond (Parkell)
 - 1.2 ใช้กรดปรับสภาพฟันแล้วจึงทาสารยึดเรซินลงบนดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่อยู่ในสภาพชื้นโดยไม่ทาไพรเมอร์ ได้แก่ One-Step (Bisco), Tenure Quick-F (Den-Mat), Syntac Single-Component (Vivadent), OptiBond Solo (Kerr), Prime&Bond 2.1 (Caulk-Dentsply), Bond 1 (Jeneric/Pentron), Single Bond หรือ Scotchbond 1 (3M)
2. กลุ่มที่ทาไพรเมอร์ลงบนดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่ยุบตัวเพื่อทำให้กลับคืนตัวขึ้น แล้วจึงทาสารยึดเรซิน ได้แก่ Clearfil New Bond (Kuraray), Clearfil Liner Bond System (Kuraray), Scotchbond Multi-Purpose (3M), OptiBond (Kerr), Tenure (Den-Mat), Prisma UniversalBond 3 (Caulk-Dentsply)
3. กลุ่มที่ทาไพรเมอร์ลงบนดีมีเนอรอลไลซ์เดนตินที่อยู่ในสภาพชื้นเพื่อป้องกันการยวบตัวแล้วจึงทาสารยึดเรซิน ได้แก่ Scotchbond Multi-Purpose (3M), Super-bond D Liner (Sun Medical), Amalgambond Plus (Parkell), OptiBond (Kerr), All-Bond 2 (Bisco), Tenure (Den-Mat)
4. กลุ่มไพรเมอร์ชนิดเป็นกรดปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ (self-etching primer) ทาลงบนเนื้อฟันที่ปกคลุมด้วยชั้นสเมียร์ แล้วจึงทาสารยึดเรซิน

ปี 2003 Van Meerbeek และคณะ แบ่งสารยึดเรซินตามชนิดและขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่ใช้กรดปรับสภาพแล้วล้างออก (etch & rinse approach)

สารยึดเรซินในกลุ่มนี้ยึดกับเคลือบฟันได้มีประสิทธิภาพที่สุด สำหรับเนื้อฟันพบว่ากรดละลายไฮดรอกซีอะพาไทต์ออกเกือบทั้งหมด ทำให้เส้นใยคอลลาเจนเผยผิ้ออกมา กลไกการยึดกับเนื้อฟันจึงขึ้นกับการแทรกซึมของเรซินลงไป在线ใยคอลลาเจน สารยึด

เรซินในกลุ่มนี้แบ่งตามขั้นตอนการทำงานออกได้อีกเป็น 2 ขั้นตอนและ 3 ขั้นตอน (ตารางที่ 1)

2. กลุ่มไพรเมอร์ชนิดเป็นกรดปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ (self-etching approach)

สารยึดเรซินกลุ่มนี้มีข้อดีที่การแทรกซึมของเรซินเกิดขึ้นต่อเนื่องไปกับการที่กรดปรับสภาพฟัน จึงช่วยลดความผิดพลาดจากเทคนิคการทำงานและลดขั้นตอน แต่ยังไม่ทราบผลกระทบในระยะยาวของการที่มีผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ซึ่งละลายออกมาแล้วหรือมีชั้นสเมียร์รวมอยู่ในรอยต่อของเรซินกับฟัน รวมถึงตัวทำละลายส่วนเกินของไพรเมอร์หรือสารยึดเรซินซึ่งรวมอยู่ในรอยต่ออาจทำให้การยึดอ่อนแอได้ สารยึดเรซินในกลุ่มนี้ นอกจากแบ่งตามขั้นตอนการทำงานออกเป็น 1 ขั้นตอนและ 2 ขั้นตอนแล้ว (ตารางที่ 1) ยังอาจแบ่งตามค่าความเป็นกรดต่างของกรดออกได้อีกเป็น 3 กลุ่มคือ (ตารางที่ 2)

2.1 สารยึดเรซินชนิดกรดแก่ปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 1 หรือต่ำกว่า 1 จึงมีฤทธิ์ละลายแร่ธาตุได้ลึก หลังจากปรับสภาพพบว่าเคลือบฟันมีลักษณะเหมือนกับในกลุ่มที่ใช้กรดปรับสภาพแล้วล้างออก สำหรับเนื้อฟันพบว่ากรดละลายไฮดรอกซีอะพาไทต์ออกเกือบทั้งหมด ทำให้เส้นใยคอลลาเจนเผยผิ้ออกมา กลไกการยึดกับเนื้อฟันจึงขึ้นกับการแทรกซึมของเรซินลงไป在线ใยคอลลาเจนเช่นเดียวกับกลุ่มที่ใช้กรดปรับสภาพแล้วล้างออก จากการศึกษาพบว่าค่ากำลังแรงยึดดึงของสารยึดเรซินกลุ่มนี้ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะกับเนื้อฟัน อาจเนื่องจากค่าความเป็นกรดสูงหรือมีตัวทำละลายส่วนเกินของไพรเมอร์หรือสารยึด เรซินซึ่งรวมอยู่ในรอยต่อ

2.2 สารยึดเรซินชนิดกรดอ่อนปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ ค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 2 จึงมีฤทธิ์ละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันได้ลึกเพียง 1 ไมครอน และละลายแร่ธาตุออกเพียงบางส่วน ทำให้มีไฮดรอกซีอะพาไทต์เหลืออยู่รอบๆเส้นใยคอลลาเจน ซึ่งอาจจะใช้เป็นตำแหน่งที่เกิดพันธะเคมีได้ พบว่าชั้นไฮบริดบางกว่าของกลุ่มสารยึดเรซินชนิดกรดแก่ปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์และกลุ่มที่ใช้กรดปรับสภาพแล้วล้างออกมากจุดด้อยของสารยึดเรซินในกลุ่มนี้คือการยึดกับเคลือบฟันไม่ดี

2.3 สารยึดเรซินชนิดกรดแก่ปานกลางปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ เช่น AdheSE (Vivadent) และ OptiBond Solo Plus Self-etch (Kerr) มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 1.5 จึงมีฤทธิ์ละลายแร่ธาตุได้ปานกลาง หลังจากปรับสภาพพบว่า ดีมิเนอรอลไลซ์เดนตินชั้นบนถูกละลายไฮดรอกซีอะพาไทต์ออกเกือบทั้งหมดแต่ในชั้นลึกสุดประมาณ 1 ไมครอนถูกละลายออกเพียงบางส่วน และพบว่า การ

เปลี่ยนสภาพจากชั้นไฮบริดไปเป็นเนื้อฟันปกติข้างใต้มีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป
ต่างจากกลุ่มสารยึดเรซินชนิดกรดแก่ปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์และกลุ่มที่ใช้กรด
ปรับสภาพแล้วล้างออกซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนอย่างทันทีทันใด

3. กลุ่มที่เป็นกลาสไอโอโนเมอร์ (glass ionomer approach)

วัสดุกลุ่มนี้สามารถยึดกับฟันได้ด้วยตัวเองโดยไม่ต้องปรับสภาพผิว แต่การปรับสภาพ
ผิวด้วยกรดอ่อนโพลิอัลคีนอิกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดได้ เนื่องจากกรดช่วยกำจัด
ชั้นสเมียร์ออกและช่วยละลายแร่ธาตุออกบางส่วนจึงเพิ่มพื้นที่ผิวในการเกิดการยึดกับ
เนื้อฟันทางกลและทางเคมี ดังนั้นจึงอาจแบ่งตามขั้นตอนการทำงานออกได้อีกเป็น 1
ขั้นตอนและ 2 ขั้นตอน (ตารางที่ 1) สารกลุ่มนี้มีกลไกการยึดกับฟัน 2 อย่างคือการยึด
ทางเคมีด้วยพันธะไอออนิก ระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิลของกรดโพลิอัลคีนอิกกับแคลเซียม
ในไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่เหลืออยู่รอบๆเส้นใยคอลลาเจนที่เผยผิ้ออกมา และการยึด
ทางกลด้วยชั้นไฮบริดตื้นๆของเส้นใยคอลลาเจนซึ่งมีไฮดรอกซีอะพาไทต์เหลืออยู่ เมื่อ
พิจารณาในแง่นี้จึงอาจถือว่ากลาสไอโอโนเมอร์เป็นสารยึดเรซินชนิดเป็นกรดอ่อนปรับ
สภาพผ่านชั้นสเมียร์ได้ ต่างกันแต่เพียงว่ากลาสไอโอโนเมอร์ปรับสภาพฟันด้วยโพลิเมอร์
ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่สารยึดเรซินชนิดเป็นกรดปรับสภาพผ่านชั้นสเมียร์ใช้โมโนเมอร์
ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกสารยึดเรซินตามชนิดและขั้นตอนการทำงาน (ประยุกต์จาก Van Meerbeek et al., 2001)

Brand Name	Manufacturer
One-Step Self-Etch Adhesives	
AO Bond - Touch&Bond	Sun Medical, Kyoto, Japan
Etch&Prime 3.0	Degussa, Hanau, Germany
One-up Bond F	Tokuyama, Tokyo, Japan
Prompt L-Pop for composites	ESPE
Prompt L-Pop 3 (exp)	ESPE
Syntac 3 (self-etch; exp) ²	Vivadent
Xeno CF Bond	Sankin, Otahara, Japan
One-Step Glass Ionomer Adhesives	
FujiBond LC Liq-Liq (exp.) ²	GC, Tokyo, Japan
Reactmer ²	Shofu, Kyoto, Japan
Two-step Glass Ionomer Adhesives	
FujiBond LC ²	GC
FujiBond LC Liq-Liq (exp) ²	GC
Photac Seal (exp.) ²	ESPE
Two-Step Self-Etch Adhesives	
ABF ² (exp)	Kuraray, Osaka, Japan
Clearfil Liner Bond 2 ²	Kuraray
Clearfil Liner Bond 2V ²	Kuraray
Clearfil SE ²	Kuraray
Imperva FL-Bond ² (Fluorobond)	Shofu
NRC & Prime&Bond NT ²	Dentsply
OptiBond (no-etch) ²	Kerr, Orange, CA, USA
OptiBond FL (no-etch) ²	Kerr
Sustel (F2000)	3M
Unifil BOND	GC
Coltene ART Bond ³	Coltene, Altstätten, Switzerland
Denthesive II ³	Hereaus-Kulzer, Wehrheim, Germany
Ecusit Primer-Mono ³	DMG
Imperva Bond (no etch) ³	Shofu
Scotchbond 2 ³	3M

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Brand Name	Manufacturer
Solid Bond ³	Heraeus-Kulzer
Superlux Universalbond 2 ³	DMG
Syntac ³	Vivadent
XR-Bond ³	Kerr
Two-Step Total-Etch Adhesives - 'One-Bottle' Adhesives	
Bond 1	Jeneric/Pentron, Wallingford, CT, USA
Dentastic Uno	Pulpdent, Watertown, MA, USA
Dentastic Duo	Pulpdent
EasyBond	Parkell, Farmingdale, NY, USA
Everbond (exp) ²	ESPE
Excite ²	Vivadent
Gluma 2000	Bayer, Leverkusen, Germany
Gluma One Bond	Heraeus-Kulzer
Gluma Comfort Bond	Heraeus-Kulzer
One Coat Bond	Coltene
One Step	BISCO, Schaumburg, IL, USA
Optibond SOLO ²	Kerr
Optibond Solo Plus ²	Kerr
Prime&Bond 2.1	Dentsply
Prime&Bond 2.1 Dual Cure	Dentsply
Prime&Bond NT ²	Dentsply
Prime&Bond NT Dual Cure ²	Dentsply
PQ1 ²	Ultradent, South Jordan, UT, USA
Scotchbond 1 (Single Bond)	3M
Snapbond	Cooley & Cooley, Houston, TX, USA
Solist	DMG
Solobond M	Voco, Cuxhaven, Germany
Stae	Southern Dental Industries, Victoria, Australia
Syntac Single-Component	Vivadent
Syntac Sprint	Vivadent
Syntac 3 (total-etch; exp)	Vivadent
Tenure Quik with Fluoride	Den-Mat, Santa Maria, CA, USA

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Brand Name	Manufacturer
Three-Step Total-Etch Adhesives	
ABC Enhanced	Chameleon, Kansas City, KA, USA
AEItebond	BISCO
All-Bond 2	BISCO
Amalgambond Plus	Parkell
Clearfil Liner Bond ^{2,4}	Kuraray
Dentastic	Pulpdent
Denthesive	Hereaus-Kulzer
EBS	ESPE
EBS Multi	ESPE
Gluma Bonding System	Bayer
Gluma CPS	Bayer
Imperva Bond (total-etch)	Shofu
Mirage Bond	Chameleon
OptiBond (total-etch) ²	Kerr
OptiBond FL (total-etch) ²	Kerr
PAAMA ²	Southern Dental Industries
Permagen	Ultradent
Permaquik ²	Ultradent
Quadrant UniBond	Cavex Holland, Haarlem, Netherlands
Restobond 3	Lee Pharmaceuticals, South El Monte, CA, VS
Scotchbond Multi-Purpose	3M
Scotchbond Multi-Purpose Plus	3M
Solid Bond	Heraeus-Kulzer
Super-Bond D Liner	Sun Medical
Tenure S	Den-Mat

¹ One-step adhesive used in combination with an ion-releasing restorative material;

² Adhesives providing tiled adhesives;

³ Early self-etch adhesives developed to be applied on dentin only, whereas enamel is etched separately with a phosphoric acid (>30%) conditioner;

⁴ Because of the application of a silica-filled low-viscosity resin (Protect Liner) in addition to the application of the adhesive resin, Clearfil Liner Bond is applied in four steps.

ตารางที่ 2 แสดงค่าความเป็นกรดต่างของสารยึดเรซิน (Van Meerbeek et al., 2003)

Adhesive	Classification	pH primer*
Adper Prompt L-Pop (3M ESPE)	One-step self-etch	0.4
Prompt L-Pop 2 (3M ESPE)	One-step self-etch	0.8
Xeno III (Dentsply)	One-step self-etch	1.4
i Bond (Kulzer)	One-step self-etch	1.6
Non-Rinse Conditioner (Dentsply)	Two-step self-etch	1.0
AdheSE primer (Vivadent)	Two-step self-etch	1.4
OptiBond Solo Plus SE primer (Kerr)	Two-step self-etch	1.5
Clearfil SE Bond primer (Kuraray)	Two-step self-etch	1.9
Clearfil SE Bond Plus primer (Kuraray)	Two-step self-etch	2.0
Unifil Bond primer (GC)	Two-step self-etch	2.2
Panavia ED primer mixed (Kuraray)	Two-step self-etch	2.6
OptiBond Solo Plus primer/adhesive (Kerr)	Two-step etch&rinse	2.1
Prime&Bond NT primer/adhesive (Dentsply)	Two-step etch&rinse	2.2
Scotchbond 1 primer/adhesive (3M)	Two-step etch&rinse	4.7
OptiBond FL primer (Kerr)	Three-step etch&rinse	1.8

*Measured in-house using a digital pH meter (Inolab pH Level 2, WTW, Weilheim, Germany)

องค์ประกอบของสารยึดเรซินที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบของสารยึดเรซินที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Adhesive system	Etchant/ Conditioner	Primer	Resin	Manufacturer
AQ Bond (Touch & Bond)	-	Monomer: MMA, 4-META, UDMA, 2-hydroxyethyl methacrylate, Acetone, Water Sponge: Polyurethane foam, p-TSNa		Sun Medical, Shiga, Japan
Single Bond 2	35% H ₃ PO ₄	Bis-GMA, TEGDMA, Water, Silane treated ceramic filler		3M Dental Products, MN, USA
Clearfil Protect Bond	-	MDP, MDPB, HEMA, Hydrophilic dimethacrylate, Water	MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophobic dimethacrylate, N,N-Diethanol-p-toluidine, Silanated colloidal silica, Surface treated sodium fluoride	Kuraray, Okayama, Japan
All-Bond 2	32% H ₃ PO ₄	2% NTG-GMA, 16% BPDM, acetone	Bis-GMA, UDMA, HEMA	Bisco, IL, USA
Clearfil Mega Bond (Clearfil SE Bond)	-	MDP, HEMA, Hydrophilic dimethacrylate, Water	MDP, Bis-GMA, HEMA, Hydrophobic dimethacrylate, N,N-Diethanol-p-toluidine, Silanated colloidal silica	Kuraray, Okayama, Japan
Single Bond	35% H ₃ PO ₄	Bis-GMA, HEMA, polyalkenoic acid copolymer, water, ethanol, dimethacrylates		3M Dental Products, MN, USA
Super-Bond C&B (C&B Metabond)	10% Citric acid, 3% FeCl ₂	-	Base : 4-META, MMA, TBB Powder: PMMA, Metal oxide	Sun Medical, Shiga, Japan
Super-Bond D-Liner II PLUS (Amalgam Bond Plus)	10% Citric acid, 3% FeCl ₂	-	2,2-Di(4-methacryloxy polyethoxy phenyl)propane, HEMA, 4-META, MMA, TBB Powder: PMMA	Sun Medical, Shiga, Japan

ความสัมพันธ์สารยึดเรซินกับการเกิดฟันผุซ้ำ

การศึกษาเพื่อป้องกันการเกิดฟันผุซ้ำ มักให้ความสนใจกับการค้นคว้าหาวัสดุที่มีคุณสมบัติช่วยป้องกันฟันผุเช่น วัสดุที่ปล่อยฟลูออไรด์ (Savarino et al., 2004; Yamen et al., 2004) การใช้เรซินคอมโพสิตและสารยึดเรซินที่มีคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย (Imazato, 2003) Cox, Felton และ Bergenholtz (1988) รายงานว่าไม่พบเชื้อแบคทีเรียภายใต้วัสดุที่ใช้สารยึดเรซินยี่ห้อ Gluma ซึ่งมีกลูตารอลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบ แตกต่างจากการใช้สารยึดเรซินยี่ห้อ Scotchbond อย่างมีนัยสำคัญ Moura และคณะ (2004) ศึกษาปริมาณเชื้อ Mutans streptococci ในไบโอฟิล์มซึ่งอยู่บนโลหะที่ยึดกับฟันด้วยซีเมนต์ต่างชนิดกันภายในช่องปากผู้ที่ใช้ยาสีฟันที่มีฟลูออไรด์ พบว่าไบโอฟิล์มซึ่งอยู่บนโลหะที่ยึดกับฟันด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์สูงที่สุด แต่มีส่วนประกอบของเชื้อในไบโอฟิล์มไม่แตกต่างจากส่วนประกอบของเชื้อในไบโอฟิล์มซึ่งอยู่บนโลหะที่ยึดกับฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และเรซินซีเมนต์ รวมทั้งมีการละลายแร่ธาตุของเคลือบฟันและเนื้อฟันไม่แตกต่างกันด้วย และได้สรุปว่าการใช้ซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติปล่อยฟลูออไรด์ อาจไม่ช่วยลดการเกิดฟันผุซ้ำในผู้ที่ใช้ยาสีฟันที่มีฟลูออไรด์เป็นประจำอยู่แล้ว

มีหลายงานวิจัยที่แสดงว่าการใช้สารยึดเรซินช่วยป้องกันการเกิดการรั่วซึม และอาจช่วยป้องกันการเกิดฟันผุได้ เช่น การศึกษาของ Göhring และคณะ (2004) ศึกษาการรั่วซึมของสารยึดเรซินในภาวะที่ฟันสัมผัสกรดแลคติก พบว่าเมื่อใช้สารยึดเรซินร่วมกับซีลเลอร์หรือโฟลเอเบิลคอมโพสิตจะทำให้การรั่วซึมนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (สารยึดเรซินยี่ห้อ Clearfil SE Bond ร่วมกับซีลเลอร์ยี่ห้อ Liner Bond 2 Protect Liner F และสารยึดเรซินยี่ห้อ Syntac ร่วมกับโฟลเอเบิลคอมโพสิตยี่ห้อ Tetric Ceram) Leevailoj และคณะ (2001) พบว่าการใช้โฟลเอเบิลคอมโพสิตในการบูรณะฟันหลังด้วยสารยึดเรซินและเรซินคอมโพสิต ช่วยลดการรั่วซึมได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่ยังไม่อาจป้องกันการรั่วซึมได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขอบด้านใกล้เหงือก Hahn และคณะ (1999) ศึกษารอยโรครากฟันผุพบว่าหลังการทำสารยึดเรซินยี่ห้อ Heliobond และ Prime& Bond แล้วไม่เป่าลม ทำให้ไม่เกิดรอยโรครากฟันผุไม่ว่าจะทาสารยึดเรซิน 1 หรือ 2 ชั้นก็ตาม แสดงว่าการเป่าลมลงบนสารยึดเรซินมากเกินไปส่งผลเสียต่อการยึด

Torii และคณะ (1989) รายงานถึงการนำสารยึดเรซินมาใช้ยึดอะมัลกัมว่าสามารถป้องกันการลุกลามของฟันผุไปตามผนังวัสดุบูรณะได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเห็นผลชัดทางฝั่งใกล้ด้านบดเคี้ยว Setcos, Staninec และ Wilson (1999) กล่าวว่า การใช้สารยึดอะมัลกัมช่วยแก้ไขจุดด้อยของอะมัลกัมเช่นการรั่วซึมและการไม่ยึดติดกับฟันทำให้ต้องกรอฟัน

มากเพื่อให้เกิดการยึดอยู่ทางกล และการใช้สารยึดเรซินร่วมกับอะมัลกัมจะช่วยป้องกันการรั่วซึม ด้านทานการแตกหักและอนุรักษ์เนื้อฟันดีกว่า

Kosaka และคณะ (2005) พบว่าเมื่อยึดครอบฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์และซีเมนต์กาสไอโอโนเมอร์ (ยี่ห้อ Fuji I) ทำให้เกิดการรั่วซึมเข้าไปภายใต้ครอบฟันและเข้าใกล้โพรงประสาทฟันมากกว่าใช้ซีเมนต์กาสไอโอโนเมอร์เสริมเรซิน (ยี่ห้อ Vitremer) และเรซินซีเมนต์ (ยี่ห้อ C&B-Metabond) อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อใช้เรซิน (ยี่ห้อ Brush and Bond) เคลือบฟันก่อนทำการยึดครอบฟันด้วยซีเมนต์ดังกล่าว สามารถลดการรั่วซึมเข้าใกล้โพรงประสาทฟันของครอบฟันซึ่งยึดด้วยซีเมนต์กาสไอโอโนเมอร์และซีเมนต์กาสไอโอโนเมอร์เสริมเรซินได้อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการใช้เรซินเคลือบฟันทำให้เรซินผนึกปิดเนื้อฟันจึงสามารถลดการรั่วซึมเข้าไปตามท่อเนื้อฟันเข้าสู่โพรงประสาทฟันได้ แต่ในกรณีของซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ พบการรั่วซึมมากดั้งเดิมอาจเนื่องจากซีเมนต์เสื่อมสภาพไปมากหลังผ่านการเทอร์โมไซคลิง และในกรณีของเรซินซีเมนต์ไม่พบการรั่วซึมแม้ไม่เคลือบเรซิน แต่เมื่อเคลือบเรซินบนฟันกลับพบการรั่วซึมเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ การที่พบการรั่วซึมในฟันทุกซี่เมื่อยึดครอบฟันด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์จากขอบฟันหลักลงไปตามท่อเนื้อฟันเข้าไปถึงโพรงประสาทฟัน (Goldman, et al., 1992) อาจเกิดจากการมีชั้นดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือเนื่องจากกรดฟอสฟอริกในซีเมนต์ละลายแร่ธาตุในฟัน แต่ซีเมนต์แข็งตัวทับอยู่บนชั้นดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนไม่แทรกซึมลงไป เมื่อสัมผัสน้ำและสภาพแวดล้อมในช่องปากตามเวลาที่ผ่านมาทำให้ชั้นดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือสลายตัวเป็นช่องเกิดการรั่วซึมตามมาได้ (Nakabayashi and Pashley, 1998: 1-4) ดังเช่น Piemjai และคณะ (2002) พบการรั่วซึมในชั้นดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือภายใต้ซีเมนต์ชนิดซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ กาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และโพลีคาร์บอกซีเลตซีเมนต์ภายหลังการแช่น้ำเพียง 24 ชั่วโมง ในขณะที่ไม่พบการรั่วซึมภายใต้สารยึดเรซิน (ยี่ห้อ Super-Bond C&B)

การใช้กรดที่มีความเข้มข้นมากหรือใช้เวลาในการปรับสภาพผิวเนื้อฟันนาน ทำให้เกิดความหนาของชั้นดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนมาก เรซินไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปหุ้มดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนได้หมด ทำให้มีดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือทำให้เกิดบริเวณที่อ่อนแอและทำให้เกิดการรั่วซึมได้ โดยพบว่าเมื่อปรับสภาพผิวฟันด้วยสารละลายเพอริกคลอไรด์ร้อยละ 3 ในกรดซิตริกร้อยละ 10 (10-3) เป็นเวลา 60 วินาทีพบการรั่วซึมของสีย้อมที่ผิวเคลือบรากฟันมากกว่าเมื่อปรับสภาพผิวฟันเป็นเวลา 10 วินาที และพบว่าชั้นดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือไม่สามารถทนต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริกและสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ด้วย (Piemjai et al., 2004) Van Strijp, Klont และ ten Cate (1992) รายงานว่าเมื่อดีมิเนอรอลไลซ์เดนทีนเผยผิ่งสู่ช่องปาก จะเกิดการสลายของคอลลาเจนโดยจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นกับความแตกต่างของการย่อยสลายโปรตีนของเชื้อที่สะสม (proteolytic activity) และพบเชื้อแบคทีเรียจำนวนมากภายใน

ท่อเนื้อฟัน ดังนั้นการมีชั้นดีมีเนอรอลไลซ์เดนทีนที่หลงเหลือ ซึ่งจะเกิดการย่อยสลายของคอลลาเจนรวมถึงมีการรั่วซึมในเวลาต่อมา อาจสะท้อนให้เห็นถึงความบกพร่องในการต้านทานฟันผุด้วย Murray และคณะ (2002) ศึกษาในคลินิกถึงการรั่วซึมของเชื้อแบคทีเรียภายใต้วัสดุบูรณะ (สารยึดเรซินยี่ห้อ Scotchbond duel cure) เมื่อปรับสภาพฟันด้วยกรดฟอสฟอริกหรือ EDTA หลังจากบูรณะฟัน 20-381 วัน พบว่าการรั่วซึมของเชื้อแบคทีเรียมากที่สุดเมื่อไม่ปรับสภาพฟันก่อนบูรณะตามด้วยเมื่อปรับสภาพฟันด้วย EDTA และกรดฟอสฟอริกมีการรั่วซึมของเชื้อแบคทีเรียน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามกลับพบว่าเมื่อปรับสภาพฟันด้วยกรดฟอสฟอริกทำให้เกิดการอักเสบในโพรงประสาทมากที่สุดซึ่งอาจเกิดจากแบคทีเรียสามารถผ่านไปตามท่อเนื้อฟันเข้าสู่โพรงประสาทได้ ไกลกว่าฟันที่ไม่ถูกกรดปรับสภาพซึ่งมีชั้นสเมียร์อยู่ ดังนั้นทั้งการไม่กำจัดชั้นสเมียร์และการเปิดท่อเนื้อฟันแต่ไม่ฉีกแน่นล้วนส่งผลเสียต่อความสำเร็จในการบูรณะฟัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการฉีกแน่นบริเวณรอยต่อของวัสดุบูรณะกับฟันได้ในทางคลินิก

จากการศึกษาของ Mertz-Fairhurst และคณะ (1998) ทำการทดลองกับฟันที่มีรอยโรคฟันผุด้านบดเคี้ยวลึกถึงเนื้อฟัน โดยกำจัดเอาเฉพาะเคลือบฟันที่อยู่บนรอยโรคฟันผุออก เบเวลขอบเคลือบฟันโดยรอบกว้าง 1 มิลลิเมตรและปล่อยเนื้อฟันที่ผุนี้มั่งข้างใต้ไว้ทั้งหมด แล้วบูรณะทับด้วยเรซินคอมโพสิตและวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน หลังการติดตามผลนาน 10 ปีประเมินจากทางคลินิกพบว่าวัสดุบูรณะยังอยู่ในสภาพน่าพอใจและจากภาพถ่ายรังสีพบว่าการผุภายใต้วัสดุบูรณะไม่ลุกลามต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นทางคลินิกว่าเมื่อเคลือบฟันบริเวณขอบวัสดุบูรณะถูกฉีกด้วยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันทำให้การผุภายใต้วัสดุบูรณะหยุดลุกลามได้ เป็นที่ทราบกันดีว่าการปรับสภาพโดยการปรับสภาพผิวเคลือบฟันทำให้เกิดการยึดระหว่างเรซินกับเคลือบฟันอย่างแข็งแรงและเชื่อถือได้ เนื้อฟันยึดกับสารยึดเรซินไม่ดีเท่าเคลือบฟันจึงผู้ซ้่าได้ง่ายกว่า (Staninec et al., 1985) เช่นเดียวกับการศึกษาส่วนใหญ่พบว่าการยึดกับเนื้อฟันมีการรั่วซึมมากกว่าการยึดกับเคลือบฟัน (Pameijer and Wendt, 1995; Al-Ehaideb and Mohammed, 2001; Leevailoj et al., 2001; Hilton, 2002a; Piemjai et al., 2002; 2004) เชื่อกันว่าการรั่วซึมเป็นสาเหตุของการติดตามขอบวัสดุบูรณะ การเสียวฟัน (Brännstöm, 1988) และพยาธิสภาพของโพรงประสาทฟัน (Bergenholtz, et al., 1982) ดังนั้นการรั่วซึมของวัสดุบูรณะอาจเป็นทางผ่านให้กรดสามารถเข้าถึงเนื้อฟันและทำให้เกิดการผุซ้ำได้

การออกแบบการทดลอง

การวิจัยนี้ใช้ฟันมนุษย์ในการทดสอบ แม้ว่าจะมีรายงานว่าฟันมนุษย์ และฟันวัวจะมีความแข็งแรงในการยึดเหมือนกันเมื่อใช้เนื้อฟันวัวที่อยู่ด้านใกล้ผิว (Hilton, 2002b) แต่มีรายงานว่าฟันมนุษย์มีการรั่วซึมน้อยกว่าฟันวัว (Retief et al, 1990) Nakabayashi, Ashizawa และ

Nakamura(1992) ศึกษาการยึดระหว่างเนื้อฟันกับสารยึดเรซินชนิดไฟร์เมตาเอมเอมเอทีบีบี รายงานว่าเนื้อฟันของมนุษย์ในช่องปาก (vital human dentin) ด้านทานต่อการละลายแร่ธาตุจากกรดได้ดีกว่าฟันวัวที่ถอนแล้ว และเนื้อฟันของมนุษย์ที่ไม่มีรอยโรคฟันผุ ด้านทานต่อการละลายแร่ธาตุจากกรดได้ดีกว่าเนื้อฟันของมนุษย์ที่มีรอยโรคฟันผุ โดยพบว่าฟันวัวที่ถอนแล้วมีชั้นไฮบริดหนา 5 ไมครอน เนื้อฟันของมนุษย์ที่มีรอยโรคฟันผุมีชั้นไฮบริดหนา 3-4 ไมครอนและเนื้อฟันของมนุษย์ที่ไม่มีรอยโรคฟันผุมีชั้นไฮบริดหนา 2 ไมครอน ดังนั้นฟันวัวอาจจะสามารถใช้เป็น screen material ได้ แต่การใช้ฟันมนุษย์น่าจะเหมาะสมกว่า

ฟันที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นฟันที่ถอนมาแล้วในช่วง 1-6 เดือน ตามคำแนะนำของ ISO11450 [ISO/TS 11405:2003] ซึ่งแนะนำว่าตามอุดมคติควรใช้ฟันหลังจากถอนทันที แต่เนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้สะดวก จึงควรใช้ฟันที่ถอนมาแล้วอย่างน้อย 1 เดือนและไม่เกิน 6 เดือน เพราะฟันที่ถอนในช่วงอาทิตย์แรกๆมีการเปลี่ยนแปลงมากและฟันที่ถอนนานกว่า 6 เดือนโปรตีนในเนื้อฟันจะเริ่มเสื่อมสภาพ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมของ Hilton[37] รายงานว่าระยะเวลาที่เก็บฟันภายหลังการถอนฟันดูจะไม่ส่งผลต่อการยึดมากนัก เช่นเดียวกับสารที่ใช้แช่ฟันหรืออุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บฟันก่อนทำการทดลอง

การทดสอบการรั่วซึม

การรั่วซึมคือ ทางผ่านเข้าออกของแบคทีเรีย ของเหลว โมเลกุลหรือไอออน ระหว่างผนังฟันและวัสดุบูรณะซึ่งไม่สามารถตรวจพบได้ทางคลินิก (Kidd, 1976) วิธีที่นิยมที่สุดใน การศึกษาการฉีกแน่นของวัสดุบูรณะฟันคือการทดสอบการรั่วซึม ซึ่งมีหลายวิธีได้แก่ (รวบรวม จาก Kidd, 1976; Taylor and Lynch, 1992; Alani and Toh, 1997; Hilton, 2002b)

1. การใช้สีย้อม (dye) โดยการแช่ฟันที่บูรณะลงในสีย้อมตามเวลาที่กำหนด เมื่อเอาขึ้นแล้วล้างสีย้อมออกแล้วผ่าฟันออกแล้วตรวจดูการแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปรอบๆวัสดุ สีย้อมที่ใช้มีหลายชนิดเช่น สารละลายเบสิกฟลูออโรส สารละลายเมทิลลีนบลู สารละลายโทลูอิดีนอะนิลีนบลู ฟลูออเรสซิน เป็นต้น ข้อดีของวิธีนี้คือมีประสิทธิภาพดี เตรียมง่าย ไม่ต้องผ่านกระบวนการทางเคมีหรือรังสี ปลอดภัยและประหยัดค่าใช้จ่าย ข้อด้อยคือ ได้ผลการตรวจเป็นระดับคะแนน เมื่อให้ผู้ตรวจหลายคนผลการตรวจจึงขึ้นกับความรูสึก (subjective) และต้องทำลายชิ้นงานจึงไม่สามารถศึกษาชิ้นงานเดิมในหลายระยะเวลาได้ นอกจากนี้ยังควรคำนึงถึงว่าผลการรั่วซึมที่วัดมาจากการตัดฟันในระนาบเดียวซึ่งไม่รู้ว่า เป็นจุดที่ดีที่สุดหรือไม่ และควรหลีกเลี่ยงการใช้สีย้อมที่ไม่เสถียรเช่นอะนิลีนบลูจะไม่มีสีเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง

2. การใช้สารเคมี (chemical tracers) สารที่นิยมใช้ คือซิลเวอร์ไนเตรต สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตร้อยละ 50 มักใช้ในการแช่ฟันแล้วนำมาทำปฏิกิริยากับน้ำยาล้างภาพ (photographic developing solution) ข้อดีของวิธีนี้คือการวัดผลเป็นสิ่งที่เที่ยงตรงขึ้น (objective) ได้ข้อมูลในเชิงปริมาณ (quantitative data) จึงสามารถใช้สถิติแบบพาราเมตริกได้ ข้อด้อยของวิธีนี้เช่นเดียวกับการใช้สีย้อม เนื่องจากซิลเวอร์ไอออนมีขนาดเล็กมากจึงมีความสามารถในการแทรกซึมสูง จึงอนุมานว่าระบบใดที่สามารถป้องกันการรั่วซึมของซิลเวอร์ไอออนได้จะป้องกันการแทรกซึมของแบคทีเรียได้ด้วย (Alani and Toh, 1997)
3. การใช้สารรังสี (radioactive tracers) การใช้สารรังสีไอโซโทปช่วยให้ตรวจพบการรั่วซึมแม้เพียงเล็กน้อยได้เนื่องจากมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับสีย้อม สารรังสีที่นิยมใช้ได้แก่ Ca^{45} , C^{14} , I^{131} , S^{35} และ Na^{22} ข้อด้อยของวิธีนี้เช่นเดียวกับการใช้สีย้อม คือการตรวจผลเป็นความรู้สึก (subjective) ต้องทำลายชิ้นงาน และผลการรั่วซึมที่วัดมาจากการตัดฟันในระนาบเดียว นอกจากนี้การใช้สารรังสีต้องระมัดระวังความปลอดภัยในทุกขั้นตอน ค่าใช้จ่ายสูง และการแปลผลยุ่งยากเนื่องจากสารรังสีอาจแทรกซึมมาจากทางอื่นเช่น รอยร้าวในเคลือบฟัน และต้องคำนึงถึงปัจจัยรบกวนเช่นไอโซโทปที่มีพลังงานสูงจะเกิดการกระเจิงแสงมาก ระยะจากวัตถุถึงใกล้ยิ่งทำให้ภาพขยายมาก ยิ่งฟิล์มโดนรังสีนานภาพยิ่งเกิดมาก และภาพที่ปรากฏขึ้นอยู่กับทิศทางของรังสีที่ทำมุมกับฟิล์มด้วย
4. การใช้แบคทีเรีย เป็นการทดสอบว่าแบคทีเรียสามารถรั่วซึมเข้าไปได้วัสดุบูรณะหรือไม่ โดยดูจากผลการเพาะเชื้อ ข้อดีของวิธีนี้คือเชื่อว่าเป็นวิธีที่มีความสัมพันธ์กับทางคลินิก และสัมพันธ์กับกระบวนการเกิดฟันผุ ข้อด้อยคือผลการทดลองเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data) ซึ่งบอกได้เพียงว่ามีหรือไม่มี การรั่วซึมของแบคทีเรียเท่านั้น และการรั่วซึมของแบคทีเรียอาจเป็นการวัดที่หายากเกินไปเมื่อเทียบกับขนาดของไฮโดรเจนไอออนหรือสารพิษจากแบคทีเรีย
5. การใช้แรงดันอากาศ ใช้อากาศอัดผ่านคลองรากฟันและวัดว่าแรงดันอากาศลดลงหรือไม่ หรือตรวจดูว่ามีฟองอากาศออกจากขอบวัสดุบูรณะหรือไม่ ข้อดีของวิธีนี้คือไม่ต้องทำลายชิ้นงานจึงสามารถตรวจการรั่วซึมได้หลายครั้งตามเวลาที่ผ่านไป ข้อด้อยคือใช้ตรวจสอบการรั่วซึมที่ผ่านโดยตลอดจากพื้นผนังฟันจนถึงขอบนอกได้เท่านั้น และอากาศที่ออกมานี้อาจรั่วออกจากตัววัสดุบูรณะหรือเนื้อฟันเองก็ได้
6. การสร้างฟันผุจำลอง (Artificial caries) ทำได้ทั้งการสร้างด้วยเชื้อแบคทีเรียหรือสร้างด้วยสารเคมี แต่การสร้างฟันผุด้วยสารเคมีมีข้อดีกว่าการสร้างด้วยเชื้อแบคทีเรียเนื่องจากการใช้สารเคมีตัดตัวแปรภายนอกออกไปได้เช่นการให้อาหารแก่เชื้อและการเจริญของเชื้อ

นอกจากนี้การใช้สารเคมีสามารถสร้างฟันผู้ได้ในระยะเวลาอันสั้นและประหยัดค่าใช้จ่าย รอยโรคฟันที่สร้างขึ้นนี้ตรวจวัดได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscope) และภาพถ่ายรังสีไมโคร (microradiograph) ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถเห็น การเกิดและการกระจายของฟันผุซ้ำ สามารถวัดข้อมูลในเชิงปริมาณได้จากความลึกของ รอยโรคและปริมาณการละลายของแร่ธาตุ ระบบจำลองการเกิดฟันผุในเคลือบฟันด้วย สารเคมีได้แก่ (Wefel and Harless, 1984)

6.1 acid-gel system พัฒนาขึ้นโดย Silverstone ใช้ เจลาตินเจลร้อยละ 17 ทำให้เป็น กรดด้วยกรดแลคติก มีค่าความเป็นกรดต่าง 4.5 แช่ฟันเป็นเวลา 9-12 สัปดาห์

6.2 diphosphonate inhibitor system พัฒนาขึ้นโดย Francis และ Featherstone ประกอบด้วยสารละลายกรดแลคติก 0.1 โมลและ Ethane 1,1-diphosphonate (EHDP) และปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วยโปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 4.5 แช่ฟันเป็นเวลา 5-7 วัน

6.3 partially saturated buffers system พัฒนาขึ้นโดย Moreno และ Zahradnik ประกอบด้วยสารละลายกรดแลคติก 0.1 โมลซึ่งถูกทำให้อิ่มตัวบางส่วนด้วย ไฮดรอกซีอะปาไทต์ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรและปรับค่าความเป็นกรดต่างด้วย โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ให้เป็น 4.5 แช่ฟันเป็นเวลา 1-3 วันโดยไมคอน

Wefel และ Harless (1984) ศึกษากระบวนการเกิดฟันผุที่เคลือบฟันทั้ง 3 ระบบด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์และภาพถ่ายรังสีไมโคร พบว่า acid-gel system เป็นระบบที่ให้ผลใกล้เคียงกับลักษณะเคลือบฟันผุในธรรมชาติ เนื่องจากความหนืดของ เจลจำกัดการเคลื่อนย้ายของไอออนที่เข้าออกเคลือบฟัน และอาจเนื่องจากประจุของสาร โมเลกุลใหญ่ (macromolecule) จึงทำให้ระบบนี้จำลองสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติของ แผ่นคราบจุลินทรีย์กับผิวฟันเหมือนในธรรมชาติ

ในปี 1995 Wefel Heilman และ Jordan (1995) ศึกษาเปรียบเทียบระบบจำลอง การเกิดฟันผุที่รากฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์และภาพถ่ายรังสีไมโคร 2 ระบบคือ partially saturated buffers system แช่ฟันนาน 7 วัน และ gelatin-gel system แช่ฟัน นาน 6 สัปดาห์ พบว่าทั้ง 2 ระบบทำให้เกิดรอยโรครากฟันผุเหมือนกับในธรรมชาติทั้งคู่ แต่ระบบบัฟเฟอร์มีข้อดีกว่าเนื่องจากใช้เวลาแช่ฟันสั้นกว่าและเตรียมสารง่ายกว่า

7. การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) เป็นการตรวจดูโดยตรงว่าวัสดุบูรณะแนบกับฟันหรือไม่ด้วยกำลังขยายสูง วิธีนี้มีจุดด้อย คือจำกัดบริเวณที่ดูแต่ภายนอกฟันเท่านั้นไม่ได้เห็นถึงการแทรกซึมเช่นในวิธีอื่น ผลการ ตรวจพบสิ่งที่วัดได้ยาก นอกจากนี้การเตรียมชิ้นงานอาจทำให้เกิดการบิดเบี้ยว การแตก

ความแห้งหรือความผิดพลาดจากการตัด อย่างไรก็ตามข้อด้อยนี้อาจแก้ไขได้โดยการใช้แบบจำลอง (replica) ซึ่งแบบจำลองยังสามารถทำให้ตรวจซ้ำได้หลายครั้งในหลายเวลาอีกด้วย

8. การกระตุ้นนิวตรอน (neutron activation analysis) เป็นการนำพินแซในเกลือแมงกานีสที่ไม่ปล่อยรังสี จากนั้นเอาพินขึ้นแล้วเอาสารที่ติดอยู่ด้านนอกพินออกหมด ทำการกระตุ้นให้แมงกานีสกลายเป็นสารที่ปล่อยรังสี แล้ววัดรังสีที่ออกมา วิธีนี้มีข้อดีที่สามารถวัดข้อมูลเชิงปริมาณได้แต่วิธีทำยุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง ไม่สามารถชี้ได้ว่าการรั่วซึมจากจุดไหนหรืออาจมาจากจุดอื่นซึ่งไม่ใช่รอยต่อวัสดุกับพินก็ได้ และต้องระวังอันตรายจากรังสี นอกจากนี้ผลอาจคลาดเคลื่อนจากแมงกานีสซึ่งมีในวัสดุบูรณะหรือในพินเอง
9. การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) เป็นการวัดกระแสไฟฟ้าที่ครบวงจรผ่านในช่องระหว่างวัสดุบูรณะกับแก้ว วิธีนี้มีข้อดีที่สามารถวัดข้อมูลเชิงปริมาณได้ ไม่ต้องทำลายชิ้นงานจึงวัดการเปลี่ยนแปลงมิติของวัสดุบูรณะได้หลายครั้งในหลายเวลา อย่างไรก็ตามวัสดุเช่นกลาสไอโอโนเมอร์ก็มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้า และการใช้แก้วแทนพินซึ่งมีคุณสมบัติต่างกัน จึงขาดความเหมือนจริงทางคลินิก

จากการทบทวนวรรณกรรมของ Alani และ Toh (1997) กล่าวถึงการวิจัยเปรียบเทียบสารที่ใช้ทดสอบการรั่วซึม พบว่าสารละลายเบสิกฟลูออโรสซินร้อยละ 0.5 ให้การรั่วซึมมากที่สุด ตามด้วย 1.5% reactive orange 14, Ca^{45} และ 2% fluorescent dye ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมของ Hilton (2002b) เปรียบเทียบการรั่วซึมของสารย้อมเรซินจากงานวิจัยหลายอันซึ่งใช้สีย้อมต่างกันพบว่าได้ผลการศึกษาใกล้เคียงกันและไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจนว่าชนิดของสีย้อมส่งผลต่อการรั่วซึมแตกต่างกัน และได้สรุปว่าการรั่วซึมน่าจะเกิดจากวัสดุมากกว่าชนิดของสีย้อม

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการใช้สารแทรกซึม (tracer) หรือสีย้อมเพื่อทดสอบการรั่วซึมคือ ผลการทดสอบมีความสัมพันธ์กับทางคลินิกหรือไม่ เนื่องจากขนาดของโมเลกุลของสารแทรกซึมที่ใช้เล็กกว่าขนาดของแบคทีเรียมาก (ตารางที่ 4) อย่างไรก็ตามแม้ว่าแบคทีเรียอาจมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะรั่วซึมเข้าไปตามรอยต่อของพินกับวัสดุบูรณะแต่โมเลกุลของกลูโคสก็ยังมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของสารแทรกซึม ซึ่งอาจทำให้แบคทีเรียที่มีอยู่เดิมก่อนจะใส่วัสดุบูรณะเช่นในชั้นสเมียร์หรือในท่อเนื้อพินได้รับอาหารและมีชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้พบว่าแม้แต่โมเลกุลของน้ำยังสามารถทำให้เส้นใยคอลลาเจนในชั้นไฮบริดที่ไม่สมบูรณ์เกิดการละลายตัวจากน้ำได้ (Watanabe and Nakabayashi, 1993) ดังนั้นการทดสอบการรั่วซึมในห้องทดลองจึงเป็นการทดสอบที่เข้มงวดแต่สามารถเทียบได้กับสิ่งที่พบจริงทางคลินิก (Hilton, 2002b)

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักโมเลกุลและขนาดของโมเลกุลสารต่างๆ ไวรัสและแบคทีเรียเทียบกับขนาดของรูพรุนในชั้นไฮบริดและช่องว่างระหว่างวัสดุบูรณะกับฟัน (Hilton, 2002b)

Substance	Molecular weight	Molecular Radius	
		Å units *	nm
Water	18	2.6	0.26
Silver (AgNO ₂)	108	4.8	0.50
Glucose	180	5.6	0.56
Methylene Blue	319	6.8	0.68
Hydroquinone	388	7.3	0.73
Fuchsin	585	8.4	0.84
Trypan Blue	961	9.9	0.99
Myoglobin	17,000	26.0	2.60
Albumin	69,000	41.0	4.10
Bacterial endotoxin	1,000,000	100.0	10.00
	4,000,000	158.0	15.80
Viruses			
Small (Parvoviridae)	2,000,000	130	13
Large (Adenoviridae)	25,000,000	450	45
Bacteria			
Cocci (0.2 - 1.0 µm diameter)			100-500
Rods (0.5 x 7 µm)			250x3500
Microporosities within hybrid layer			20x1000
Gap sizes between restorative materials and tooth structure (0.5-20 µm)			250-10,000

*Values above were calculated as the cube root of the molecular weight: values for viruses and bacteria are from transmission electron microscopic reports.

วิธีการทดสอบการรั่วซึมทุกวิธีต่างมีข้อดีและข้อจำกัดต่างกัน วิธีที่น่าจะใช้งานได้เหมาะสมในระดับที่เชื่อถือและยอมรับได้คือการใช้สารแทรกซึม (tracer) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเปรียบเทียบการรั่วซึมระหว่างวัสดุบูรณะในห้องทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Alani and Toh, 1997)

การศึกษาลักษณะชั้นรอยต่อระหว่างฟันและสารยึดเรซิน

การศึกษารอยต่อระหว่างสารยึดเรซินกับฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสองกราดให้ข้อมูลเพิ่มถึงลักษณะการเชื่อมยึดของสารยึดเรซินแต่ละชนิดกับฟัน การนำชิ้นฟันแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 6 โมลต่อลิตร จะละลายผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ในฟันที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซินออก และเมื่อนำชิ้นฟันมาแช่ต่อในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ร้อยละ 1 จะละลายคอลลาเจนที่ไม่ถูกหุ้มด้วยเรซินออกทำให้เห็นเรซินแทรกที่เคยอยู่ในท่อเนื้อฟัน และเห็นชั้นไฮบริดซึ่งเป็นบริเวณที่เรซิน แทรกซึมลงไปห่อหุ้มคอลลาเจนในเนื้อฟัน และผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ในเคลือบฟันไว้ปรากฏออกมา (Nakabayashi และ Pashley, 1998: 45, 59-62)