# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## รอยผุระยะเริ่มแรกในชั้นเคลือบฟัน (The early enamel lesion)

1. กระบวนการเกิดโรคฟันผุในระยะเริ่มแรก

กระบวนการเกิดโรคฟันผุ เกิดจากการเสียสมดุลระหว่างการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนกลับของแร่ธาตุที่บริเวณผิวฟัน การสูญเสียแร่ธาตุเป็นการละลายของแร่ธาตุอันเป็นส่วนประกอบหลักของฟัน คือ แคลเซียมและฟอสเฟตในชั้นผิวเคลือบฟันสู่ช่องปาก ส่วนการคืนกลับของแร่ธาตุ เป็นการตกตะกอนของแคลเซียม ฟอสเฟตและอิออนอื่นๆ บนผิวเคลือบฟัน ซึ่งอิออนเหล่านี้อาจมาจากส่วนที่ละลายจากเคลือบฟันหรือจากแหล่งอื่นๆ

เมื่อแบคทีเรียในแผ่นคราบจุลินทรีย์ที่ปกคลุมผิวเคลือบฟัน เกิดการสันดาปคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาล จะได้ผลผลิตเป็นกรดอินทรีย์ กรดส่วนหนึ่งจะถูกปรับสภาพความเป็นกรดด่างโดยระบบต่างๆในแผ่นคราบจุลินทรีย์ ของเหลวในช่องปากและน้ำลาย แต่บางส่วนสามารถซึมผ่านเข้าไปยังผลึกชั้นผิวเคลือบฟันได้ เนื่องจากผิวเคลือบฟันมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยการซึมผ่านจะเกิดบริเวณช่องว่างระหว่างผลึกและรอยต่อระหว่างปริซึมหรือบริเวณที่ผิวเคลือบฟันมีความผิดปกติอื่นๆ เช่น รอยร้าวในชั้นเคลือบฟัน (Zero, 1999) โดยจะขึ้นกับความเข้มข้นของแคลเซียม ฟอสเฟต อัตราการซึมผ่าน และค่าความเป็นกรดด่างในบริเวณนั้น ถ้าสภาวะความเป็นกรดที่ผิวฟันมีค่าต่ำกว่า 5.5 จะเกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ทำให้ผลึกเคลือบฟันสูญเสียแคลเซียม ฟอสเฟตและอิออนอื่นๆไป และมีขนาดผลึกของชั้นผิวเคลือบฟันเล็กลง ลักษณะทางกายภาพของผิวเคลือบฟันจะยังคงมีลักษณะปกติ ไม่เกิดเป็นรูผุแต่มีความพรุนมากขึ้น

เมื่อขนาดผลึกของชั้นผิวเคลือบฟันเล็กลงจากการสูญเสียแร่ธาตุ จะเป็นการเปิดทางซึมผ่านของกรดเข้าสู่ชั้นข้างใต้ได้ มีการศึกษาพบว่าอัตราการสูญเสียแร่ธาตุจะมีผลต่อผิวเคลือบฟันที่อยู่ใต้ต่อผิวนอกสุดของชั้นเคลือบฟันมากกว่าชั้นผิวนอกสุด (Moreno และ Zahradnik, 1974; Arend และ Christoffersen, 1986) โดยสมมุติฐานที่น่าเชื่อถือมากที่สุดในปัจจุบัน กล่าวว่าแคลเซียมและฟอสเฟตที่ถูกละลายออกมาจากชั้นใต้ผิวนอกโดยกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุในช่วงแรก จะกลับมาตกตะกอนที่ผิวฟันนอกสุดในรูปแบบที่มีความคงตัวสูง สามารถป้องกันโครงสร้างผิวเคลือบฟันชั้นนอกสุดได้ ร่วมกับแร่ธาตุจากแหล่งอื่นๆในช่องปาก

เช่น น้ำลาย อาหาร ยาสีฟัน และน้ำยาบ้วนปากต่างๆ นอกจากนี้ในสภาวะแวดล้อมรอบๆผิวเคลือบฟันที่เปลี่ยนจากสภาวะไม่อิ่มตัวไปสู่สภาวะอิ่มตัวแล้ว บริเวณผิวเคลือบฟันนอกสุดจะไม่ถูกทำอันตรายจากกรดที่ซึมผ่าน แต่กรดจะซึมผ่านไปสู่ผลึกชั้นข้างใต้ ทำให้เกิดสูญเสียแร่ธาตุจนเกิดเป็นรอยผุ ขณะเดียวกันอิออนที่ละลายออกมาก็จะถูกผิวเคลือบฟันข้างเคียงดูดซึม เกิดการสะสมแร่ธาตุมากขึ้น ซึ่งผลึกจะมีขนาดใหญ่กว่าปกติ (Zero, 1999)

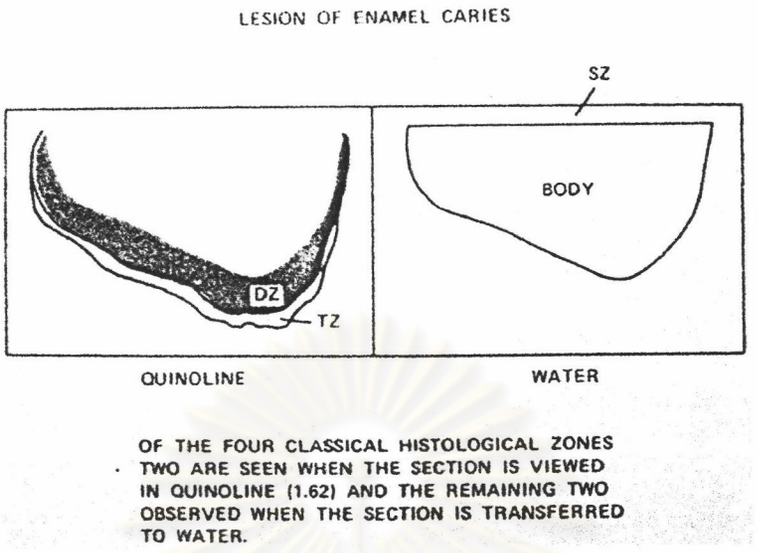
ถ้าภาวะความเป็นกรดด่างยังคงอยู่เป็นเวลานานๆ หรือความเป็นกรดเกิดขึ้นซ้ำๆ จะส่งผลให้เกิดผลึกที่มีขนาดเล็กและใหญ่กว่าปกติเพิ่มจำนวนขึ้น ดังนั้นรอยผุระยะเริ่มแรกในชั้นเคลือบฟันขนาดเล็กๆ จึงประกอบด้วยผลึกที่มีขนาดแตกต่างกันและมีการเรียงตัวที่ต่างไปจากผลึกเคลือบฟันปกติ ผิวนอก ไม่เกิดเป็นรูผุ แต่มีรูพรุนมากกว่าผิวเคลือบฟันปกติ กระบวนการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนกลับแร่ธาตุดังกล่าวจะดำเนินต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา(Barbakow, Imfeld และ Lutz, 1991)

2. ลักษณะที่มองเห็นด้วยตาเปล่า (Macroscopic features)

การตรวจจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อผิวฟันแห้ง โดยจะพบลักษณะเป็นรอยผุที่มีสีขาวขุ่น ผิวด้าน มีความพรุนเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่เป็นรูผุและมีผิวเรียบ (Kidd, 1996; Tinanoff, 1988) จากการเปลี่ยนแปลงทั้งส่วนประกอบทางเคมีและฟิสิกส์ของผลึกในรอยผุ การสูญเสียโครงสร้างและแร่ธาตุในชั้นใต้ผิวนอก ทำให้การหักเหของแสงแตกต่างจากผิวเคลือบฟันปกติ ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียลักษณะโปร่งแสง จึงเห็นรอยผุในระยะนี้เป็นสีขาวขุ่น (Barbakow และคณะ, 1991; Zero, 1999)

3. ลักษณะที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic features)

ลักษณะรอยผุในชั้นผิวเคลือบฟันระยะเริ่มแรกจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเรืองแสง (polarized light microscope) ในรอยผุที่บริเวณผิวเรียบจะมีรูปร่างสามเหลี่ยม โดยมียอดของสามเหลี่ยมชี้ไปยังรอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันและเนื้อฟัน (Silverstone และคณะ, 1981) รอยโรคแบ่งได้เป็น 4 ส่วน ดังภาพที่ 1 ได้แก่




ภาพที่ 1 ลักษณะของรอยผุระยะเริ่มแรกที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์ (SZ : surface zone; BODY : body of the lesion; DZ : dark zone; TZ : translucent zone)
(Silverstone, Hicks และ Featherstone, 1988)

3.1. ส่วนที่ 1 (surface zone)

คือผิวนอกสุดของรอยผุ มีการสูญเสียแร่ธาตุน้อยที่สุด รอยผุในชั้นนี้มีความลึกประมาณ 25 – 30 ไมโครเมตร (Silverstone, 1967; 1973 อ้างถึงใน Hicks และ Silverstone, 1984) หรือ 20 - 100 ไมโครเมตร (Tinanoff, 1988) หรือ 30 ไมโครเมตร (Kidd, 1996) มีช่องว่างระหว่างแท่งเคลือบฟันแคบ และมีปริมาตรรูพรุนประมาณร้อยละ 1 – 5 มากกว่าผิวเคลือบฟันปกติซึ่งมีปริมาตรรูพรุนประมาณร้อยละ 0.1 ถึง 10 - 50 เท่า (Hicks และ Silverstone, 1985)

ผิวรอยผุในส่วนนี้ยังมีแร่ธาตุอยู่มาก มีความเรียบต่อเนื่องดีและยังไม่เป็นรูผุ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการคืนกลับแร่ธาตุและการสูญเสียแร่ธาตุอยู่ตลอดเวลาขึ้นกับสภาวะแวดล้อม โดยจะมีระดับการคืนกลับของแร่ธาตุที่สูงกว่าชั้นใต้ต่อผิวนอก เนื่องจากฟลูออไรด์ แคลเซียมและฟอสเฟต ทั้งจากการละลายจากชั้นใต้ผิวนอกจากผิวเคลือบฟันบริเวณรอบๆ และจากสารละลายที่อิ่มตัวในแผ่นคราบจุลินทรีย์ มีการตกตะกอนมาสะสมที่ผิว ทำให้ชั้นนี้มีความสามารถต้านทานการละลายต่อกรดได้ดี (Silverstone, 1968)

3.2. ส่วนที่ 2 (body of the lesion)

คือส่วนที่อยู่ใต้ต่อชั้นผิวนอก มีการสูญเสียแร่ธาตุมากที่สุด โครงสร้างของเคลือบฟันถูกทำลายไปมากที่สุด เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ของรอยผุและเป็นบริเวณที่สามารถตรวจพบได้ทางภาพถ่ายรังสี (Tinanoff, 1988) มีช่องว่างระหว่างแท่งเคลือบฟันกว้าง มีปริมาตรรูพรุนประมาณร้อยละ 5 ที่บริเวณส่วนนอก และจะเพิ่มเป็นร้อยละ 25 หรือมากกว่านี้ในส่วนกลาง (Hicks และ Silverstone, 1985)

3.3. ส่วนที่ 3 (dark zone)

คือบริเวณที่อยู่ข้างใต้ต่อส่วน body of the lesion เป็นส่วนที่มีทั้งการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนกลับแร่ธาตุ (Tinanoff, 1988) มีความกว้างแตกต่างกันไปและไม่จำเป็นต้องพบในทุกรอยผุ (Kidd, 1996; Tinanoff, 1988) มีรูพรุนร้อยละ 2 - 4 โดยปริมาตร

3.4. ส่วนที่ 4 (translucent zone)

เป็นบริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ มีรูพรุนร้อยละ 1 โดยปริมาตร (Kidd, 1996) มีความกว้างประมาณ 5 - 100 ไมโครเมตร

การศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่ารอยผุเริ่มแรกจะมีระยะห่างระหว่างผลึกใหญ่กว่าเคลือบฟันปกติ นอกจากนี้ในผิวเคลือบฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุ จะมีรอยต่อระหว่างปริซึมที่ใหญ่ขึ้น มีรอยร้าวและรอยแตกหักขนาดเล็กที่มีอยู่แล้วขยายขนาดกว้างขึ้น ซึ่งเป็นการเปิดช่องทางให้มีการซึมผ่านของกรดได้ดียิ่งขึ้น ทำให้เสี่ยงต่อการลุกลามของรอยผุมากขึ้นต่อไป (Holman และคณะ, 1985) อัตราเร็วในการที่กรดจะซึมผ่านรอยผุเข้าไป จะขึ้นอยู่กับลักษณะของรอยผุนั้น โดยอัตราการซึมผ่านจะเร็วกว่า ในรอยผุที่มีรูพรุนมากหรือมีการแตกหักของโครงสร้าง (Larson และ Pearce, 1992)

การทำลายผิวเคลือบฟันจนเกิดความไม่ต่อเนื่องของผิว จะทำให้เกิดเป็นทางเข้าให้กับเชื้อโรคได้ (Darling, 1961 อ้างถึงใน Majare และ Brannstrom, 1985) โดยมีการศึกษาในรอยผุระยะเริ่มแรก พบกลุ่มของแบคทีเรียข้างใต้ผิวเคลือบฟัน บริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน และในบางรอยผุ พบว่าเชื้อโรคสามารถแทรกซึมลงไปได้ลึกถึง 1.5 มิลลิเมตรจากรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน เชื้อโรคจะอาศัยอาหารจากของเหลวจากเนื้อเยื่อประสาท

ฟันและจากคราบจุลินทรีย์ที่ผิวฟัน เนื่องจากผิวเคลือบฟันมีการเพิ่มอัตราการซึมผ่าน และการกระจายตัว (Majare และ Brannstrom, 1985; Seppa, Alakuijala และ Karvonen, 1985)

การปิดกั้นทางติดต่อระหว่างเชื้อโรคในรอยผุระยะเริ่มแรกและสภาพแวดล้อมในช่องปาก โดยการกระตุ้นให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุ หรือการปิดทับด้วยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน จึงเป็นการปิดทางได้รับอาหาร ทำให้เชื้อโรคในรอยผุไม่สามารถอยู่รอด และหยุดการลุกลามของรอยผุได้ในที่สุด (Majare และ Brannstrom, 1985)

4. การดำเนินโรค

เมื่อเกิดการสูญเสียแร่ธาตุในระยะแรกๆ หากภาวะความเป็นกรดยังคงต่อเนื่อง กระบวนการสูญเสียแร่ธาตุมากกว่าการคืนกลับของแร่ธาตุ จำนวนผลึกที่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุก็จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ และกลายเป็นส่วน body ในรอยผุระยะเริ่มแรก ซึ่งมีลักษณะเป็นกรวยที่ล้อมรอบด้วยผลึกเคลือบฟันที่ปกติและขนาดใหญ่กว่าปกติ ถ้าภาวะแวดล้อมยังเอื้อให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุมากกว่าการคืนกลับของแร่ธาตุต่อไปเรื่อยๆ ขนาดของ body of the lesion จะขยายตัวออกไปอย่างต่อเนื่อง และเมื่อถึงรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเนื้อฟัน การลุกลามของโรคจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในแนวรอยต่อนี้ ฐานของรอยผุในชั้นเนื้อฟันจะกว้างขึ้น จนเป็นรูผุที่ใต้ต่อชั้นผิวนอก ซึ่งไม่สามารถรองรับผิวชั้นนอกของรอยผุได้อีก (Silverstoneและคณะ, 1981) ผิวรอยผุด้านนอกจะแตกออก จนเกิดเป็นรูผุในที่สุด ในขั้นตอนนี้น้ำลายและคราบจุลินทรีย์จะเข้าไปสะสม ซึ่งจะควบคุมหรือกำจัดออกได้ยาก ดังนั้นรอยโรคที่เปลี่ยนเป็นรูผุแล้ว จะไม่สามารถเกิดการคืนกลับแร่ธาตุได้อีก (Tinanoff, 1988)

ในทางตรงข้าม หากเปลี่ยนภาวะแวดล้อมบริเวณรอยผุระยะเริ่มแรกนี้ ให้เอื้อต่อการคืนกลับแร่ของธาตุ เช่น การกำจัดปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียแร่ธาตุออกไป การกำจัดคราบจุลินทรีย์ การปรับระดับความเป็นกรดด่างให้สูงขึ้น และการสนับสนุนให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุ ด้วยการให้ฟลูออไรด์ การเพิ่มความเข้มข้นของแคลเซียมและฟอสเฟตให้มากขึ้น จะทำให้ปริมาตรของส่วน body of the lesion ลดลงและผิวรอยผุด้านนอกหนาขึ้น รอยผุสามารถกลับสู่ภาวะสมดุลระหว่างการสูญเสียแร่ธาตุและการคืนกลับของแร่ธาตุ จนหยุดการดำเนินโรคได้ (Barbakow และคณะ,1991) โดยรอยผุที่หยุดการดำเนินโรคแล้วนี้ จะมีความทนต่อกรดมากขึ้นและอาจมีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นเช่นเดิมหรืออาจปรากฏเป็นผิวเคลือบฟันที่มีสีน้ำตาล หรือสีดำก็ได้ (Tinanoff, 1988)

## วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน

การหลุมร่องฟัน มีบทบาทสำคัญในการลดอัตราการเกิดโรคฟันผุบริเวณด้านบดเคี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ American Dental Association (ADA, 1997) ให้การยอมรับว่าการใช้วัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันฟันผุ ตราบใดที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันยังคงยึดติดอยู่บนผิวเคลือบฟัน ก็จะสามารถป้องกันการเกิดฟันผุทางด้านบดเคี้ยวได้อย่างสมบูรณ์ (National Institute of Health, 1984; Feigal, 1998)

Buonocore (1955) เป็นบุคคลแรกที่เสนอวิธีการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันเพื่อช่วยยึดอะคริลิกเรซิน (acrylic resin) ให้ยึดติดกับผิวเคลือบฟัน และได้เสนอวิธีการนี้มาใช้ในงานทันตกรรมป้องกัน โดยใช้เคลือบหลุมร่องฟันเพื่อป้องกันฟันผุ ต่อมาในปี ค.ศ.1967 Cueto และ Buonocore ได้นำไซอะโนอะครายเลท (cyanoacrylate) มาเป็นวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันร่วมกับการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน แต่เมื่อติดตามผลครบ 1 ปี พบว่ามีเพียง 1 ใน 3 เท่านั้นที่ยังคงยึดติดได้สมบูรณ์ และได้มีการพัฒนาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเรื่อยมาเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันแบ่งได้เป็นวัสดุประเภทเรซิน (resin sealants) และประเภทกลาสไอโอโนเมอร์ (glass ionomer sealants) แต่ชนิดที่ได้รับการยอมรับและใช้กันมาก ได้แก่ วัสดุประเภทเรซินชนิด Bis – GMA (Bisphenol A และ Glycidyl methacrylate) (Dennison และ Craig, 2002) ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามกระบวนการเกิดพอลิเมอร์ คือ ชนิดบ่มด้วยตัวเองและชนิดบ่มด้วยแสง (Handelman และ Shey, 1996) ซึ่งทั้งสองชนิดมีอัตราการยึดติดทางคลินิกไม่แตกต่างกัน เมื่อศึกษานาน 5 ปี (Shapira และคณะ, 1990) เมื่อพิจารณาในด้านของการเติมวัสดุอัดแทรก (filler) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความต้านทานต่อการสึกนั้น พบว่าการเติมวัสดุอัดแทรก (filled resin) ทำให้วัสดุมีความหนืด (viscosity) มากขึ้น ซึ่งมีผลให้วัสดุแทรกซึม (penetration) ลงในหลุมร่องฟันและรูพรุนที่เกิดจากการใช้กรดกัดได้น้อยกว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ไม่เติมวัสดุอัดแทรก (unfilled resin) (Irinoda และคณะ, 2000; Simonsen, 2002) และจากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันที่ไม่เติมวัสดุอัดแทรกมีอัตราการยึดติดมากกว่าวัสดุที่เติมวัสดุอัดแทรกอย่างมีนัยสำคัญ (Rock, Weatherill และ Anderson, 1990) นอกจากนี้ยังแบ่งวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันตามสีของวัสดุออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดไม่มีสี หรือใส (clear) และชนิดมีสี (colored) ซึ่งวัสดุที่มีสีจะช่วยให้มองเห็นและตรวจสอบการยึดติดได้ง่ายในช่องปาก จากการศึกษาของ Rock และคณะ (1989) พบว่าการตรวจการยึดติดของวัสดุที่มีสีจะมีอัตราการตรวจผิดพลาดเพียงร้อยละ 1 ในขณะที่วัสดุชนิดไม่มีสีจะมีอัตราการตรวจผิดร้อยละ 23

ส่วนวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันประเภทกลาสไอโอโนเมอร์ เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นคือ สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้ จึงมีผู้นำมาใช้ในการเคลือบหลุมร่องฟันเพื่อป้องกันฟันผุ โดยหวังผลจากการเป็นทั้งสิ่งกีดขวางทางกายภาพป้องกันการสะสมของคราบจุลินทรีย์ และการป้องกันฟันผุจากผลของฟลูออไรด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา อย่างไรก็ตามวัสดุประเภทนี้จะมีความหนืดสูง ทำให้ไม่สามารถแทรกซึมลงในหลุมร่องฟันและรูพรุนได้ดีเท่ากับวัสดุประเภทเรซิน นอกจากนี้ยังมีความเปราะมากกว่าและมีความต้านทานต่อการสึกกร่อนน้อยกว่า ดังนั้นวัสดุประเภทนี้จึงมีอัตราการยึดติดไม่ดีเท่ากับวัสดุประเภทเรซิน แต่จะทำให้มีอัตราการสะสมของฟลูออไรด์ที่ผิวเคลือบฟันได้มากกว่า (Dennison และ Craig, 2002; Simonsen, 2002)

**การยับยั้งการลุกลามต่อของรอยผุระยะเริ่มแรก**

ในการยับยั้งการดำเนินโรคของรอยผุระยะเริ่มแรกที่ยังไม่เป็นรูผุ ทั้งในบริเวณหลุมร่องฟันและบริเวณผิวเรียบนั้น สามารถทำได้โดยการกำจัดคราบจุลินทรีย์และควบคุมอนามัยช่องปาก การปรับเปลี่ยนรูปแบบการรับประทานอาหารและการใช้ฟลูออไรด์ (Kidd, 1999) ฟลูออไรด์จะขัดขวางกระบวนการเกิดฟันผุ โดยการยับยั้งกระบวนการเมตาบอลิซึมของแบคทีเรีย ยับยั้งการสูญเสียแร่ธาตุ ส่งเสริมให้เกิดการคืนกลับของแร่ธาตุ และเป็นส่วนสำคัญในการสร้างฟลูออระพาไทต์ (fluoroapatite) ซึ่งเป็นผลึกที่ทนทานต่อการละลายในกรดได้มากกว่าไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite)

ในการยับยั้งการลุกลามของโรคนั้น นอกจากการสร้างภาวะแวดล้อมให้เอื้อต่อการคืนกลับของแร่ธาตุแล้ว ยังสามารถใช้วิธีการกัดด้วยกรดและปิดทับรอยผุนั้นด้วยเรซิน (Buonocore, 1973; Garcia-Godoy, Summitt และ Donly, 1997; Mount และ Ngo, 2000; Robinson และคณะ, 2001) หรือวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน (Handelman, Washburnm และ Wopperer, 1976; Metz-Fairhurst และคณะ, 1979; Hicks และ Silverstone, 1984; Going,1984; Metz-Fairhurst, Schuster และ Fairhurst, 1986; Goepferd และ Olberding, 1989) จากแนวคิดของ Buonocore (1973) ที่ได้แนะนำให้เคลือบเรซินบนรอยผุระยะเริ่มแรกในบริเวณที่เข้าถึงได้ง่าย เช่น ด้านริมฝีปาก ด้านแก้ม รวมถึงด้านข้างของฟัน เพื่อป้องกันการลุกลามของโรคต่อไป เนื่องจากวัสดุนี้จะช่วยปกป้องผิวฟันและต้านทานต่อการละลายได้ เป็นการปิดกั้นการซึมผ่านของกรด (Zero, 1999) ป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุเพิ่มเติม และเป็นการแยกรอยผุออกจากสภาวะแวดล้อมในช่องปาก ช่วยลดปริมาณเชื้อโรคและ

อาหาร เพื่อให้เชื้อโรคไม่สามารถอยู่รอด และไม่สามารถทำลายโครงสร้างของฟันได้ จนทำให้รอยผุหยุดการลุกลาม (Metz-Fairhurst และคณะ, 1979; Going,1984, Metz-Fairhurst, Schuster และ Fairhurst, 1986; Heller และคณะ, 1995) โดยวัสดุที่แนะนำให้ใช้ คือวัสดุประเภทเรซินที่มีความหนืดต่ำ (Mount และ Ngo, 2000)

การศึกษาการเคลือบรอยผุระยะเริ่มแรกบริเวณหลุมและร่องฟันด้วยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อโรคได้อย่างชัดเจนใน 2 สัปดาห์แรก และลดลงเรื่อยๆ มากถึง 2000 เท่าหรือ ร้อยละ 99.9 ในการติดตามผล 2 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับรอยผุที่ไม่ได้รับการเคลือบ นอกจากนี้การติดตามผลทางคลินิกและทางภาพรังสียังพบว่าไม่มีการลุกลามของรอยผุมากขึ้นอีกด้วย (Handelman, Washburnm และ Wopperer, 1976) ส่วนในด้านอัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันบนผิวเคลือบฟันปกติและบนรอยผุระยะเริ่มแรกในชั้นเคลือบฟันบริเวณหลุมและร่องฟัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในการติดตามผลนาน 2 ปี (Handelman และคณะ, 1987)

การศึกษาเกี่ยวกับการเคลือบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน บนรอยผุระยะเริ่มแรกบริเวณด้านบดเคี้ยว มีข้อสรุปเป็นไปในทางเดียวกัน คือตราบใดที่วัสดุยังมีการยึดติดกับผิวรอยผุได้ดี จะสามารถป้องกันและยับยั้งการลุกลามของโรคฟันผุได้ ไม่ว่ารอยผุนั้นจะอยู่ในชั้นเคลือบฟันหรือเนื้อฟัน ดังนั้นผู้ป่วยจึงควรมารับการตรวจเป็นระยะเพื่อให้ทันตแพทย์ได้บำรุงรักษาให้วัสดุยึดติดกับผิวฟันอย่างสมบูรณ์อยู่เสมอ

ในกรณีที่วัสดุมีการสึกไป พบว่าจะยังคงมีชั้นของวัสดุบางๆปกคลุมบริเวณหลุมและร่องฟันและมีเรซินแทกปกคลุมรูพรุนเล็กๆบริเวณผิวเคลือบฟันอยู่ ดังนั้นผิวเคลือบฟันจะยังคงได้รับการปกป้องจากการเกิดฟันผุ ถึงแม้ว่าเมื่อมองด้วยตาเปล่าจะไม่พบรอยวัสดุก็ตาม เนื่องจากเรซินแทกจะช่วยลดอัตราการละลาย ของผิวเคลือบฟันจากการสัมผัสกับกรดอินทรีย์ได้อย่างมาก (Going, 1984; Hicks และ Silverstone, 1982a) อัตราการละลายในกรดของผิวเคลือบฟันปกติจะมีค่ามากกว่าผิวเคลือบฟันที่วัสดุเคลือบหลุมร่องฟันมีการสึกไปอย่างมีนัยสำคัญ (Silverstone, 1977) เรซินแทกเหล่านี้จะแทรกซึมลึกเข้าไปในชั้นเคลือบฟันประมาณ 50 - 60 ไมโครเมตร (Silverstone, 1974)

จากการศึกษาบริเวณผิวฟันด้านข้างของฟันถาวร เปรียบเทียบอัตราการเกิดรอยผุเทียมระหว่างผิวเคลือบฟันปกติ ผิวเคลือบฟันที่เคลือบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน และผิวเคลือบฟันที่เคลือบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันและกรอผิวหน้าของวัสดุออกเหลือเพียงเรซินแทกซึ่งแทรกซึม

อยู่ในรูพรุนชั้นผิวเคลือบฟัน เพื่อเป็นตัวแทนของการสึกของวัสดุ ผลการทดลองพบว่าเกิดรอยผุเทียมเฉพาะกลุ่มผิวเคลือบฟันปกติเท่านั้น (Hicks และ Silverstone, 1982b) อย่างไรก็ตามในกรณีที่วัสดุหลุดเนื่องจากการเตรียมผิวฟันและการเคลือบวัสดุด้วยวิธีที่ไม่เหมาะสม กรณีนี้มักจะไม่มีเรซินแทกหรือชั้นของวัสดุหลงเหลืออยู่หรือมีอยู่น้อย ทำให้อาจเกิดการผุต่อได้ (Going,1984)

**การเคลือบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันบนรอยผุระยะเริ่มแรกบริเวณผิวเรียบ**

การกัดด้วยกรดและปิดทับรอยผุระยะเริ่มแรกบริเวณผิวเรียบด้วยเรซินหรือวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเป็นวิธีหนึ่งในการป้องกันการลุกลามของรอยผุ การศึกษาถึงประสิทธิภาพในการป้องกันการลุกลามของรอยผุเทียมระยะเริ่มแรกบริเวณผิวเรียบ พบว่าวิธีดังกล่าวสามารถยับยั้งการลุกลามของรอยผุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Goepferd และ Olberding (1989) ศึกษาผลของการยับยั้งการลุกลามของรอยผุในระยะเริ่มแรก ด้วยการกัดผิวรอยผุเทียมบริเวณด้านแก้มและด้านลิ้นของฟันถาวรด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 60 วินาทีและเคลือบทับด้วยวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน จากการวัดความลึกของรอยผุที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเรืองแสง พบว่าสามารถยับยั้งการลุกลามของรอยผุได้อย่างมีนัยสำคัญ

Garcia-Godoy, Summitt และ Donly. (1997) ศึกษาการลุกลามของรอยผุเทียมระยะเริ่มแรกในฟันถาวร บริเวณด้านใกล้กลางและด้านไกลกลางที่ถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 20 วินาทีและเคลือบทับด้วยเรซินชนิดไม่เติมสารอัดแทรก จากการวัดความลึกของการสูญเสียแร่ธาตุที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเรืองแสง สรุปได้ว่าการเคลือบรอยผุด้วยเรซินสามารถป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุได้ดี ผู้ศึกษากล่าวว่าวิธีนี้จะมีประโยชน์มากในผู้ป่วยที่มีอนามัยช่องปากไม่ดี หรือไม่ได้รับฟลูออไรด์หรือสารละลายที่ช่วยให้เกิดการคืนกลับแร่ธาตุอย่างเพียงพอ

**การใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน**

Buonocore (1955) เป็นบุคคลแรกที่ใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและปรับสภาพผิวเคลือบฟันให้เหมาะแก่การยึดติดเชิงกล โดยใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ

85 กัดผิวเคลือบฟันนาน 30 วินาที การศึกษาเกี่ยวกับความเข้มข้นของกรดที่เหมาะสมมีการพัฒนาเรื่อยมา ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริกร้อยละ 30 – 40 จะทำให้เกิดการละลายของผิวเคลือบฟันที่เหมาะสมในการแทรกซึมของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันชนิดเรซิน (Silverstone, 1974; Gali และ Wright, 1979; Silverstone, 1983) ส่วน Swift และ Cloe (1993) พบว่ากรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 - 40 มีประสิทธิภาพในการสร้างการยึดติดกับผิวเคลือบฟัน

ในด้านรูปแบบของกรด มีทั้งแบบเจล(gel) และแบบสารละลาย (liquid) โดยชนิดเจลจะช่วยให้มองเห็นได้ง่าย ควบคุมการไหลของกรดได้และลดโอกาสเสี่ยงในการที่กรดจะกระเด็นไปโดนหน้าผู้ป่วย ส่วนชนิดน้ำจะไหลไปตามหลุมร่องฟันได้ดี การเคลือบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเมื่อกัดผิวเคลือบฟันด้วยกรดทั้งสองชนิดนี้ มีอัตราการยึดติดไม่แตกต่างกันเมื่อติดตามผลนาน 3 ปี (Rock, Weatherill และ Anderson, 1990)

ปัจจัยสำคัญในการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกับผิวเคลือบฟัน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพของผิวเคลือบฟันภายหลังการกัดด้วยกรด เวลาที่ใช้กรดกัด ชนิดและความเข้มข้นของกรด ผิวเคลือบฟันที่สะอาด แห้ง และปราศจากการปนเปื้อนน้ำลาย ในขณะที่ทาวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน การใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันจึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการยึดติดเชิงกลระหว่างวัสดุประเภทเรซินและผิวเคลือบฟัน โดยเป็นการกำจัดคราบจุลินทรีย์และเศษต่างๆที่ปกคลุมผิวเคลือบฟันอยู่บางๆออก ทำให้เกิดการละลายของผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ออกไป จนเกิดเป็นชั้นรูพรุนขนาดเล็กบนผิวเคลือบฟัน ซึ่งจะมีความลึกประมาณ 5-50 ไมโครเมตร เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับเรซิน โดยเรซินจะไหลแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนเหล่านี้ ทำให้พื้นผิวเคลือบฟันเปียก (Gwinnett, 1971) ซึ่งจะช่วยให้เรซินแทรกซึมเข้าไปในผิวเคลือบฟันได้ดีขึ้น (Retief, 1978) และเมื่อเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ (polymerization) จะเกิดเป็นเรซินแทกช่วยให้เกิดการยึดติดของวัสดุบนผิวเคลือบฟันได้ดี (Retief, 1973; Silverstone, 1974; Silverstone, 1983)

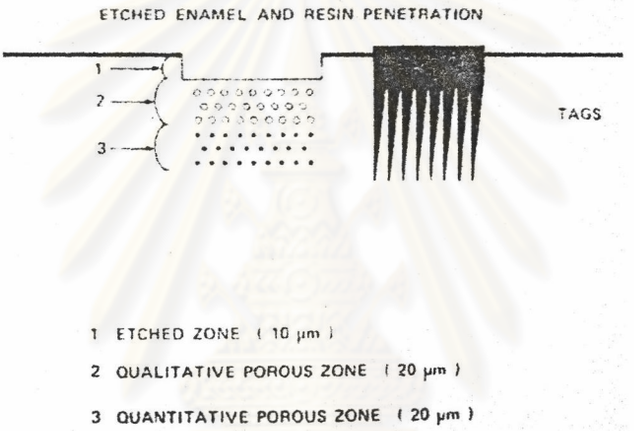
**ลักษณะของผิวเคลือบฟันปกติภายหลังการกัดด้วยกรด**

การศึกษาลักษณะของผิวเคลือบฟันปกติหลังการกัดด้วยกรด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเรืองแสง พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ดังภาพที่ 2 ดังนี้ (Silverstone, 1983; Silverstone, Hicks และ Featherstone, 1988)

1. Etched zone เป็นชั้นบางๆของผิวเคลือบฟันที่สูญเสียไปจากการใช้กรดกัด มีความลึกประมาณ 10 ไมโครเมตร (Silverstone, 1983) หรือ 15 ไมโครเมตร (Silverstone, Hicks และ Featherstone, 1988)

2. Qualitative porous zone เป็นชั้นที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ อยู่ถัดจากชั้นแรกเข้ามา มีความลึกประมาณ 20 ไมโครเมตร

3. Quantitative porous zone เป็นชั้นที่อยู่ลึกที่สุดและมีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก มีความลึกประมาณ 20 ไมโครเมตร




ภาพที่ 2 ความเปลี่ยนแปลงของผิวเคลือบฟันภายหลังการกัดด้วยกรดและลักษณะของเรซินแทก (Silverstone, 1983)

ดังนั้นเมื่อใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน บริเวณที่มีความเปลี่ยนแปลงจะมีความลึกรวมประมาณ 50 ไมโครเมตร (Silverstone และคณะ, 1988) ซึ่งจะเป็นบริเวณที่เรซินไหลแทรกซึมเข้าไป และเกิดเป็นเรซินแทก โดยเรซินแทกเหล่านี้จะแทรกซึมลึกเข้าไปในชั้นเคลือบฟันประมาณ 50 ไมโครเมตร (Ratief, 1973) หรือ 50 - 60 ไมโครเมตร (Silverstone, 1974)

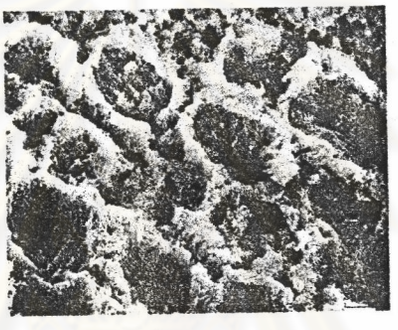
ส่วนรูปแบบของผิวเคลือบฟันภายหลังการกัดด้วยกรดฟอสฟอริก จากการตรวจด้วยกล้องอิเล็กตรอนชนิดส่องกราด จะแบ่งได้ 3 รูปแบบ ดังนี้ (Silverstone และคณะ, 1975; Silverstone, 1983)

1. แบบที่ 1 (type 1) ผิวเคลือบฟันจะมีลักษณะขรุขระโดยทั่วไป มีลักษณะเฉพาะคล้ายรวงผึ้ง (honeycomb pattern) คือ กรดจะกัดแกนกลางของแท่งเคลือบฟัน (prism cores)

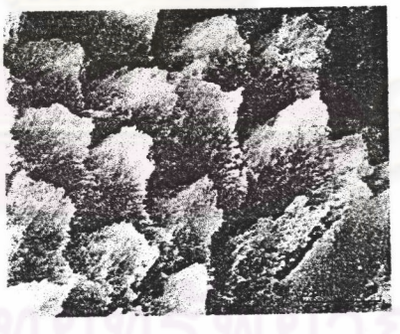
ออกไปจนเป็นโพรง โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงเฉลี่ยประมาณ 3 ไมโครเมตร และเหลือขอบของแท่งเคลือบฟัน (prism peripheries) อยู่สมบูรณ์ รูปแบบนี้จะพบได้บ่อยที่สุด (ภาพที่ 3)

2. แบบที่ 2 (type 2) บริเวณขอบของแท่งเคลือบฟันจะถูกกรดกัดออกไป เหลือบริเวณแกนกลางของแท่งเคลือบฟัน รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะตรงกันข้ามของแบบที่ 1 และจะพบได้น้อยกว่าแบบที่ 1 (ภาพที่ 4)

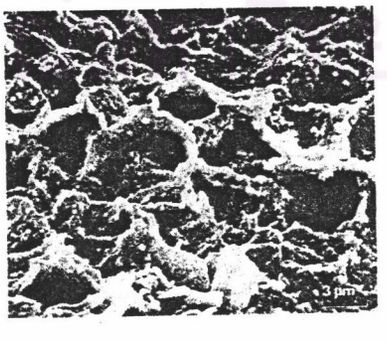
3. แบบที่ 3 (type 3) ผิวเคลือบฟันจะมีลักษณะขรุขระโดยทั่วไป ไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน ไม่มีลักษณะของปริซึม รูปแบบนี้จะพบได้น้อย (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 3 แสดง Type 1 etching pattern (Silverstone และคณะ, 1975)



ภาพที่ 4 แสดง Type 2 etching pattern (Silverstone และคณะ, 1975)




ภาพที่ 5 แสดง Type 3 etching pattern (Silverstone และคณะ, 1975)

รูปแบบของผิวเคลือบฟันปกติภายหลังการกัดด้วยกรดทั้ง 3 แบบนี้ สามารถเกิดได้จากการกัดด้วยกรดในสภาวะเดียวกัน คือใช้กรดชนิดเดียวกัน ในระยะเวลาเท่าๆกัน โดยทั้ง 3 รูปแบบจะเกิดแตกต่างกันได้ไม่เพียงเฉพาะในแต่ละซี่ฟันเท่านั้น แต่จะต่างกันได้ทั้งในแต่ละด้านของฟัน และในแต่ละบริเวณในด้านเดียวกัน (Silverstone, 1983) โดยทั้ง 3 รูปแบบจะทำให้เกิดการยึดติดกับวัสดุได้ไม่แตกต่างกัน (Bayne, 2002)

**ลักษณะของผิวรอยผุระยะเริ่มแรกภายหลังการกัดด้วยกรด**

ลักษณะทางคลินิกบริเวณผิวนอกสุดของรอยผุในระยะเริ่มแรก จะมีความเรียบและความต่อเนื่องเมื่อเทียบกับผิวเคลือบฟันปกติ แต่อย่างไรก็ตามปริมาตรรูพรุนในชั้นนี้จะมีมากกว่าผิวเคลือบฟันปกติถึงประมาณ 10 - 50 เท่า (Hicks และ Silverstone, 1985)

ส่วนลักษณะของผิวเคลือบฟันบริเวณรอยผุระยะเริ่มแรกภายหลังถูกกรดกัด จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดบริเวณรอยผุจำลอง (Silverstone และคณะ, 1988) และรอยผุตามธรรมชาติ (Lee, Shey และ Cobb, 1995) พบว่าภายหลังจากการใช้กรดกัดนาน 60 วินาที โครงสร้างของผิวหน้ายังมีความเรียบ ต่อเนื่องและคล้ายการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันปกติ แต่บริเวณรอยผุจะมีรอยหวัมมากกว่า (Hicks และ Silverstone, 1985) โดยกรดไม่ได้กัดผิวลงไปจนทำให้เผยส่วนที่ 2 ของรอยผุ (body of the lesion) (Hicks และ Silverstone, 1984; Silverstone และคณะ, 1988) และจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเรืองแสง เปรียบเทียบกับระดับความเปลี่ยนแปลงของผิวเคลือบฟันปกติภายหลังถูกกรดกัดทั้ง 3 ระดับ พบว่าเกิดความเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน คือบริเวณผิวรอยผุชั้นนอกสุด ยังคงเรียบและมีความต่อเนื่อง แต่มีรูพรุนมากขึ้น โดยจะมีความเปลี่ยนแปลง ดังนี้ (Hicks และ Silverstone, 1984; Silverstone และคณะ, 1988)

1. การสูญเสียผิวหน้าของรอยผุ (Surface loss)

เป็นแถบบางๆของผิวนอกของรอยผุที่ถูกกรดกัดออกไป ซึ่งความลึกของการสูญเสียผิวหน้าของรอยผุที่เกิดนั้น จะมากขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้กรดกัด โดยการกัดด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 30 วินาที 60 วินาที และ 120 วินาที จะทำให้สูญเสียผิวหน้าของรอยผุโดยเฉลี่ยประมาณ 6 12 และ 14 ไมโครเมตรตามลำดับ ซึ่งชั้นผิวหน้าที่สูญเสียไปนี้ เทียบเท่ากับชั้น Etched zone ของการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันปกติ

van Dorp และ ten Cate (1987) พบว่าความลึกของผิวเคลือบฟันที่สูญเสียไปจากการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันของรอยผุจำลอง มีความลึกไม่แตกต่างจากการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันปกติ เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 36 กัดผิวเคลือบฟันนาน 60 วินาที

2. ผิวหน้าสุดของรอยผุที่เหลืออยู่หลังจากถูกกรดกัด (Etched surface zone)

ในบริเวณนี้จะยังมีความต่อเนื่องดี แต่มีปริมาตรรูพรุนมากขึ้น จากการศึกษาของ Hicks และ Silverstone (1984) พบว่าเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 20 – 40 กัดผิวรอยผุจำลองนาน 30 วินาที ทำให้เกิดผิวหน้าขรุขระเล็กน้อย ร่วมกับเกิดหลุมเล็กๆ (pseudoisotropic etch pits) ที่ผิวหน้ามากมาย ส่วนการใช้กรดกัดนาน 60 วินาที จะทำให้เกิดผิวคล้ายกันแต่จะขรุขระและหยาบชัดเจนกว่า มีหลุมเล็กๆน้อยกว่า

บริเวณผิวหน้าของรอยผุที่ถูกกรดกัด ประกอบด้วยความเปลี่ยนแปลงแบ่งได้ 2 ชั้น คือ

2.1. Superficial pseudoisotropic layer

เป็นส่วนนอกสุดของชั้นผิวหน้าของรอยผุที่เหลืออยู่ จะมีระดับความพรุนมากขึ้นโดยมีปริมาตรรูพรุนประมาณร้อยละ 5 ประกอบด้วยโครงสร้างรูปกรวยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 ไมโครเมตร และหลุมซึ่งเกิดจากการใช้กรดกัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 – 0.75 ไมโครเมตร ลักษณะความเปลี่ยนแปลงในชั้นนี้เปรียบเทียบได้กับชั้น Qualitative porous zone ของผิวเคลือบฟันปกติที่ถูกกรดกัด (Hicks และ Silverstone, 1985)

2.2. Negatively birefringent layer

เป็นส่วนหน้าที่อยู่ติดกับชั้นใต้ต่อผิวหน้าสุดของรอยผุ มีปริมาตรรูพรุนน้อยกว่าร้อยละ 5 ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กๆมากมาย ลักษณะความเปลี่ยนแปลงในชั้นนี้เปรียบเทียบได้กับชั้น Quantitative porous zone ของผิวเคลือบฟันปกติที่ถูกกรดกัด (Hicks และ Silverstone, 1985)

เนื่องจากชั้นผิวหน้าของรอยผุ ทั้งรอยผุจำลองและรอยผุที่เกิดตามธรรมชาติในชั้นผิวเคลือบฟัน จะมีความลึกประมาณ 25 – 30 ไมโครเมตร (Silverstone, 1967; 1973 อ้างถึงใน Hicks และ Silverstone, 1984) ดังนั้นการเกิดรูพรุนขนาดเล็กจะครอบคลุมอย่างน้อยไปจนถึงส่วนหน้าของส่วนที่ 2 ของรอยผุ (Hicks และ Silverstone, 1984)

สำหรับรูปแบบของผิวเคลือบฟันบริเวณรอยผุระยะเริ่มแรก ภายหลังการกัดด้วยกรดฟอสฟอริก พบว่ามีรูปแบบคล้ายกับลักษณะของผิวเคลือบฟันปกติ (Silverstone และคณะ, 1988; Lee และคณะ, 1995) โดยเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30 กัดผิวรอยผุนาน 60 วินาที จะเกิดทั้งรูปแบบที่ 1 และ 2 ในปริมาณใกล้เคียงกัน (Hicks และ Silverstone, 1985)

Hicks และ Silverstone (1985) กล่าวว่าการที่สามารถทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กในรอยผุได้ โดยที่ผิวหน้าของรอยผุยังคงมีความเรียบและต่อเนื่อง จะมีประโยชน์อย่างมากในการป้องกันการลุกลามต่อของรอยผุ โดยการเคลือบวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน หรือการกระตุ้นให้เกิดการผันกลับของแร่ธาตุ

**การยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันบนผิวรอยผุในระยะเริ่มแรก**

ลักษณะของผิวเคลือบฟันบริเวณรอยผุจำลองที่ถูกกัดด้วยกรดฟอสฟอริกชนิดความเข้มข้นร้อยละ 36 นาน 60 วินาที มีความคล้ายกับผิวเคลือบฟันปกติที่ถูกกรดกัดในระยะเวลาเท่ากัน มีความเหมาะสมที่จะเกิดการยึดติดระหว่างเรซินแทกและผิวรอยผุ และสามารถเกิดการแทรกซึมของเรซินและเกิดเรซินแทกได้เช่นเดียวกับผิวเคลือบฟันปกติ (ten Cate และ van Dorp, 1987) มีการศึกษาพบว่าทั้งรอยผุจำลองและรอยผุระยะเริ่มแรกที่เกิดตามธรรมชาติจะมีความพรุนซึ่งมีลักษณะที่ของเหลวสามารถไหลเข้าไปจนเต็มหรือเกือบเต็มช่องว่างเล็กๆในรอยผุนั้นได้ โดยผิวรอยผุระยะเริ่มแรกจะมีความยาวของเรซินแทกที่แตกต่างกันไป เรซินแทกที่อยู่บริเวณส่วนกลางของรอยผุจะมีความยาวมากที่สุด คือเฉลี่ยประมาณ 40 – 60 ไมโครเมตร ส่วนเรซินแทกในบริเวณขอบริมของรอยผุ หรือบริเวณที่ใกล้กับผิวเคลือบฟันปกติจะมีความยาวน้อยกว่า (Davila และคณะ, 1975)

Robinson และคณะ (2001) พบว่าเรซินสามารถแทรกซึมเข้าไปเต็มรูพรุนของรอยผุจำลองได้มากถึงร้อยละ 60 ของปริมาตรรูพรุนทั้งหมด และพบว่าช่วยลดการสูญเสียแร่ธาตุให้กับผิวรอยผุได้อีกด้วย ผู้ศึกษาได้สรุปว่าวัสดุในปัจจุบันมีศักยภาพดีพอที่จะใช้เป็นวัสดุในการซ่อมแซมรอยผุในระยะเริ่มแรกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับ Gray และ Shellis (2002) ซึ่งศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนชนิดส่องกราดถึงความสามารถในการแทรกซึมของสารเรซิน 2 ชนิดเข้าในรอยผุจำลอง พบว่าสารเรซินทั้ง 2 ชนิดสามารถแทรกซึมเข้าไปในรอยผุจำลองได้มากที่สุดถึงร้อยละ 92 และร้อยละ 95 ของปริมาตรรูพรุนทั้งหมด

**ระยะเวลาในการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน**

มีการศึกษามากมายเกี่ยวกับเวลาที่เหมาะสมในการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟัน เพื่อให้ได้ผิวเคลือบฟันภายหลังกรดกัดที่มีความเหมาะสมในการยึดติดกับเรซินมากที่สุด โดยใช้เวลาน้อยที่สุดและสูญเสียเคลือบฟันน้อยที่สุด ในปัจจุบัน ADA (1997) แนะนำให้ใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันนาน 15 วินาที ในการปรับสภาพผิวเคลือบฟันให้เหมาะแก่การยึดติดกับวัสดุเคลือบหลุมร่องฟัน โดยมีการศึกษาต่างๆที่เกี่ยวข้อง ในด้านของคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ลักษณะผิวเคลือบฟันภายหลังถูกกรดกัด (Surface morphology of the etching pattern)

เมื่อใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันนาน 15 วินาที พบว่ามีลักษณะผิวเคลือบฟันภายหลังถูกกรดกัดไม่แตกต่างจากการใช้กรดกัดนาน 60 วินาที (Barkmeier, Gwinnett และ Shaffer,1985; Barkmeier, Shaffer และ Gwinnett,1986) และ 120 วินาที (Brannstrom และ Nordenvall,1977)

อย่างไรก็ตามปริมาณการสูญเสียผิวเคลือบฟันจากการใช้กรดกัด เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณผิวเคลือบฟันที่ไม่ได้ถูกกัดด้วยกรดจะต่างกัน โดยบริเวณที่ถูกกรดกัดผิวเคลือบฟันนาน 60 วินาที จะมีการสูญเสียเคลือบฟันมากกว่าการใช้กรดกัดนาน 15 วินาที (Barkmeier และคณะ, 1985)

2. การรั่วซึมตามขอบ (Marginal microleakage)

การศึกษาด้านการรั่วซึมของวัสดุเมื่อใช้กรดกัดผิวฟันด้วยกรดนาน 15 วินาที พบว่าไม่มีความแตกต่างจากการใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันนาน 60 วินาที (Shaffer และ Barkmeier, 1986; Crim และ Shay, 1987)

3. ค่าแรงยึด (bond strength)

3.1. ค่าแรงยึดเฉือน (Shear bond strength)

เมื่อใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันถาวรนาน 15 และ 60 วินาที จะมีค่าแรงยึดเฉือนระหว่างวัสดุและผิวเคลือบฟันไม่แตกต่างกัน (Barkmeier และคณะ, 1985; Bastos และคณะ, 1988; Tandon, Kumari และ Udupa, 1989; Gwinnett และ Garcia-Godoy, 1992)

3.2. ค่าแรงยึดดึง (Tensile bond strength)

Wang และ Lu (1991) ศึกษาการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 กัดผิวเคลือบฟัน พบว่าค่าแรงยึดดึงจากการใช้กรดกัดนาน15, 30, 60, 90 วินาที ไม่มีความแตกต่างกันและพบว่าการใช้กรดกัดนาน 120 วินาที มีค่าแรงยึดดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. อัตราการยึดติด (Retention rate)

Duggal และคณะ (1997) ศึกษาอัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันบนฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 2 และฟันกรามถาวรซี่ที่ 1 เมื่อใช้กรดออโธฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 35 กัดผิวเคลือบฟันในระยะเวลาต่างกัน 15, 30, 45, และ 60 วินาที พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในการติดตามผลนาน 6 และ 12 เดือน จากผลดังกล่าวผู้ศึกษาได้สรุปว่าระยะเวลาการกัดด้วยกรด ไม่มีผลใดๆต่ออัตราการยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันบนฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 2 และฟันกรามถาวรซี่ที่ 1 และได้แนะนำให้ใช้กรดกัดผิวเคลือบฟันเป็นเวลาเพียง 15 วินาที ทั้งในฟันน้ำนมและฟันถาวร

สำหรับรอยผุระยะเริ่มแรกมีผู้แนะนำระยะเวลาการกัดด้วยกรดที่แตกต่างกันในการเคลือบวัสดุประเภทเรซิน Davila และคณะ (1975) ; Silverstone และคณะ (1988) แนะนำให้เคลือบรอยผุระยะเริ่มแรกในชั้นเคลือบฟันบริเวณที่เข้าถึงได้ง่ายด้วยวัสดุประเภทเรซิน โดยแนะนำให้ใช้กรดฟอสฟอริกกัดผิวรอยผุได้นานเท่ากับผิวเคลือบฟันปกติ คือ 60 วินาที นอกจากนี้ van Dorp และ ten Cate (1987) ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของผิวเคลือบฟันปกติและผิวรอยผุจำลองในชั้นเคลือบฟันภายหลังการกัดด้วยกรดในระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าในผิวเคลือบฟันปกติที่ไม่ได้ถูกกัดด้วยกรด จะไม่มีลักษณะของปริซึม ในขณะที่ผิวเคลือบฟันปกติที่ถูกกัดด้วยกรดนาน 60 วินาที จะมีลักษณะของปริซึม โดยจะเป็นรูปแบบที่ 2 เป็นส่วนใหญ่ และเมื่อกัดด้วยกรดนาน 120 วินาทีจะยังคงพบลักษณะของปริซึมอยู่ ส่วนในผิวรอยผุจำลองจะปรากฏลักษณะของปริซึมที่บริเวณผิวหน้าโดยที่ยังไม่ได้กัดผิวรอยผุด้วยกรด เมื่อกัดด้วยกรดนาน 60 วินาที พบว่าลักษณะของปริซึมจะชัดเจนขึ้น และเมื่อกัดด้วยกรดนาน 120 วินาที ไม่พบลักษณะของปริซึมหลงเหลืออยู่เลย จากผลการศึกษาดังกล่าว ผู้ศึกษาสรุปว่าผิวเคลือบฟันที่มีการสูญเสียแร่ธาตุไป จนเกิดเป็นรอยผุในชั้นเคลือบฟัน มีลักษณะที่ยอมรับได้และเหมาะสมในการยึดติดกับเรซิน และไม่ควรใช้กรดกัดผิวรอยผุนานกว่า 60 วินาทีเมื่อใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 36 จึงจะได้รูปแบบภายหลังการกัดด้วยกรดที่เหมาะสมกับการยึดติด เนื่องจากการใช้กรดกัดนานเกินไปจะทำให้เกิดสูญเสียผิวเคลือบฟันมาก จนอาจเผยถึงชั้น

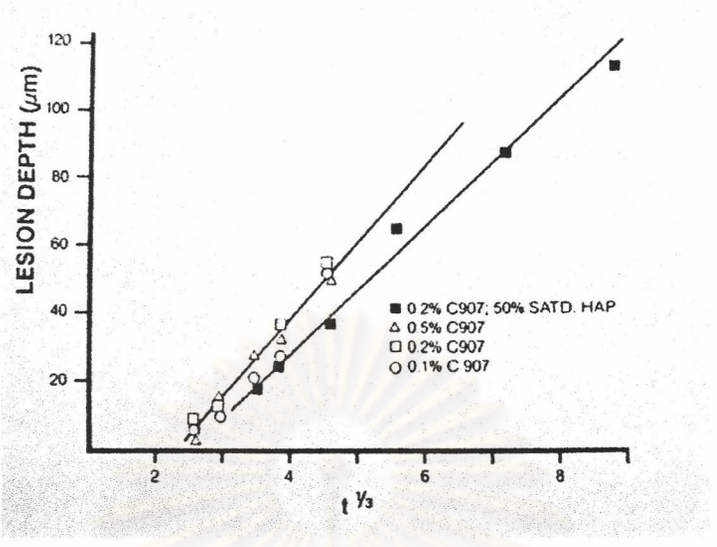
ใต้ผิวนอกของรอยผุ (body of the lesion) ส่วน Gray และ Shellis (2002) ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าการใช้กรดกัดผิวรอยผุจำลองนานเพียง 5 วินาที จะไม่ทำให้เกิดการทำลายพื้นผิวของรอยผุ และจะสามารถทำให้วัสดุประเภทเรซินแทรกซึมเข้าในรอยผุจำลองได้ไม่แตกต่างจากการใช้กรดกัดผิวรอยผุนาน 10 วินาที ซึ่งพบว่าทำให้ผิวรอยผุถูกทำลายและเกิดการแตกหัก

**รอยผุจำลอง (Artificial carious lesion)**

White (1987) ศึกษาการสร้างรอยผุจำลอง ที่มีลักษณะของการสูญเสียแร่ธาตุในชั้นใต้ต่อผิวหน้าคล้ายกับรอยผุเริ่มแรกของผิวเคลือบฟัน ผิวหน้าของรอยผุจะยังมีความเรียบต่อเนื่องและไม่เกิดเป็นรูผุ โดยการแช่ชิ้นตัวอย่างซึ่งมีชิ้นผิวเคลือบฟันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร ในสารละลายที่ทำให้เกิดกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุปริมาตร 25 มิลลิลิตร ซึ่งเตรียมโดย (Riley, 1997) มีส่วนผสมของกรดแลคติกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรดโพลีอะคริลิกความเข้มข้นร้อยละ 2 ซึ่งเป็นสารที่ช่วยปกป้องผิวเคลือบฟันไว้ไม่ให้เกิดเป็นรูผุ และไฮดรอกซีอะพาไทท์ สารละลายมีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส (White, 1987)

ความลึกของรอยผุและระยะเวลา (ชั่วโมง) ในการแช่ชิ้นฟันในสารละลายที่ทำให้เกิดกระบวนการสูญเสียแร่ธาตุ มีความสัมพันธ์กันดังภาพที่ 6 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Christoffersen และ Arends (1982) ซึ่งกล่าวว่าความลึกของรอยผุจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สามของระยะเวลาการเกิดการสูญเสียแร่ธาตุ ($t^{1/3}$) ดังสูตร $r_1^3 = \alpha t + q$ โดยที่ค่า $r_1$ หมายถึงความลึก ส่วนค่า $\alpha$ และ q เป็นค่าคงที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความลึกของรอยผุจำลอง (lesion depth in micrometer) และรากที่สามของระยะเวลาของการสูญเสียแร่ธาตุ ($t^{1/3}$ ; demineralization time in hours) (White, 1987)

การสูญเสียแร่ธาตุของชิ้นตัวอย่างที่มีผิวเคลือบฟันที่ขัดเรียบและขัดมัน จะเกิดรอยผุที่มีความสม่ำเสมอตลอดแนวผิวส่วนหน้าของรอยผุ ส่วนชิ้นตัวอย่างที่เป็นผิวเคลือบฟันปกติ ไม่ได้ขัดเรียบ จะมีผิวหน้าของรอยผุที่แตกต่างกันไป โดยจะมีทั้งบริเวณที่มีการสูญเสียแร่ธาตุเพียงเล็กน้อย และบริเวณที่ไม่เกิดการสูญเสียแร่ธาตุร่วมด้วย จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเรืองแสง พบว่าผิวนอกสุดของรอยผุจำลอง โดยทั่วไปจะมีความหนาประมาณ 10 – 20 ไมโครเมตร (White, 1987)

ในด้านของอัตราการเกิดรอยผุจำลอง ลักษณะทางจุลกายวิภาคศาสตร์ และลักษณะทางกายวิภาค พบว่ากรดโพลีอะคริลิกมีประสิทธิภาพอย่างมาก ในการปกป้องผิวเคลือบฟันขณะการสร้างรอยผุจำลอง และสามารถสร้างรอยผุจำลองได้คล้ายรอยผุที่เกิดตามธรรมชาติ ผู้ศึกษาได้แนะนำให้ใช้วิธีดังกล่าวในการสร้างรอยผุจำลองในชั้นเคลือบฟัน (White, 1987)

อายุของฟันหลังจากขึ้นมาในช่องปากแล้ว (posteruptive age) มีผลต่อความไวของการเกิดรอยผุจำลอง ความไวของการเกิดรอยผุจำลองในชั้นเคลือบฟันจะลดน้อยลงเมื่ออายุของฟันมากขึ้น เนื่องจากฟันที่ขึ้นมานานกว่าจะมีผิวเคลือบฟันที่สะสมแร่ธาตุได้สมบูรณ์มากกว่า และมีอัตราการซึมผ่านน้อยกว่าฟันที่เพิ่งขึ้น มีการศึกษาพบว่าเมื่อชิ้นฟันผ่านกระบวนการสร้างรอยผุจำลองในระยะเวลาเท่าๆกัน ความลึกของรอยผุจำลองของฟันถาวรที่ยังไม่ขึ้น, ฟันที่มีอายุ 0 – 3 ปี, ฟันที่มีอายุ 4 - 10 ปี, ฟันที่มีอายุ 11 - 30 ปี, ฟันที่มีอายุ

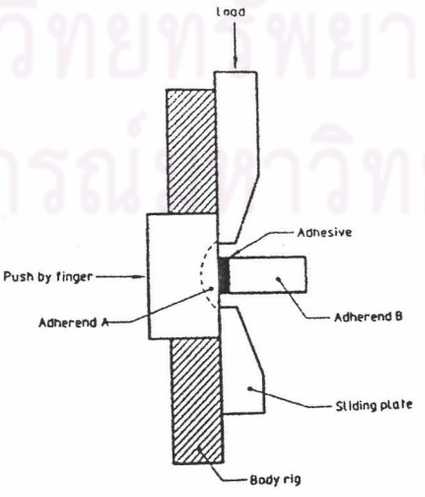
มากกว่า 30 ปีขึ้นไป จะมีค่าความลึกเฉลี่ยเท่ากับ 833 (±261), 561 (±150), 470 (±136), 459 (±192), และ 297 (±89) ไมโครเมตรตามลำดับ (Kotsanos และ Darling, 1991)

การเกิดรอยผุจำลองของฟันถาวรที่มีอายุหลังจากขึ้นมาในช่องปากแล้วน้อย จะมีลักษณะและความลึกที่เป็นรูปแบบเดียวกัน ในขณะที่ฟันที่มีอายุมาก จะเกิดรอยผุที่มีรูปแบบไม่ชัดเจน (Gangler และคณะ, 1993)

**การทดสอบแรงยึดเฉือน**

การยึดติดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกับผิวเคลือบฟันเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิดฟันผุและการลุกลามของรอยผุ (Feigal, 1998) การศึกษาในห้องปฏิบัติการถึงคุณสมบัติดังกล่าว จะศึกษาได้จากคุณสมบัติ 2 ประการคือ การรั่วซึม และแรงยึด (Barkmeier และ Cooley, 1992) โดยการทดสอบแรงยึดทำได้ 2 วิธี คือ การทดสอบแรงยึดดึง และการทดสอบแรงยึดเฉือน (Retief, 1991)

การศึกษาในห้องปฏิบัติการถึงคุณสมบัติในการยึดของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันกับผิวเคลือบฟัน เป็นการพิจารณาว่าการยึดติดของวัสดุนั้นสามารถทนต่อแรงกระทำที่ผิวเคลือบฟันได้ระดับเท่าใด จึงทำให้เกิดการทำลายแรงยึดติด (Kohn, 2002) โดยการทดสอบแรงยึดเฉือนของวัสดุเคลือบหลุมร่องฟันเป็นการทดสอบโดยใช้แรงที่มากระทำในแนวขนานกับผิวเคลือบฟัน (Oilo, 1993) มีลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบดังแสดงในภาพที่ 7




ภาพที่ 7 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดสอบแรงยึดเฉือน (ISO, 1994)

หัวทดสอบที่ใช้จะมี 2 ลักษณะคือ แบบหัวเหลี่ยม (rectangular - based rod) ซึ่งมีความกว้าง 1.8 มิลลิเมตร และแบบใบมีด (knife – edge rod) มีความกว้าง 0.5 มิลลิเมตร โดยแบบหัวเหลี่ยมจะให้แรงในรูปของคานงัด (cantilever load) (Retief, 1991) เกิดแรงคู่ควบในเนื้อวัสดุ ทำให้วัสดุหลุดจากผิวเคลือบฟันในลักษณะที่ส่วนบนติดไปกับใบมีด และวัสดุส่วนล่างติดอยู่กับผิวเคลือบฟัน (bend type) ส่วนแบบใบมีดจะให้แรงในลักษณะของลิ่ม (wedge – opening load) โดยแรงทั้งหมดจะลงที่จุดเดียว บริเวณรอยยึดระหว่างผิวเคลือบฟันและวัสดุ (cleavage type) อัตราการให้แรงกระทำลงบนชิ้นตัวอย่างโดยทั่วไปคือ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที (Retief, 1991)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย