

บทที่ 2

วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

ผู้ป่วยที่ได้รับการจัดฟันชนิดติดแน่นในปัจจุบัน จะได้รับการติดเครื่องมือที่เรียกว่า แบริกเก็ต บนผิวฟันที่ผ่านการทาด้วยกรดเพื่อให้เกิดร่องขรุขระ และมีวัสดุยึดประเภทเรซินเป็นตัวยึดแบริกเก็ตกับผิวฟัน เรียกวิธีดังกล่าวว่า วิธีไดเรกบอนด์ แต่พบว่ามีผู้ป่วยจำนวนมากที่ได้รับการครอบฟันหรือใส่สะพานฟันชนิดที่มีฟอร์ชเลนเป็นองค์ประกอบมารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน การใช้วิธีไดเรกบอนด์บนผิวฟอร์ชเลนเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการติดแบริกเก็ตบนปลอมโลหะรัดฟันแล้วนำมาซีเมนต์ติดบนครอบฟัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพในการทำไดเรกบอนด์บนผิวฟอร์ชเลนในหลาย ๆ วิธี ได้แก่ การใช้สารเคมี เช่น ไซเลนไพรเมอร์ เพื่อให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างเรซินกับฟอร์ชเลน รวมถึงวิธีการเตรียมผิวฟอร์ชเลนด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อเพิ่มแรงยึดเชิงกลระหว่างเรซินกับผิวฟอร์ชเลน

จะเห็นว่ามีปัจจัยหลาย ๆ อย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ แบริกเก็ต วัสดุยึดฟอร์ชเลนทางทันตกรรม การเตรียมผิวฟอร์ชเลน และ ไซเลนไพรเมอร์

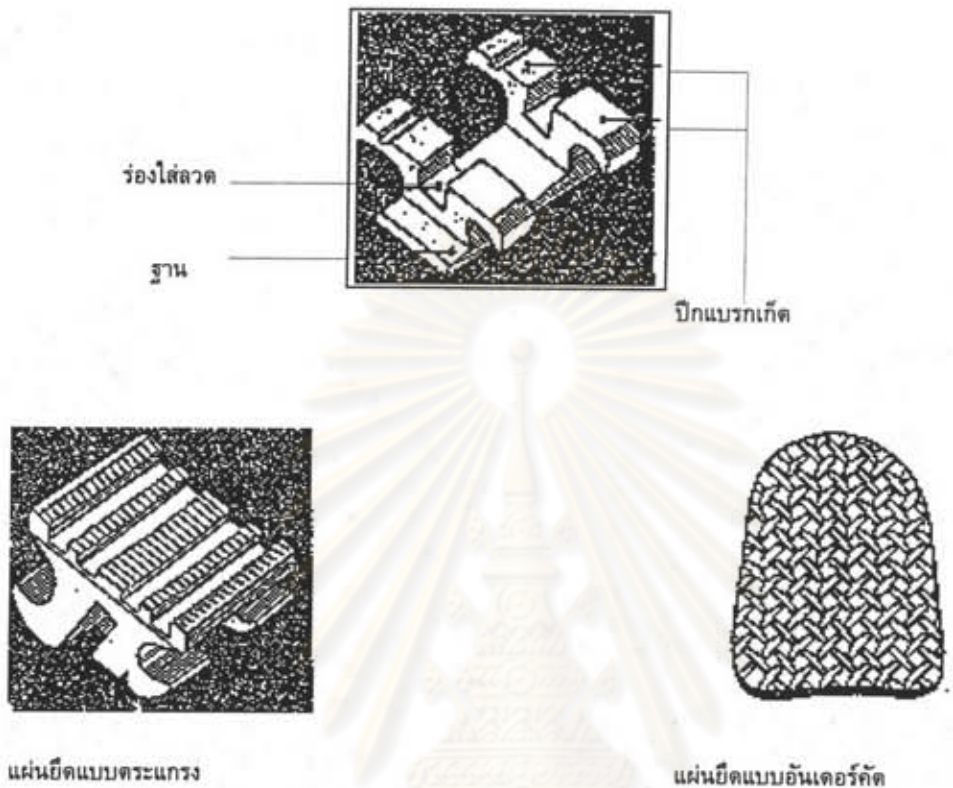
แบริกเก็ต

เป็นส่วนของเครื่องมือทางทันตกรรมจัดฟันชนิดติดแน่น ทำหน้าที่ยึดลวดให้ติดกับตัวฟัน มีส่วนประกอบของแบริกเก็ต (รูปที่ 1) ดังต่อไปนี้

1. ปีกแบริกเก็ต เป็นตำแหน่งที่ใช้ผูกลวดมัดหรือคล้องยางรัดเพื่อยึดให้ติดกับตัวฟัน ซึ่งต้องการให้เคลื่อนที่ไปตามร่องโดยแรงของเครื่องมือ
2. ร่องใส่ลวด เป็นร่องสำหรับวางลวด มีขนาด .018 นิ้ว และ .022 นิ้ว ทั้งนี้ขนาดของร่องและลวดควรกระชับพอดี เพื่อป้องกันแรงเสียดทานที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างขอบของร่องกับลวด
3. ฐาน เป็นส่วนรองรับปีกแบริกเก็ตและร่องใส่ลวด เพื่อให้เชื่อมติดกับปลอมโลหะหรือแผ่นยึด
4. แผ่นยึด มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขอบมน ด้านบนเชื่อมติดกับส่วนฐานของแบริกเก็ต ด้านหลังทำเป็นตะแกรงหรือเจาะเป็นร่องด้วยแสง หรือทำเป็น

อันเตอร์คัตด้วยเครื่องจักร
กับตัวฟันโดยวิธีไคเรกบอนด์

เพื่อทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะเชิงกลกับเรซินในการติดแบรคเก็ต



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของแบรคเก็ต

ในปัจจุบันแบรคเก็ตที่ใช้ในวิธีไคเรกบอนด์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. แบรคเก็ตพลาสติก

แบรคเก็ตพลาสติกมีข้อดีในด้านให้ความสวยงาม และสามารถสร้างพันธะเคมีกับวัสดุยึดได้ ทำให้มีความแข็งแรงในการยึดสูงกว่าแบรคเก็ตโลหะ แต่แบรคเก็ตพลาสติกก็มีข้อเสียบางประการ เช่น มีความแข็งแรงน้อยมักจะบิดหรือแตกหักในระหว่างการรักษา Aird และ Durning (1987) ได้ทำการศึกษาการแตกหักของแบรคเก็ตพลาสติก โดยการใช้ลวดและขนาดแรงที่ใช้ในการจัดฟัน พบว่าการใส่ลวดลงในร่องแบรคเก็ตไม่ว่าจะเป็นลวดกลมหรือลวดสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือแม้แต่การผูกแบรคเก็ตด้วยลวดโลหะไร้สนิม สามารถเป็นปัจจัยทำให้เกิดการแตกหักของแบรคเก็ตพลาสติกได้ นอกจากนี้แบรคเก็ตยังมีการสึกกร่อนของร่องแบรคเก็ต ทำให้สูญเสียความสามารถในการควบคุมแนวแกนฟันของแบรคเก็ต เปลี่ยนสีได้ และต้องใช้วัสดุยึดโดยเฉพาะ

2. แบริกเกิดเซรามิก

แบริกเกิดเซรามิกถูกประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อรวมเอาข้อดีของแบริกเกิดพลาสติก ในด้านความสวยงามกับความแข็งแรงของแบริกเกิดโลหะเข้าด้วยกัน เนื่องจากเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูง ทนต่อความร้อนและการเสื่อมสภาพทางเคมีได้ดี แต่ก็มีจุดอ่อนที่ด้อยกว่าโลหะอยู่ประการเดียว คือ เซรามิกมีความเปราะสูง เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกัน

เมื่อโลหะมีความเค้นเกิดขึ้น โมเลกุลของโลหะซึ่งยึดกันอยู่ด้วยพันธะโลหะสามารถที่จะบิดเบือนตำแหน่งไปเพื่อลดความเค้นลง แต่โครงสร้างโมเลกุลของเซรามิกมีตำแหน่งที่แน่นอนและยึดกันอยู่ในลักษณะสามมิติไม่สามารถบิดเบือนได้ เมื่อมีความเค้นเกิดขึ้นจนถึงจุดวิกฤต พันธะระหว่างโมเลกุลเซรามิกจะแตกออกทำให้เกิดการแตกหักของเซรามิก ดังนั้น หากมีรอยขีดข่วนหรือตำหนิบนชิ้นเซรามิกแล้ว เซรามิกมีโอกาที่จะแตกออกจากกันได้ง่ายกว่าโลหะ

3. แบริกเกิดโลหะ

แบริกเกิดโลหะที่ใช้ในเทคนิคไดเรกบอนด์ ได้ถูกดัดแปลงมาจากแบริกเกิดแบบเดิมที่ใช้เชื่อมติดกับปลอกโลหะรัดฟัน

ในปี ค.ศ. 1967 Mitchell ได้เสนอรายงานการทดลองใช้แบริกเกิดทางทันตกรรมจัดฟันติดเข้ากับฟันโดยตรง โดยไม่ต้องใช้ปลอกโลหะรัดฟัน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการเปรียบเทียบแรงยึดของซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อแบริกเกิดดังกล่าวในการเคลื่อนฟันธรรมชาติ แบริกเกิดที่นำมาใช้เป็นแบริกเกิดที่ใช้ในวิธีเอจไวส์ (Edgewise Technic)

แบริกเกิดโลหะที่มีการนำมาใช้กับวิธีไดเรกบอนด์อย่างจริงจังในระยะแรกทำโดยดัดแปลงจากแถบโลหะที่ใช้ทำปลอกโลหะรัดฟัน โดยการเชื่อมแถบโลหะขนาดเล็กเข้ากับตัวแบริกเกิดด้วยไฟฟ้า และเจาะรูเล็ก ๆ จำนวน 7-8 รู ลงบนแถบโลหะดังกล่าวเพื่อช่วยในการยึดเกาะกับวัสดุยึด จากนั้นได้มีการผลิตแบริกเกิดที่มีฐานมีลักษณะเป็นรูพรุนโดยรอบตามขอบของฐานแบริกเกิดเพื่อนำมาใช้กับวัสดุยึดซึ่งสามารถบ่มตัวได้ด้วยแสงเหนือม่วง ในช่วงต้นศตวรรษ 1970 ด้วยหวังว่าวัสดุยึดจะสามารถบ่มตัวได้ด้วยแสงเหนือม่วง จากรูเล็ก ๆ ที่มีอยู่ตามขอบของฐานแบริกเกิด ต่อมาได้มีการปรับปรุงแบริกเกิดดังกล่าวมาเป็นแบริกเกิดที่มีรูพรุนทั่วบริเวณฐานแบริกเกิด วัสดุที่เกินออกมานี้เมื่อแข็งตัวจะเป็นส่วนที่ขัดขวางการผูกมัดรอบปีกของแบริกเกิด อีกทั้งยังทำให้เกิดพื้นผิวหยาบซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดคราบจุลินทรีย์ได้ง่าย และเมื่อวัสดุที่อยู่ตามรูพรุนเหล่านี้แตกออกก็จะเป็นการเปิดโอกาสให้น้ำลาย เศษอาหาร และคราบจุลินทรีย์หลุดลอดเข้าไปสะสมอยู่ระหว่างฐานแบริกเกิดและวัสดุยึด

เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและแก้ไขข้อเสีย ซึ่งเกิดจากแบรกก่ตที่ฐาน มีลักษณะรูพรุน จึงทำให้มีการพัฒนาแบรกก่ตที่ด้านล่างของฐานมีลักษณะเป็นตะแกรงโลหะขึ้นมา ซึ่งฐานแบรกก่ตแบบนี้จะมีส่วนเกาะเกี่ยวเป็นตะแกรงโลหะอยู่บริเวณส่วนล่างของฐานแบรกก่ตที่จะสัมผัสกับผิวฟัน ส่วนของฐานที่เชื่อมติดกับตัวแบรกก่ตจะเป็นแผ่นเหล็กไร้สนิม ซึ่งเรียบและบาง ทั้งสองส่วนนี้จะถูกเชื่อมติดกันด้วยวิธีเชื่อมด้วยความร้อนที่เกิดจากไฟฟ้า หรือใช้วิธีบัดกรีให้ติดกันโดยมีโลหะผสมเป็นตัวกลาง ส่วนที่เป็นแผ่นโลหะไร้สนิมจะป้องกันไม่ให้วัสดุส่วนเกินทะลักออกมาทางด้านหน้า และตะแกรงลวดที่อยู่ด้านหลังก็สามารถให้ความแข็งแรงในการยึดที่ดี

วัสดุยึด

Lee และ Orłowski (1974) กล่าวถึงคำจำกัดความของวัสดุยึด (adhesive) และการติดแน่น (adhesion) โดย The American Society for Testing and Material (ASTM) ได้ให้คำจำกัดความของวัสดุยึดและการติดแน่น ดังนี้

วัสดุยึด หมายถึง วัสดุที่จะทำให้พื้นผิวของวัตถุมีการติดแน่น

การติดแน่น หมายถึง สภาวะของพื้นผิวสองชนิดยึดต่อกันด้วยแรงระหว่างผิว (interfacial force) แรงยึดนี้อาจเป็นแรงทางเคมี (แรงวาเลนซ์) แรงจากการเกาะเกี่ยว หรือ ทั้งสองอย่างร่วมกัน

โครงสร้างของวัสดุยึดมีทั้งเป็นโลหะและอโลหะ นอกจากนี้ยังมีทั้งที่เป็นอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สาร การใช้วัสดุยึดที่เป็นโลหะไม่สามารถใช้ในทางคลินิก เพราะต้องใช้อุณหภูมิในการหลอมโลหะสูงมาก

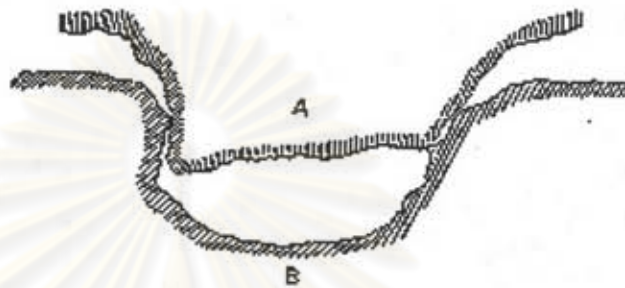
วัสดุยึดที่เป็นอนินทรีย์สาร เช่น ซีเมนต์ ได้ใช้มานานแล้วในทางทันตกรรม แต่กำลังแรงยึดมีจำกัดและสามารถละลายได้ในน้ำลาย ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงสารที่เป็นโพลีเมอร์ เพื่อใช้เป็นวัสดุยึดในทางทันตกรรม

นอกจากนี้ยังได้แบ่งกำลังแรงยึดของวัสดุยึดออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ก. การยึดแบบเกาะเกี่ยว (Mechanical adhesion)
 1. การยึดแบบจีโอเมตริกคอลล (Geometrical effect)
 2. การยึดแบบรีโอโลจิคอลล (Rheological effects)
- ข. การยึดแบบเคมี (Chemical adhesion)
 1. แรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ (Primary Valence force)
 2. แรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ (Secondary Valence force)

การยึดแบบเกาะเกี่ยว

1. การยึดแบบจีโอเมตริกคอลล คือ การยึดติดของวัสดุ เกิดจากความหยาบรูพรุน (รูปที่ 2)

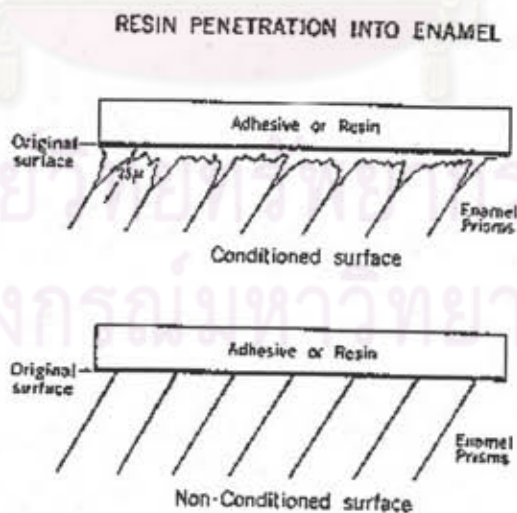


รูปที่ 2 แสดงการยึดแบบจีโอเมตริกคอลล

จาก Lee and Orłowski; Adhesive Dental Composite Restorative, 1974.

Buonocore, Matsui และ Gwinnett (1968) แสดงถึงเรซินแท็ก (tag) สามารถเข้าไปในผิวเคลือบฟัน 15-25 ไมครอน แล้วแต่ชนิดของกรดและวิธีการใช้

Sheykholeslam, Buonocore และ Gwinnett (1972), Buonocore (1975) กล่าวถึงการยึดว่าขึ้นกับจำนวนและความลึกของเรซินแท็ก



รูปที่ 3 แสดงลักษณะที่เรซินแทรกซึมเข้าไปในผิวเคลือบฟันที่ถูกกรดกัด

จาก Buonocore; The Use of Adhesive in Dentistry, 1975.

เรซินแท้ก็จะเป็นสิ่งซึ่งต้านทานไม่ให้เกิดการหลุดออก การยึดแน่นของวัสดุยึดขึ้นกับความแข็งของเรซินด้วย โดยเมื่อมีแรงกระทำในลักษณะตั้งฉากกับวัสดุยึด ความแข็งของเรซินก็จะช่วยไม่ให้วัสดุยึดหลุดออก

2. การยึดแบบรีโอล์จิคอล คือ ลักษณะที่วัสดุยึดเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็งแล้วเกิดการหดตัว ทำให้เกิดการยึดติดของวัสดุ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 แสดงการยึดของวัสดุจากการหดตัวเป็นผลจากการยึดแบบรีโอล์จิคอล จาก Lee และ Orłowski; Adhesive Dental Composite Restorative, 1974

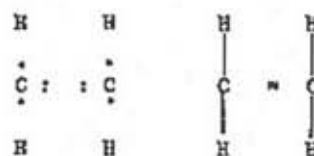
การยึดแบบเคมี

Combe (1981) แบ่งการยึดของวัสดุยึดแบบเคมีออกเป็น

1. แรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ

ก. พันธะไอออนิก คือ พันธะซึ่งเกิดจากการย้ายอิเล็กตรอนจากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง เช่น ปฏิกริยาของ Na^+ กับ Cl^- โดย Na จะให้อิเล็กตรอนแก่ Cl ทำให้เป็น Na^+ และ Cl เมื่อรับอิเล็กตรอนจาก Na ทำให้เป็น Cl^-

ข. พันธะโควาเลนต์ คือ พันธะซึ่งเกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันของ 2 อะตอม พันธะโควาเลนต์จะให้แรงยึดสูง ส่วนใหญ่ของอินทรีย์สารจะเป็นพันธะโควาเลนต์ของอะตอมคาร์บอน เช่น C_2H_4 (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงพันธะโควาเลนต์

จาก Combe; Notes on Dental Materials, 1981.

ค. พันธะโลหะ คือ พันธะซึ่งเกิดจากการที่อิเล็กตรอนในวงนอกสุดของโลหะ สามารถหลุดออกได้ง่ายทำให้ได้ประจุบวก โลหะจะเป็นประจุบวกซึ่งอยู่ในกลุ่มของอิเล็กตรอนอิสระ

2. แรงวาเลนซ์ทุติยภูมิ เป็นแรงยึดที่ได้จากแรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waal's force) ซึ่งจะน้อยกว่าพวกแรงวาเลนซ์ปฐมภูมิ แรงแวนเดอวาลส์เกิดจากการดึงดูดของอิเล็กโตรสแตติก (electrostatic attraction) ระหว่างโมเลกุลหรืออะตอมซึ่งเกิดได้ 2 แบบ คือ

ก. โมเลกุล ซึ่งมีความไม่สมดุลย์ เช่น H_2O โดยที่ตรงกลางจะเป็นประจุลบ และปลายทั้งสองเป็นประจุบวก (รูปที่ 6)



δ^+ และ δ^- แสดงถึงประจุไฟฟ้าจำนวนเล็กน้อย ซึ่งอาจเรียกว่า ไดโพลถาวร (permanent dipoles) ซึ่งมันจะยึดเกาะกัน

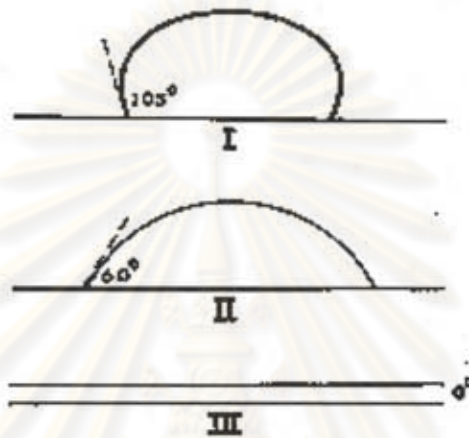


รูปที่ 6 การยึดโดยแรงแวนเดอวาลส์ของ H_2O แต่ละโมเลกุล
จาก Combe; Notes on Dental Materials, 1981.

ข. อะตอมของก๊าซเฉื่อย ซึ่งมีโมเลกุลที่สมดุลย์กัน เช่น CH_4 อาจทำให้เกิดไดโพลขึ้นได้ โดยการเคลื่อนตัวอย่างสุ่มของอิเล็กตรอน แต่แรงระหว่างไดโพลจะน้อยมาก

การทำให้พื้นผิวเปียก (Wettability)

การดูดซับของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง จะเกิดได้เมื่อของเหลวนั้นทำให้พื้นผิวเปียก ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวขึ้นกับมุมสัมผัสของของเหลวบนพื้นผิว ถ้าของเหลวมีแรงดึงผิวต่ำจะได้มุมสัมผัสต่ำลงไปด้วย ทำให้พื้นผิวเปียกสูง ค่าภาวะดีเลิศของมุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา ดังรูป 7



รูปที่ 7 แสดงการทำให้พื้นผิวเปียก I. contact angle 105° ,
II. contact angle 60° III. contact angle 0°
จาก Combe; Notes on Dental Materials, 1981.

การมีมุมสัมผัสมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดของวัสดุยึด มุมสัมผัสจะให้น้อยลงได้โดยการผสมวัสดุยึดด้วยตัวละลายที่มีแรงดึงผิวต่ำ ดังนั้นในทางทันตกรรมวัสดุยึดที่มีวัสดุอัดแทรกมาก จะมีความเหนียวมากทำให้มีมุมสัมผัสสูง จึงควรใช้เรซินที่มีแรงดึงผิวต่ำทาบนผิวฟันก่อน

วัสดุยึดเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง

พื้นผิวของวัสดุที่จะยึดติดกันจะมีความขรุขระ ซึ่งจะให้มีอากาศอยู่ระหว่างวัสดุยึดกับพื้นผิว ดังนั้นจึงใช้วัสดุยึดที่เป็นของเหลวเพื่อลดช่องอากาศระหว่างชั้นทั้งสอง ทำให้มีแวนเดอวาลส์เพิ่มขึ้น ต่อมาวัสดุยึดที่เป็นของเหลวจะกลายเป็นของแข็ง เพื่อเพิ่มกำลังความแข็งแรงและเพิ่มความแข็ง

ความขรุขระ (Roughness)

- ความขรุขระของพื้นผิวจะทำให้วัสดุมีกำลังแรงยึดเพิ่มขึ้น Buonocore (1975) กล่าวถึงเหตุผลที่ทำให้ได้กำลังแรงยึดเพิ่มขึ้น ดังนี้
- ก. ได้พื้นผิวในการสัมผัสกับวัสดุยึดเพิ่มขึ้น
 - ข. ความขรุขระจะต้านทานต่อแรงเฉือน
 - ค. ความขรุขระจะช่วยเพิ่มการยึดแบบเกาะเกี่ยว

ประเภทของวัสดุยึด

ปัจจุบันวัสดุยึดที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ

1. เรซินชนิดบ่มตัวได้เองที่มีเมธิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate-MMA) เป็น โมโนเมอร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอะคริลิกเรซิน ซึ่งเรซินชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในการอุดฟันเป็น เวลานานมาแล้ว ต่อมาได้ถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน เพื่อยึดเครื่องมือชนิด ติดแน่นเข้ากับผิวเคลือบฟัน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้เรซินชนิดนี้ คือ เบนโซอิล เพอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) วัสดุชนิดนี้ให้ผลดีในการยึดติดกับแบร็กเก็ตพลาสติก เรซินชนิดนี้ส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของผงและน้ำ ซึ่งมีความเหลวเพียงพอไม่จำเป็นต้องใช้ซิลแลนต์ทาลงบนผิวฟันก่อน อย่างไรก็ตามเมธิลเมทาคริเลตเป็นสารระเหยที่มีกลิ่นแรง นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงได้ มากตามอุณหภูมิ (Thermoplastic) โดยจะอ่อนตัวลงเมื่อเพิ่มความร้อน และมีการ หดตัวมากขณะมีปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน ทำให้มีการดูดน้ำมาก อย่างไรก็ตาม Miura และคณะ (1974) ได้ปรับปรุงวัสดุดังกล่าวโดยเปลี่ยนตัวเร่งปฏิกิริยาของอะคริลิกเรซินนี้จาก เบนโซอิล เพอร์ออกไซด์ เป็น tri-n-butyl-borane (TBB) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของการยึด โดยใช้ร่วมกับสารไซเลน (Silane) และกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 65 เป็นกรดกัดผิว เคลือบฟัน ตัวอย่างเรซินในกลุ่มนี้ได้แก่ จีเอซี ของบริษัทจีเอซี Unitek ของบริษัทยูนิเทค

2. ไดอะคริเลตเรซิน (Diacrylate resin) เป็นเรซินที่ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาและความ ยุ่งยากบางประการของอะคริลิกเรซิน พัฒนาขึ้นมาจากรเรซินของโบเวน (Bowen's resin) มีส่วน ของโมโนเมอร์เป็น BIS-GMA (Bisphenol-A-diglycidylmethacrylate) มีความแตกต่าง จากอะคริลิกเรซิน คือ เป็นโพลีเมอร์ที่มีโครงสร้าง 3 มิติ ในขณะที่อะคริลิกเรซินมีโพลีเมอร์เป็น ชนิดเส้นตรง จึงทำให้มีความแข็งแรงสูงกว่า การหดตัว (Polymerization shrinkage) และการ ดูดซึมน้ำเมื่อแข็งแรงเต็มที่น้อยกว่าอะคริลิกเรซิน

เนื่องจากโครงสร้างของเรซินชนิด BIS-GMA ทำให้มีความขุ่นหนืดสูง และจำเป็นจะต้องทำให้มีความขุ่นหนืดน้อยลงเมื่อนำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน โดยส่วนมากสารที่นำมาใช้เพื่อทำให้ความเข้มข้นของเรซินชนิด BIS-GMA ลดลงคือ Glycol dimethacrylate แต่ในขณะที่เดียวกันความขุ่นหนืดของเรซินชนิด BIS-GMA ก็ยังคงมีความจำเป็นในการที่จะยึดให้แบรคเก็ตอยู่ในตำแหน่งที่ต้องการก่อนที่จะแข็งตัว ฉะนั้นจึงมีการนำวัสดุชนิดนี้มาใช้โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ ซิลแลนต์ ความขุ่นหนืดต่ำ มีความสามารถในการแทรกตัวลงไปในผิวเคลือบฟันภายหลังจากการกัดกร่อนด้วยกรดแล้ว ส่วนที่สอง คือ เรซินชนิด BIS-GMA ที่มักจะผลิตออกมาในลักษณะเพสต์ (paste) สองส่วน แต่ชนิดที่เป็นของเหลวสองส่วน หรือของเหลวและผงก็ยังมีผลิตจำหน่ายเช่นกัน

ในปัจจุบันวัสดุยึดที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน นอกจากใช้ในลักษณะของการผสมส่วนเบสกับส่วนแคตาลีสต์เข้าด้วยกันแล้ว ได้มีการผลิตวัสดุยึดใหม่เพื่อความสะดวกในการใช้อีก 2 ระบบ คือ

1. วัสดุยึดชนิดไม่ต้องผสม (No-mix adhesive) โดยส่วนมากวัสดุนี้จะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของเบส ซึ่งมีลักษณะเป็นเพสต์ และส่วนของสารเริ่มหรือเร่งปฏิกิริยา ที่เรียกว่า Primer หรือ Activator ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวหรือเป็นเพสต์ วัสดุจะแข็งตัวเมื่อส่วนที่เป็นเพสต์ถูกกดด้วยแรงพอสมควร เป็นผลให้ส่วนของ Primer ที่เป็นของเหลวซึ่งจะต้องทาลงบนผิวเคลือบฟันซึ่งใช้กรดกัดไว้แล้ว และบริเวณด้านล่างของฐานแบรคเก็ตเข้าผสมและทำปฏิกิริยากับส่วนเพสต์ เช่น Unique, Right-on, System 1⁺, Unite, หรือสัมผัสกับเพสต์อีกส่วนหนึ่งที่อยู่บนผิวเคลือบฟันที่ได้เตรียมไว้แล้ว เช่น Secure-on-touch ฯลฯ เมื่อจัดตำแหน่งเครื่องมือเข้าที่แล้ว จึงออกแรงกดเครื่องมือให้อยู่กับที่ โดยปกติวัสดุก็จะแข็งตัวภายใน 30-60 วินาที

2. วัสดุที่บ่มตัวด้วยแสงที่มองเห็นได้ (visible light) วัสดุประเภทนี้บ่มตัวได้โดยแสงที่ส่องผ่านโครงสร้างของฟัน เช่น Fotofil, Durafil ฯลฯ ทั้งนี้ปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันของไดอะครีเลตเรซินจะเกิดได้โดยอาศัยแสงที่มองเห็นได้ (ความยาวคลื่น 440-480 นาโนเมตร) ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา ระบบนี้มีข้อดีตรงที่ไม่มีอันตรายจากรังสีเหนือม่วง ทัศนแพทย์มีเวลาในการทำงานที่เพียงพอ และวัสดุยึดสามารถบ่มตัวได้ภายใต้ฐานแบรคเก็ตโลหะ

พอร์ซเลนทางทันตกรรม

พอร์ซเลนถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรม ในปี ค.ศ. 1776 โดยนำมาทำฟันปลอมหลังจากนั้นจึงนำมาทำเป็นฐานฟันปลอม ใช้บูรณะภายนอกตัวฟันและนำมาทำเป็นเซรามิก วีเนียร์บนโลหะหล่อ พอร์ซเลนทางทันตกรรมประกอบด้วย วัสดุทางเซรามิกที่หลอมตัวรวมกันคล้ายคลึงกับวัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์งานศิลป์ เครื่องถ้วยชาม

พอร์ซเลนมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความแข็งแรง สวยงาม ด้านทานต่อการสึกกร่อน ไม่ละลายในช่องปาก และไม่เป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ คุณสมบัติที่เด่นอีกอย่างได้แก่ ความใสทำให้นำไปประดิษฐ์ฟันปลอมให้มีลักษณะใกล้เคียงฟันธรรมชาติได้

Leinfelder และ Lemons (1988) ได้แบ่งพอร์ซเลนทางทันตกรรมตามอุณหภูมิในการหลอมตัวได้ 3 ประเภท คือ

1. พอร์ซเลนหลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ 850-1100°C (1562-2030°F)
2. พอร์ซเลนหลอมตัวที่อุณหภูมิปานกลาง 1100-1300°C (2030-2372°F)
3. พอร์ซเลนหลอมตัวที่อุณหภูมิสูง 1300-1400°C (2372-2557°F)

พอร์ซเลนที่หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ ใช้ทำครอบฟัน สะพานฟัน วีเนียร์ ส่วนพอร์ซเลนที่หลอมตัวที่อุณหภูมิปานกลางและอุณหภูมิสูง ใช้ทำฟันพอร์ซเลนสำเร็จรูป

องค์ประกอบของพอร์ซเลน

โดยทั่วไปพอร์ซเลนทางทันตกรรมประกอบด้วย เฟลสปาร์ ควอทซ์ เคาลิน แต่สูตรที่แท้จริงแต่ละบริษัทจะไม่เปิดเผย จากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของพอร์ซเลน คือ เฟลสปาร์ ซึ่งมีอยู่ถึง 75-85% ควอทซ์ 12-22% เคาลิน 3-4% เม็ดสี 1% โดยจะมีสูตรเคมี คือ $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ เฟลสปาร์เมื่อได้รับความร้อนจะหลอมตัวเป็น glassy phase ทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์สำหรับควอทซ์

ควอทซ์ ทำให้เกิดความแข็งแรงแก่พอร์ซเลนที่ผ่านการเผาแล้ว ทั้งเฟลสปาร์ และควอทซ์จะต้องมีความบริสุทธิ์สูง ในขั้นตอนการผลิตทั้งเฟลสปาร์และควอทซ์จะถูกบดเป็นอนุภาคเล็ก ๆ

คาอลิน (ดินขาว) หรือ ไฮเดรต อลูมิเนียม ซิลิเกต ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม องค์ประกอบหลัก 2 ชนิดคือเฟลสปาร์และควอทซ์ก่อนทำการเผา การใช้ดินขาวมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

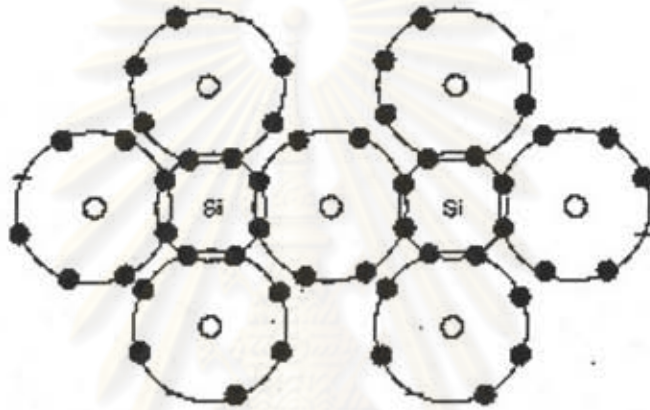
1. ช่วยยึดองค์ประกอบต่าง ๆ ให้เป็นรูปร่างก่อนนำไปเผา
2. ช่วยให้เกิดความทึบแสงของงานพอร์ซเลน

น้ำยาเคลือบ ประกอบด้วย ซิลิกา กับ สารช่วยหลอมละลาย เมื่อหลอมเหลวจะฉาบบนพื้นผิวของส่วนเนื้อฟันพอร์ซเลนด้วยแผ่นฟิล์มใสบาง ๆ คุณสมบัติของน้ำยาเคลือบคือ ใส ไม่มีสี ปิดรูพรุนของเนื้อฟัน น้ำยาเคลือบช่วยเพิ่มกำลังแรงสูงขึ้น และควรมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนเท่ากับเนื้อพอร์ซเลน แต่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า

เม็ดสี เป็นสารอนินทรีย์ประเภทเมทัลลิกออกไซด์ ที่ใส่ทั้งในเนื้อพอร์ซเลนหรือบนพื้นผิวของพอร์ซเลน หรืออาจผสมกับน้ำยาเคลือบ สีที่ใช้ผสมในฟันพอร์ซเลน ได้แก่ สีเหลือง ชมพู ขาว น้ำเงิน เทา น้ำตาล

โครงสร้างของพอร์ซเลน

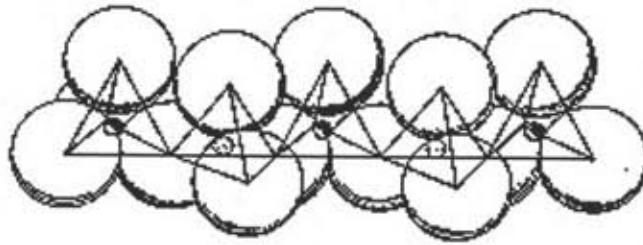
Mclean, Hubbard และ Kedge (1979) อธิบายว่า การบอนด์ระหว่างอะตอมของเนื้อพอร์ซเลนเป็นแบบไอออนิก และโควาเลนต์บอนด์ในโครงสร้างเตตระฮีดรอลของซิลิกอนกับออกซิเจน เชื่อมเป็นตาข่ายดังรูป (รูปที่ 8-10) อาจมีออกไซด์ของโลหะอื่นสอดแทรกระหว่างซิลิกอนกับออกซิเจน เพื่อให้ได้คุณสมบัติบางประการ เช่น โซเดียมออกไซด์ ทำหน้าที่เป็นสารช่วยหลอมละลาย ทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวต่ำลงโดยลดกำลังแรงยึดระหว่างซิลิกอนกับออกซิเจน



รูปที่ 8 แผนภาพแสดงการใช้อะตอมของออกซิเจนร่วมกันของอนุภาคซิลิกเกตที่อยู่ติดกัน



รูปที่ 9 แผนภาพแสดงโครงสร้างสามมิติของอนุภาคซิลิกเกต โดยอะตอมของซิลิกอนล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนสี่อะตอม



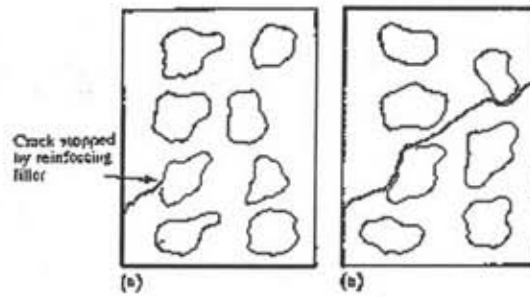
รูปที่ 10 แผนภาพแสดงโครงสร้างสามมิติของการเชื่อมต่อกันของอนุภาคซิลิเกต เป็น
ร่างแหในเนื้อแก้ว

รูปที่ 8, 9, 10 จาก Mclean, Hubbard และ Kedge; The Science and Art of Dental Ceramic
1979.)

กลสมบัติ

โครงสร้างของพอร์ซเลนที่ผ่านขบวนการเผาจะมีคุณสมบัติที่ไม่มีความเหนียว (nonductile) เมื่อมีการแตกหักจะแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ค่ากำลังแรงอัด (Compressive strength) จะมีค่าสูงกว่าค่ากำลังแรงดึง (tensile strength) และค่ากำลังแรงเฉือน (shear strength) ค่ากำลังแรงเฉือนจะต่ำเนื่องจากพอร์ซเลนขาดคุณสมบัติความยืดหยุ่น ค่ากำลังแรงดึงตามทฤษฎีจะเท่ากับค่ากำลังแรงดึงของเส้นใยแก้ว (glass fiber) คือมีค่าประมาณ 10,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื่องจากพื้นผิวของเส้นใยแก้วมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ แต่พื้นผิวของพอร์ซเลนมีลักษณะเป็นรอยร้าว (crack) เล็ก ๆ หรืออาจมีรูพรุน ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มของการเกิดรอยแตก โดยรอยร้าวจะเป็นจุดรวมความเค้น ถ้าโครงสร้างของพอร์ซเลนได้รับแรงดึงเค้น ความเค้นที่สะสมอยู่ตามรอยแตกจะช่วยส่งเสริมให้แรงดึงเค้นมีค่ามากกว่าปกติ ทำให้รอยแตกมีความลึกขึ้นจนถึงขั้นเกิดการแตกหักของพอร์ซเลนในทางตรงข้ามเมื่อพอร์ซเลนได้รับแรงกดเค้นรอยแตกจะไม่ขยายตัว และมีความต้านทานความเค้นดังกล่าว

การเพิ่มกำลังความแข็งแรงของฟันพอร์ซเลนให้สูงขึ้น วิธีที่นิยมใช้คือใส่วัสดุ
อัดแทรก โดยวัสดุอัดแทรกทำหน้าที่เป็นแกนให้เนื้อพอร์ซเลนจับ ด้วยวิธีนี้สามารถ
ต้านทานหรือชะดขวางการเกิดร้าวได้ วัสดุอัดแทรกที่ใช้ได้แก่ อะลูมินา (Al_2O_3) ผงอะลูมินา
มีมอดูลัสการยืดหยุ่นสูงกว่าควอทซ์จึงต้านทานการเกิดร้าวได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังมีจุด
หลอมเหลวสูงกว่าควอทซ์ สามารถทนได้ในอุณหภูมิสูงระหว่างการเผา เรียกผงฟันชนิดนี้ว่า
อะลูมินัส พอร์ซเลน แต่พบว่าถ้าใส่อะลูมินาในปริมาณสูง ผงอะลูมินาจะลดค่าความโปร่งแสง
ของฟัน พอร์ซเลน



รูปที่ 11 แสดงการยับยั้งการเกิดการกระจายของรอยร้าวในเนื้อพอร์ซเลน
อนุภาคอลูมินา ชนิดที่มี

จาก Mc Cabe; Applied Dental Materials, 1990.

Leinfelder และ Lemons (1988) ได้แสดงค่ากำลังแรงชนิดต่าง ๆ ของเฟลสปาร์ติก
พอร์ซเลนและอลูมินัสพอร์ซเลน ดังนี้

เฟลสปาร์ติกพอร์ซเลน

ค่ากำลังแรงอัด มีค่า 350-550 MPa (50,000-80,000 Psi)

ค่ากำลังแรงดึง/ปอก มีค่าประมาณ 34 MPa (5,000 Psi)

ค่ากำลังแรงเฉือน/ปอก มีค่าประมาณ 110 MPa (16,000 Psi)

และมีค่ากำลังดัดขวาง ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณความบิดเบี้ยวที่เกิดขึ้นก่อนการ
แตกหักหรือเรียกอีกอย่างว่า flexural strength ซึ่งมีค่า 30-70 MPa (4,300-10,000 Psi)

อลูมินัสพอร์ซเลน ประกอบด้วยผลึกอลูมินา 40-50%

ค่ากำลังดัดขวาง 135 MPa (20,000 Psi)

ค่ากำลังแรงเฉือน/ปอก มีค่า 145 MPa (21,000 Psi)

กายภาพสมบัติ

เจน รัตนไพศาล (2533) ได้อธิบายกายภาพสมบัติของพอร์ซเลนทางทันตกรรม ดัง
นี้

ก. สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามยาว $6.4-7.8 \times 10^{-6}$ /องศาเซลเซียส ต่ำกว่า
พันธธรรมชาติซึ่งมีค่า 11.4×10^{-6} /องศาเซลเซียส

ข. การละลายในกรดน้ำส้ม 4 เปอร์เซ็นต์ ละลายได้ 0.1-0.3 เปอร์เซ็นต์
ภายหลังบดให้เป็นผง แต่ไม่ปรากฏว่าละลายในน้ำลาย

ค. ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 2.35 ค่าความถ่วงจำเพาะนี้เปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อย ถ้ามีช่องว่างในเนื้อน้อยลง ช่องว่างนี้อาจทำให้น้อยลงได้อีก เช่น อัดให้แน่นขณะบั่นและเผา ในเตาสุญญากาศ

การเตรียมผิวพอร์ซเลน

พอร์ซเลนที่ผ่านขบวนการผลิตจากห้องปฏิบัติการ จะมีลักษณะผิวที่เรียบมัน มีลักษณะคล้ายผิวเคลือบพื้นธรรมชาติ ซึ่งมีข้อดีคือจะลดความเค้นบนผิวให้เหลือน้อยที่สุด ทำให้ลดโอกาสในการเกิดการแตกหัก โดยที่ความเค้นบนพื้นผิวจะมีค่าแปรตามความขรุขระบนพื้นผิวที่ปรากฏอยู่ มีผู้ที่ศึกษาถึงวิธีการในการเพิ่มแรงยึดของวัสดุยึดบนผิวพอร์ซเลน โดยการเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระ เพื่อให้เกิดแรงยึดแบบเกาะเกี่ยวเพิ่มขึ้น โดยมีวิธีการ ดังนี้

1. การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยวิธีเชิงกล
 - 1.1 การขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์
 - 1.2 การกรอด้วยหัวกรอกรีนสโตน
 - 1.3 การกรอด้วยหัวกรอกากเพชร
 - 1.4 การเป่าทราย
2. การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยกรด

การเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยวิธีเชิงกล

1. การขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์

Smith และคณะ (1988) ได้ศึกษาการยึดแบริกเกิดกับผิวพอร์ซเลน โดยเปรียบเทียบผลของการเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ 240 grit ร่วมกับการใช้ไซเลนไพรเมอร์ ผลพบว่าการเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยวิธีดังกล่าวโดยไม่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ จะให้ค่าแรงยึดที่น้อยกว่าแรงยึดแบริกเกิดกับผิวพื้น

Hayakawa และคณะ (1992) ได้ศึกษาค่าแรงยึดของคอมโพสิตกับผิวพอร์ซเลน โดยการเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยวิธีต่าง ๆ คือ ขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ 1000 grit, ขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ร่วมกับกรดไฮโดรฟลูออริก หรือร่วมกับแอซิดูเลตฟอสเฟต ฟลูออไรด์ จากการศึกษาพบว่าการขัดด้วยกระดาษซิลิกอนคาร์ไบด์ร่วมกับกรดไฮโดรฟลูออริก ให้แรงยึดสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ

2. การกรอด้วยหัวกรอกรีนสโตน

Wood และคณะ (1986), Kao และคณะ (1991) ศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงยึดติดแบรกก์เกิดโลหะบนผิวพอร์ซเลน กลุ่มที่ผ่านการกรอด้วยหัวกรอกรีนสโตนกับกลุ่มที่มีผิวเรียบมัน พบว่าค่าแรงยึดของกลุ่มที่มีผิวขรุขระจากการกรอด้วยหัวกรอกรีนสโตน จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีผิวเรียบมัน

Kao (1988) ศึกษาการแตกหักของพอร์ซเลนภายหลังการติบอนด์แบรกก์เกิด พบว่ากลุ่มที่เตรียมผิวให้ขรุขระด้วยหัวกรอกรีนสโตน เมื่อดูผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีลักษณะเป็นเส้นขีดขั้นระหว่างส่วนที่ถูกกรอให้หยาบกับส่วนที่เป็นผิวเรียบ และพบว่ากลุ่มนี้จะมีการแตกหักของผิวพอร์ซเลนภายหลังการติบอนด์แบรกก์เกิดมากกว่ากลุ่มที่มีผิวเรียบมัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Eustaguio (1988) ที่พบว่า การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยหัวกรอกรีนสโตน อาจทำให้เกิดรอยแตกเล็ก ๆ ซึ่งจะนำไปสู่การแตกหักของพอร์ซเลนภายหลังการติบอนด์

3. การกรอด้วยหัวกรอกากเพชร

Jochen และ Caputo (1977), Mc Caughey (1993) ได้ใช้หัวกรอกากเพชรชนิดหยาบ ในการเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระก่อนทำการยึดติดกับคอมโพสิตเรซิน พบว่าวิธีดังกล่าวช่วยเพิ่มค่าแรงยึดติดคอมโพสิตเรซิน โดย Mc Caughey กล่าวว่าแรงยึดดังกล่าวเป็น Macromechanical retention

4. การเป่าทราย (sand blasting)

Mc Caughey (1993) ได้อธิบายวิธีการเป่าทราย ดังนี้

การใช้งานในห้องปฏิบัติการ

เครื่องเป่าทรายเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางทันตกรรมมาเป็นเวลานานหลายปี เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ง่าย ราคาถูก และใช้กำจัดอินเวสเมนต์ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 25, 50 หรือ 110 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังอาจใช้ในการเตรียมผิวของโลหะก่อนขบวนการทำความสะอาดด้วยไอน้ำ, การตีก๊าซ และทาผงพอร์ซเลนชนิดทึบแสง ตามลำดับ วิธีการเป่าทรายยังใช้ในการเตรียมผิวโลหะของแอตชีสพริตจ์ ในส่วนที่จะทำการยึดติดกับผิวฟันด้วยซีเมนต์ให้มีความขรุขระ การเป่าทรายที่บริเวณด้านในของครอบฟันก่อนทำการยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟต ซีเมนต์ พบว่าช่วยเพิ่มการยึดติดมากกว่าการใช้ glass bead หรือ pickling solution

เครื่องมือเป่าทรายในห้องปฏิบัติการ ได้มีการพัฒนาให้มีส่วนปลายที่ใช้งานมีขนาดเล็ก หรือมีลักษณะคล้ายดินสอด่ ซึ่งจะช่วยในการควบคุมการทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น พื้นผิวโลหะที่ผ่านการเป่าทรายจะตรวจสอบได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์และไม่ต้องนัดคนไข้มาลองอีกหลายครั้ง เหมือนแม่รีแลนด์พริตจ์ที่ผ่านการเอ็ทซ์

ด้วยไฟฟ้า (electrolytically etch) บริเวณที่ผ่านการเป่าทรายมาใหม่ ๆ แต่ยังไม่ได้ทำการยึดติดด้วยซีเมนต์ทันที สามารถเก็บไว้ในน้ำกลั่นโดยที่ค่าแรงยึดแทบไม่เปลี่ยนแปลง

การใช้งานทางคลินิก

การเป่าทรายเป็นวิธีการที่สะดวกในการกำจัดซีเมนต์เก่าจากครอบฟันที่หลุด หรือจากแอตฮีสฟบริดจ์ที่หลุด ก่อนที่จะทำการยึดติดด้วยซีเมนต์อีกครั้ง การเป่าทรายยังใช้ในการเตรียมผิวแอตฮีสฟบริดจ์ที่ทำเสร็จใหม่ ๆ ด้วย ในการเป่าทรายจะต้องระมัดระวังอันตรายที่จะเกิดกับขอบของครอบฟันหรือพื้นผิวพอร์ซเลน มีข้อแนะนำให้ป้องกันบริเวณเหล่านี้ด้วยเทปกาวอโตเคลฟ โดยพันเทปนี้รอบครอบฟันและคลุมบริเวณขอบของครอบฟันประมาณ 1-2 มม.

เครื่องเป่าทรายยังใช้ในการแก้ไขบริเวณสบฟันส่วนที่เป็นโลหะของครอบฟันหรือสะพานฟัน เพื่อให้มีการสบฟันที่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังใช้การเป่าทรายในการซ่อมแซมสะพานฟันที่แตกหัก โดยใช้ในช่องปากของคนไข้เพื่อเตรียมผิวพอร์ซเลนที่แตกหักให้มีความขรุขระมากขึ้น เพื่อเพิ่มแรงยึดของวัสดุที่ใช้ซ่อมแซมกับผิวพอร์ซเลน

ปัจจุบันได้มีเครื่องเป่าทรายหลายชนิดที่ใช้ในช่องปากได้ เช่น เครื่องไมโครเอทเซอร์ ของบริษัทแคนวิลล์ สหรัฐอเมริกา ซึ่งใช้แรงดันอากาศ 60-100 Psi ใช้ลมจากแก๊สทำฟัน Zachrisson (1993) ได้แนะนำให้ใช้เวลาในการเป่าทรายนาน 3 วินาที โดยมีผงให้เลือกใช้ 2 ขนาด คือ ผงอลูมิเนียมออกไซด์ ขนาด 50 ไมโครเมตร มีสีขาว, ผงขนาด 90 ไมโครเมตร มีสีแทน เครื่องมือยี่ห้อนี้ได้รับการรับรองจาก American Food and Drug Administration Agency ว่าเป็นเครื่องมือแพทย์ที่ใช้ในช่องปากได้

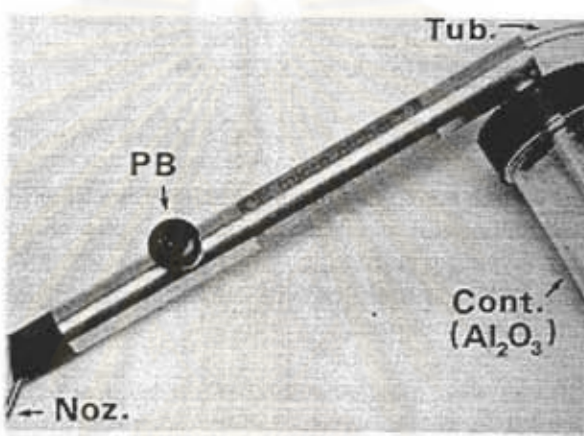
สิ่งที่ควรระวังคือจะต้องมีการป้องกันที่เหมาะสม โดยจะต้องใส่แว่นตากันฝุ่นให้แก่คนไข้ ทันตแพทย์และผู้ช่วย ร่วมกับการใช้แผ่นยางกันน้ำลาย แยกบริเวณที่เป่าทราย พร้อมมีการใช้เครื่องดูดน้ำลายความดันสูง นอกจากนี้ควรมีการใส่ผ้าปิดจมูกแก่คนไข้เพื่อป้องกันการหายใจเอาผงอลูมิเนียมออกไซด์เข้าไป

Wolf และ คณะ (1993) ศึกษาพบว่าเมื่อทำการเป่าทรายบนผิวพอร์ซเลน โดยใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาดต่าง ๆ ความขรุขระของผิวพอร์ซเลนจะมีค่ามากขึ้นเป็นสัดส่วนกับขนาดผงอลูมิเนียมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงยึดของวัสดุยึดกับผิวพอร์ซเลน กับความขรุขระของผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเป่าทรายด้วยผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาดต่าง ๆ (10.2 ไมโครเมตร, 33.5 ไมโครเมตร, 48 ไมโครเมตร)

Wolf ยังได้เปรียบเทียบค่าแรงยึดของคอมโพสิตกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยการเป่าทราย จากเครื่องเป่าทรายต่างบริษัท และผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาดใกล้เคียงกัน คือ เครื่อง K.C. Abrasive ใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 48 ไมโครเมตร และเครื่องไมโครเอทเซอร์ใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมโครเมตร พบว่าผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเป่าทรายด้วยเครื่องมือประเภทหลัง จะมีความขรุขระของพื้นผิวมากกว่าและให้

ค่าแรงยึดกับวัสดุยึดสูงกว่า แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ คำอธิบายสำหรับผลการทดลองดังกล่าวคือ แม้จะใช้ผงอลูมิเนียมออกไซด์ขนาดใกล้เคียงกัน ใช้ความเร็วและมุมในการเป่าทรายเท่า ๆ กัน แต่ว่าผงขนาด 50 ไมโครเมตร จะมีลักษณะเป็นมุมแหลมคม ส่วนผงขนาด 48 ไมโครเมตรมีลักษณะมนกลม ทำให้ประสิทธิภาพในการทำผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระมีต่างกัน

Bertolotti, Lacy และ Watanabe (1989) ให้เหตุผลสำคัญอีกอย่างในการเลือกใช้เครื่องเป่าทราย แทนการใช้หัวกรอกกากเพชรในการเตรียมผิวพอร์ซเลน เนื่องจากการใช้เครื่องเป่าทรายจะให้แรงยึดติดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนสูงกว่าการใช้หัวกรอกกากเพชร



รูปที่ 12 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไมโครเอทเซอร์ ท่ออากาศ (Tub) จะเชื่อมกับแหล่งกำเนิดแรงดันอากาศ โดยมีปุ่มที่ใช้ควบคุม (PB) เพื่อควบคุมแรงดันของผงขัดที่มีขนาด 50 หรือ 90 ไมครอน โดยผงขัดจะผ่านจากส่วนที่บรรจุ (Cont) และผ่านออกจากเครื่องมือที่บริเวณปลายเครื่องมือ (Nozz)

จาก Zachrisson และ Buyukgilmaz; J. Clinial Orthod, 27 (1993).

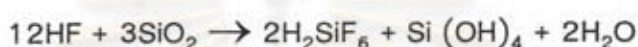
การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยกรด

Rochette (1975) เป็นผู้ริเริ่มแนวคิดในการใช้กรดกัดผิวพอร์ซเลน เพื่อให้ผิวพอร์ซเลนมีลักษณะที่ขรุขระ จากนั้นนำชิ้นพอร์ซเลนมาบурณะปลายฟันตัดที่แตกหักของผู้ป่วย โดยมีไซเลนไพรเมอร์เป็นตัวช่วยเพิ่มแรงยึด Simmons และ Calamia (1983) ได้พัฒนาแนวคิดดังกล่าวจนเกิดการบурณะฟันด้วยพอร์ซเลนวีเนียร์

Hsu, Stangel และ Nathanson (1985) Calamia และ Simmons (1984) พบว่าค่ากำลังแรงเฉือนในการยึดคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีค่ามากเป็นหลายเท่าของค่าแรงยึดบนผิวพอร์ซเลนที่เรียบมัน ผิวพอร์ซเลน

ที่ผ่านการกัดด้วยกรดจะมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็ก ๆ เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเมื่อดูจากลักษณะทางคลินิกจะมีลักษณะเป็นฝ้าขาวเหมือนผิวเคลือบฟันที่ผ่านการกัดด้วยกรดฟอสฟอริก

Edris และคณะ (1990) อธิบายว่า พอร์ซเลนมีคุณสมบัติที่ถูกละลายได้ด้วยกรด ซึ่งกรดที่ใช้จะต้องมีฟลูออไรด์ไอออน (F^-) และไฮโดรเจนไอออน (H^+) เป็นองค์ประกอบ เช่น แอซิติกเลดฟอสเฟตฟลูออไรด์ (APF) หรือกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยฟลูออไรด์ไอออนจะทำลายการยึดติดระหว่างอะตอมซิลิกอนและออกซิเจน ทำให้เกิดลักษณะผิวพอร์ซเลนที่เป็นรู โดยมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้



ดังนั้น กรดที่ใช้กัดผิวเคลือบฟันธรรมชาติในขบวนการเอ็ทซิ่ง ซึ่งได้แก่กรดฟอสฟอริก 37% หรือน้ำยาบ้วนปากที่มี stannous fluoride เป็นองค์ประกอบ หรือสารที่เตรียมจากฟลูออไรด์ธรรมชาติที่ใช้ในการป้องกันฟันผุ จะไม่มีผลต่อลักษณะผิวพอร์ซเลน Wunderich และ Yamani (1986) พบว่าลักษณะผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วย 1.23% APF และ 8% SnF_2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และไม่พบความแตกต่างของลักษณะผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วย 0.05%, 0.2%, 2% NaF และ 0.4% SnF_2

KaO และคณะ (1991) ศึกษาลักษณะผิวพอร์ซเลนวีเนียร์ภายหลังทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกนาน 3 นาที โดยชิ้นงานที่ศึกษาเตรียมจากพอร์ซเลน 2 ชนิด คือ ไฮอลูมินา พอร์ซเลน (Vitadur-N) และเฟลสปาร์ติก พอร์ซเลน (Ceramco II) ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า พื้นผิวของเฟลสปาร์ติก พอร์ซเลน มีลักษณะเป็นรูพรุนมาก, ผิวขรุขระ และพบอนุภาคของควอทซ์ขนาดใหญ่บนพื้นผิว

พื้นผิวของไฮอลูมินา พอร์ซเลน มีลักษณะเรียบ, รูพรุนจะตื้นกว่า และพบอนุภาคขนาดเล็กบนพื้นผิว

Sorrensen และคณะ (1991) ได้อธิบายว่ากรดไฮโดรฟลูออริกจะเลือกละลายกลาสเมตริกซ์ของพอร์ซเลน ซึ่งเฟลสปาร์ติก พอร์ซเลนจะมีส่วนที่เป็นกลาสเมตริกซ์อยู่ในปริมาณที่มากกว่าไฮอลูมินา พอร์ซเลน ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวได้มากและเด่นชัดกว่ากลุ่มไฮอลูมินา พอร์ซเลนซึ่งมีอนุภาคของอลูมินาอยู่ถึง 40-50% อนุภาคดังกล่าวจะต้านทานต่อการถูกละลายของกรดไฮโดรฟลูออริก ดังนั้นการจะทำให้พื้นผิวของไฮอลูมินา พอร์ซเลนมีความขรุขระเพียงพอสำหรับการยึดติดจะต้องการใช้วิธีการเป่าทราย

กรดที่ใช้ในการเตรียมผิวพอร์ซเลน มี 2 ชนิด

1. แอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ (Acidulated-phosphate fluoride) [APF]
2. กรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric acid) [HF]

แอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ เป็นสารละลายฟลูออไรด์สำหรับใช้เฉพาะที่ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน สารละลายนี้มีความเป็นกรดจะช่วยให้เคลือบฟันได้รับฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น และฟอสเฟตที่เกินจะมีผลลดการละลายของเคลือบฟัน และสร้างแคลเซียมฟลูออไรด์ APF จะช่วยให้เกิดการสะสมฟลูออไรด์ในผิวเคลือบฟันมากกว่าสารละลายฟลูออไรด์ชนิดอื่น

การใช้ APF กับผิวพอร์ซเลนพบว่า จะทำให้เกิดรูพรุนที่ผิวพอร์ซเลนและมีการตกผลึกบนผิวพอร์ซเลนด้วย การตกผลึกของฟลูออไรด์จะมีมากขึ้นเมื่อมีความเป็นกรดมาก และมีฟลูออไรด์ในปริมาณสูง แต่ความเข้มข้นของ APF ที่นิยมใช้กันมาก คือ 1.23% APF

กรดไฮโดรฟลูออริก เป็นสารเคมีอีกชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพื้นผิวพอร์ซเลนให้มีลักษณะเป็นรูพรุน เนื่องจากมีองค์ประกอบเป็นไฮโดรเจนอออน และฟลูออไรด์อออน มีผู้ศึกษาถึงลักษณะพื้นผิวพอร์ซเลนที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อใช้กรดไฮโดรฟลูออริกที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน หรือใช้เวลาที่แตกต่างกัน

Stangel, Nathanson และ Hsu (1987) ศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 52% ทาบนผิวพอร์ซเลนนาน 90 วินาที กับการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 20% นาน 2.5 นาที พบว่ามีความแตกต่างของลักษณะผิวพอร์ซเลนในระดับจุลภาค โดยพบว่า

กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 52% จะละลาย glassy phase ของผิวพอร์ซเลน

กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 20% จะละลาย crystalline phase ของผิวพอร์ซเลน

การศึกษาของ Wolf และคณะ (1993) พบว่า การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ที่อุณหภูมิ 23°C ทาบนผิวพอร์ซเลนในเวลาที่ต่างกัน คือ 30, 60, 150, 300 วินาที พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทากรดไฮโดรฟลูออริก ความขรุขระของผิวพอร์ซเลนจะมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ค่าแรงยึดของคอมโพสิตกับผิวพอร์ซเลนกลุ่มที่ผ่านการทากรดไฮโดรฟลูออริกในช่วงเวลา 60, 150, 300 วินาที ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ทาไฮโดรฟลูออริกนาน 30 วินาที

Mc Caughey (1993) กล่าวว่า การทำผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก จะทำให้เกิดแรงยึดติดแบบ micromechanical retention

ปัจจุบันมีกรดไฮโดรฟลูออริกจำหน่ายอยู่หลายบริษัท ในความเข้มข้นที่ต่างกันไปด้วย เช่น

1. Ceram Etch (9.5% HF) ของบริษัท Gresco Products, Stafford, Texas
2. Stripit (20% HF) ของบริษัท National Keystone Products, Philadelphia, Pennsylvania

3. Pulpdent (9.6% HF) ของบริษัท Pulpdent, Watertown, Mass.

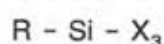
4. Ultradent Porcelain Etch (9.5% HF) ของบริษัท Ultradent Product Utah

จะเห็นว่าความเข้มข้นที่บริษัทผู้ผลิตจัดจำหน่ายส่วนใหญ่ จะมีความเข้มข้นประมาณ 10% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่นิยมใช้กันทั่วไปในการเตรียมผิวพอร์ซเลน การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกมีสิ่งที่ควรระวัง เนื่องจากความเป็นพิษของกรด การใช้งานจะต้องมีการใช้แผ่นยางกันน้ำลายแยกบริเวณที่ทำงาน และจะต้องมีการใช้เครื่องดูดน้ำลายที่มีแรงดูดสูงร่วมด้วย

ไซเลนไพรมเมอร์

Noort (1994) อธิบายว่า การยึดวัตถุสองชนิดที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันให้ติดกันในสภาวะปกติ เป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยาก เพราะโดยธรรมชาติวัตถุทั้งสองจะไม่มีแรงดึงดูดเข้าหากัน และไม่สามารถทำให้พื้นผิวของวัตถุตรงข้ามมีลักษณะเปียก การยึดติดจะต้องใช้สารเคมีซึ่งมีคุณสมบัติที่จะเกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างวัตถุทั้งสอง เรียกว่าสารดังกล่าวว่า คัปปลิงเอเจนต์ และถ้ามีการใช้สารนี้ในการเตรียมผิวของวัตถุก่อน จะเรียกว่าเป็น ไพรมเมอร์

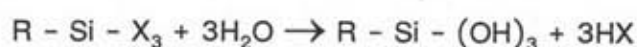
ในปี ค.ศ. 1962 Bowen และ Rodrique ได้ผลิตวัสดุทันตกรรมชนิดใหม่ คือ คอมโพสิตเรซิน โดยการใช้สารคัปปลิงเอเจนต์ เคลือบบนผิวของผลึกแก้วซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเติม คัปปลิงเอเจนต์จะแทนที่น้ำบนผิวแก้ว และทำให้เกิดแรงยึดทางเคมีที่แข็งแรงระหว่างออกไซด์กรุปบนผิวแก้ว กับโพลีเมอร์โมเลกุลของเรซินซึ่งทำหน้าที่เป็นเมตริกซ์ ไซเลนคัปปลิงเอเจนต์หรือไซเลนไพรมเมอร์ เป็นคัปปลิงเอเจนต์ที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง Noort (1994) ได้แสดงสูตรโครงสร้างของไซเลนไพรมเมอร์ ดังนี้



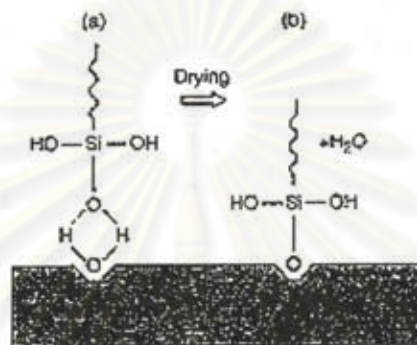
R หมายถึง ออกแกโนฟังก์ชันแนลกรุป เช่น $-(CH_2)_2$

X หมายถึง ไฮโดรไลเซเบิลกรุป เช่น $-OCH_3$ หรือ $-OC_2H_5$

โดย X จะเป็นกลุ่มที่อยู่ชั่วคราวเท่านั้น และถูกไฮโดรไลส์เกิดเป็นไซลานอล โดยมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้



ไฮดรอกซิลที่ ซิลานอล จะเข้าแทนที่ตำแหน่งน้ำบนผิวแก้วโดยเกิดไฮโดรเจนบอนด์กับไฮดรอกซิลกรุปบนผิวแก้ว เมื่อซิลเลนไพรเมอร์ที่เคลือบผิวแก้วแห้งจะเกิดคอนเดนเซชันระหว่างซิลานอลกับพื้นผิว และจะไม่เกิดไฮโดรไลซิสอีกต่อไป จากนั้นเมื่อนำเรซินมาสัมผัสกับผิวแก้วที่เคลือบซิลเลนไพรเมอร์ไว้ ออกแกโนฟังก์ชันแนลกรุป (R) จะทำปฏิกิริยากับเรซินเกิดแรงยึดที่แข็งแรง สิ่งที่สำคัญคือออกแกโนฟังก์ชันแนลกรุปจะต้องถูกเลือกใช้ให้เหมาะกับชนิดของเรซิน



รูปที่ 13 แสดงพันธะไฮโดรเจนระหว่างซิลเลนกับพื้นผิวที่มีไฮดรอกซิลกรุป (a) ภายหลังจากที่พื้นผิวแห้งจะเกิดพันธะโควาเลนต์ และปลดปล่อยน้ำออกมา Noort; Introduction to dental materials, 1994.

แรงยึดดังรูปที่ 14 จะมีความแข็งแรงมากเนื่องจากออกแกโนฟังก์ชันแนลกรุปมีความสั้นมาก แต่แรงเครียด (strain) ที่เกิดจากการหดตัวของวัสดุขณะบ่มตัว (polymerization) หรือเกิดจากการหดตัวขณะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้แรงยึดบริเวณนี้ล้มเหลว ซึ่งอาจแก้ไขโดยทำให้ออกแกโนฟังก์ชันแนลกรุปมีความยาวของโมเลกุลเพียงพอที่จะเกิดความยืดหยุ่นได้ ซิลเลนไพรเมอร์ที่ใช้กันมากมี 2 ชนิด คือ

- γ -amino propyltriethoxy silane
- γ -mercapto propyl trimethoxy silane

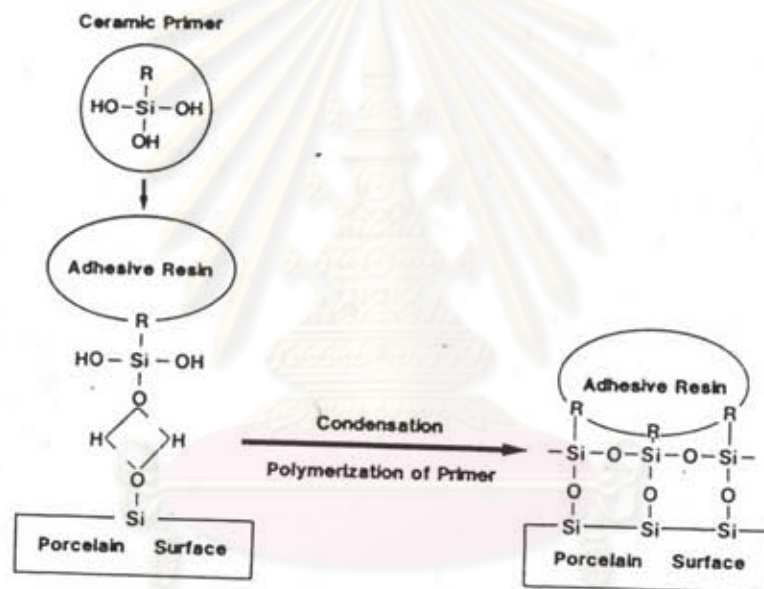
จากหลักการดังกล่าว ได้มีการนำซิลเลนไพรเมอร์มาใช้ในการช่วยยึดวัสดุคอมโพสิตเรซินกับผิวฟอร์ซเลน โดย Paffenbarger, Sweeney และ Bowen (1967) Semmelman และ Kulp (1968) ได้ใช้ซิลเลนไพรเมอร์ในขบวนการทันตกรรมประดิษฐ์ โดยใช้ยึดฟันฟอร์ซเลนสำเร็จรูปกับฐานฟันปลอมที่ทำจากอคริลิก

Eames และ Rogers (1979) Ferrando และคณะ (1983), ในรายงานทันตกรรมบูรณะ ได้ใช้ไซเลนไพรเมอร์ในการบูรณะผิวพอร์ซเลนของครอบฟันและสะพานฟันที่แตกหัก การศึกษาให้ผลสอดคล้องกันว่า ไซเลนไพรเมอร์ทำให้เกิดแรงยึดที่สูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกหักของเนื้อพอร์ซเลน แทนที่จะเกิดการแตกหักบริเวณที่เชื่อมแซม

Newman (1983) ได้อธิบายถึงพันธะเคมีที่เกิดระหว่างไซเลนไพรเมอร์กับผิวพอร์ซเลนและอคริลิกเรซิน โดยกล่าวว่าไซเลนไพรเมอร์มีสูตรเคมีที่ปลาย 2 ด้าน

1. ปลายด้านที่เป็นไฮโดรไลเซเบิลกรุป จะทำปฏิกิริยากับอินออร์แกนิกซัลเฟตของพอร์ซเลนทางทันตกรรม

2. ปลายด้านออร์แกนิกซัลเฟตกรุป จะทำปฏิกิริยากับวัสดุยึด เช่น อีพอกซี อคริลิก หรืออคริลิก



รูปที่ 14 แสดงการเกิดพันธะเคมีระหว่างไซเลนไพรเมอร์ กับวัสดุยึดชนิดเรซินและผิวพอร์ซเลน Rada, J. Prothet Dent. 65 (1991)

Lu และคณะ (1992) กล่าวว่า การยึดติดของไซเลนไพรเมอร์บนผิวพอร์ซเลน เกิดจากการที่มีซิลิกาจำนวนมากในพอร์ซเลน ทำให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างไซเลนไพรเมอร์กับพอร์ซเลน โดยไซเลนไพรเมอร์จะเกิดไฮโดรไลซิสและซึมบนผิวพอร์ซเลน และมีโควาเลนต์บอนด์ระหว่างไซเลนไพรเมอร์กับเรซินเมตริกซ์

ไซเลนไพรเมอร์แบ่งตามการใช้งานได้ 2 ประเภท ได้แก่

1. ไซเลนไพรเมอร์ชนิดที่ยังไม่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Non Hydrolyzed silane primer)
2. ไซเลนไพรเมอร์ชนิดที่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Pre Hydrolyzed silane primer)

1. ไชเลนไพรเมอร์ชนิดที่ยังไม่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Non Hydrolyzed silane primer)

ไชเลนไพรเมอร์ชนิดนี้ ส่วนของไฮโดรไลเซเบิลกรุ๊ปยังไม่ผ่านขั้นตอนไฮโดรไลส์ ทำให้ไม่มีคุณสมบัติในการยึดติดกับผิวฟอร์ชเลนได้ เมื่อจะใช้งานทันตแพทย์จะเป็นผู้ทำการไฮโดรไลส์ โดยใช้กรดฟอสฟอริกทาบนผิวฟอร์ชเลนก่อนจากนั้นทาไชเลนไพรเมอร์ทับกรดจะเป็นตัวกระตุ้นให้ไชเลนไพรเมอร์เกิดไฮโดรไลซิส การที่ผลิตไชเลนไพรเมอร์ชนิดนี้ขึ้นเนื่องจากผู้ผลิตพบว่าถ้าไชเลนไพรเมอร์ถูกไฮโดรไลส์แล้วจะมีอายุการใช้งานสั้น ซึ่งสนับสนุนโดยการศึกษาของ Semmelman และ Kulp (1968) Newburg และ Pameiger (1978) ซึ่งกล่าวว่า ไชเลนไพรเมอร์ที่เก็บไว้นานหรือถูกกระตุ้นทางเคมีแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพในการยึดติดกับฟอร์ชเลนลดลง

ตัวอย่างของไชเลนไพรเมอร์ชนิด non hydrolyzed ได้แก่

1. ฟอร์ชเลน รีแพร์ ไพรเมอร์ ของบริษัทเคอร์ สหรัฐอเมริกา
2. ออมโก้ ฟอร์ชเลนบอนดิง ไพรเมอร์ ของบริษัทออมโก้ สหรัฐอเมริกา
3. เคลียร์ฟิลล์ ฟอร์ชเลนบอนด์ ของบริษัทคูราเรย์ ญี่ปุ่น

Culler, Krueger และ Joos (1986) พบว่า ไชเลนไพรเมอร์ของบริษัทเคอร์ เมื่อถูกไฮโดรไลส์แล้วจะมีอายุการใช้งานเพียงสามสัปดาห์เท่านั้น

เคลียร์ฟิลล์ ฟอร์ชเลนบอนด์ เป็นไชเลนไพรเมอร์ชนิดที่ยังไม่ผ่านการไฮโดรไลส์ ที่มีสององค์ประกอบ (two components system) แต่ในการใช้งานจะไม่ใช้กรดฟอสฟอริกในการกระตุ้นให้เกิดไฮโดรไลส์ แต่จะใช้คะตะลิสต์ซึ่งอยู่แยกอีกขวดหนึ่ง เมื่อจะใช้งานจะนำมาผสมกับไชเลนไพรเมอร์ (ที่อยู่ในขวดที่ติดฉลากว่า แอคติเวเตอร์) ทำการผสมนาน 5 วินาที ไชเลนไพรเมอร์จะถูกกระตุ้นให้มีประสิทธิภาพในการยึดติด จากนั้นนำไปทาบนผิวฟอร์ชเลน ไชเลนไพรเมอร์ชนิดนี้ต่างจากไชเลนไพรเมอร์อื่น คือ ในส่วนประกอบจะมี resin ผสมอยู่ด้วย โดย Berlotti และคณะ (1989) แสดงองค์ประกอบภายในว่าประกอบด้วย Bis-GMA (hydrophobic resin), HEMA (hydroxyethyl methacrylate), phosphate monomer (MDP) และไชเลน

2. ไชเลนไพรเมอร์ชนิดที่ผ่านการไฮโดรไลส์ (Pre Hydrolyzed silane primer)

Culler และคณะ (1986) กล่าวว่า จากปัญหาเรื่องไชเลนไพรเมอร์มีอายุการใช้งานที่สั้น ภายหลังถูกไฮโดรไลส์แล้วทำให้ผู้ผลิตของบริษัทสามเอ็มค้นคว้าหาวิธีการที่จะยืดอายุการใช้งานไชเลนไพรเมอร์ที่ผ่านการไฮโดรไลส์แล้ว จนได้ผลิตภัณฑ์ที่ชื่อสก็อตซ์ไฟร์ม เซรามิก ไพรเมอร์ ซึ่งเป็นไชเลนไพรเมอร์ชนิดที่เกิดไฮโดรไลส์แล้ว โดยมีอายุการใช้งานที่มากกว่า 1 ปี และจะมีอายุการใช้งานที่นานถึง 2 ปี เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4°C อย่างไรก็ตาม มีผู้ที่พบว่า มีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพของสก็อตซ์ไฟร์ม เซรามิก ไพรเมอร์ จะลดลงเมื่อเก็บ

ไว้นาน เนื่องจากเกิดการรวมตัวของไซเลนไพโรเมอร์เป็นมวลสารที่มีจำนวนโมเลกุลมาก คือ polymethacryloxy-propyl-silsesquioxane oligomer

Nicholas (1988), Lu และคณะ (1992) พบว่า ประสิทธิภาพในการยึดติดของ สก๊อตซ์ไพร์ม เซรามิก ไพโรเมอร์ มีมากกว่าฟอร์ซเลน รีแพร์ ไพโรเมอร์ ซึ่งประสิทธิภาพที่ ต่างกันนี้อาจอธิบายด้วยการศึกษาของ Culler และคณะ (1986) ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการ ยึดติดของไซเลนไพโรเมอร์จะสัมพันธ์กับระดับของไฮโดรไลซิส คือ ถ้าไซเลนไพโรเมอร์ได้รับการ ไฮโดรไลส์มาก ก็จะทำให้ไซเลนไพโรเมอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น การที่ฟอร์ซเลน รีแพร์ ไพโรเมอร์ ให้แรงยึดที่น้อยกว่าอาจเนื่องจากความไม่สมบูรณ์ในการเกิดไฮโดรไลซิส ซึ่งเป็นความผันแปร ในขณะที่ทันตแพทย์ทำการดฟอสฟอริกบนผิวฟอร์ซเลน ส่วนสก๊อตซ์ไพร์ม เซรามิก ไพโรเมอร์ ได้ผ่านการไฮโดรไลส์แล้ว จึงไม่มีความผันแปรในขณะไฮโดรไลส์เกิดขึ้น

การศึกษาของ Gregory, Hager และ Powers (1988) สนับสนุนการศึกษาข้างต้น โดยกล่าวว่าไซเลนไพโรเมอร์ที่มี 2 องค์ประกอบไม่น่าเชื่อถือในระยะยาวในการใช้งานเท่า ไซเลนไพโรเมอร์ที่มีองค์ประกอบเดียว

Anagnostopoulos, Eliades, Palaghias (1993) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของ สก๊อตซ์ไพร์ม เซรามิก ไพโรเมอร์ พบว่าประกอบด้วย γ -methacryloxy propyltrimethoxy silane (γ -MPTS) โดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย และมีกรดอะซิติกทำหน้าที่ปรับความเป็น กรดต่างให้ได้ PH4 และช่วยเป็นคะตะลิสต์ในการเกิดไฮโดรไลซิสและเกิดคอนเดนเซชัน และยังพบว่าสก๊อตซ์ไพร์ม เซรามิก ไพโรเมอร์จะมี γ -MPTS ในระดับความเข้มข้นต่ำ เพื่อเป็น การป้องกันการเกิดคอนเดนเซชัน ส่วนไซเลนไพโรเมอร์ชนิดที่มีสององค์ประกอบ เมื่อผ่านการ ไฮโดรไลส์จะมี γ -MPTS ในปริมาณมาก ทำให้มีแนวโน้มที่จะเกิดคอนเดนเซชันแทนที่จะเกิด พันธะเคมีกับพื้นผิววัตถุ และยังอธิบายว่าการที่ไซเลนไพโรเมอร์ในปัจจุบันนิยมใช้ γ -MPTS เป็น องค์ประกอบ เพราะว่า γ -MPTS มี methacrylate group ที่เข้าได้ดีกับ dimethacrylate ของ คอมโพสิตเรซิน และเมื่อเกิดไฮโดรไลซิสหรือคอนเดนเซชัน จะเกิดเมทานอลที่มีอุณหภูมิระเหย ต่ำ

Anagnostopoulos(1993) ยังพบว่า เมื่อไซเลนอลของไซเลนไพโรเมอร์ที่ผ่านการ ไฮโดรไลส์ เกิดคอนเดนเซชันจะมีลักษณะเป็น linear oligomer ส่วนของชนิด two components silane primer จะมีลักษณะเป็น cyclic tetramer ซึ่ง liner oligomer จะมีคุณสมบัติเป็นคัปปลิง เอเจนต์มากกว่า cyclic tetramer

การยึดฟอร์ซเลนให้ติดกับคอมโพสิตเรซิน นอกจากจะใช้ไซเลนไพโรเมอร์เพื่อเพิ่ม แรงยึดทางเคมีแล้ว ยังมีผู้ที่ทำการศึกษางานท่านคิดว่า การเตรียมผิวฟอร์ซเลนให้ขรุขระก่อน อาจช่วยเพิ่มค่าแรงยึดให้สูงขึ้น วิธีการเตรียมผิวดังกล่าวได้แก่ การกรอผิวให้ขรุขระด้วยหัวกรอ กากเพชร ด้วยหัวกรอกรีนสโตน ใช้การเป่าทราย หรือใช้กรดทาผิวฟอร์ซเลน

Lu และคณะ (1992) ศึกษาพบว่า การเตรียมผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยการทาด้วยกรด จะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับพอร์ซเลน และทำให้เกิด micro-undercut ซึ่งจะช่วยเพิ่ม micromechanical interlocking ระหว่างคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลน

การใช้ไซเลนไพรเมอร์ร่วมกับผิวพอร์ซเลนที่ถูกเตรียมให้ขรุขระ ไซเลนไพรเมอร์จะช่วยเพิ่มค่าแรงยึดด้วย 2 กลไก คือ

1. ช่วยทำให้เกิดแรงยึดทางเคมีระหว่างคอมโพสิตเรซิน และผิวพอร์ซเลน
2. ไซเลนไพรเมอร์ช่วยเพิ่มความเปียกกับผิวพอร์ซเลน ซึ่งจะช่วยให้การไหลของคอมโพสิตเรซินเข้าไปในบริเวณที่มี micro-undercut จากการใช้กรดทาผิวพอร์ซเลน ซึ่งสนับสนุนการศึกษาของ

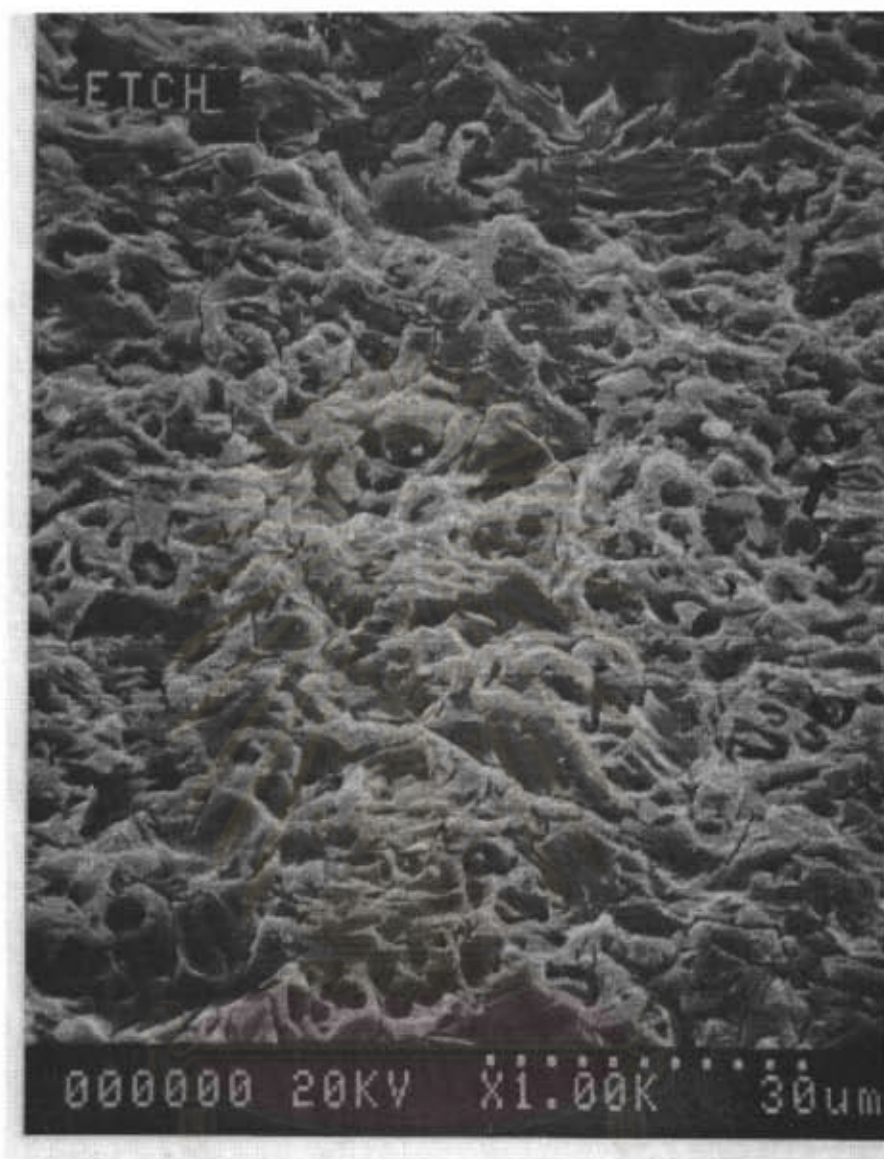
Sheath และคณะ (1988) ได้ศึกษาพื้นผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และพื้นผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและทาด้วยไซเลนไพรเมอร์ โดยศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการศึกษาพบว่าพื้นผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจะมีลักษณะขรุขระ เป็นรูพรุน และถึงแม้ทาด้วยไซเลนไพรเมอร์ลักษณะพื้นผิวก็ยังมีรูพรุนอยู่ โดยไม่ถูกอุดตันด้วยไซเลนไพรเมอร์ ดังรูปที่ 15, 16

Garber (1988) ได้กล่าวถึงการศึกษาของ Dan Nathanson ซึ่งพบว่าจากการศึกษาภาพตัดขวางของบริเวณรอยยึดระหว่างคอมโพสิตเรซิน กับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีต่าง ๆ ผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 17, 18, 19 พบว่า

รูปที่ 17 กลุ่ม 1 ผิวพอร์ซเลนที่ไม่ผ่านการทาดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และไม่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ พบว่า จะมีช่องว่างอยู่ระหว่างคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลน

รูปที่ 18 กลุ่ม 2 ผิวพอร์ซเลนที่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ แต่ไม่ผ่านการทาดด้วยกรดจะมีช่องว่างระหว่างคอมโพสิตเรซินและผิวพอร์ซเลน แต่ช่องว่างที่พบจะน้อยกว่ากลุ่ม 1

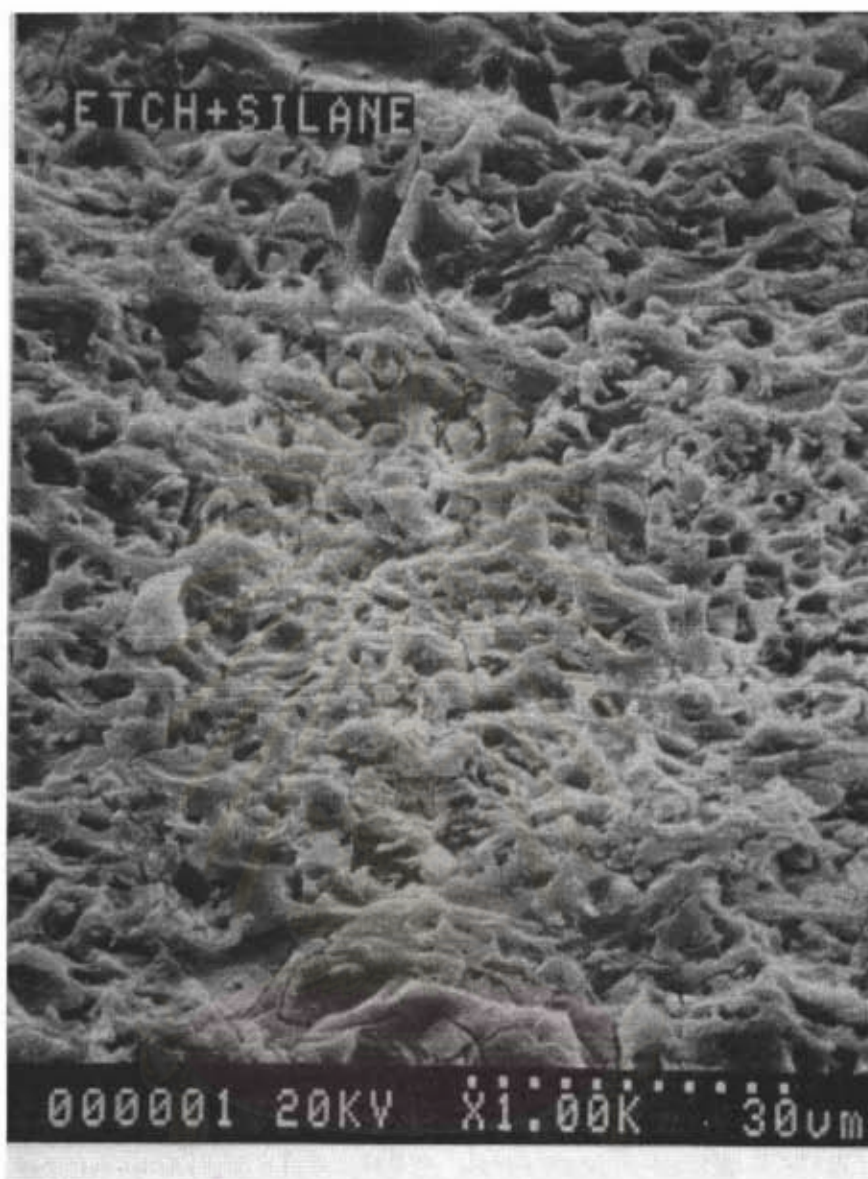
รูปที่ 19 กลุ่ม 3 ผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาดด้วยกรดและใช้ไซเลนไพรเมอร์ จะไม่พบช่องว่างระหว่างคอมโพสิตเรซินและผิวพอร์ซเลน และเรซินจะเข้าไปแทรกเต็มบริเวณรูพรุนของผิวพอร์ซเลน



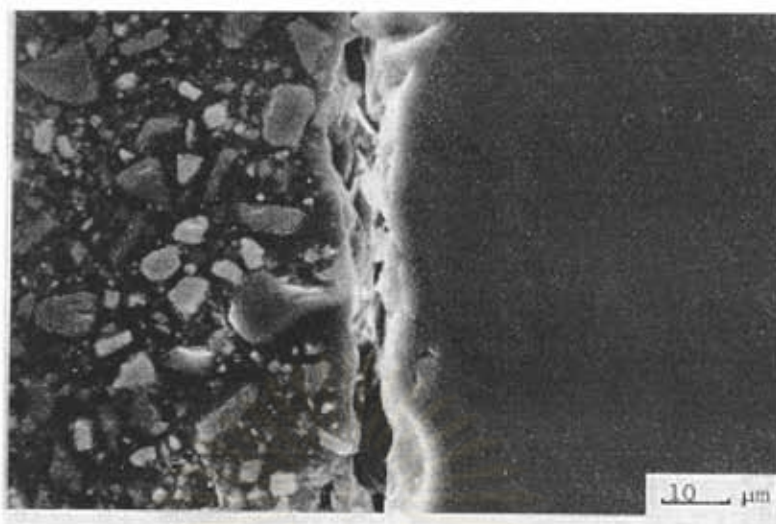
ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

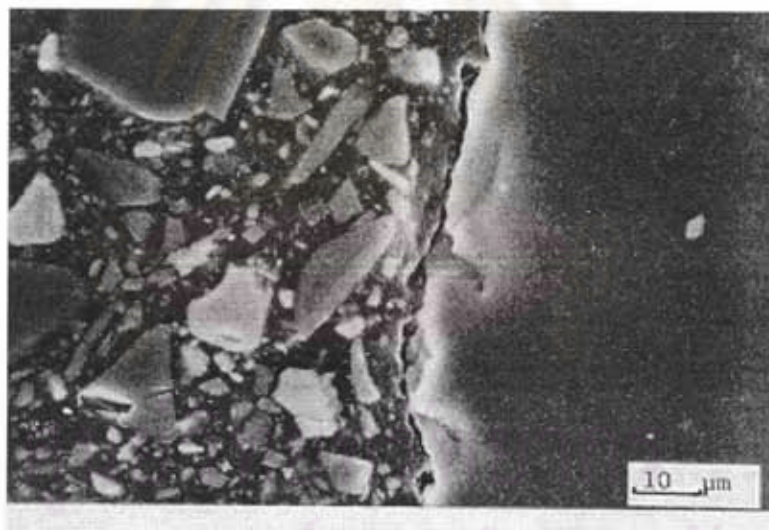
รูปที่ 15 แสดงภาพถ่าย SEM ของผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรด ซึ่งมีลักษณะที่จะช่วยให้เกิดแรงยึดที่ดี



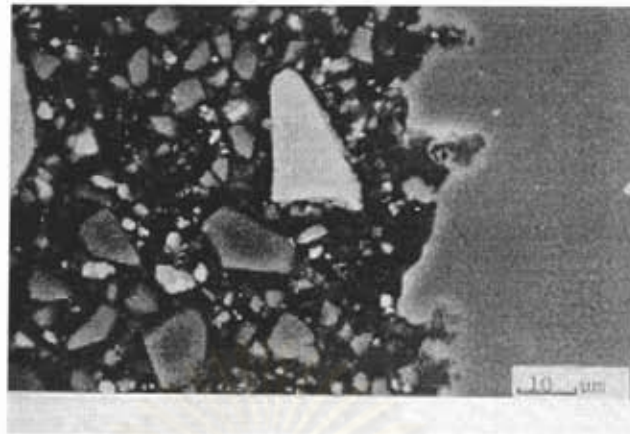
รูปที่ 16 แสดงภาพถ่าย SEM ของผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการกัดด้วยกรดและทาทับด้วย
 ไซเลน พบว่าการใช้ไซเลนจะไม่เปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิว
 รูปที่ 15, 16 จาก Sheath และ Jensen; Dental Materials 4 (1988).



รูปที่ 17 แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวของคอมโพลีเอสเตอร์ และผิวพอร์ซเลนที่ไม่ผ่านการกัดด้วยกรดและไม่ใช้ไซเลน พบว่ามีช่องว่างระหว่างพื้นผิวทั้งสอง



รูปที่ 18 แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวคอมโพลีเอสเตอร์ กับผิวพอร์ซเลนที่ไม่ผ่านการกัดด้วยกรดแต่ทำไซเลน พบว่าช่องว่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองแคบลงกว่ารูปที่ 17



รูปที่ 19 แสดงภาพถ่าย SEM บริเวณผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวคอมโพสิตเรซิน กับผิวพอร์ซเลนและเดนทีนบอนด์เอเจนท์ พบว่าไม่มีช่องว่างระหว่างพื้นผิวทั้งสอง และเรซินจะแทรกเข้าไปในพื้นผิวพอร์ซเลนที่ขรุขระ

รูปที่ 17, 18, 19 จาก Garber, Goldstein และ Feinman; Porcelain Laminate veneer, 1988.

การศึกษาการยึดคอมโพสิตเรซินบนผิวพอร์ซเลน

Ferrando และคณะ(1983) พบว่า การใช้ไซเลนไพรเมอร์กับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก จะให้ค่าแรงยึดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากกลุ่มที่ไม่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ ผลการศึกษาดังกล่าวทำให้เกิดแนวคิดที่ว่า ค่าแรงยึดส่วนใหญ่เกิดจาก mechanical interlocking การใช้ไซเลนไพรเมอร์จะช่วยลดช่องว่างระหว่างคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนเท่านั้น ซึ่งเป็น การช่วยเสริม mechanical interlocking

การศึกษาของ Sheath (1988) คัดค้านการศึกษาของ Ferrando (1983) โดยพบว่า ค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก เพียงอย่างเดียว จะมีค่าเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าแรงยึดบนผิวพอร์ซเลน ที่ผ่านการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและใช้ไซเลนไพรเมอร์ร่วม ส่วนกลุ่มที่ใช้ไซเลนไพรเมอร์ทาบนผิวพอร์ซเลนอย่างเดียว พบว่าค่าแรงยึดทางเคมีของไซเลนไพรเมอร์จะมีค่าน้อยมาก และน้อยกว่าค่าแรงยึดของกลุ่มที่ทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกอย่างเดียว

Nowlin, Barghi, Norling (1981) ศึกษาการซ่อมแซมแท่งพอร์ซเลนด้วยวัสดุยึดและไซเลนไพรเมอร์ชนิดต่าง ๆ คือ เดนเมทบอนด์เอเจนท์ ฟิวชั่นบอนด์เอเจนท์กับคอนไซส, เซอวิเดนท์บอนด์เอเจนท์กับวัสดุบูรณะของเซอวิเดนท์ พบว่า การใช้ฟิวชั่นร่วมกับคอนไซสให้ค่าแรงยึดที่มากกว่าวัสดุอีก 2 กลุ่ม อย่างมีนัยสำคัญ

Hayakawa และคณะ (1992) ศึกษาเปรียบเทียบการใช้ไซเลนไพรมเมอร์ 3 ชนิด คือ คอสโมเทค ไพรมเมอร์, ลามินาบอนด์ พอร์ชเลน ไพรมเมอร์, ออพเทค ไซเลน คัปปลิง เอเจนท์ พบว่าวิธีการเตรียมผิวพอร์ชเลนไม่มีผลต่อค่าแรงยึดเมื่อใช้ลามินาบอนด์ พอร์ชเลน ไพรมเมอร์ และอพเทค ไซเลน คัปปลิง เอเจนท์ และไซเลนไพรมเมอร์ 2 ชนิดนี้ให้ค่าแรงยึดสูงกว่า คอสโมเทค ไพรมเมอร์

Llobell และคณะ (1992) ศึกษาแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ชเลน โดยใช้ไซเลนไพรมเมอร์ 8 ชนิด และใช้แรงขนาด 1500 psi (10.34 MPa) กระทำซ้ำ ๆ เป็นจังหวะ เพื่อจำลองลักษณะการบดเคี้ยว พบว่ากลุ่มที่ใช้เคลียร์ฟิล พอร์ชเลนบอนด์ หรือ ออลบอนด์ จะไม่มีการหลุดของบริเวณยึดติดเมื่อมีแรงกระทำถึง 2,000,000 รอบ

Appeldoorn, Wilwerding และ Barkmeier (1993) ศึกษาเปรียบเทียบค่าแรงยึดคอมโพสิตเรซินกับพอร์ชเลน โดยใช้ไซเลนไพรมเมอร์ 8 ชนิด ทดสอบในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง และ 3 เดือน พบว่ามี ไซเลน ไพรมเมอร์ 3 ชนิดที่มีค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันในช่วงเวลาทั้งสอง ซึ่งได้แก่เคลียร์ฟิล พอร์ชเลนบอนด์ พอร์ชไลท์ และ สก๊อตซีไพรม เซรามิก ไพรมเมอร์

Calamia และคณะ (1984) ได้ศึกษาผลของการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 5%, 7.5%, 10% บนพอร์ชเลนชนิดต่าง ๆ ในเวลา 2.5 และ 20 นาที พบว่าค่าแรงยึดที่เวลา 2.5 นาทีจะมีค่าสูงกว่าที่เวลา 20 นาที และยังสรุปว่าค่าแรงยึดที่มากที่สุดจะได้รับการเลือกใช้กรดที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสม และเวลาที่เหมาะสมกับพอร์ชเลนแต่ละชนิด

Edris (1990) ศึกษาเปรียบเทียบผิวพอร์ชเลนภายหลังจากด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก และแอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ พบว่าแอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวเพียงเล็กน้อย แต่กรดไฮโดรฟลูออริกทำให้ผิวพอร์ชเลนขรุขระมาก พบร่องและรูเกิดบนผิวพอร์ชเลน Edris ได้อธิบายว่าการที่แอซิดูเลต ฟอสเฟตฟลูออไรด์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผิวพอร์ชเลนเล็กน้อยเนื่องจากมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนและฟลูออไรด์ไอออนในปริมาณที่น้อยกว่ากรดไฮโดรฟลูออริก

Lacy และคณะ (1988) พบว่าค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ชเลนที่ผ่านการกรอด้วยหัวกรอกากเพชร ทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและใช้ไซเลนไพรมเมอร์ จะมีค่าแรงยึดที่สูงกว่ากลุ่มที่เตรียมผิวด้วยหัวกรอกากเพชรและใช้ไซเลนไพรมเมอร์ และกลุ่มที่เตรียมผิวด้วยหัวกรอกากเพชรและทากรดไฮโดรฟลูออริก

Senda และคณะ (1989) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกทาผิวพอร์ชเลนที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยวิธีเชิงกลมาก่อน จะทำให้ผิวพอร์ชเลนไวต่อการเปลี่ยนแปลงด้วยกรด ซึ่งสนับสนุนโดยการศึกษาของ Edris และคณะ (1990) ซึ่งพบว่าเมื่อเตรียมผิวพอร์ชเลนให้ขรุขระด้วยวิธีการเป่าทรายก่อนที่จะทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก จะทำให้ผิวพอร์ชเลนมีความ

ขรุขระมากกว่ากลุ่มที่มีผิวเรียบมันแล้วทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก โดยศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Wolf และคณะ (1992) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ทาผิวพอร์ซเลนจะเพิ่มค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนมากกว่าการกรอผิวพอร์ซเลนด้วยหัวกรอกากเพชร ซึ่งอาจอธิบายโดย Mc Caughey (1993) ที่กล่าวว่า การทำผิวพอร์ซเลนให้ขรุขระด้วยหัวกรอกากเพชรจะทำให้เกิดการยึดติดในลักษณะ macromechanical retention ส่วนการเตรียมผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจะทำให้เกิดรูพรุนมากกว่า และจะทำให้เกิดการยึดติดในลักษณะ micromechanical retention

Wolf และคณะ (1993) พบว่าการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ทาผิวพอร์ซเลนจะเพิ่มค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนมากกว่าการใช้การเตรียมผิวพอร์ซเลนด้วยการเป่าทราย ซึ่งสนับสนุนโดยการศึกษาของ Suliman และคณะ (1993) ที่พบว่าค่าแรงยึดของคอมโพสิตเรซินกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 9.6% หรือทาด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 9.6% ร่วมกับการกรอด้วยหัวกรอกากเพชร จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่เตรียมผิวด้วยการกรอด้วยหัวกรอกากเพชร หรือการเป่าทรายเพียงอย่างเดียว แต่ความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาการยึดติดแบร็กเก็ตโลหะกับผิวพอร์ซเลน

Ghassemi-Tary (1979) ได้ใช้อคริลิกเรซินกับไซเลนไพรเมอร์ในการยึดแบร็กเก็ตโลหะกับผิวพอร์ซเลนที่ไม่ผ่านการเคลือบมัน ผลการศึกษาพบว่าขนาดของแรงยึดอยู่ในช่วงของแรงที่ใช้ในทางทันตกรรมจัดฟัน แม้ว่าขนาดของแรงจะน้อยกว่าที่แนะนำ โดย Reynold (1975) (แรงขนาด 6-8 KgF) และยังพบว่าค่ากำลังแรงเฉือนมีค่ามากกว่าค่ากำลังแรงดึง

Johnson (1980) พบว่าค่าแรงยึดของอคริลิกเรซินกับพอร์ซเลนที่ทาไซเลนไพรเมอร์ มีค่าเพียงพอจะรับแรงจากการจัดฟัน

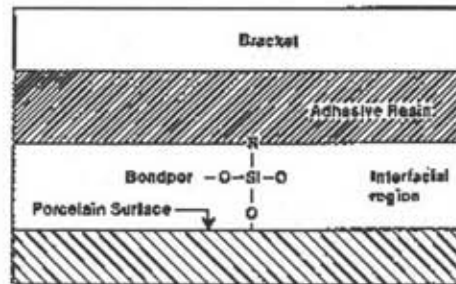


Fig. 1 Diagram of coupling action of Bondpor.

รูปที่ 20 แสดงการใช้ Bondpor เป็นคัปปลิงเอเจนต์ในการยึดแบรacket กับผิวพอร์ซเลน จาก Newman, Journal of Clinical Orthod; 17 (1973).

Newman และคณะ (1984) ศึกษาในเรื่องเดียวกับ Ghassemi(1979) และพบว่าแรงยึดของแบรacket โลหะกับฟันปลอมที่ทำจากพอร์ซเลนและใช้ไซเลนไพโรเมอร์รวม จะมีค่าน้อยกว่าแรงยึดแบรacket โลหะกับผิวฟันธรรมชาติ

Eustaquio และคณะ (1988) ศึกษาเปรียบเทียบค่ากำลังแรงดึง/ปอก ในการยึดแบรacket กับผิวพอร์ซเลน โดยใช้ไซเลนไพโรเมอร์และวัสดุยึดต่างชนิด ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่ใช้ฮอโมโก พอร์ซเลนบอนด์ ไพโรเมอร์ กับวัสดุยึด System 1⁺ ให้ค่ากำลังแรงดึง/ปอกสูงที่สุดและมากกว่ากลุ่มที่ใช้สก็อตซ์ไพรม เซรามิก ไพโรเมอร์ กับวัสดุยึดชนิดคอนไซส

Kao และคณะ (1988) พบว่าค่าแรงยึดของแบรacket โลหะกับผิวพอร์ซเลนที่ทำการไฮโดรฟลูออริกานัน 3 นาที ในกลุ่มที่ใช้ไซเลนไพโรเมอร์จะมีค่ามากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้ไซเลนไพโรเมอร์ โดยไม่สัมพันธ์กับชนิดของวัสดุยึด ชนิดของไซเลนไพโรเมอร์ และเวลาในการติบอนด์

Kao และคณะ (1991) พบว่าค่าแรงยึดแบรacket โลหะกับผิวพอร์ซเลนที่ผ่านการกรดด้วยหัวกรอกรีนสโตน จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่มีผิวเรียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และกลุ่มที่ใช้ไซเลนไพโรเมอร์จะมีค่าแรงยึดสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ไอโซไพโรฟิลแอลกอฮอล์ทาผิวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Winchester (1991) ศึกษาแรงยึดของแบรacket โลหะกับผิวพอร์ซเลน โดยใช้ไซเลนไพโรเมอร์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สก็อตซ์ไพรม คอมแมนด์ ลี ฟิวชั่น พบว่าฟิวชั่นให้ค่าแรงยึดสูงกว่าไซเลนไพโรเมอร์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างของค่าแรงยึดในกลุ่มไซเลนไพโรเมอร์อีก 3 ชนิด