

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรม

ประวัติความเป็นมาของพอร์ซเลน

เมื่อ 400,000 ปีมาแล้วมนุษย์ยุคโบราณเริ่มรู้จักใช้ไฟเป็นครั้งแรกและค้นพบคุณสมบัติกึ่งพลาสติกของดินเหนียวโดยบังเอิญเมื่อนำดินเหนียวเหล่านั้นมาเผาทำให้ความแข็งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเซรามิก (ceramic) จึงเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดแรกๆ ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ ในภาษากรีกคำว่า "Keramos" แปลว่าเครื่องปั้นดินเผา นักโบราณคดีพบหลักฐานชิ้นแรกที่เป็นดินเหนียวเผาที่มีอายุประมาณ 30,000 ปี ส่วนหลักฐานบันทึกวิธีการทำเซรามิกพบเป็นครั้งแรกเมื่อ 24,000 ปีก่อนคริสตกาล มีการดัดแปลงทำภาชนะใส่น้ำได้มีอายุประมาณ 6,000-7,000 ปี จากนั้นเซรามิกมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบัน

ตามประวัติศาสตร์แล้วสามารถแบ่งเซรามิกออกเป็น 3 ชนิดคือ เอิร์ธแวร์ (earth ware) เผาที่อุณหภูมิต่ำและมีรูพรุน สโตนแวร์ (stone ware) พบในประเทศจีนมีอายุ 100 ปีก่อนคริสตกาล เผาในอุณหภูมิสูงกว่าชนิดแรกมีความแข็งแรงมากกว่าและใส่น้ำได้ ชนิดสุดท้ายได้แก่ พอร์ซเลน (porcelain) ซึ่งเกิดจากการผสมดินเหนียวและกระดูกสัตว์นำมาป่นเข้าด้วยกันเมื่อนำไปเผาจะได้ภาชนะที่มีลักษณะขาวใสมีความแข็งแรงมากกว่าเซรามิกสองชนิดแรกและแสงสามารถทะลุผ่านได้พบอยู่ในประเทศจีนสมัยราชวงศ์ซิงมีอายุ 1000 ปีหลังพุทธกาล ประเทศในยุโรปมีความพยายามประดิษฐ์พอร์ซเลนให้มีคุณภาพพอๆ ประเทศจีนแต่ไม่ประสบความสำเร็จ ค.ศ. 1708 นักวิทยาศาสตร์ค้นพบโดยบังเอิญว่าดินที่ประเทศจีนใช้เป็นดินที่มีการผสมองค์ประกอบอื่นร่วมด้วยแต่อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถทำให้มีลักษณะขาวใสได้อย่างประเทศจีน ต่อมาเกิดการจารกรรมข้อมูลการทำพอร์ซเลนของประเทศจีนมาสู่โลกตะวันตกและเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาพอร์ซเลนในงานทันตกรรมเป็นครั้งแรกในช่วงปลายศตวรรษที่ 18 โดยมีองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ชนิดคือ ดินขาว (Kaolin: $Al_2O_3SiO_2H_2O$) ซึ่งคิดเป็น 50% เฟลด์สปาร์ (Felspa: $K_2OAl_2O_36SiO_2$) 25% และ ควอตซ์ (Quartz: SiO_2) 25% ต่อมาเริ่มคำนึงถึงความสวยงามจึงมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมาเป็นลำดับ พบว่าความมันเงาของผิวพอร์ซเลนขึ้นกับระยะเวลาในการเผา เมื่อลดปริมาณของดินขาวและเพิ่มส่วนของเฟลด์สปาร์ทำให้ชิ้นงานมีความใสมากขึ้น ในปัจจุบันวัสดุพื้นฐานเป็นแก้วเฟลด์สปาร์ชนิดโบโรซิลิเกต (borosilicate) ทำให้ส่วนประกอบหลักเมื่อผ่านการเผาแล้วเป็นแก้วลูไซต์ (leucite) มากกว่าชนิดอื่นๆ เภสัชกรชาวฝรั่งเศสสังเกตเห็นว่าแท่งพอร์ซเลนที่ผ่านการเคลือบแก้วปราศจากรูพรุนบนพื้นผิวเมื่อนำมาบดสารที่มีสีจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีและแท่งแก้วสามารถทนต่อการขัดถูได้ดีจึงมีแนวคิดที่จะนำพอร์ซเลนมาทำเป็นฟัน

ปลอม Duchateau เป็นคนแรกที่ประดิษฐ์ฟันปลอมที่ฟันปลอมแต่มีปัญหาเรื่องการหดตัวของชิ้นงานจึงร่วมมือกับ Chemant เพื่อพัฒนาวิธีการประดิษฐ์ฟันปลอม (Jones, 1985) และตีพิมพ์เป็นเล่มในช่วง ค.ศ. 1790-1824 เผยแพร่ในประเทศอังกฤษและฝรั่งเศส เนื้อหาภายในเล่มเป็นการเปรียบเทียบฟันปลอมพอร์ซเลนกับฟันปลอมชนิดต่างๆ ต่อมาจึงเปิดโรงงานผลิตฟันปลอมพอร์ซเลนในอังกฤษ แม้ว่าทั้งสองคนเป็นผู้นำฟันปลอมพอร์ซเลนมาทำฟันปลอมทั้งปากเป็นครั้งแรกแต่ยังไม่ใช้ความพยายามที่จะนำพอร์ซเลนมาใช้ในงานทันตกรรม

Fauchard (1728) บิดาแห่งทันตกรรมยุคใหม่อธิบายถึงความสำคัญของเคลือบฟันและการแต่งสีพอร์ซเลนให้ดูเหมือนเคลือบฟันธรรมชาติในหนังสือ " Art Of Dentistry " Elias Wildman (1838) ประดิษฐ์ฟันปลอมที่มีความใสของเคลือบฟันใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ต่อมา ทันตแพทย์ชาวอิตาลี ได้ผลิต ฟันปลอมที่มีพอร์ซเลนอยู่ด้านหน้าเพื่อความสวยงามและมีทองคำขาวอยู่ด้านหลัง (Terrometallic teeth) จากนั้นนำชิ้นงานมาเชื่อมกับฐานฟันปลอมโลหะเป็นการใช้พอร์ซเลนร่วมกับโลหะเป็นครั้งแรกและเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการใช้พอร์ซเลนร่วมกับโลหะในยุคต่อมา (Jones, 1985)

Weinsten และคณะ (1960) เป็นผู้ริเริ่มและอธิบายวิธีการทำฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนโดยใช้ผงพอร์ซเลนที่มีองค์ประกอบของ $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ โดยมีองค์ประกอบของโพแทสเซียม (K_2O) บดละเอียด 11%-15% เพราะในงานครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องโพแทสเซียมทำหน้าที่ในการลดค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนทำให้เข้ากันได้กับโลหะทำโครง การทำให้เกิดความแข็งแรง การยึดกับโลหะต้องอาศัยหลายปัจจัยร่วมกันเช่น แก้วต้องไหลแผ่นบนโลหะได้ดี ความเครียดที่เกิดจากการขยายตัวและหดตัวของแก้วต้องมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังแรงดึง (tensile strength) ภายในวัสดุของแก้วและโลหะผสมจะต้องมีอุณหภูมิที่คงที่และสามารถเกิดชั้นออกไซด์บางๆ เพื่อยึดกับพอร์ซเลน ถ้ามีชั้นออกไซด์ที่หนามากเกินไปเป็นสาเหตุเกิดการแตกหักในชั้นออกไซด์ได้ ซึ่งเหตุการณ์นี้เกิดในโลหะผสมนิกเกิลโครเมียมเคลือบกระเบื้อง

คุณสมบัติที่ดีของครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องคือการนำส่วนดีของวัสดุ 2 อย่างมาใช้ร่วมกันโลหะให้ความแข็งแรง สามารถรับแรงก่อนที่จะแตกหักได้สูง ส่วนพอร์ซเลนให้ความสวยงามครอบฟันชนิดนี้คงใช้จนถึงปัจจุบัน (McLene, 2001) แต่มนุษย์ให้ความสำคัญด้านความสวยงามมากขึ้น การทึบแสงเกิดจากโลหะและพอร์ซเลนรองพื้นเพื่อปิดสีโลหะสีของครอบฟันทำให้สีไม่เหมือนฟันธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาครอบฟันพอร์ซเลนทั้งซี่เพื่อตอบสนองความต้องการเหล่านั้น

อินซีแรม (In-Ceram)

อินซีแรมเป็นครอบฟันพอร์ซเลนทั้งที่ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โครงอะลูมินา(Alumina: Al_2O_3) และเมทริกซ์ที่เป็นแก้วแลนทาเนียม(Lanthanum) โดยอะลูมินา (Al_2O_3) คือออกไซด์ของอะลูมิเนียมที่ได้จากการสกัดแร่เบาวิไซด์(bauxite)นำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงจากนั้นนำมาผสมกับโซดาเข้มข้นทำให้เปลี่ยนสภาพจากแร่เป็นของเหลว เมื่อทิ้งไว้อะลูมินาบริสุทธิ์ตกตะกอนเป็นผลึกอะลูมินา ไตรไฮเดรต (alumina trihydrate) การแปรสภาพกลับเป็นอะลูมินาสามารถทำได้โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเพื่อไล่น้ำทำให้อยู่ในรูปแกมมาอะลูมินา(γ -alumina) นิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส ผลึกจะอยู่ในรูปของอัลฟาอะลูมินา(α -alumina)นิยมใช้แถบประเทศยุโรป สำหรับผงอะลูมินาที่ใช้งานทางทันตกรรมมีขนาดเล็กราว 10-20 ไมครอน มักใช้ร่วมกับสารอื่นเช่นเมทิลเซลลูโลส (methylcellulose)เพื่อให้ขึ้นรูปง่าย McLean และ Hughes (1965) พบว่าขนาดและจำนวนฟองอากาศที่อยู่ภายในเนื้อของพอร์ซเลนมีผลต่อความโปร่งแสงของอะลูมินา ดังนั้นการเผาในชั้นบรรยากาศจำเป็นต้องใช้พอร์ซเลนที่มีเกรนขนาดใหญ่เพื่อลดจำนวนฟองอากาศถึงแม้จะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นแต่จำนวนฟองอากาศเกิดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้อะลูมินาเกรนละเอียดเผาในชั้นบรรยากาศปกติ ต่อมามีการพัฒนาวิธีเผาพอร์ซเลนในสุญญากาศทำให้การขึ้นรูปพอร์ซเลนมีความสวยงามมากขึ้นผงที่ละเอียดอัดกันแน่นสามารถอัดทับและแต่งพอร์ซเลนที่ยังไม่เผาได้ง่าย ต่อมาปีค.ศ.1960ทันตแพทย์และช่างทันตกรรมให้ความสำคัญกับความสวยงาม ความโปร่งแสง การสะท้อนแสง พบว่าการใส่สีออกไซด์ในเนื้อผงพอร์ซเลนทำให้ได้สีใกล้เคียงธรรมชาติมากขึ้นเมื่อพอกเป็นชั้นๆ

การกระจายของผลึกอะลูมินาในเนื้อแก้วเมทริกซ์ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของพอร์ซเลนในงานทางทันตกรรม ดังนั้นสารทั้งอะลูมินาและแก้วต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ในการขยายตัวเท่ากันจึงทำให้ความแข็งแรงและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น McLean และ Hughesใช้ทฤษฎีนี้พัฒนาอะลูมินาพอร์ซเลน เพื่อทำครอบฟันพอร์ซเลนทั้งที่เป็นครั้งแรกโดยใช้หลักการเพิ่มความแข็งแรงให้กับครอบฟันด้วยแกนอะลูมินาซึ่งมีปริมาณอย่างน้อย 50% ตามปริมาตรและเคลือบทับด้วยเฟลสปาติกพอร์ซเลนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเข้ากันได้กับแกนอะลูมินานั้น พบว่าค่าความแข็งแรงของงานในลักษณะนี้มีค่ามากกว่าเฟลสปาติกพอร์ซเลนชนิดดั้งเดิมถึง 2 เท่า โดยมีความแข็งแรงประมาณ 180 เมกกะปาสคาลขั้นตอนการเตรียมแบ่งเป็นขั้นตอนใหญ่ๆ 2 ขั้นตอน

1. สลิปแคสต์ (slipcast) เป็นศาสตร์การเตรียมสารประกอบที่ขึ้นรูปโครงโดยทา สารประกอบเป็นชั้นๆบนแม่แบบยิบซั่มที่ดูดซับน้ำด้วยปรากฏการณ์ของแคปิลลารี (capillary) โดยแม่แบบทั้งหมดทำจากยิบซั่มชนิดพิเศษสามารถซับน้ำได้ดี เกิดเป็นโครงอะลูมินาที่เกาะกัน แน่นอยู่บนแม่แบบ ขบวนการเหล่านี้เคยใช้ในการทำดินเหนียวมานานกว่า 200 ปี ผงอะลูมินาที่ นำมาใช้ทำสลิปมีขนาดประมาณ 1-5 ไมครอน มีจำนวนน้อยที่ขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอนเมื่อนำมาผสมกับ 1% โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) ทาบนแม่แบบยิบซั่ม สลิปแคสต์ประกอบด้วยอนุภาคขนาดใหญ่จำนวนมากขณะเป็นสารประกอบ เมื่อทาบนแม่แบบยิบซั่มน้ำหนัก ของเกรนขนาดใหญ่จะถูกถ่วงโดยแรงโน้มถ่วงโลก ทำให้ไม่อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแต่ถ้าสลิปแค สต์มีอนุภาคขนาดเล็กเกินไปเมื่อทาลงบนแม่แบบทำให้ควบคุมทิศทางได้ยาก ดังนั้นสภาพแวดล้อม ที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อการยึดเกาะระหว่างอนุภาคและอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด ของสลิปที่ทาลงบนแม่พิมพ์ การทาสลิปควรทาอย่างรวดเร็วไม่ควรให้แต่ละชั้นที่ทาลงไปแยกออก จากกันเมื่อทาเรียบร้อยแล้วทิ้งให้แห้งประมาณ 30 นาที ชิ้นงานจะมีลักษณะเป็นสีขาวเปราะและ แตกหักได้ง่ายจากนั้นนำสลิปที่แห้งอัดแน่นเผาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ขณะเผาอนุภาค อะลูมินาออกไซด์มีการเชื่อมติดกันบริเวณผิวชั้นนอก การเคลื่อนที่ของ อนุภาคมาเชื่อมติดกันนี้เรียกว่า "การซินเทอริง" (sintering) และการเคลื่อนที่ของอนุภาคนำไปสู่ การเคลื่อนที่ของเกรนถ้าเกรนยิ่งชิดกันมากยิ่งช่วยลดความพรุนระหว่างการเผาให้น้อยลง การ เคลื่อนที่ของขอบเกรนโดยเกิดการไขว้กันของผลึกช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่อนุภาคนามากขึ้น เพราะเป็นการเชื่อมอนุภาคเล็กๆของอะลูมินาเป็นชิ้นเดียวกันและขนาดของแม่แบบยิบซั่มจะมี ขนาดเล็กลงทำให้นำชิ้นงานออกจากแม่แบบได้ง่ายขึ้น จากนั้นนำไปตัดแต่งรูปร่างทำให้เรียบร้อย

2. ขั้นตอนการแพร่ผ่านของแก้ว (glass infitration) นำโซเดียมแลนทาเนียม (Sodium lantanium) หรือ แลนทาเนียมอะลูมิโนซิลิเกต (Lantanium aluminosilicate: $LaAl_2O_3$) ร่วมกับ สารประกอบอื่นอีกเล็กน้อย (Poberและคณะ, 1992) ผสมกับน้ำกลั่นทาบนชิ้นงานซึ่งวางอยู่บน แผ่นแพลทินัม (Platinum:Pt) อุณหภูมิในการหลอมเหลวแลนทาเนียมอะลูมิโนซิลิเกตมีค่าต่ำ ประมาณ 800 องศาเซลเซียสและเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 1100 องศาเซลเซียสแก้วจะแพร่ทั่วชิ้นงาน (McClean, 1991) เวลาที่ใช้ในการเผาประมาณ 4-6 ชั่วโมงขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน แคลเซียมและ โซเดียมในองค์ประกอบช่วยเพิ่มความหนืดของแก้วเมทริกซ์ ทำให้เกิดการแพร่ผ่านไปยังโครงของ อะลูมินาและเพิ่มดรชนีในการสะท้อนของแสงทำให้อินซีแรมมีความโปร่งแสง (Kellyและคณะ, 1996) เมื่อเผาเสร็จจะได้พอร์ซเลนที่มีอะลูมินาและแก้วเป็นองค์ประกอบ มีความแข็งแรงสูง การ แพร่ของแก้วผ่านชิ้นงานเป็นการปิดช่องว่างระหว่างโครงสร้างของอะลูมินาทำให้อินซีแรมมีความ แข็งแรงสูงถึง 630 เมกกะปาสคาล ถ้าแก้วที่นำมาแพร่ผ่านมีปริมาณมากเกินไปจะถูกกำจัด

ด้วยวิธีเป่าทรายและขัดออกด้วยเข็มกรอกากเพชร จากนั้นนำเข้าเตาเผาที่ 960 องศาเซลเซียส เพื่อพิสูจน์ว่าแก้วส่วนเกินได้ถูกกำจัดออกหมด(Pröbster I, Diehl J,1992) ต่อมานำชิ้นงานมา ฉาบ ผิวหน้าด้วยเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนของวิตาร์ดัวร์ เอ็น (Vitardur-N) เพื่อตกแต่งให้อะลูมินามี สีคล้ายฟันธรรมชาติ ซึ่งการใช้วิตาร์ดัวร์ เอ็น เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เพราะมีความคงทนต่อการ เปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อผ่านขบวนการเผาหลายครั้งและมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเข้า กันได้กับแกนอะลูมินา Sadoun (1989) พัฒนาเทคนิคการทำ สลิปแคสเพื่อผลิตแกนฟันที่แข็งแรง ภายใต้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า "อินซีแรม" (Inceram, VitaZahnfabrik,Bad Sackingen, Germany) มี องค์ประกอบอะลูมินาสูงแตกต่างจาก อะลูมินาพอร์ซเลนทั่วไปปัจจุบันอินซีแรมมีขนาดอนุภาค 0.5-5.0 ไมโครเมตร(MeLene,1991)มีปริมาณอะลูมินาเป็นองค์ประกอบ70% มีความแข็งแรงมาก สามารถนำมาทำครอบฟันหน้า ครอบฟันหลัง รวมทั้งสะพานฟันสำหรับพอร์ซเลนที่นำมาพอกใช้ เป็น เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนเพื่อตกแต่งให้สวยงาม(DijKen,1999) Guazzato และคณะ (2002) ศึกษาคุณสมบัติทางกลของอินซีแรมพบว่าค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกมี ค่าไม่แตกต่างจากอินซีแรมเซอร์โคเนียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ไอพีเอส เอ็มเพรส ทู (IPS Empress 2)

ขั้นตอนการทำอินซีแรมมีวิธีทำที่ยุ่งยากและใช้เวลามากต่อมามีการพัฒนากระบวนการที่ กระบวนการที่ง่ายเช่นไอพีเอส เอ็มเพรส

ไอพีเอส เอ็มเพรส เป็นพอร์ซเลนที่มี ลูไซต์ (Lucite) เป็นพื้นฐานมี ซิลิคอนไดออกไซด์ อะลูมินาและโพแทสเซียมออกไซด์ (Silicondioxide – Alumina - Potassiumoxide: SiO_2 - Al_2O_3 - K_2O) เป็นองค์ประกอบหลัก ในวัสดุที่ยังไม่ผ่านการเผามีค่าความแข็งแรงของการดัดงอ (flexural strength) ที่ 120 เมกกะปาสคาล และสูงถึง 200 เมกกะปาสคาลในวัสดุที่ผ่านการเคลือบสีและ เผาแล้วซึ่งค่าเหล่านี้มีความแข็งแรงน้อยกว่าที่จะรองรับแรงในรูปแบบของสะพานฟันจึงพัฒนา องค์ประกอบและคุณสมบัติของวัสดุเพิ่มเติมและตั้งชื่อว่า ไอพีเอส เอ็มเพรส ทู ซึ่งสามารถขึ้นรูป เป็นสะพานฟันได้ โดยการพัฒนามุ่งเน้นไปยังอุณหภูมิที่ใช้หลอมควรต่ำกว่า 1200 องศาเซลเซียส และไอพีเอส เอ็มเพรส ทู ต้องมีความหนืดพอที่จะไหลในขณะที่อยู่ในเตาที่ ไอวอคลาร์ 500 (EP 500 press, Ivoclar Ltd.)ค่าความแข็งแรงของไอพีเอส เอ็มเพรส ทู ประมาณ 250 เมกกะปาสคาล สามารถต้านทานการหักได้สูง มีความโปร่งแสงคล้ายฟันธรรมชาติใช้ทำครอบฟันหน้า ครอบฟัน หลังและสะพานฟันในฟันหน้า ไอพีเอส เอ็มเพรส ทู เป็นวัสดุชนิดใหม่ที่แตกต่างไปจากวัสดุชนิด

เดิมซึ่งเป็นลูไซต์ พอร์ซเลนโดย ไอพีเอส เอ็มเพรส ทุ มีองค์ประกอบหลักเป็นลิเทียมไดซิลิเกต กลาสเซรามิก (Lithiumdisilicate glass ceramic: $\text{Li}_2\text{-Si}_2\text{-O}_5$) และมีลิเทียมออร์โธฟอสเฟต (Lithiumorthophosphate: Li_3PO_4) เป็นองค์ประกอบรองโดยผลึกทั้งสองมีปริมาณรวมกันคิดเป็น 60 % โดยปริมาตร และรวมตัวกันฝังอยู่ในแก้วเมทริกซ์

Stookey (1953) พัฒนาแก้วลิเทียมไดซิลิเกตเป็นครั้งแรกต่อมาได้รับความสนใจ โดยเฉพาะด้านการเกิดผลึกทางกลและการตกผลึก ข้อเสียของวัสดุชนิดนี้คือมีความต้านทานต่อสารเคมีต่ำต่อมา Echeverria (1992) และ Beall (1993) พยายามพัฒนาความสามารถในการต้านทานสารเคมีให้สูงขึ้น แต่ยังพบข้อด้อยบางประการคือผลึกลิเทียมไดซิลิเกตมีความทึบแสงและไม่สามารถควบคุมการแตกภายในระดับจุลภาค ไอพีเอส เอ็มเพรส ทุ แตกต่างจากแก้วลิเทียมไดซิลิเกตทั่วไปคือมีความทึบแสงน้อยลง ไม่เกิดการแตกในโครงสร้างระดับจุลภาคและขั้นตอนการเผาในห้องปฏิบัติการด้วยเตาทำในเตาเผาอีพี โอโวลาร์ 500 ที่อุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนการผลิต ไอพีเอส เอ็มเพรส ทุ โดยนำผงแก้วที่ประกอบด้วย SiO_2 57-80 %, Al_2O_3 0-5%, La_2O_3 0.1-6 %, MgO 0-5 %, ZnO 0-8%, K_2O 0-13 %, LiO 11-19%, P_2O_5 0-11%, อื่นๆ 0-8 % ตามน้ำหนักหลอมรวมกันที่อุณหภูมิ 1400-1600 องศาเซลเซียสโดยเติมสารต่างๆ เช่น ฟอสเฟต (Phosphate) และคาร์บอเนต (Carbonate) จากนั้นเทลงในน้ำ เมื่อเย็นตัวนำมาบดเป็นผงเล็กๆอัดเป็นแท่งทรงกระบอก 2 ขนาด ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร สูง 12 มิลลิเมตร หรือ 24 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 850-900 องศาเซลเซียส ในสุญญากาศเกิดเป็นผลึกในลักษณะแท่งทรงกระบอกที่เรียกว่า "อินกอต" (Ingot) แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ขั้นตอนที่สองนำแท่งทรงกระบอกอินกอตมาหลอมเหลวและอัดด้วยความร้อนในเตาเผาอีพีโอโวลาร์ 500 ในสุญญากาศที่อุณหภูมิ 920 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที อินกอตที่หลอมตัวและมีความหนืดถูกอัดด้วยแรงดัน 20 บาร์จะไหลเข้าสู่แม่แบบ (mold) ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 5-20 นาทีขึ้นกับความซับซ้อนของแม่แบบ จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ผลึกของ ไอพีเอส เอ็มเพรส ทุ ที่ได้จะอยู่ในสภาพโครงสร้างสุดท้ายจากการศึกษาของ Garber และคณะ (1999) โดยใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) 4 % และกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 30% ปรับสภาพพื้นผิวด้านในชิ้นงานตัวอย่างเป็นเวลา 10 วินาทีแล้วนำชิ้นงานมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 5,000 เท่า พบว่ามีการละลายตัวของเมทริกซ์บริเวณผิวหน้าชิ้นงานเห็นผลึกของลิเทียม ไดซิลิเกตยื่นออกมายาว 0.5-4.0 ไมโครเมตรมีความหนาแน่นมากคิดเป็นปริมาณ 60 %

โดยปริมาตรและยังพบผลึกของลิเทียมออร์โทฟอสเฟตเป็นจำนวนรองลงมา มีขนาด 0.1-0.3 ไมครเมตร สันนิษฐานว่าผลึกของลิเทียมออร์โทฟอสเฟตโดยผลึกทั้งคู่จะอยู่ในรูปแบบที่มีลักษณะเป็นเข็ม

ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตที่มีลักษณะยาวช่วยให้เกิดความแข็งแรงและแตกหักยากขึ้นโดยผลึกที่เกิดขึ้นทั้งสองชั้นตอนมีการยึดเกาะกันแน่น เมื่อรวมกับเมทริกซ์แก้วเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจะช่วยขัดขวางการแตกกราน (crack propagation) ในเนื้อวัสดุด้วยกรรมวิธีดูดซับพลังงาน เช่น การเปียงเบนทิศทางการแตกหรือลดพลังงานในการแตกเมื่อเกิดรอยแตกขนาดใหญ่ผ่านมาชนผลึกที่วางขวางอยู่พลังงานจลน์จะถูกดูดซับลดลงจนหมดไปหรือทำให้เกิดเป็นรอยแตกเล็กๆ แยกออกเป็น 2 ทาง ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้รอยแตกของพอร์ซเลนที่มีผลึกจะมีลักษณะที่ขรุขระกว่าแก้วที่ไม่มีผลึกแทรกอยู่ภายใน

ค่าความแข็งแรงของการดัดงอของ ไอพีเอส เอมเพรส ทุ คือ 350 ± 50 เมกกะปาสคาล และมีค่าความสามารถในการรองรับแรงก่อนวัสดุแตกหักที่ 8.2 ± 0.3 เมกกะปาสคาล ความลึกกร่อนจากการขัดถูใกล้เคียงกับเนื้อฟัน จากการศึกษาของ Gianasmidis (1997) พบว่าการยึดติดระหว่างฟันและครอบฟันที่เหมาะสมเกิดจากการปรับสภาพผิวหน้าด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (IPSCeramic etching gel) 20 วินาทีและทาสารคู่ควบไซเลน โมโนบอนด์ เอส (monobond s) จากนั้นทา เฮลิโอบอนด์ (Haliobond) โดยค่าการยึดติดที่ดีที่สุดคือ 30.8 เมกกะปาสคาลโดยใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์วาริโอลิงค์ ทุ (VARIOLINK II, VIVADENT, Ets., Schaan/Liechenstein) การใช้กรดกัดอย่างมีประสิทธิภาพทำให้เกิดการยึดเกาะที่แข็งแรงจึงเป็นข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับพอร์ซเลนในกลุ่มอะลูมินาหรือกลุ่ม เซอร์โคเนียไดออกไซด์

ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวด้วยความร้อนของไอพีเอส เอมเพรส ทุ มีค่า $10.6 \pm 0.5 \times 10^{-6}$ ต่อองศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิ 100-400 องศาเซลเซียส พบว่ามีค่าต่ำกว่าไอพีเอส เอมเพรส ดังนั้นพอร์ซเลนที่ใช้ในการฉาบผิวหน้าเพื่อความสวยงามของทั้งไอพีเอส เอมเพรสและไอพีเอส เอมเพรส ทุ จึงไม่สามารถใช้ร่วมกันได้ อุณหภูมิการเปลี่ยนสภาพแก้ว (glass transitional temperature) อยู่ที่ 540 องศาเซลเซียส คุณสมบัติที่น่าพอใจอีกประการหนึ่งคือความสามารถในการทนต่อสารเคมีตาม ISO 6872 โดยนำไปแช่ในกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 4% ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง พบว่ามีมวลที่ถูกละลายออกไปน้อยกว่า 100 ไมครอนต่อตารางเซนติเมตร และด้วยคุณสมบัตินี้จึงสามารถทำเป็นวัสดุฉาบผิวหน้าฟันวีเนียร์ (veneer) และ วัสดุที่ อยู่ชั้นนอก (layering) ได้

ส่วนประกอบและโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุที่นำมาเชื่อมติดบนแกนของ ไอพีเอส เอมเพรส ทุ ต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษโดยมีแบบต่างๆกันคือเนื้อฟัน(dentin) ปลายฟัน(incisal) โพรงประสาท(pulp) ส่วนโปร่งแสง(transparent) มีลักษณะเป็นผงโดยมีฟลูออโรอะพาไทต์เป็นส่วนประกอบเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสในเตาโปรแกมแมท พี 80 (Progamat P 80) นำมาสองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบผงละเอียดของผลึก อพาไทต์ฝังอยู่ในแก้วเมทริกซ์ ซึ่งผลึกเหล่านี้มีสภาพเหมือนฟันธรรมชาติทำให้เกิดความสวยงามในการมอง เช่น ความโปร่งแสง ความสว่าง การกระเจิงของแสง ซึ่งสามารถควบคุมได้จากตัววัสดุ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิจะมีค่าเท่ากับ $9.7 \pm 0.5 \times 10^{-6}$ องศาเซลเซียสเข้ากันได้กับไอพีเอส เอมเพรส ทุ ความหนาของชั้นเคลือบผิวที่เชื่อมกับแกนของไอพีเอส เอมเพรส ทุ มีความหนาประมาณ 20 ไมโครเมตร นอกจากนี้จะมีองค์ประกอบอื่นที่ต่างไปจาก ไอพีเอส เอมเพรส องค์ประกอบที่นำมาทำเป็นวัสดุเชื่อมติดบนแกนไอพีเอส เอมเพรส ทุ ได้แก่ SiO_2 45-70%, Al_2O_3 5-22%, P_2O_5 0.5-6.5 %, K_2O 3-9 %, Na_2O 4-13 %, CaO 1-11 %, F 0.1-2.5% อื่นๆ 10 %

เรซินซีเมนต์ (resin cement)

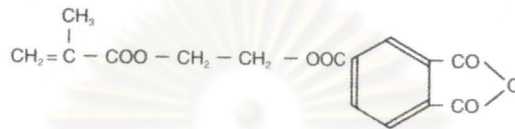
เรซินซีเมนต์มีคุณสมบัติเหมือนเรซิน คอมโพสิตที่ใช้ในการบูรณะฟันทั่วไป ได้แก่ระบบของ สารอินทรีย์ (Bis-GMA, Bis-EMA, TEGMA หรือ UDMA) การเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการไหลแผ่ที่ดีขึ้นโดยลดปริมาณวัสดุอุดแทรกกลง ข้อดีของเรซินซีเมนต์ที่เหนือกว่าซีเมนต์ดั้งเดิมคือ เรซินซีเมนต์มีหลายสีให้เลือกได้เหมือนสีฟันธรรมชาติ สามารถขัดแต่งได้ หลังจากการยึดวัสดุบูรณะฟัน มีการละลายตัวต่ำ ทนต่อการสีกร่อน และที่สำคัญคือสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับครอบฟันพอร์ซเลนทั้งซี่เนื่องจากคุณสมบัติการหดตัวหลังจากการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (Krämer และคณะ 2000; Lambrecht และคณะ 1991)

แบ่งเรซินซีเมนต์ตามระบบการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

1. เรซินซีเมนต์ระบบแข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี

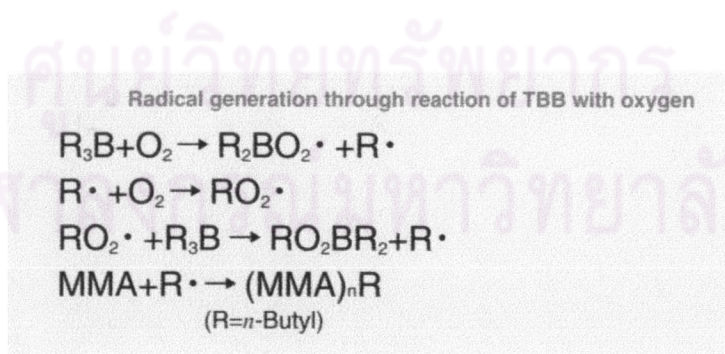
ซีเมนต์ระบบนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ เบสและตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ในรูป ครีม/ครีม ผง/ของเหลวหรือครีม/ของเหลวอาศัยการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันด้วยอนุมูลอิสระที่ได้จากการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์-เอมีน (peroxide-amine) นอกจากเบสและตัวเร่งปฏิกิริยา

แล้วมีองค์ประกอบอื่นช่วยในการยึดติดเช่น ในระบบซีเมนต์ ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนดีบี จะมีสาร
 โพรเมตา 4-META (4-Methacryloxyethyl trimellitate anhydride) ที่ประกอบด้วยกลุ่มฟังก์ชัน
 ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำอยู่ภายในโมเลกุลเดียวกัน ด้านที่ไม่ชอบน้ำจะเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน
 ร่วมกับ เมธิลเมทาครีเลตซึ่งเป็นโมโนเมอร์พื้นฐานของซีเมนต์ระบบนี้ สูตรโครงสร้างของ
 โพรเมตาจะเป็นดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงสูตรโครงสร้างของโพรเมตา

โพลีเมอร์หลักของซีเมนต์ระบบนี้คือโพลีเมธิลเมทาครีเลต (polymethylmethacrylate: PMMA)
 เกิดจากเมธิลเมทาครีเลตหลายๆโมเลกุลมาเรียงต่อกันและมีไตรเอินบิวทิลโบรอนหรือ ทีบีบี (tri-
 n-butylborane: TBB) ทำหน้าที่กระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันโดยทีบีบีจะขัดขวางการ
 ทำหน้าที่จากเปอร์ออกไซด์-เอมีน(peroxide-amine) จุดเริ่มต้นของปฏิกิริยาเกิดจากอะตอมของ
 โบรอน(Boron:Bo)แตกตัวเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนสร้างบิวทิลเรดิคัล (Butyl radical: R*) กระตุ้น
 ปฏิกิริยาต่อไปเป็นลูกโซ่จึงเริ่มปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันดังรูปที่ 2 ซีเมนต์ระบบนี้มีช่วงเวลาในการ
 แข็งตัวประมาณ 1-3 ชั่วโมง



MMA = เมธิลเมทาครีเลต B = โบรอน R* = อนุมูลอิสระ

รูปที่ 2 แผนผังแสดงขั้นตอนการแตกเป็นอนุมูลอิสระของอะตอมโบรอน

2. เรซินซีเมนต์ระบบแข็งตัวด้วยแสง

ซีเมนต์ระบบนี้อาศัยการแข็งตัวด้วยแสงสีฟ้าที่มีคลื่นความถี่ 400-500 นาโนเมตรมีแคมโฟโรควิโนน (camphoroquinone) เป็นตัวรับแสงเกิดการแตกตัวได้อนุมูลอิสระทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน ใช้กับชิ้นงานที่มีความหนาไม่เกิน 1.5-2 มิลลิเมตร เพราะถ้าหนาเกินไปแสงไม่สามารถส่องผ่านไปยังเรซินซีเมนต์ได้ทำให้ปฏิกิริยาการแข็งตัวไม่สมบูรณ์

3. เรซินซีเมนต์ระบบแข็งตัวด้วยแสงร่วมกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี

นิยมใช้ยึดชิ้นงานบูรณะวีเนียร์ ที่มีความหนามากกว่าปกติ เรซินซีเมนต์ชนิดนี้พัฒนาเพื่อเอาชนะข้อจำกัดของเรซินซีเมนต์ที่แข็งตัวด้วยแสงเพียงอย่างเดียว เมื่อชิ้นงานบูรณะมีความหนามากขึ้นหรือมีสีเข้มขึ้น เรซินซีเมนต์ชนิดนี้มีระบบเอมีน-เปอร์ออกไซด์ในส่วนประกอบที่แข็งตัวด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและแคมโฟโรควิโนนในระบบที่แข็งตัวด้วยแสงไว้ร่วมกัน Hasgawa (1992) เปรียบเทียบค่าความแข็งตัวของซีเมนต์ที่ผ่านการฉายแสงและไม่ผ่านการฉายแสงเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงพบว่ากลุ่มที่ไม่ผ่านการฉายแสงจะมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ผ่านการฉายแสงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ตัวอย่างซีเมนต์ในกลุ่มนี้เช่น วาริโอลิงค์ ทู และ ฟานาเวีย เอฟ

วาริโอลิงค์ ทู เป็นเรซินซีเมนต์ที่มีสีให้เลือก 6 เฉดสีมีความโปร่งแสงและความหนืด 3 ระดับแบ่งเป็น แบบไหลแผ่ แบบปกติและแบบหนืดมาก การเทียบเฉดสีจะเริ่มจากการใช้ระดับความโปร่งแสงเป็นอย่างแรกในการเลือก ในส่วนของซีเมนต์จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ วัสดุอุดแทรกที่เป็นแก้วแบเรียมชนิดไมโครฟิลมีขนาด 0.4-3.0 ไมโครเมตรโดยมีขนาดเฉลี่ยที่ 0.7 ไมโครเมตร แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออโรซิลิเกต ยิทเทอริบียมไตรฟลูออไรด์ (Ytterbium trifluoride: YbF₃) ซึ่งบริษัทอ้างว่าสามารถปล่อยฟลูออไรด์ได้ ส่วนเรซินเมทริกซ์ชนิดประกอบด้วย บิส-จีเอ็มเอ ยูรีเทนไดเมธาครีเลต ไตรเอธิลีนไกลคอลไดเมธาครีเลต ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาเป็นทั้งปฏิกิริยารีดอกซ์และปฏิกิริยาที่ใช้แสงในการกระตุ้น

Haller และ Klaiber (1993) รายงานว่าเรซินซีเมนต์ วาริโอลิงค์ ทู ใช้ร่วมกับพอร์ซเลน ไอพีเอส อิมเพรส ได้ดี จากการศึกษาทางคลินิกของ Fradeani และ Augusto (1997) เกี่ยวกับการเปลี่ยนสีของเรซินซีเมนต์ วาริโอลิงค์ ทู บริเวณขอบของครอบฟันเมื่อใช้ไป 6 เดือน - 5 ปี 8 เดือน พบว่าไม่เห็นความแตกต่างของระดับสีระหว่างซีเมนต์กับครอบฟันหรือฟันข้างเคียง Christgua และคณะ (1999) ศึกษาเกี่ยวกับความแนบขอบครอบฟัน (marginal adaptation) โดยเปลี่ยนระดับความหนืดของเรซินซีเมนต์ พบว่าเรซินซีเมนต์ วาริโอลิงค์ ทู ชนิด วาริโอลิงค์ ทู

อัลตรา มีความแนบมากที่สุดสังเกตได้จากการมีช่องว่าง(gap) ระหว่างครอบฟันกับวัสดุบูรณะ มีค่าน้อยที่สุด และ เรซินซีเมนต์ วาริโอลิงค์ ทุ ชนิดความหนืดต่ำ มีความแนบน้อยที่สุด Ferrari และคณะ (2000) รายงานว่าเรซินซีเมนต์ วาริโอลิงค์ ทุ มีค่าแรงยึดติดกับแกนฟันเรซิน คอมโพสิต ได้ดีไม่แตกต่างกับการยึดติดกับชั้นเคลือบฟันธรรมชาติ

ระบบซีเมนต์ฟาร์นาเวีย เอฟ (Panavia F) จัดอยู่ในกลุ่ม เซลฟ์ เอชชิง (Self etching) คือ ส่วนของไพรเมอร์มีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ (pH=3) เพื่อทำหน้าที่ในการปรับสภาพผิวโดยไม่ต้องล้าง น้ำหรือกำจัดกรดออกเหมือนระบบอื่นๆประกอบด้วยอีดีไพรเมอร์ เอ และ อีดีไพรเมอร์ บี (ED primer A & ED primer B) นำของเหลวทั้ง 2 ผสมรวมกันแล้วทาบนพื้นผิวของวัสดุที่ต้องการยึดติด ในองค์ประกอบของอีดีไพรเมอร์มีสารประกอบฟอสเฟตช่วยส่งเสริมการยึดติดเช่น กลุ่มเมธาครีล ลอยลอกซีดีครีล ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Methacryloyloxy-decyl dihydrogen phosphate: MDP)ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ โพรเมตา เรซินซีเมนต์ ซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี ส่วนครีมาฟาร์นาเวีย เอฟ ซึ่งมี 2 หลอดคือครีเอและครีบี มีความหนืดต่ำ ทึบแสงสามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ได้รวมทั้ง มีเอ็มดีพี เป็นองค์ประกอบมีปริมาณวัสดุอัดแทรกในเนื้อครีเมตเป็น 78% ตามปริมาตร การเกิดปฏิกิริยาเป็นทั้งปฏิกิริยาเคมีและปฏิกิริยาที่ใช้แสงในการกระตุ้นซึ่งทางบริษัทแนะนำให้ฉีดสาร ออกซีการ์ด(Oxyguard)เพื่อป้องกันออกซิเจนที่จะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ผิวของเรซิน ซีเมนต์ Mandani และคณะ (2000) ศึกษาค่ากำลังยึดเหนี่ยวของแกนครอบฟันอะลูมินากับโลหะ ผสมนิเกิลโครเมียมอัลลอยพบว่าอะลูมินาที่เตรียมพื้นผิวด้วย การเป่าทราย ทาสารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent)และยึดด้วยเรซินซีเมนต์ ฟาร์นาเวีย 21 ให้ค่าแรงยึดสูงสุดแต่ไม่ต่างจากการปรับสภาพด้วยกรด ไฮโดรซัลฟูริก 5 % อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ การปรับสภาพด้วยกรด ไฮโดรซัลฟูริก 9.6 % ให้ค่าแรงยึดต่ำที่สุด

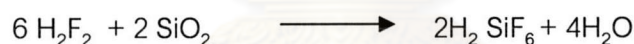
Kern และ Thomson (1995) ศึกษาค่าแรงดึงของอินซีเรมในระบบการยึดติด 6 แบบคือ กลุ่มที่ 1 เป่าทรายแล้วนำไปยึดกับเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น บีส-จีเอ็มเอ กลุ่ม 2 ทาสารคู่ควบไซเลนก่อนนำไปยึดกับเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น บีส-จีเอ็มเอ กลุ่มที่ 3 ใช้ระบบโรคาเทคแล้วทาสารคู่ควบไซเลนทับจากนั้นจึงยึดกับเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบหลักเป็น บีส-จีเอ็มเอ กลุ่ม 4 ใช้ระบบซิลิโคเทเตอร์ เอ็มดีก่อนทาสารคู่ควบไซเลนและยึดกับเรซินซีเมนต์ที่มี องค์ประกอบหลักเป็น บีส-จีเอ็มเอ กลุ่มที่ 5 ใช้เรซินซีเมนต์ฟาร์นาเวีย อีเอ็กซ์ ในการยึดชิ้นงาน กลุ่ม ที่ 6 ใช้เรซินซีเมนต์ฟาร์นาเวีย 21 ในการยึด นำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเปลี่ยนวงจรอุณหภูมิ 5 - 55 องศาเซลเซียส 30 วัน (7,500 รอบ) 150 วัน (375,000 รอบ) พบว่า กลุ่มที่ใช้วิธีเคลือบด้วยซิลิกา(silica coating) ให้ค่าแรงยึดสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มที่

ใช้เรซินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของฟอสเฟตชนิดดัดแปลงแต่ทั้งสองวิธีให้ค่าแรงยึดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเป่าทรายให้ค่าแรงยึดน้อยที่สุด

การยึดเกาะระหว่างพอร์ซเลนกับเรซินซีเมนต์

การใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานพอร์ซเลนมีวัตถุประสงค์ 2 อย่างคือ เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีและช่วยลดการเกิดรอยแยกเล็ก ๆ ที่พื้นผิวพอร์ซเลน (crack propagation) ทำให้เกิดเสถียรภาพกับพอร์ซเลนซึ่งเปราะแตกหักง่าย แบ่งเป็น 2 กลไกคือ การยึดติดทางกลโดยเพิ่มพื้นที่ผิวร่วมกับการทำผิวหน้าหยาบขึ้นและการยึดติดทางเคมีโดยการทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างผิวพอร์ซเลนและ เรซินซีเมนต์

การทำผิวหน้าพอร์ซเลนซุระสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การขัดผิว การพ่นด้วยอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ การพ่นด้วยอนุภาคกากเพชร การพ่นด้วยอนุภาคแก้ว การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (Hydrofluoric) ชนิดที่เป็นเจล ของเหลวหรืออนุกรมกรตซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับซิลิกอนไดออกไซด์บนผิวพอร์ซเลนอยู่ในรูป “เฮกซะฟลูออโรซิลิเกต” และทำให้เกิดลักษณะเป็นรูพรุนคล้ายรังผึ้งบนผิวของพอร์ซเลน(Borgesและคณะ2003)โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาสามารถอธิบายด้วยสมการ



จากการศึกษาของ Höland และคณะ(2000) พบว่าเมื่อใช้กรดไฮโดรฟลูออริกที่มีความเข้มข้น 10% ทาบนผิวพอร์ซเลนนาน 20 วินาทีทำให้เกิดการละลายส่วนของแก้วเมทริกซ์และผลึกของลิเทียมออโรฟอสเฟตคงเหลือผลึกของลิเทียมไดซิลิเกตที่มีความซุระผิวเหมาะกับการยึดติดในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้กรดไฮโดรฟลูออริกแล้วพบว่าอะลูมิเนียมโบฟลูออไรด์ฟอสเฟตฟลูออไรด์อิมิตัวหรือแอมโมเนียมไฮโดรเจน ไดฟลูออไรด์ทำให้เกิดการละลายตัวของ เมทริกซ์แก้วได้เช่นกันแต่ผลการละลายจะน้อยกว่าในเวลาเท่ากัน รูพรุนที่เกิดขึ้นจะอยู่ในระดับ 2 ไมโครเมตร (ÖzcanและAkkaya, 2002)

Bonaและคณะ (2002) ศึกษาการปรับสภาพผิวพอร์ซเลนชนิดต่างๆด้วยกรดไฮโดรซัลฟูริกเข้มข้น 9.6% 2 นาที แอมโมเนียมโบฟลูออไรด์ 10% 1 นาที ฟอสเฟตฟลูออไรด์อิมิตัว 4% 2 นาทีและสารคู่ควบไซเลน พบว่ากลุ่มที่มีการปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควบไซเลนจะให้ค่ากำลังดึงสูงสุดและกลุ่มที่ใช้กรดไฮโดรซัลฟูริกในการปรับสภาพผิวจะให้ค่ากำลังดึงมากกว่ากลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วย แอมโมเนียมโบฟลูออไรด์และฟอสเฟตฟลูออไรด์ ลักษณะการแตกหักของ

ชิ้นงานทั้งหมดเกิดที่ผิวของการยึดติด ซึ่งสรุปได้ว่าการยึดติดด้วยพันธะเคมีให้ค่ากำลังยึดสูงกว่าการยึดทางกล

Wolf และคณะ (1993) ศึกษาค่าความแข็งแรงการดึงระหว่างเรซิน คอมโพสิตและพอร์ซเลนที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้น 9.5% นาน 30, 60, 150 หรือ 300 วินาที ร่วมกับการเป่าด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ ชนิดเปียกขนาด 10.2 ไมครอน ชนิดแห้ง 33.5, 48.0 และ 78.0 ไมครอน พบว่าผงอะลูมินาที่ขนาดต่างๆกันให้ค่ากำลังยึดที่แตกต่างกันโดยขนาดของผงที่ 48 ไมครอนจะให้ค่ากำลังยึดสูงที่สุด ส่วนการปรับสภาพด้วยกรดให้ค่ากำลังยึดสูงกว่าการใช้ผงอะลูมินาและพบว่าถ้าเวลาที่ใช้กรดปรับสภาพผิวนานกว่า 60 วินาที ลักษณะการแตกหักจะเกิดภายในเนื้อพอร์ซเลน จากการทดลองนี้ผู้ทำการทดลองแนะนำว่าควรใช้เวลาในการปรับสภาพพื้นผิว 2.5 นาที หรือการเป่าด้วยผงอะลูมินาขนาด 48 ไมครอน จึงจะได้ค่ากำลังยึดสูงสุด

Canay และคณะ (2001) ทดลองใช้ฟอสเฟต ฟลูออไรด์อิมิตัวและกรดไฮโดรฟลูออริกที่ความเข้มข้น 9.5% และในการปรับสภาพผิวพอร์ซเลน นำมาส่องดูลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า กรดไฮโดรฟลูออริก ทำให้เกิดร่องรอยบนผิวพอร์ซเลนที่ลึกกว่า ฟอสเฟต ฟลูออไรด์ และขนาดของช่องเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้น ในการทดลองนี้พบว่าเมื่อใช้กรดกัดนาน 1 นาที สามารถทำให้เกิดผิวขรุขระที่เพียงพอในการเกิดการยึดติดทางกล ถ้าใช้เวลานานกว่านั้นจะทำให้พื้นผิวมีลักษณะที่แหลมคมเป็นสาเหตุการแตกหักในเนื้อพอร์ซเลนได้ง่ายนำไปส่องด้วยกล้องสเปคโตสโคปพบว่าผลึกที่เหลือค้างบนพื้นผิวพอร์ซเลนได้แก่ผลึกฟลูออโรซิลิเกตของ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม และอะลูมินา ซึ่งผลึกเหล่านี้มีผลทำให้การยึดเกาะระหว่าง เรซินและพอร์ซเลนลดลง ที่สำคัญคือไม่สามารถล้างผลึกเหล่านี้ได้ด้วยน้ำแต่ล้างด้วยอัลตราโซนิคจึงสะอาดการทดลองนี้ได้ผลเหมือนกับการทดลองของ Sindel และคณะ (1993) การใช้กรดที่มีความเข้มข้นสูงหรือใช้ระยะเวลาที่นานขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อเมทริกซ์มากขึ้น แต่ไม่เพิ่มการยึดติด

Szep และคณะ (2000) พบว่าฟลูออไรด์ที่หลงเหลืออยู่หลังการปรับสภาพผิวสามารถป้องกันฟันผุได้ Kato และคณะ (2000) เปรียบเทียบการเตรียมพื้นผิวระหว่างการเป่าทราย การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกและการใช้กรดซัลฟิวริก พบว่ากรดไฮโดรฟลูออริกให้ค่าความแข็งแรงและเวลาในการยึดติดดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่ากรดไฮโดรซัลฟิวริกไม่ใช่กรดที่รุนแรงแต่เมื่อแพร่ผ่านไปยังเซลล์จะทำให้เซลล์ตายได้โดยเกิดการรบกวนระบบเมตาบอลิซึมของเซลล์ ดังนั้นเมื่อกรดสัมผัสกับเนื้อเยื่อพบว่าไม่แสดงอาการทันทีแต่เมื่อผ่านไป 24-48 ชั่วโมงจึงเห็นลักษณะเนื้อตาย มี

รายงานงานว่าที่ความเข้มข้น 2% เมื่อสัมผัสกับกระจกตาจะทำให้กระจกตาลอกได้ (Canay และคณะ, 2001)

พอร์ซเลนบางชนิดที่เป็นออกไซด์ของโลหะเช่น แมกนีเซียม(MgO) เซอร์โคเนีย(ZrO₂) หรือ อินซีแรมอะลูมินาไม่สามารถใช้กรดปรับสภาพผิวหน้าได้เนื่องจากมีองค์ประกอบของซิลิกาจำนวนมาก ในอินซีแรมมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบเพียง 4% จึงต้องเตรียมพื้นผิวโดยการพ่นอนุภาคอะลูมินา Madaniและคณะ(2000) ปรับสภาพผิวของอินซีแรมโดยการเป่าทรายบนผิวร่วมกับใช้ เรซินซีเมนต์ฟานาเวีย 21 และสารคู่ควบไซเลนจะให้ค่ากำลังยึดเหนี่ยวที่สูงกว่า การใช้กรดไฮโดรฟลูออริก 9.5% ในการปรับสภาพผิว

Borges และคณะ(2003) ศึกษาถึงการปรับสภาพผิวของอินซีแรมอะลูมินา อินซีแรมเซอร์โคเนีย เปรียบเทียบกับไอพีเอส เอ็มเพรส และไอพีเอส เอ็มเพรส ทุ โดยวิธีการเป่าด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50 ไมครอนที่แรงดัน 4 บาร์นาน 5 วินาทีและใช้กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 10% ปรับสภาพผิวหน้าพบว่า การปรับสภาพผิวทั้ง 2 วิธีไม่ทำให้พื้นผิวของอินซีแรมและเซอร์โคเนียเกิดความขรุขระได้เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพราะอินซีแรมมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบน้อยมากและซิลิกาเป็นสารตัวเดียวที่ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกดังนั้นการใช้กรดจึงไม่มีผลกระทบต่อพื้นผิวของอินซีแรม ส่วนการใช้อนุภาคแก้วที่มีขนาด 50 ไมครอนไม่สามารถทำให้เกิดความขรุขระกับผิวของอินซีแรมทั้ง 2 ชนิด จึงมีการพัฒนาระบบการเคลือบด้วยซิลิกอนออกไซด์ (silicon oxide coating) เป็นวิธีการเพิ่มการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ร่วมกับการยึดติดทางเคมีกับเรซินซีเมนต์โดยการเคลือบด้วยซิลิกอนออกไซด์ Kourtis (1997) ได้รวบรวมไว้ดังนี้

1. ระบบซิลิโคเตเตอร์ (The Silicoater system, Kulzer Co, Friedrichshof, Germany)โดยการเป่าอนุภาคอะลูมินัม ออกไซด์ ที่มีขนาดอนุภาค 250 ไมครอนที่ความดัน 4 บาร์ เวลาที่ใช้สำหรับโลหะหล่อผสมมีตระกูล 10-15 วินาทีและสำหรับโลหะพื้นฐาน 30 วินาที ซึ่งทำให้เกิดชั้นของซิลิเกตเคลือบทับโดยขบวนการไพโรไลติก (pyrolytic) แล้วเคลือบทับด้วยสารคู่ควบไซเลนเพื่อยึดชั้นของซิลิเกตเข้ากับสารอินทรีย์โพลีเมอร์

2. ระบบซิลิโคเตเตอร์ เอ็มดี (The silicoater M-D system, Kulzer Co, Friedrichshof, Germany) เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบซิลิโคเตเตอร์ โดยชั้นของซิลิเกตจะถูกเคลือบทับบางๆด้วยชั้นของออกไซด์โครเมียม(thin chromium oxide)

3. โรคาเทค ซิลิกาโคตติ้ง (Rocatec Silica coating system, Espe Co., Seefeld, Germany) เป็นระบบที่ถูกแนะนำโดย Guggenburger ในปี ค.ศ. 1989 มีกรรมวิธีคือ การเป่าอนุภาคด้วยความดันสูงโดยครั้งแรกเป่าด้วย โรคาเทค-พรีพาวเดอร์ (Rocatec-prepowder) เป็นการเตรียมผิวหน้าให้ขรุขระและทำความสะอาดผิวหน้าให้พร้อมสำหรับการพ่นครั้งที่ 2 ซึ่งพ่นด้วยโรคาเทค-พลัสพาวเดอร์ (Rocatec-pluspowder) ซึ่งเป็นอนุภาคซิลิกาที่ฉาบบนผิวอะลูมิเนียมออกไซด์ ที่ความดัน 2-3 บาร์ เมื่ออนุภาคชนกับผิววัสดุทำให้เกิดความร้อนอนุภาคของซิลิกอนไดออกไซด์จะหลอมตัวเคลือบบนผิวของพอร์ซเลนเป็นชั้นบางๆ เกิดชั้นของซิลิกาฉาบบนผิวหน้าของพอร์ซเลนซึ่งซิลิกาที่ฉาบนี้สามารถเกิดพันธะไฮดรอกเซนกับเรซินซีเมนต์ทำให้เกิดการยึดติดทางกลและทางเคมีในขณะเดียวกัน (Blixt และคณะ 2000; Krämer และคณะ, 2000; Özcan และ Akkaya, 2002)

การยึดติดทางเคมีมักใช้สารคู่ควบไฮเลนเพื่อทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนและพันธะโคเวเลนต์ระหว่างผิวหน้าของพอร์ซเลนและเรซินซีเมนต์ ในช่วงต้นทศวรรษ 1960 เริ่มใช้ออกแกนไฮเลนในทางทันตกรรมเพื่อยึดระหว่างอนินทรีย์สารเช่นพอร์ซเลนกับอินทรีย์สารในกลุ่มบิส-จีเอ็มเอ เป็นครั้งแรก อีก 10 ปีต่อมานำมาใช้งานทันตกรรมประดิษฐ์มากขึ้นเพื่อเชื่อมแซมพอร์ซเลนที่แตกหัก (Major และคณะ, 1995)

ออกแกนไฮเลนเป็นโมเลกุลที่มีกลุ่มทำงาน 2 กลุ่มอยู่บนโมเลกุลเดียวกันด้านหนึ่งเป็นกลุ่มเมธาครีเลตเพื่อจับกับโมโนเมอร์ของเรซินซีเมนต์ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นกลุ่มอัลคอกซี (alcoxy) เมื่อถูกไฮโดรไลซ์เปลี่ยนสภาพเป็นกลุ่มไฮเลนอลยึดกับซิลิกอนไดออกไซด์หรืออัลคาไลน์ออกไซด์บนผิวหน้าของพอร์ซเลนเกิดเป็นพันธะไฮดรอกเซนซึ่งมีปฏิกิริยาอยู่ๆแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการเติมน้ำให้กับออกแกนไฮเลนเพื่อเปลี่ยนสภาพเป็นออกแกนไฮลีนอล

ในขั้นตอนนี้ต้องการกรดเพื่อลดสภาพความเป็นด่างบนผิวพอร์ซเลนรวมทั้งลดพลังงานพื้นผิว (surface energy) และเพิ่มความสามารถในการเปียก (wettability) ให้กับผิวหน้าของพอร์ซเลน นอกจากนี้กรดช่วยให้ไฮเลนเปลี่ยนสภาพไปเป็นไฮลีนอลพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยาในขั้นต่อไป ขั้นตอนปฏิกิริยานี้เกิดอย่างรวดเร็วดังสมการ



ออกแกนไฮเลน

กลุ่มไฮลีนอล

R = กลุ่มเมธาครีเลต

ประสิทธิภาพในการยึดติดของสารเคลือบไซเลนขึ้นอยู่กับระดับการเกิดไฮโดรไลต์ (degree of hydrolyze) ยิ่งมีค่าสูงยิ่งทำให้การยึดติดได้ดีขึ้นสำหรับสารเคลือบไซเลนที่มีขายในท้องตลาดอยู่ในรูปพรีไฮโดรไลต์ (prehydrolyzed) หรือ นอนไฮโดรไลต์ (non hydrolyzed) ซึ่งมีข้อแตกต่างกันคือ ในกลุ่มพรีไฮโดรไลต์จะให้การยึดติดที่ดีกว่าเนื่องจากไซเลนถูกทำให้พร้อมสำหรับการยึดติดมากกว่าใช้งานง่ายแต่มีอายุการใช้งานสั้น ไม่เสถียรในขวดที่บรรจุ ส่วนกลุ่มนอนไฮโดรไลต์จะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแต่ประสิทธิภาพในการยึดเกาะจะต่ำกว่า จำเป็นต้องใช้กรดฟอสฟอริก กระตุ้นก่อนการใช้งานและค่ากำลังยึดเหนี่ยวจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน (Lu และคณะ, 1992)

2. ขั้นตอนการเกิดพันธะออกเซนเบื้องต้น

ก่อนที่จะเกิดพันธะโคเวเลนต์ถาวร ออกแกนโนไซเลนอลจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารบนผิวพอร์ซเลนซึ่งอ่อนแอและสลายตัวง่าย

3. ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นเพื่อเกิดพันธะออกเซนถาวร

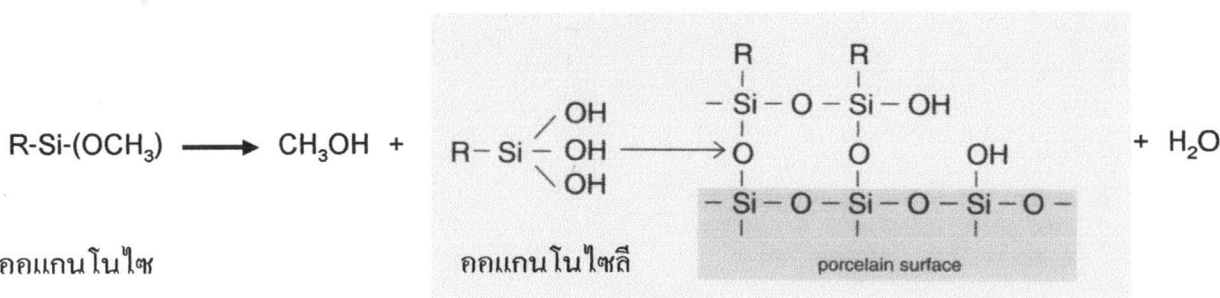
ขั้นตอนนี้เกิดช้าและใช้เวลาตั้งแต่ 2-24 ชั่วโมงซิลิกอนในออกแกนโนไซเลนอลเกิดพันธะโคเวเลนต์กับซิลิกอนไดออกไซด์หรืออัลคาไลน์ออกไซด์บนผิวของพอร์ซเลนเป็นปฏิกิริยาอิออนิกที่ผันกลับได้มีค่าคงที่ของปฏิกิริยาและสมดุลของน้ำเป็นตัวคุมทิศทางในการเกิดปฏิกิริยาตั้งสมการ



กลุ่มไซเลนอล

พันธะไซลอกเซน

M = ซิลิกาหรืออัลคาไลน์

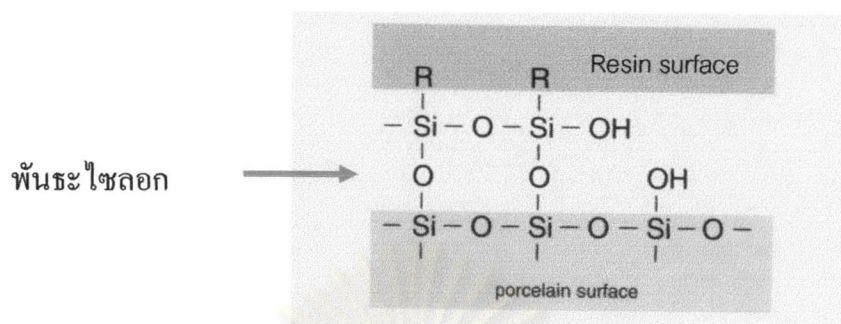


ออกแกนโนไซ

ออกแกนโนไซลิ

porcelain surface

รูปที่ 3 แสดงภาพสรุปขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาของสารเคลือบไซเลนทั้งหมด



รูปที่ 4 แสดงพันธะไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นระหว่างผิวพอร์ซเลนและผิวของเรซินซีเมนต์

สรุปภาพรวมการเกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิลจะเกิดในลักษณะดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงพันธะไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นระหว่างผิวพอร์ซเลนและผิวของเรซินซีเมนต์

Lacy และคณะ (1985) ศึกษาพบว่าการพันทรายเพียงอย่างเดียวโดยไม่ใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลนให้การยึดอยู่ที่ไม่ดี ในสารคู่ควบไซเลนบางบริษัทมีกรดคาร์บอกซิลิกช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะในกรณีที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับกรดไฮโดรซัลฟลูริก (Blatz, 2003) Sorensen และคณะ (1991) พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยกรดและทาสารคู่ควบไซเลนสามารถลดการรั่วซึมระดับจุลภาค การปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ต่างๆจะลดค่ากำลังการยึดติดจึงควรทำความสะอาดชิ้นงานด้วยกรดซัลฟลูริกหรือตัวทำลายจำพวกแอลกอฮอล์หรืออะซิโตนก่อนนำมาใช้งาน ในหนึ่งขวดของสารคู่ควบไซเลนมีส่วนประกอบหลัก คือ ไซเลน โมโนเมอร์พื้นฐานของระบบยึดติดนั้นๆ กรดอ่อนที่ช่วยในการเกิดพันธะไฮดรอกซิลและตัวทำลายที่ระเหยอย่างรวดเร็วหลังจากการเปิดขวดทำให้ความเข้มข้นในขวดของสารคู่ควบไซเลนสูงกว่าที่บริษัทแนะนำและด้วยความหนาที่เพิ่มขึ้นทำให้ชั้นของไซเลนกลายเป็นตำแหน่งที่อ่อนแอซึ่งกลายเป็นผลเสียมากกว่าผลดีดังนั้นจึงควรปิดฝาหลังการใช้งาน

ชั้นของออกแกนไนไซเลนมีความบางมากกว่าทองที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานมากไม่สามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Canney, 2001) และโครงสร้างทางเคมีของออกแกนไนไซเลนมีหลายรูปแบบแตกต่างกันเช่น แกมมา-เมธาครีลออกซีโพรพิลไตรเมธอกซีไซเลน (γ -methacryloxy propyltrimethoxy silane) หรือ ไตรอัลคิลออกซีซิลโพรพิล เมธาครีเลต (3-alkyloxysilylpropyl methacrylate) แตกต่างกันในแต่ละบริษัทและในแต่ละระบบการยึดติดจึงไม่

ควรใช้ไซเลนข้ามบริษัทเพราะทำให้สารคู่ควบไซเลนและส่วนของโมโนเมอร์พื้นฐานของระบบยึดติดนั้นๆไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน(Blatzและคณะ 2003) ตัวอย่างเช่น สารคู่ควบไซเลน พอร์ซเลน-ไลเนอร์ เอ็ม (Porcelain liner M; Sun medical, Japan) ในส่วนของเหลว A จะประกอบด้วยโพร์เมตา 5% ในโมโนเมอร์พื้นฐานเมธิลเมธาครีเลตซึ่งเป็นโมโนเมอร์พื้นฐาน 95% ขณะที่ของเหลว B มีไตรเมธอกซีไซลิลโพรพิล เมธาครีเลต (3-methoxysilylpropyl methacrylate) 4% ในเมธิลเมธาครีเลต 96% จะเห็นว่าในส่วนเรซินเมทริกซ์ของระบบเรซินซีเมนต์ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี มีเมธิลเมธาครีเลตเป็นโมโนเมอร์พื้นฐานเช่นเดียวกันดังนั้นในสารคู่ควบ ไซเลนของระบบนี้จึงมีโมโนเมอร์ที่เป็นเมธิลเมธาครีเลตเป็นองค์ประกอบหลัก

Stewart และคณะ (2002) ศึกษาค่ากำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเฟลด์สปาทิกพอร์ซเลนและเนื้อฟันโดยใช้เรซินซีเมนต์ 4 ชนิดคือ เน็กซ์ (Nexus) พานาเวีย 21 รีไลน์เอ็กซ์ อาร์ค(RelyX ARC) และคาริบรา(Calibra) ร่วมกับการปรับสภาพพื้นผิว 6 ลักษณะคือกลุ่มที่ 1 ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 กลุ่มที่ 2 เป่าด้วยอนุภาคอะลูมินาออกไซด์ขนาด 50 ไมโครเมตร กลุ่มที่ 3 ทาสารคู่ควบไซเลน กลุ่มที่ 4 เป่าด้วยอนุภาคอะลูมินาร่วมกับทาสารคู่ควบไซเลน กลุ่มที่ 5 ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก 9.6% กลุ่มที่ 6 ปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกร่วมกับทาสารคู่ควบไซเลน พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและทาทับด้วยสารคู่ควบไซเลนจะให้ค่ากำลังยึดสูงสุดเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงและ 6 เดือนซึ่งผลตรงข้ามกับการปรับสภาพผิวการขัดกระดาษทรายเบอร์ 600 หรือการปรับสภาพด้วยการเป่าด้วยอนุภาคอะลูมินาออกไซด์ และพบว่าค่ากำลังยึดเหนี่ยวของเรซินซีเมนต์ทั้ง 4 ชนิดไม่มีความแตกต่างกันเมื่อทดสอบที่ 24 ชั่วโมงเมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน พบว่าเรซินซีเมนต์ที่ป่มตัวด้วยปฏิกิริยาเคมีและป่มตัวด้วยแสงให้ค่ากำลังยึดที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่ป่มตัวร่วมกัน(dual-polymerization)

การยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับแกนฟันเรซิน คอมโพสิต

เรซิน คอมโพสิตที่เกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์แล้วมักเกิดปัญหาการยึดติดกับเรซินซีเมนต์เพราะจำนวนพันธะคู่ที่เกิดปฏิกิริยาต่อได้อีกลดลง (Boyerและคณะ,1984) ดังนั้นการเกิดพันธะเคมีระหว่างเรซิน คอมโพสิตที่ป่มตัวแล้วกับเรซินซีเมนต์เกิดน้อยมาก การยึดติดที่เกิดขึ้นเป็นการยึดติดทางกลโดยการขัดแต่งผิวของเรซิน คอมโพสิตด้วยเซมกรอคาร์ไบด์ (carbide bur) บางรายงานทำให้ผิวขรุขระโดยเป่าด้วยผงอะลูมินาออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของชิ้นงานให้มากขึ้นแต่ทั้ง 2 วิธีเมื่อส่องผ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่า มีชั้น สเมียร์แลร์ (smear layer) ที่ผิวของชิ้นงาน Kunzelmannและคณะ(1994) ศึกษาโดยใช้กรด 2 ชนิดคือกรดฟอสฟอริกและกรดไฮโดรฟลูออริกปรับสภาพพื้นผิวของเรซิน คอมโพสิตพบว่า กรด

ฟอสฟอริกไม่มีผลต่อการยึดระหว่างเรซินซีเมนต์กับชิ้นงานเรซิน คอมโพสิตแต่กรดไฮโดรฟลูออริกช่วยกำจัดคราบชั้น สเมียร์แลร์ได้ทั้งหมดแต่ทำให้วัสดุอุดแทรกที่ฝังอยู่ในเมทริกซ์หลุดออกไป บางส่วนค่ากำลังยึดที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่าการใช้กรดฟอสฟอริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจึงมีความพยายามเพิ่มการยึดติดโดยใช้ร่วมกับสารคู่ควบไซเลนโดยกลุ่มไฮดรอกซีของสารไซเลน เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันบนวัสดุอุดแทรกของคอมโพสิตส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของไซเลนเกิดการยึดติดกับกลุ่มอินทรีย์สารในเรซินซีเมนต์ทำให้เพิ่มกำลังการยึดติดสูงขึ้น

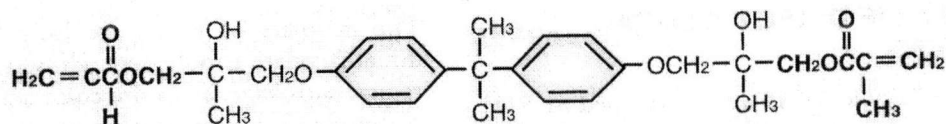
เรซิน คอมโพสิต (Resin composite)

เรซิน คอมโพสิต คือวัสดุที่เกิดจากสารที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิด รวมตัวกันโดยไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี ในทางทันตกรรมวัสดุบูรณะฟันเรซิน คอมโพสิตหมายถึง วัสดุที่มีประกอบด้วย อินทรีย์สาร และอนินทรีย์สาร ถือกำเนิดในปี ค.ศ. 1957 โดย Bowen ได้สังเคราะห์สารบิส-จีเอ็มเอ (Bis-GMA) จากปฏิกิริยาของ บิสฟีนอล เอ (Bis Phenol A) กับไกลซีดีล เมธาครีเลต (Glycidyl methacrylate) ต่อมาในปี ค.ศ. 1972 Bowen และคณะพบว่าเมื่อใส่สารฟิลเลอร์จำพวกแก้วและควอตซ์สามารถรวมตัวกับโมโนเมอร์และทำให้เรซิน คอมโพสิตแข็งแรงขึ้น การควบคุมขนาดและการกระจายตัวของฟิลเลอร์หรือควบคุมความหนืดของบิส-จีเอ็มเอ โดยใส่โมโนเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าเช่นเอธิลีนไกลคอล ไดเมธาครีเลต(ethyleneglycol dimethacrylate: EGDMA) ทำให้ง่ายต่อการใช้งาน

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบหลักของเรซิน คอมโพสิตจะประกอบด้วย

1. เรซินเมทริกซ์ เป็นอินทรีย์สารได้แก่โมโนเมอร์ต่างๆซึ่งส่วนมากเป็นชนิด บิส-จีเอ็มเอ มีกลุ่มฟังก์ชันคือกลุ่มเมธาครีเลต (methacrylate) มีพันธะคู่ 2 กลุ่มอยู่คนละด้านของโมเลกุลดังรูปที่ 5

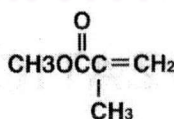
Bis-GMA



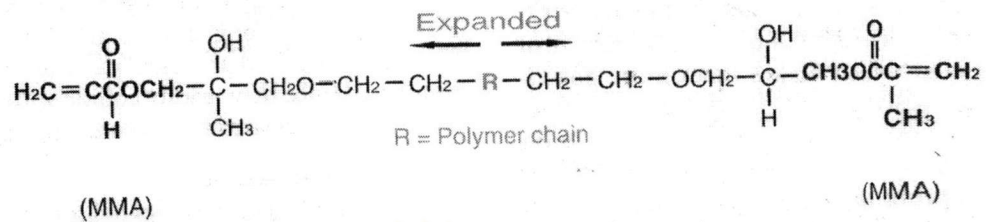
รูปที่ 5 แสดงสูตรโครงสร้างโมเลกุลของ บิส-จีเอ็มเอ

พันธะคู่ทั้งสองด้านจะเป็นกลุ่มที่แตกตัวเมื่อถูกกระตุ้นด้วยอนุมูลอิสระเกิดพันธะต่อเนื่องเชื่อมกันเป็นโพลิเมอร์ ปัจจุบันนิยมใช้บิส-จีเอ็มเอ เนื่องจากมีกลุ่มเบนซินอยู่ภายในโมเลกุลทำให้เกิดความแข็งแรงทนต่อกำลังความแข็งแรงกดสูง มีการหดตัวต่ำและมีการดูดน้ำที่ต่ำ ส่วนเมธิลเมทาครีเลตที่มีสูตรโมเลกุลดังรูปที่ 6 เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กมากทำให้ดูดน้ำได้สูง การที่เรซินดูดน้ำทำให้เรซินมีความแข็งแรงลดลงและทำให้สีของเรซิน คอมโพลีตไม่คงทน Foster และ Walker (1974) ผลิต ยูรีเทนไดเมทาครีเลต(urethane dimethacrylate: UDMA)ซึ่งมีสูตรโมเลกุลดังรูปที่ 7 ออกสู่ท้องตลาดซึ่งเกิดพันธะในลักษณะเดียวกันกับบิส-จีเอ็มเอ มีข้อได้เปรียบบิส-จีเอ็มเอ คือมีความหนืดที่ต่ำกว่าเนื่องจากมีโมเลกุลขนาดเล็กทำให้ใส่ฟิลเลอร์แทรกระหว่างเมทริกซ์ได้ง่ายแต่มีการหดตัวสูงกว่า บริษัทที่นิยมใช้ยูดีเอ็มเอร่วมกับบิส-จีเอ็มเอมีคือ วิวาเดนท์ (Vivadent)และคอล์ก(Claulk)แต่บางบริษัทเช่น 3 เอ็ม/เอสเป (3M/ESPE) ใช้สารไตรเอธิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลต (triethyleneglycol dimethacrylate : TEGDMA)ซึ่งมีสูตรโมเลกุลดังรูปที่ 8 พบว่ามีโมเลกุลขนาดเล็กเช่นเดียวกันแต่มีกลุ่มไฮดรอกซีจำนวนน้อยทำให้ดูดน้ำน้อยกว่ายูดีเอ็มเอ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดโดยในเรซิน คอมโพลีตชนิดแมกโครฟิลล์จะผสม ไตรเอธิลีนไกลคอลไดเมทาครีเลตในองค์ประกอบส่วนเมทริกซ์ 10-35% และในไมโครฟิลเรซิน คอมโพลีตมีผสมในองค์ประกอบ 30-50% เนื่องจากโมเลกุลของโมโนเมอร์เหล่านี้มีขนาดเล็กกว่าบิส-จีเอ็มเอ นำมาใช้ทดแทนกันได้เพื่อลดความหนืดของเรซิน คอมโพลีตก่อนการเกิดปฏิกิริยา โพลิเมอร์ไรเซชันแต่สารโมโนเมอร์ที่มีโมเลกุลเล็กๆเหล่านี้ระเหยได้รวดเร็วทำให้อายุการใช้งานของเรซิน คอมโพลีตลดลงในสารบอนด์มีฟิลเลอร์ในปริมาณที่น้อยมากหรือไม่มีเลยส่วนประกอบและความเป็นซ้ำของโมโนเมอร์ที่ลดความหนืดเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของเรซิน คอมโพลีตเรซินเช่น การหดตัวภายหลังการเกิดปฏิกิริยา การดูดซึมน้ำ คุณสมบัติทางกล รวมถึงส่วนเหลือของ โมโนเมอร์ และพันธะคู่ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาภายหลังผ่านกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชันแล้ว

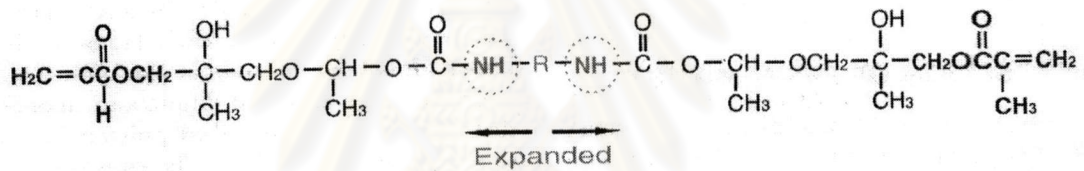
Methyl methacrylate (MMA)



รูปที่ 6 แสดงสูตรโครงสร้างโมเลกุลของเมธิลเมทาครีเลต (MMA)



รูปที่ 7 แสดงสูตรโครงสร้างโมเลกุลของไตรเอทิลีนไกลคอล ไดเมทาครีเลต



รูปที่ 8 แสดงสูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ยูรีเทนไดเมทาครีเลต (UDMA)

2. ฟิลเลอร์ เป็นส่วนอนินทรีย์สารทำจาก ควอตซ์ แบเรียม แก้วลึเทียมอะลูมิเนียมซิลิเกตโดยอนินทรีย์สารเหล่านี้มีการขยายและหดตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใกล้เคียงกับเนื้อฟันทำให้การรั่วซึมตามขอบลดลงและทำหน้าที่ปรับปรุงให้เรซิน คอมโพสิตมีคุณสมบัติทางกลดีขึ้น เช่น ลดการหดตัวจากการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน ลดการดูดซึมน้ำ นอกจากนั้นฟิลเลอร์มีดัชนีการสะท้อนแสงที่เข้ากันได้กับ บีส-จีเอ็มเอ ช่วยในการสะท้อนให้สีดูเหมือนฟันธรรมชาติและเกิดความสวยงาม ในยุคเริ่มแรกช่วงทศวรรษที่ 70 นิยมใช้ควอตซ์ทำเป็นฟิลเลอร์อย่างแพร่หลายเนื่องจากไม่เกิดปฏิกิริยากับสารชนิดอื่นและมีดัชนีการสะท้อนแสงที่ดี พบว่าสารคู่ควบไซเลนเกิดพันธะเคมีกับควอตซ์ได้ดีกว่าแก้วชนิดอื่นที่นำมาทำเป็นฟิลเลอร์แต่ควอตซ์มีข้อเสียคือมีความแข็งสูงมากไม่สามารถบดละเอียดเป็นชิ้นเล็กๆได้ การขัดแต่งทำได้ยาก รวมทั้งไม่ทึบแสงเอ็กซ์เรย์ จึงมักใช้ในกลุ่มเรซิน คอมโพสิตชนิดแมกโครฟิลล์ คุณสมบัติการ

ที่บ่งแสงของวัสดุจะช่วยให้สังเกตเห็นรอยผุใหม่ได้วัสดุอุดได้ง่ายรวมทั้งมองเห็นวัสดุอุดเกินขอบหรือไม่ ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงเปลี่ยนชนิดฟิลเลอร์ใช้ในกลุ่มที่เป็นแก้วออกไซด์ของธาตุโลหะแทนได้แก่ แบเรียม(Barium: Ba) สตรอนเชียม(Strontium: Sr) เซอร์โคเนียม(Zirconium: Zr) และยิทเทอเรียม ต่อมา Bowen และ Cleek (1996) ใช้แก้วแบเรียมที่บ่งแสงเป็นฟิลเลอร์เนื่องจากทำให้มีขนาดเล็กได้โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่0.4-0.6 ไมโครเมตรใกล้เคียงกับผลึกของชั้นเคลือบฟัน ชัดได้ง่ายและมีการสะท้อนแสงที่ดี ตัวอย่างของ ผลิตภัณฑ์ที่มีแบเรียมเป็นฟิลเลอร์เช่นลักซาคอร์ ส่วนเซอร์โคเนียมที่ใช้เป็นฟิลเลอร์ในผลิตภัณฑ์ แซต250 เกิดจากขบวนการทำให้ตกผลึกและนำมาเคลือบซิลิกาที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 0.04ไมโครเมตร เพื่อให้ยึดกับเรซินเมทริกซ์ได้ดี และเนื่องจากซิลิกามีขนาดอนุภาคเล็กมากจึงใช้เป็น ฟิลเลอร์ของเรซิน คอมโพสิตชนิดไมโครฟิลหรือชนิดไฮบริด

แบ่งเรซิน คอมโพสิตตามชนิดของวัสดุอุดแทรกสามารถแบ่งได้เป็น

2.1 แมกโครฟิลเลอร์ (Macrofiller) ที่มีขนาดตั้งแต่ 1-35 ไมโครเมตร มีขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1-8 ไมโครเมตร วัสดุกลุ่มนี้มีปัญหาเพราะวัสดุอุดแทรกมักหลุดร่อนออกมาเนื่องจากการมีอัตราสึกกร่อนสูงทำให้ผิวหน้าขรุขระ ไม่นิยมใช้วัสดุกลุ่มนี้ในงานอุดฟันเพราะทำให้ฟันคู่สบสึก วัสดุอุดแทรกส่วนใหญ่เป็นพวกควอตซ์หรือแก้วที่บดแล้วเช่น แก้วอะลูมินา แก้วแบเรียมซึ่งแก้วแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพและความทึบแสงต่างกัน

2.2 ไมโครฟิลเลอร์ (Microfiller) อนุภาคของวัสดุอุดแทรกชนิดนี้ทำจาก คอลลอยดอลซิลิกา ขนาด 0.01-0.04 ไมโครเมตร มีคุณสมบัติเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากวัสดุชนิดนี้มีวัสดุอุดแทรกขนาดเล็กจึงขัดเรียบได้ง่าย ถ้าใส่วัสดุอุดแทรกมากเกินไปทำให้เรซิน คอมโพสิตมีความหนืดสูงทางบริษัทจึงใส่ฟิลเลอร์ในปริมาณ 30% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้เรซิน คอมโพสิตชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกลลดลง การหลุดตัวจากการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันสูง

2.3 ไฮบริดเรซิน คอมโพสิต (Hybrid) วัสดุอุดแทรกมีทั้งอนุภาคใหญ่คือแมกโครฟิลและอนุภาคเล็กคือไมโครฟิลอยู่ร่วมกันในเรซินเมทริกซ์ซึ่งแสดงคุณสมบัติของฟิลเลอร์ทั้ง 2 ชนิด ปริมาณวัสดุอุดแทรกของเรซิน คอมโพสิตชนิดนี้อยู่ในช่วง 75-80% ตามน้ำหนัก ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของวัสดุ อุดแทรกต่างๆกันและกระจายต่างกันในแต่ละบริษัท การมีวัสดุอุดแทรกในปริมาณสูงทำให้ค่า สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนมีค่าลดลง มีผลต่อการลดความเครียดของ

วัสดุทำให้ไม่เกิดการดึงรั้งผนังเนื้อฟัน ลดการรั่วซึมตามขอบและมีความแข็งมากขึ้น ฟิลเลอร์ที่มีขนาดใหญ่จะวางตัวขวางทิศทางการแตกและดูดซับพลังงานไว้ทำให้พลังงานที่ทำให้เกิดการแตกลดลงดังนั้นยังมีฟิลเลอร์เม็ดใหญ่จำนวนมากเท่าไรทำให้รอยแตกต่อได้ช้าลง และเมื่อพลังงานที่ลดลงนั้นผ่านมายังฟิลเลอร์เม็ดเล็กๆจะทำให้พลังงานนั้นลดลงหรือหมดไปดังนั้นถ้ามีจำนวนฟิลเลอร์เม็ดเล็กมากสามารถหยุดรอยแตกได้เร็วขึ้น

กลุ่มไฮบริดเรซิน คอมโพสิตสามารถแบ่งกลุ่มย่อยตามขนาดของฟิลเลอร์ได้ดังนี้

2.3.1 ไมครอนไฮบริด(Micronhybrid) คือแมกโครฟิลเรซิน คอมโพสิตที่มีขนาดฟิลเลอร์เฉลี่ย 1-5 ไมครอน และมีไมโครฟิลในองค์ประกอบ 7-15 %ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการต้านทานการแตกที่ดีและทนต่อการขัดถูได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับแมกโครฟิลคอมโพสิตฟิลเลอร์ที่ใช้มักอยู่ในกลุ่ม ควอตซ์

2.3.2 ซับไมครอนไฮบริดหรือมินิฟิลไฮบริด (Submicronhybrid or minifillhybrid) เป็นแมกโครฟิลไฮบริดที่มีการกระจายของฟิลเลอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน อนุภาคฟิลเลอร์จะม่นกลมมากขึ้นและมีขนาดเฉลี่ยของแมกโครฟิลต่ำกว่า 1 ไมครอนเมตร บริษัทแรกที่ใช้ระบบนี้คือบริษัทเคอร์ภายใต้ชื่อการค้าว่า "อัลตราไฟน์" (Ultrafine: Kerr Corp, Orange, California)ซึ่งผลิตออกมาในช่วงปีค.ศ. 1970 ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 บริษัทผลิต "เฮอรัลไลท์" (Herculite) เป็นลำดับ บริษัทที่สองผลิตเรซิน คอมโพสิตชนิดนี้ในช่วงปี 1980 คือบริษัทคูลเซอร์ (Kulzer) ใช้ชื่อทางการค้าว่า คาร์ริสมา (Charisma) ในช่วงทศวรรษ 1990 มีหลายบริษัทผลิตออกมาภายใต้ชื่อการค้าต่างๆเช่น ซินเนอร์จี (Synergy: Coltene) ไวทอลเลสเซ็นต์ (Vitalescene: Ultradent) และในปีค.ศ. 1999 บริษัทเคอร์ผลิตเรซิน คอมโพสิตที่มีขนาดฟิลเลอร์ 0.4 ไมครอนเมตร เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในชื่อทางการค้าว่า พอยท์โฟร์ (Point 4: Kerr) มินิฟิลไฮบริดจะแตกต่างจากเรซิน คอมโพสิตทั่วไปที่ไม่มีอนุภาคขนาดใหญ่แต่มีอนุภาคที่มีขนาดเท่าๆกัน สามารถรับแรงได้สูง ให้ความเรียบบนผิวหน้าได้ดี ในช่วงที่ผ่านมา มินิฟิลได้ใส่ไมโครฟิลลงไปด้วยซึ่งเป็นข้อดีคือทำให้ขัดพื้นผิวได้เรียบมากขึ้นและรองรับแรงได้มากขึ้น

2.3.3 เฮวีฟิลไฮบริด(Heavyfillhybrid) มีปริมาณฟิลเลอร์มากกว่า 80% หรือประมาณ 60-70%ตามปริมาตร ขนาดประมาณ 5-10 ไมครอน และมีขนาดฟิลเลอร์แตกต่างกันหลายขนาดทำให้เรซิน คอมโพสิตชนิดนี้มีความแข็งแรงมาก ข้อดีของเรซิน คอมโพสิตชนิดนี้คือ

ดูดซับพลังงานก่อนการแตกหักสูง และใช้กับรอยขีดที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีการหดตัวต่ำเมื่อได้รับแรงและมักไม่เกิดรอยร้าว พิลเลอร์ขนาดใหญ่ในเรซิน คอมโพสิตชนิดนี้ทำให้ผิวหน้าขรุขระ ทำให้ฟันคู่สบสึกตึงนั้นเรซิน คอมโพสิตชนิดนี้จึงแนะนำให้ใช้เป็นวัสดุแกนฟัน

3. สารคู่ควบไซเลน เนื่องจากวัสดุอัดแทรกไม่ยึดติดกับเมทริกซ์ของเรซิน คอมโพสิต ทำให้วัสดุอัดแทรกหลุดออกได้ง่ายจึงต้องใช้สารคู่ควบไซเลนที่มีกลุ่มฟังก์ชัน 2 กลุ่ม ข้างหนึ่งเกิดพันธะกับโมเลกุลของเรซินเมทริกซ์อีกด้านเกิดพันธะกับวัสดุอัดแทรก สารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในปัจจุบันอยู่ในกลุ่มแกมมา-เมทาครีลออกซีโพรพิลไตรเมธอกซีไซเลน(γ -methacryloxy propyltrimethoxy silane)

การเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน

ฉายแสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 470 นาโนเมตรเพื่อกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน พบว่าขณะเกิดปฏิกิริยาไดเมธาครีลจะเกิดพันธะเชื่อมไขว้(crosslink) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มของแสง เช่น หลอดไฟใหม่มีความเข้มแสงมากกว่าหลอดไฟเก่า ระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับเรซิน คอมโพสิตเพราะความเข้มแสงจะแปรผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับเรซิน คอมโพสิต ระยะเวลาในการฉายแสงและความสามารถในการรับแสงของตัวรับแสงของเรซิน คอมโพสิต ปัจจุบันมีวิวัฒนาการแหล่งกำเนิดแสงที่จะทำให้เรซิน คอมโพสิตหนา 2 มิลลิเมตรแข็งตัวได้ภายใต้ผิวหน้าที่สัมผัสกับแสงโดยใช้เวลาในการฉายแสง 20 วินาที ระยะที่ลึกกว่านั้นความเข้มแสงจะลดลงเนื่องจากแสงถูกดูดซับและเกิดการกระเจิงของแสงจากเนื้อเรซินและฟิลเลอร์ นอกจากนี้ยังพบว่าแสงสีฟ้าจะมีอำนาจทะลุทะลวงมากกว่าแสงอัลตราไวโอเล็ต และมีระดับความลึกของการเกิดปฏิกิริยาเมื่อฉายนานขึ้นโดยมีระยะลึก 4 มิลลิเมตร ถ้าฉายแสง 40 วินาที เรซิน คอมโพสิตที่เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จะมีคุณสมบัติทางกายภาพลดลง มีสีที่ไม่คงทน และเกิดการติดสีได้ง่าย

วัสดุแกนฟัน

วัสดุบูรณะหลายชนิดนำมาทำเป็นแกนฟันเช่น อะมัลกัม กลาสไอโอโนเมอร์ หรือ เรซิน คอมโพสิต Cho และคณะ (1999) ศึกษาค่ากำลังความแข็งแรงกด (compressive strength) ของวัสดุแกนฟัน 8 ชนิดได้แก่เรซิน คอมโพสิตชนิดไฮบริดที่แข็งตัวด้วยแสง 2 บริษัท(เฮอร์คิวไลท์: Herculite, โพรดิจี: Prodigy) เรซิน คอมโพสิตผสมไทเทเนียมที่แข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี 2 บริษัท

(ไทคอร์: Ticore, คอร์เพส: Corepaste) อะมัลกัม วัสดุบูรณะกลาสไอโอโนเมอร์ กลาสไอโอโนเมอร์เซอร์เมทและโพลียูรีเทน จากการทดลองพบว่า เรซิน คอมโพสิตชนิดไฮบริดที่แข็งตัวด้วยแสงให้ค่ากำลังความแข็งแรงกตมากที่สุด รองลงมาคือเรซิน คอมโพสิตผสมกับไทเทเนียมที่แข็งตัวด้วยปฏิกิริยาเคมี และค่ากำลังความแข็งแรงกตของวัสดุที่มีกลาสไอโอโนเมอร์ผสมอยู่จะมีค่าต่ำที่สุด ผลการทดลองนี้สรุปได้ว่าเรซิน คอมโพสิตและอะมัลกัมสามารถใช้เป็นวัสดุแกนฟันได้ แต่ไม่แนะนำให้ใช้กลาสไอโอโนเมอร์เพราะไม่แข็งแรง ความสามารถในการกระจายแรงของเดือยฟันขึ้นกับวัสดุที่นำมาใช้เป็นแกนฟัน Yaman (1992) รายงานว่าอะมัลกัมและเรซิน คอมโพสิตที่ทำเป็นวัสดุแกนฟัน ช่วยกระจายแรงไปยังผิวหน้าของวัสดุและเดือยที่สัมผัสผิวฟันได้ดีกว่าการมีแรงมาสะสมบริเวณคอฟันเพียงบริเวณเดียว Gateau และคณะ (1999) ศึกษาการนำชิ้นงานผ่านวงจรการเพิ่มและลดแรง (Cyclic load) พบว่าอะมัลกัมมีร่องรอยการสึกกร่อนต่ำที่สุด รองลงมาคือ เรซิน คอมโพสิต ส่วนกลาสไอโอโนเมอร์ทนต่อการสึกกร่อนได้ต่ำที่สุด ต่อมาพบว่าการใช้เรซินซีเมนต์ยึดชิ้นงานช่วยเพิ่มค่าการยึดเกาะและต้านการหลุดของวัสดุแกนฟันได้ ข้อเสียของวัสดุแกนฟันเรซิน คอมโพสิตคือมักเกิดการขยายตัวจากการดูดน้ำหลังการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันที่สมบูรณ์แล้ว (Hygroscopic expansion) และค่าสัมประสิทธิ์การหดและขยายตัวเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีค่าประมาณ $30-40 \times 10^{-6}$ แต่เนื้อฟันมีค่าเพียง 10×10^{-6} ซึ่งแตกต่างกันมาก จึงควรระวังเรื่องการรั่วซึมตามขอบ Sendel และคณะ (1999) ทดลองเปรียบเทียบระหว่างวัสดุแกนฟันกลาสไอโอโนเมอร์และเรซิน คอมโพสิตที่ครอบฟันด้วยไอพีเอส เอมเพรส ทู พบว่าเมื่อแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 1 ปี ครอบฟันพอร์ซเลนที่ทำด้วยไอพีเอส เอมเพรส ทู ที่มีวัสดุแกนฟันชนิดกลาสไอโอโนเมอร์แตกออกจากกัน แต่ไม่พบการแตกของครอบฟันพอร์ซเลนที่มีวัสดุแกนฟันเรซิน คอมโพสิต

ลักษณะการแตกหักระหว่าง เรซินซีเมนต์ เรซิน คอมโพสิตและพอร์ซเลน

การทดสอบความแข็งแรงกำลังยึดเหนี่ยวหรือแรงยึดกำลังดึง ของชิ้นทดสอบพอร์ซเลนยึดติดกับเรซิน คอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ เมื่อนำชิ้นทดสอบที่แตกออกจากกันมาสำรวจพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถแบ่งรูปแบบการแตกหักออกเป็น 5 ลักษณะคือ

กลุ่มที่ 1 การแตกของชิ้นงานเริ่มจากวัสดุแกนฟันคอมโพสิตผ่านเข้าสู่เนื้อของเรซินซีเมนต์ไปสิ้นสุดที่รอยต่อระหว่างผิวของเรซินซีเมนต์กับพอร์ซเลน

กลุ่มที่ 2 การแตกของชิ้นงานเริ่มจากชั้นของเรซินซีเมนต์ผ่านไปยังรอยต่อระหว่างพื้นผิวเรซินซีเมนต์กับพอร์ซเลน

กลุ่มที่ 3 การแตกของชิ้นงานมีลักษณะเป็นการแตกที่ผิวรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับพอร์ซเลนและเรซินซีเมนต์กับวัสดุแกนฟันโดยมีบางส่วนของเรซินซีเมนต์ติดอยู่กับพอร์ซเลนและบางส่วนติดอยู่กับวัสดุแกนฟันคอมโพสิต

กลุ่มที่ 4 การแตกของชิ้นงานอยู่ในชั้นของเรซินซีเมนต์เท่านั้น

กลุ่มที่ 5 การแตกของชิ้นงานเกิดที่บริเวณผิวหน้ารอยต่อระหว่างพอร์ซเลนกับเรซินซีเมนต์เท่านั้น

Øiol (1993) กล่าวถึงลักษณะการแตกหักภายหลังจากการทดสอบแรงยึดเฉือนและแบ่งลักษณะการแตกเป็น

1. ถ้าการแตกหักเกิดที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ(adhesive failure)แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุงการซึมผ่านของผิววัสดุหรือปรับปรุงปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวชิ้นงานทั้ง 2 ให้ดีขึ้น

2. ถ้าการแตกหักเกิดในชั้นภายในวัสดุที่ใช้ทดสอบ(cohesive failure)แสดงว่าควรมีการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุชิ้นงานทดสอบ

Bisharaและคณะ(2001)ศึกษาการยึดระหว่างเหล็กจัดฟันกับผิวพอร์ซเลนด้วยเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆภายหลังจากการทดสอบกำลังยึดเฉือนแล้วนำชิ้นงานทั้งหมดมาส่องดูด้วยกล้องกำลังขยายขนาด 10 เท่าและแบ่งกลุ่มที่ได้ดังนี้

1. เรซิน คอมโพสิตทั้งหมดติดอยู่บนเนื้อฟันเกิดการแตกระหว่างผิวของเรซิน คอมโพสิต และวัสดุที่นำมายึดกับเนื้อฟัน

2. เรซิน คอมโพสิตคงเหลืออยู่บนเนื้อฟันมากกว่า 90%

3. เรซิน คอมโพสิตคงเหลืออยู่บนเนื้อฟันมากกว่า 10 %แต่น้อยกว่า 90%

4. เรซิน คอมโพสิตคงเหลืออยู่บนเนื้อฟันน้อยกว่า 10%

5. ไม่มีเรซิน คอมโพสิตคงเหลืออยู่บนเนื้อฟันเลย

ตั้งชื่อระบบการพิจารณาการแตกหักของวัสดุนี้ว่า “Adhesive Remnant Index: ARI”