หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เซรามิกกับงานทันตกรรม

เซรามิก (Ceramics) มีรากศัพท์ภาษากรีกว่า เคราม็อส (Keramos) หมายถึงดินเผา (Burnt earth) ในปัจจุบันคำว่าเซรามิกมีความหมายกว้างขึ้น วัสดุหลายชนิดถูกจัดเป็นเซรามิก นิยามของเซรามิกมักกล่าวในความหมายกว้างๆเท่านั้น โดยปรีดา พิมพ์ขาวขำ[7] ให้นิยามว่า เซรามิกหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ส่วนประกอบทั้งหมดหรือส่วนใหญ่ผลิตจากวัตถุดิบตามธรรมชาติ ด้วยการเผาที่อุณหภูมิสูง ส่วน Askeland[8] ให้นิยามว่าเป็นสารที่มีองค์ประกอบของทั้งธาตุอนินทรีย์และอโลหะ แต่สำหรับ Jacobs และ Kilduff[9] ให้นิยามว่าหมายถึง สารอนินทรีย์อโลหะที่ผ่านขบวนการผลิตโดยใช้อุณหภูมิสูง สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1. เซรามิกชนิดดั้งเดิม (Traditional ceramics) คือเซรามิกที่มีดินเหนียวและซิลิเกต (Silicate) เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ เครื่องปั้นดินเผา, เครื่องแก้ว, พอร์ซเลนชนิดต่างๆ เป็นต้น

2. เซรามิกยุคใหม่ (New ceramics or Advanced ceramics or Engineered ceramics or Value-added ceramics) คือ เซรามิกที่ผลิตจากวัตถุสังเคราะห์ มีคุณสมบัติเฉพาะตัวและมีกรรมวิธีในการผลิตที่ซับซ้อน

คุณสมบัติของเซรามิกที่สำคัญได้แก่ ความแข็งสูง (Extreme hardness), ทนความร้อนสูง (Heat resistance), ทนการกัดกร่อนได้ดี (Corrosion resistance), นำไฟฟ้าและนำความร้อนต่ำ (Low electrical and thermal conductivity), มีความเปราะ (Brittleness or low ductility), มีความแข็งแรงกด (Compressive strength) สูงกว่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มาก และมีลักษณะโครงสร้างเป็นโครงร่างผลึก (Crystalline structure) ล้อมรอบด้วยเมทริกซ์แก้ว (Glass matrix) ซึ่งยึดโครงร่างผลึกเข้าไว้ด้วยกัน ลักษณะโครงสร้างของเซรามิกอาจแตกต่างกันออกไปบ้างตามชนิดของเซรามิกนั้นๆ

การที่เซรามิกมีความสวยงามสามารถตกแต่งให้มีลักษณะใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติและไม่ทำปฏิกิริยาหรือเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อจึงถูกนำมาใช้ในทางทันตกรรมโดยใช้ทำซี่ฟันปลอมตั้ง

แต่ประมาณปีคริสต์ศักราช 1774[10] และมีการพัฒนาใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันในลักษณะอื่นๆ เช่น ครอบฟันหรือสะพานฟัน แต่ในระยะแรกเซรามิกยังใช้งานในวงจำกัดเนื่องจากมีการหดตัวปริมาณสูง, ความแข็งแรงไม่เพียงพอ, ความเปราะ, มีรูพรุน, รอยตำหนิ (Flaws) หรือความบกพร่องต่างๆ ในเนื้อวัสดุ ตำหนิเหล่านี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวเมื่อมีแรงมากระทำได้โดยง่าย อย่างไรก็ตามในช่วง 20-30 ปีที่ผ่านมาเซรามิกได้รับความนิยมในทางทันตกรรมมากขึ้น เนื่องจากเซรามิกมีการพัฒนาคุณสมบัติให้ดีขึ้น[11] ประกอบกับการรักษาทางทันตกรรมก็ให้ความสนใจกับความสวยงามมากขึ้นจึงมีการเลือกใช้เซรามิกมากขึ้น

<u>พอร์ซเลนและเซรามิก</u>

พอร์ซเลนจัดเป็นเซรามิกชนิดหนึ่งซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 3 อย่างคือ ดินขาว (White clay) ควอตซ์ (Quartz) และเฟลด์สพาร์ (Feldspar) ผ่านขั้นตอนการผลิตโดยการเผาที่อุณหภูมิสูง พอร์ซเลนเป็นเซรามิกที่มีเนื้อละเอียด, มีความแข็งแรงสูงและความโปร่งแสงมากกว่าเมื่อเทียบกับเซรามิกอื่นๆ คุณสมบัติของพอร์ซเลนจะแตกต่างกันออกไปตามอัตราส่วนของแต่ละองค์ประกอบ พอร์ซเลนถูกนำไปใช้ในลักษณะต่างๆกันตามความเหมาะสม เช่น นำมาใช้ในทางทันตกรรม, ใช้ทำภาชนะใส่อาหาร หรือใช้ทำเครื่องสุขภัณฑ์เป็นต้น พอร์ซเลนที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมจะประกอบด้วยเฟลด์สพาร์ในสัดส่วนที่มากกว่าพอร์ซเลนชนิดอื่นๆ เพื่อให้มีความโปร่งแสงที่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ

เซรามิกชนิดใหม่ๆหลายชนิดที่นำมาใช้ในทางทันตกรรมมีองค์ประกอบและคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากพอร์ซเลนตามความหมายดั้งเดิม แต่ก็มีผู้นิยมเรียกว่าพอร์ซเลน หรือบางครั้งก็ใช้คำว่าเซรามิกในการกล่าวถึงพอร์ซเลน ในปัจจุบันคำว่าพอร์ซเลนและเซรามิกที่ใช้ในทางทันตกรรมมีความหมายที่ไม่แตกต่างกันและอาจใช้แทนกันได้

การเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกในทางทันตกรรม

ข้อจำกัดที่สำคัญของเซรามิกสำหรับการนำมาใช้งานทางทันตกรรม คือ การมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำและความเปราะของวัสดุ การพัฒนาคุณสมบัติจึงมุ่งเน้นที่จะเพิ่มความแข็งแรงเพื่อให้สามารถใช้งานในลักษณะต่างๆได้มากขึ้นหรือสามารถใช้ในการบูรณะฟันโดยไม่ต้องมีโลหะช่วยเสริมความแข็งแรง วิธีการหนึ่งที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกได้ คือ การเพิ่มปริมาณผลึกหรือปรับเปลี่ยนการกระจายของผลึกในเนื้อวัสดุ ซึ่งอาจทำได้โดย

1. การเติมผลึกอะลูมินาในพอร์ซเลน ตัวอย่างของเซรามิกในกลุ่มนี้ได้แก่ อะลูมินัสพอร์ซเลน (Aluminous porcelains), เซรามิกไฮซีแรม (Hi-Ceram, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany), เซรามิกอินซีแรม (In-Ceram, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany)

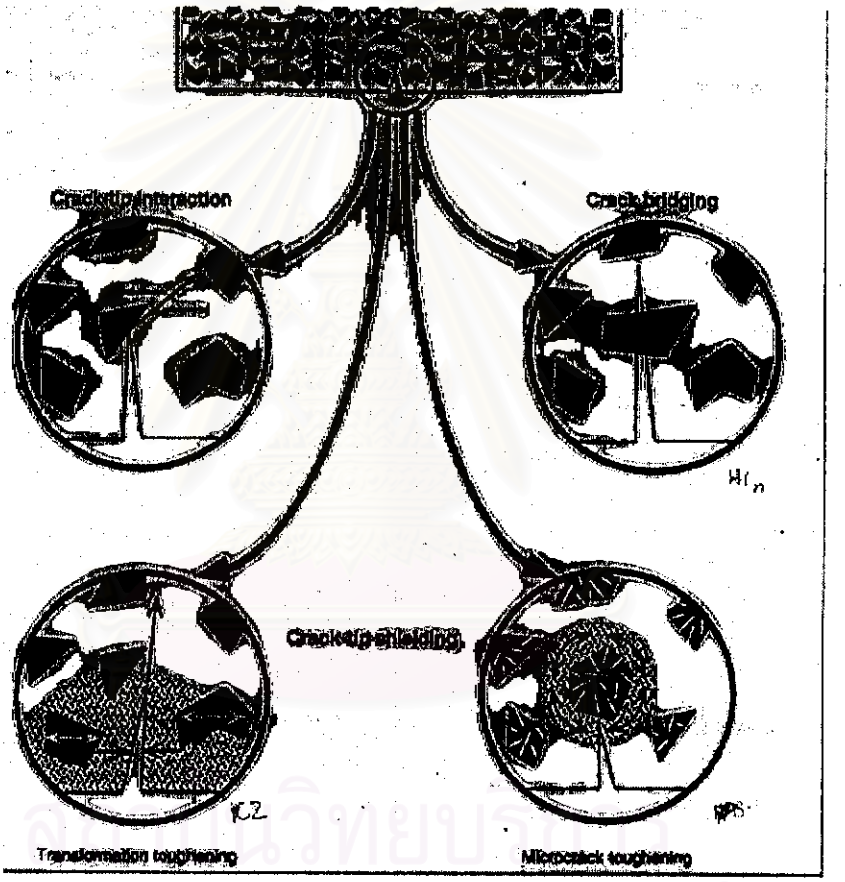
2. การเพิ่มหรือปรับเปลี่ยนลักษณะผลึกโดยการควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการเผา ตัวอย่างของเซรามิกในกลุ่มนี้ได้แก่ กลาสเซรามิกไดคอร์ (Dicor, Dentsply/York Division, USA) เซรามิกไอพีเอสเอมเพรส (IPS-Empress, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein)

การเพิ่มปริมาณหรือปรับปรุงลักษณะผลึก ทำให้มีความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้น, พลังงานแตกหัก (Fracture toughness) เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลึกที่กระจายอยู่ภายในจะทำหน้าที่ต้านทานการขยายตัวของรอยร้าว (Crack propagation) การแตกร้าวจึงต้องการพลังงานมากขึ้น Seghi และ Sorensen อธิบายกลไกการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวโดยอิทธิพลของผลึกในเซรามิกออกเป็นลักษณะต่างๆ ดังนี้[12]

1. การเบี่ยงเบนของรอยร้าว
2. สะพานเชื่อมรอยร้าว
3. แรงเครียดต้านการขยายตัวของรอยร้าว
   3.1 แรงเครียดจากการขยายตัวของผลึก
   3.2 แรงเครียดจากรอยร้าวขนาดเล็กของผลึก

1. การเบี่ยงเบนของรอยร้าว (Crack tip interaction or Crack deflection) ผลึกในเซรามิกจะมีความแข็งแรงมากกว่าเมทริกซ์แก้ว ดังนั้นเมื่อรอยร้าวขยายตัวมาถึงผลึก ถ้าหากรอยร้าวมีพลังงานไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการแตกร้าวของผลึกทิศทางของรอยร้าวจะถูกเบี่ยงเบนออก

ไปในอีกระนาบหนึ่ง (ภาพที่ 2.1) การเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นทำให้พลังงานของรอยร้าวถูกลดระดับลง เมื่อรอยร้าวถูกเบี่ยงเบนไปหลายๆครั้งก็จะมีพลังลดลงเรื่อยๆจนไม่สามารถมีการขยายตัวหรือเกิดการแตกร้าวต่อไปในที่สุด[13] การเบี่ยงเบนของรอยร้าวเป็นกลไกหลักในการเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกชนิดที่มีผลึกปริมาณสูงในโครงสร้าง เช่น อินซีแรม และพบว่าเซรามิกที่มีกลไกต้านทานการแตกร้าวแบบนี้จะมีพื้นผิวของรอยแตกที่หยาบและขรุขระ[12]



ภาพที่ 2.1 แผนภาพแสดงกลไกการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวแบบต่างๆ[12]

2. สะพานเชื่อมรอยร้าว (Crack bridging) หมายถึง การที่ผลึกในบริเวณรอยร้าวทำหน้าที่คล้ายสะพานเชื่อมบริเวณรอยร้าวไม่ให้แยกออกจากกัน การขยายตัวของรอยร้าวจึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นหรือเกิดได้ยากขึ้น กลไกในการเพิ่มความแข็งแรงในลักษณะนี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในกรณีที่ผลึกมีขนาดใหญ่[14,15]

3. แรงเครียดต้านการขยายตัวของรอยร้าว (Crack-tip shielding) หมายถึง การเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเครียดกดในเนื้อเซรามิก และทำหน้าที่หักล้างกับแรงดึงที่เกิดขึ้นขณะที่มีการขยายตัวของรอยร้าว แรงเครียดกดในเนื้อเซรามิกอาจเกิดขึ้นได้โดย

3.1 แรงเครียดกดจากการขยายตัวของผลึก (Transformation toughening) กรณีนี้เกิดขึ้นกับเซรามิกที่มีผลึกเซอร์โคเนีย (Zirconia) เช่น เซรามิกอินซีแรมเซอร์โคเนีย โดยหลังจากการเผาเมื่ออุณหภูมิลดลงสู่อุณหภูมิห้อง ผลึกเซอร์โคเนียจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงเครียดอัดขึ้นรอบๆผลึกและคอยต้านทานการขยายตัวของรอยร้าว

3.2 แรงเครียดกดจากรอยร้าวขนาดเล็กของผลึก (Microcrack toughening) แรงเครียดกดในกรณีนี้เกิดจากความแตกต่างระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผลึกและเมทริกซ์แก้ว เซรามิกที่มีกลไกต้านทานการแตกร้าวในลักษณะนี้ได้แก่ เซรามิกที่มีผลึกลูไซต์ เช่น เซรามิกไอพีเอสเอมเพรส หรือ เซรามิกออปเทค โดยขณะที่เซรามิกเย็นตัวลงจากการเผา ผลึกลูไซต์ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวแตกต่างกับเมทริกซ์จะเกิดรอยร้าวขนาดเล็กในผลึกทำให้เกิดแรงเครียดอัดขึ้นรอบๆผลึก

ความแข็งแรงของเซรามิกนอกจากจะขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของวัสดุแล้วยังสัมพันธ์กับตำหนิหรือความบกพร่องของวัสดุด้วย ความบกพร่องที่เกิดขึ้นในเนื้อเซรามิกอาจแบ่งออกได้เป็นสองชนิดด้วยกัน คือ

1. ความบกพร่องที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตไม่เหมาะ เช่น วัสดุมีการปนเปื้อนจากสิ่งแปลกปลอม, การเกิดรูพรุน, รอยขีดข่วนหรือรอยที่เกิดจากการกรอแต่ง
2. ความบกพร่องที่เกิดจากธรรมชาติของวัสดุ ได้แก่ วัสดุมีขนาดผลึก (Grain size) หยาบทำให้เกิดรูพรุนได้ง่าย, สัมประสิทธิ์การขยายตัวของแต่ละองค์ประกอบมีความแตกต่างกันมากทำให้เกิดรอยแตกร้าวภายในวัสดุ, มีแรงเครียดที่ตกค้างในวัสดุ, การมีค่าความแข็งแรงที่แตกต่างกันระหว่างองค์ประกอบแต่ละชนิดอาจทำให้มีการแตกร้าวเกิดขึ้นในองค์ประกอบที่มีความแข็งแรงต่ำกว่าได้ง่าย เป็นต้น

การลดรอยตำหนิหรือความบกพร่องในเนื้อของวัสดุสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุได้เช่นกัน Giordano และคณะ[16] พบว่าการทาสารเคลือบผิว, การกรอแต่ง, และการขัดผิวเซรามิกให้เรียบจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากวิธีการเหล่านั้นทำให้ขนาด

ของรอยตำหนิที่ผิวลดลง นอกจากนี้การขัดแต่งยังทำให้เกิดแรงเครียดกดสะสมอยู่ในเนื้อวัสดุคอยทำหน้าที่ต้านแรงดึงที่อาจเกิดขึ้น ทำให้เซรามิกที่ผ่านการขัดแต่งอย่างเหมาะสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

อย่างไรก็ตามการเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกให้มีความแข็งแรงสูงสุดยังเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากถูกจำกัดโดยธรรมชาติและลักษณะการใช้งานของเซรามิกซึ่งประกอบด้วย[17]

1. ความบกพร่องหรือรอยตำหนิที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต โดยเฉพาะเซรามิกที่มีกรรมวิธีการผลิตโดยการใช้ผงเซรามิกแต่งขึ้นรูปแล้วใช้ความร้อนหลอมให้เป็นเนื้อเดียวกันมักเกิดรูพรุนได้ง่าย พบว่ารูพรุนทรงกลมภายในเนื้อเซรามิกปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 จะมีผลต่อความแข็งแรงของเซรามิกไม่มากนัก แต่รูพรุนที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและรูพรุนที่อยู่บริเวณรอยต่อระหว่างเซรามิกกับแกนโลหะหรือระหว่างรอยต่อของเซรามิกคนละชนิดกันจะทำให้ความแข็งแรงของเซรามิกลดลงอย่างมาก ดังนั้นในการเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกจะต้องควบคุมขั้นตอนการผลิตให้มีตำหนิหรือความบกพร่องน้อยที่สุด

2. เซรามิกต้องใช้งานและรับแรงในสภาวะที่มีความเปียกชื้น แรงเครียดจากการบดเคี้ยวจะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับเซรามิกที่บริเวณปลายของรอยแตก (Crack tip) หรือจุดบกพร่องของเซรามิกก่อให้เกิดความล้าสถิต (Static fatigue) และมีค่าความแข็งแรงลดลง

3. ขนาดของเซรามิกที่ใช้ในการบูรณะฟันมีขนาดเล็ก เมื่อได้รับแรงมากระทำจะถูกดัดโค้งหรือเปลี่ยนแปลงมิติได้ง่ายกว่าเซรามิกที่มีขนาดใหญ่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมิติไปจากเดิมมากกว่าร้อยละ 0.1 ก็จะทำให้มีการแตกของวัสดุได้

4. ผลึกในเนื้อเซรามิกบางชนิดจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงแต่ในขณะเดียวกันก็มักทำให้ความโปร่งแสงลดลงด้วย ดังนั้นการเพิ่มความแข็งแรงที่เกี่ยวข้องกับผลึกในเซรามิกจึงถูกจำกัดในกรณีที่ต้องการความโปร่งแสงหรือความสวยงามของชิ้นงาน

ชนิดของพอร์ซเลนในทางทันตกรรม (Dental porcelain)

พอร์ซเลนหรือเซรามิกที่ใช้ในทางทันตกรรมอาจแบ่งตามคุณสมบัติความแข็งแรงเป็น 2 ประเภทคือ พอร์ซเลนชนิดดั้งเดิมและพอร์ซเลนที่มีความแข็งแรงสูง

1. พอร์ซเลนชนิดดั้งเดิม (Conventional porcelain)

เป็นพอร์ซเลนที่มีเฟลด์สพาร์เป็นองค์ประกอบในปริมาณสูงมากจึงอาจเรียกว่า เฟลด์สพาติกพอร์ซเลน (Feldspathic porcelain) มีเนื้อละเอียดและมีความโปร่งแสงมาก ใช้งานอย่างกว้างขวางในทางทันตกรรม โดยเฉพาะการใช้เป็นพอร์ซเลนวีเนียร์ (Porcelain veneer) หรือพอร์ซเลนสำหรับขึ้นรูปสำหรับครอบและสะพานฟันเซรามิกเชื่อมกับโลหะ ใช้ทำเคลือบฟันด้านหน้า (Laminate veneer) พอร์ซเลนชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยออกตามอุณหภูมิหลอมตัว[18] ดังนี้ คือ

พอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวสูง (High fusing porcelain) มีอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมตัวระหว่าง 1315-1370 องศาเซลเซียส

พอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวปานกลาง (Medium fusing porcelain) มีอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมตัวระหว่าง 1090-1260 องศาเซลเซียส

พอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวต่ำ (Low fusing porcelain) มีอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมตัวระหว่าง 870-1065 องศาเซลเซียส

พอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวที่สูงจะมีกลสมบัติและคุณสมบัติทางกายภาพดีกว่าพอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวต่ำ แต่การทำครอบหรือสะพานฟันเชื่อมกับโลหะนิยมเลือกใช้พอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมตัวต่ำ เนื่องจากต้องคำนึงถึงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและอุณหภูมิหลอมตัวของพอร์ซเลนที่เหมาะสมกับอุณหภูมิหลอมตัวของโลหะที่ใช้

พอร์ซเลนชนิดดั้งเดิมมีโครงสร้างเป็นผลึกชนิดต่างๆฝังตัวในซิลิเกตกลาสเมทริกซ์ (Silicate glass matrix) ผลึกเหล่านี้ได้แก่ ผลึกลูไซต์ (Leucite crystal ; $K_2OAl_2O_34SiO_2$) และหรือ ผลึกอะลูมิโนซิลิเกต (Alumino-silicate crystal) ผลึกลูไซต์เป็นส่วนประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อความแข็งแรง, ความแข็งผิว, การขยายตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ตลอดจนคุณสมบัติเกี่ยวกับการมองเห็น (Optical properties) [1]

2. พอร์ซเลนที่มีความแข็งแรงสูง (High strength porcelain)

เป็นพอร์ซเลนหรือเซรามิกที่พัฒนาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันโดยไม่ใช้โลหะเป็นแกนเสริมความแข็งแรง ในการบูรณะฟันอาจใช้เซรามิกเหล่านี้แต่เพียงอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนก็ได้ โดยใช้เซรามิกชนิดนี้เป็นแกนหลักเพื่อความแข็งแรงและใช้เฟลด์สพาติกพอร์ซเลนขึ้นรูปให้มีลักษณะรูปร่างตามต้องการ สำหรับขั้นตอนในการใช้งานก็มีความแตกต่างกันตั้งแต่การขึ้นรูปด้วยวิธีการดั้งเดิมเช่นเดียวกับเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนหรือต้องอาศัยวิธีการและเครื่องมือพิเศษในการผลิต พอร์ซเลนในกลุ่มนี้ได้แก่ อะลูมินัสพอร์ซเลน (Aluminous porcelains) เป็นพอร์ซเลนที่มีความแข็งแรงสูงชนิดแรกซึ่งพัฒนาขึ้นโดย McLean และ Hugh ตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ.1965[19] หลังจากนั้นการพัฒนาของเซรามิกก็มีไม่มากนัก จนกระทั่งประมาณปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา เซรามิกได้รับความสนใจมากขึ้นมีการพัฒนาของเซรามิกชนิดใหม่ๆมากมาย เช่น เซรามิกซีเรสตอร์ (Cerestore, Johnson & Johnson, NJ, USA) ที่มีการหดตัวต่ำมาก พัฒนาโดย Sozio และ Riley[20], กลาสเซรามิกไดคอร์ (Dicor, Dentsply/York Division, USA) พัฒนาโดย Adair และ Grossman[21] เป็นเซรามิกที่มีผู้สนใจทำการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง, เซรามิกไฮซีแรม (Hi-Ceram, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) พัฒนาโดย Claus[22],เซรามิกอินซีแรม (In-Ceram, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) เป็นเซรามิกชนิดแรกที่สามารถนำมาทำสะพานฟันเซรามิกโดยไม่ต้องอาศัยโลหะเสริมความแข็งแรง พัฒนาขึ้นโดย Sadoun[23], และเซรามิกไอพีเอสเอมเพรส (IPS-Empress, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) จากการพัฒนาของ Wohlwend และ Scharer[24]

อะลูมินัสพอร์ซเลน (Aluminous porcelains)

ในปี ค.ศ.1965 McLean และ Hugh ปรับปรุงเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนโดยการเติมผลึกอะลูมินาลงไปในปริมาณร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนัก ทำให้มีพอร์ซเลนที่ได้ความแข็งแรงดัดขวาง (Flexural strength) เพิ่มจากประมาณ 100 เมกกะปาสคาลเป็น 130 เมกกะปาสคาล[11] อะลูมินัสพอร์ซเลนเป็นพอร์ซเลนที่มีความแข็งแรงสูงชนิดแรกที่สามารถนำมาใช้เป็นแกนของครอบฟันร่วมกับการใช้เฟลด์สพาติกพอร์ซเลนตกแต่งรูปร่างภายนอก อย่างไรก็ของครอบฟันชนิดนี้ยังมีตามความแข็งแรงไม่เพียงพอและเกิดการแตกร้าวได้ง่ายเมื่อนำไปใช้งานในคลินิก

เซรามิกไฮซีแรม (Hi-Ceram)

เซรามิกชนิดนี้มีองค์ประกอบพื้นฐานคล้ายกับอะลูมินัสพอร์ซเลน แต่มีปริมาณผลึกอะลูมินามากกว่าและพัฒนาวิธีการผลิตโดยลดจุดบกพร่องหรือตำหนิที่อาจเกิดในเนื้อวัสดุเซรามิก ไฮซีแรมมีความแข็งแรงดัดขวางมากกว่าอะลูมินัสพอร์ซเลนเพียงเล็กน้อยจึงไม่ค่อยได้รับความนิยม

เซรามิกทั้งสองชนิดนี้เติมผลึกอะลูมินาโดยการเผาอะลูมินาร่วมกับส่วนประกอบอื่นๆ วิธีการนี้จะเติมผลึกอะลูมินาได้ในปริมาณจำกัด โดยหากมีปริมาณอะลูมินามากเกินไปจะทำให้เนื้อพอร์ซเลนมีความพรุนและมีความทึบแสงมาก[11]

กลาสเซรามิกไดคอร์ (Dicor)

กลาสเซรามิก หมายถึง เซรามิกที่มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นแก้วแล้วจึงมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของผลึกโดยการเผาและการเหนี่ยวนำให้เกิดผลึกไมกา (Mica) ขึ้นภายในเนื้อแก้ว ทำให้มีความแข็งแรงดัดขวาง, พลังงานแตกหัก (Fracture toughness), ความต้านทานต่อการสึกกร่อนมากขึ้น, และความทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal-shock resistance) มากขึ้น เนื่องจากการเรียงตัวประสานกันของผลึกไมกาจะทำหน้าที่ต้านทานการแตกร้าว[25] และการเกิดแรงเครียดกด (Compressive stress) ขึ้นบริเวณรอบๆผลึกไมกา[26] ไดคอร์ (Dicor) เป็นกลาสเซรามิกชนิดหนึ่งซึ่งขึ้นรูปโดยการหล่อวัสดุเป็นแก้วโปร่งใส จากนั้นจึงนำไปผ่านขบวนการซีแรมมิง (Ceramming) ที่ควบคุมอุณหภูมิให้เกิดนิวเคลียสและก่อตัวเป็นผลึกเตตระซิลิซิกฟลูออโรไมกา (Tetrasilisic fluoromica) ขึ้นในปริมาณร้อยละ 55 ของเมทริกซ์แก้ว[27] ผลึกที่เกิดทำให้ไดคอร์เปลี่ยนจากแก้วโปร่งใสเป็นแก้วขุ่นซึ่งมีลักษณะโปร่งแสงและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ผลึกเตตระซิลิซิกฟลูออโรไมกาทำให้มีการสึกของฟันธรรมชาติน้อยกว่าผลึกลูไซต์ในพอร์ซเลนหรือเซรามิกชนิดอื่นๆ[28] กลาสเซรามิกไดคอร์สามารถนำมาใช้ทำครอบฟันทั้งซี่หรือใช้เป็นแกนของครอบฟันร่วมกับการใช้เฟลด์สพาติกพอร์ซเลนขึ้นรูปให้มีลักษณะของซี่ฟันก็ได้

เซรามิกไอพีเอสเอมเพรส (IPS-Empress)

เซรามิกไอพีเอสเอมเพรส เป็นพอร์ซเลนที่มีความแข็งแรงสูงที่ปรับปรุงจากเฟลด์สพาติกพอร์ซเลน มีผลึกลูไซต์ประมาณร้อยละ 23.6-41.3 โดยน้ำหนัก[29,30] ในการผลิตจะใช้ความร้อน

หลอมแท่งเซรามิกแล้วใช้แรงอัดเซรามิกเข้าสู่เบ้าให้มีรูปร่างตามต้องการ การใช้แรงอัดเซรามิกเข้าสู่เบ้าเป็นวิธีที่สามารถควบคุมการหดตัวของเซรามิกได้ง่ายขึ้น ช่วยให้ชิ้นงานมีขนาดและความแนบสนิทที่ถูกต้อง เซรามิกไอพีเอสเอมเพรสสามารถนำมาใช้เป็นครอบฟันทั้งซี่หรือใช้เป็นแกนของครอบฟันร่วมกับพอร์ซเลนวีเนียร์ขึ้นรูปเป็นลักษณะซี่ฟัน ขบวนการอัดภายใต้ความร้อน (Heat pressing) ของเซรามิกไอพีเอสเอมเพรสจะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจาก 74 เป็น 126 เมกกะปาสคาล เนื่องจากแรงดันที่ใช้จะทำให้มีการจัดเรียงตัวใหม่ของผลึกลูไซต์จากการจับตัวเป็นกลุ่มๆ (Cluster) เป็นการกระจายตัวของผลึกไปทั่วทั้งเมทริกซ์แก้ว นอกจากนี้ความร้อนที่ใช้ก็มีผลทำให้ผลึกลูไซต์มีปริมาณเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย[31]

ผลึกลูไซต์ในเซรามิกนอกจากมีผลต่อความแข็งแรงแล้ว ยังมีผลต่อการสึกของฟันธรรมชาติอีกด้วย เซรามิกที่มีผลึกลูไซต์มากจะทำให้มีการสึกของฟันคู่สบมากกว่าเซรามิกที่ไม่มีผลึกลูไซต์[32] แต่การมีผลึกลูไซต์ปริมาณสูงในเซรามิกจะไม่มีผลต่อการส่องผ่านของแสงต่อเซรามิกอย่างกรณีของผลึกอะลูมินา เนื่องจากผลึกลูไซต์มีค่าดัชนีการหักเหของแสงที่ใกล้เคียงกับเมทริกซ์แก้ว[33] นอกจากเซรามิกไอพีเอสเอมเพรสแล้วยังมีเซรามิกชนิดอื่นๆที่มีกลไกเสริมความแข็งแรงในลักษณะเดียวกันนี้เช่น เซรามิกออปเทค (Optec-Pressable, Jeneric/Pentron, Wallingford, USA)

กลาสอินฟิลเทรตเซรามิก (Glass infiltrated ceramic, In-Ceram©)

<u>ลักษณะทั่วไป</u>

International Organization for Standardization[34] ให้นิยามของกลาสอินฟิลเทรตเซรามิกว่าเป็นเซรามิกที่ประกอบด้วยอนุภาคอะลูมินาอัดแน่นยึดเข้าด้วยกันและส่วนของเมทริกซ์ที่เป็นแก้วล้อมรอบและแทรกซึมเข้าไปตามความพรุนของอะลูมินา กลาสอินฟิลเทรตเซรามิกมีชื่อการค้าว่า อินซีแรม (In-Ceram, Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) เริ่มต้นพัฒนาสำหรับการใช้งานทางทันตกรรมตั้งแต่ประมาณปี ค.ศ.1982 โดย Michael Sadoun ทันตแพทย์ชาวฝรั่งเศส โดยแนะนำให้ใช้เป็นแกนของครอบฟันหรือสะพานฟันบริเวณฟันหน้า 3 ซี่แทนการใช้โลหะ เซรามิกชนิดนี้มีการเรียกชื่อที่แตกต่างกันออกไปเช่น อินฟิลเทรชันเซรามิก (Infiltration

ceramic), กลาสอินฟิวส์เซรามิก (Glass infused ceramic) หรือกลาสอินฟิลเทรตอะลูมินา เซรามิก (Glass infiltrated alumina ceramic) นอกจากนี้ยังอาจเรียกตามเทคนิคการขึ้นรูปของวัสดุว่า สลิปแคสติงอะลูมินาเซรามิก (Slip casting alumina ceramic)

อินซีแรมประกอบด้วยวัฏภาค 2 ชนิดแทรกประสานกัน (Interpenetrating phase materials)[26] โดยมีวัฏภาคที่เป็นผลึก (Crystalline phase) อะลูมินาถูกล้อมรอบและแทรกซึมด้วยวัฏภาคที่เป็นแก้ว (Glass matrix phase) โครงสร้างลักษณะนี้ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งรวมเอาคุณสมบัติเด่นของแต่ละวัฏภาคเข้าด้วยกัน อินซีแรมมีปริมาณผลึกอะลูมินาร้อยละ 74 โดยปริมาตรและเมทริกซ์แก้วแลนทานัมร้อยละ 26[35] หรือประกอบด้วยอะลูมินาร้อยละ 80-85 โดยน้ำหนัก[36,37] ในส่วนของผลึกอะลูมินาประกอบด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) เกือบทั้งหมดคือประมาณร้อยละ 99.56 โดยน้ำหนัก[38] มีขนาดของผลึกตั้งแต่ 0.5-5 ไมครอนและมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 3-3.5 ไมครอน[39] สำหรับเมทริกซ์แก้วมีส่วนประกอบหลัก คือ แลนทานัมอะลูมิโนซิลิเกต (Lanthanum aluminosilicate ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่าง 39% Lanthanum oxide :La_2O_3, 15% Silicon dioxide, 15% aluminun oxide, 14% Boron oxide: B_2O_3) ร่วมกับโซเดียม (Sodium) และแคลเซียม (Calcium) ในปริมาณเล็กน้อย [40]

วิธีการขึ้นรูป

อินซีแรมขึ้นรูปโดยวิธี สลิปแคสติง (Slip casting) ซึ่งปรับปรุงจากวิธีการขึ้นรูปภาชนะเครื่องปั้นดินเผาที่มีลักษณะกลวงและมีปากแคบ เช่น ขวดหรือแจกันซึ่งยากแก่การขึ้นรูปด้วยวิธีอื่นๆ วิธีการนี้ทำโดยใช้ส่วนผสมที่เป็นสารแขวนลอยของวัสดุซึ่งเรียกว่าสลิป (Slip) เทลงในแบบพิมพ์ที่มีคุณสมบัติพิเศษดูดน้ำได้ดี แบบพิมพ์จะดูดน้ำออกจากสลิปทำให้เนื้อวัสดุเกาะติดกับแบบได้เป็นภาชนะที่มีรูปร่างตามต้องการ ในการขึ้นรูปของอินซีแรมจะทำการเตรียมแม่แบบฟัน (Die) ด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติทนความร้อนสูงและดูดน้ำได้ดี จากนั้นนำผงอะลูมินาผสมกับส่วนเหลวให้เป็นสารแขวนลอยของอะลูมินาหรือสลิป นำสลิปป้ายลงบนแม่แบบฟันซึ่งจะทำหน้าที่ดูดเอาของเหลวออกจากสลิป ทำให้เกิดการเกาะตัวของผลึกอะลูมินาอยู่บนแม่แบบ เมื่อทำการเผาผิวของผลึกอะลูมินาบางส่วนจะถูกหลอมและเชื่อมแต่ละผลึกเข้าด้วย ขบวนการเผาที่ทำให้อนุภาคของวัสดุเชื่อมติดกันนี้เรียกว่าการซินเทอริง (Sintering) อะลูมินาที่ผ่านการซินเทอริงตามขั้นตอนของอินซีแรมจะหลอมเฉพาะบางส่วนของอะลูมินาเข้าด้วยกัน จึงยังคงมีช่องว่างหรือรูพรุนระหว่าง

อนุภาคเหลืออยู่ภายในเนื้อวัสดุประมาณร้อยละ 26 โดยปริมาตร[38] และทำให้การหดตัวหลังจากเผาเกิดขึ้นเพียงประมาณร้อยละ 0.21-0.24 ของปริมาตรเท่านั้น[41] แกนอะลูมินาที่ได้ในขั้นตอนนี้จะถูกนำมาเผาร่วมกับผงแก้วแลนทานัมอะลูมิโนซิลิเกตอีกครั้งหนึ่ง (Infiltrated firing) เมื่อได้รับความร้อนผงแก้วจะหลอมตัวและแทรกซึมเข้าไปแทนที่บริเวณช่องว่างหรือรูพรุนของแกนอะลูมินา แก้วที่ใช้ในขั้นตอนนี้นอกจากจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับอินซีแรมแล้วยังทำหน้าที่ในการกำหนดสีของอินซีแรมตามสีของแก้วที่เลือกใช้

นอกจากการเตรียมแกนอินซีแรมสำหรับครอบฟันหรือสะพานฟันโดยวิธีป้ายลงบนแม่แบบตามที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังสามารถเตรียมแกนของครอบฟันด้วยวิธีการกลึง (Copy-milled) แท่งอินซีแรมสำเร็จรูปให้ได้รูปร่างตามลักษณะแกนของครอบฟันหรือสะพานฟัน วิธีนี้สามารถทำให้เกิดความแนบสนิทและความแข็งแรงของชิ้นงานที่ยอมรับได้โดยใช้เวลาการขึ้นรูปน้อยกว่าวิธีปกติ[42]

การนำอินซีแรมไปใช้ในงานทางคลินิก

เซรามิกอินซีแรมผลิตขึ้นเพื่อใช้เป็นแกนของครอบฟันหรือสะพานฟันหน้าที่มีจำนวน 3 ซี่ แทนการใช้แกนโลหะ แล้วจึงใช้เฟลด์สพาติกพอร์ซเลนขึ้นรูปเป็นลักษณะภายนอกของซี่ฟันอีกครั้ง นอกจากนี้ยังอาจใช้เป็นแกนสำหรับการบูรณะแบบอินเลย์ (Inlay) หรือออนเลย์ (Onlay) แต่เนื่องจากวัสดุมีความทึบแสงจึงมีปัญหาในเรื่องความสวยงามและไม่ได้รับความนิยม จากการรายงานผลการใช้งานทางคลินิกพบว่าอินซีแรมที่นำไปใช้ในงานต่างๆนอกเหนือจากที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดไว้ในเบื้องต้น เช่น สะพานฟันในฟันหลังหรือสะพานฟันที่มีมากกว่า 3 ซี่ ไม่มีการแตกหักหลังจากการใช้งานเป็นเวลา 2 ปี[38] Kamposiora ทำการศึกษาไฟไนต์อิลิเมนต์ 2 มิติ (Two-dimensional finite element analysis) พบว่าอินซีแรมเหมาะที่จะใช้ในการทำสะพานฟันสำหรับฟันหลังมากกว่าโลหะทองผสมชนิดที่ 3 เนื่องจากค่าความเครียดที่เกิดในวัสดุมีค่าน้อยกว่า[43] นอกจากนี้ อินซีแรมยังสามารถใช้ทำสะพานฟันชนิดยึดด้วยเรซิน (Resin bonded bridge) ซึ่งจากการติดตามผลทางคลินิกเป็นเวลา 4 ปี พบว่ามีความแข็งแรงเพียงพอที่จะใช้ในบริเวณฟันหน้าในกรณีที่มีการกรอแต่งฟันอย่างเหมาะสม[44]

ความแข็งแรงของอินซีแรม

อินซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางมากกว่าพอร์ซเลนหรือเซรามิกชนิดอื่นๆในทางทันตกรรมโดยมากกว่าเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนประมาณ 3 ถึง 4 เท่า [12,37,45-50] (ตารางที่ 2.1)

สำหรับค่าความแข็งแรงขององค์ประกอบของอินซีแรม (ตารางที่ 2.2) พบว่าอะลูมินามีค่าความแข็งแรงดัดขวางค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเซรามิกชนิดอื่นๆ[50] เนื่องจากมีความพรุนอยู่ภายในและการยึดกันระหว่างของผลึกอะลูมินาก็เป็นการยึดกันหลวมๆ สำหรับแก้วแลนทานัมอะลูมิโนซิลิเกตมีความแข็งแรงดัดขวางใกล้เคียงกับเฟลด์สพาติกพอร์ซเลน แต่อินซีแรมซึ่งรวมผลึกอะลูมินาและเมทริกซ์แก้วไว้ด้วยกันมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสูงถึง 236.15±21.94 เมกกะปาสคาล Giordano และคณะ[50] อธิบายว่าความแข็งแรงดัดขวางที่เพิ่มขึ้นมาจากการลดลงของรูพรุนภายในเนื้อวัสดุและลักษณะโครงสร้างผลึกที่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ซึ่งทำหน้าที่เบี่ยงเบนรอยร้าว (Crack tip interaction) ที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ

ชนิดของเซรามิก	ค่าความแข็งแรงดัดขวาง (เมกกะปาสคาล)			
	Three- point bending			Four-point
	Lehner และ Scharer[48]	Seghi และ Sorensen[12]	Kanchanatawewat และคณะ[49]	Giordano และ คณะ[50]
Vita VMK	71	66	-	69.74
Vitadur α	-	-	64.92	-
Optec	167	105	-	-
IPS-Empress	182	127	98.30	-
Dicor	114	125	-	71.48
Dicor MGC	-	-	231.99	-
Hi-Ceram	182	142	-	-
In-Ceram	419	446	384.50	236.15

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าความแข็งแรงดัดขวางของเซรามิกชนิดต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	ความแข็งแรงดัดขวาง (เมกกะปาสคาล)
แกนอะลูมินา	18.39±5.00
แก้ว	76.53±15.23
อินซีแรม	236.15±21.94
เฟลด์สพาติกพอร์ซเลน วิตา MK68	69.74±5.47
กลาสเซรามิกไดคอร์	71.48±7.17

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความแข็งแรงของส่วนประกอบต่างๆของอินซีแรมและเซรามิกชนิดต่างๆ

ลักษณะการแตกร้าวของครอบฟันอินซีแรม

ตามปกติเมื่อเซรามิกได้รับแรงกดที่ผิวด้านหนึ่งจะทำให้มีแรงดึงเกิดขึ้นที่ผิวด้านตรงข้าม และทำให้มีการแตกร้าวเริ่มต้นจากบริเวณนี้เนื่องจากเซรามิกมีความแข็งแรงดึงต่ำกว่าความแข็งแรงกด สำหรับครอบฟันเซรามิกซึ่งมีแรงกดที่ผิวด้านนอกก็จะทำให้การแตกร้าวเริ่มต้นจากผิวด้านในของครอบฟัน เนื่องจากผิวด้านในของครอบฟันเป็นบริเวณที่มีแรงดึงเกิดขึ้นและยังเป็นบริเวณที่มีรอยตำหนิหรือความบกพร่องจากขั้นตอนการผลิตมากที่สุดทำให้บริเวณนี้อ่อนแอและเกิดการแตกร้าวได้ง่าย จากการศึกษาครอบฟันกลาสเซรามิกไดคอร์พบว่าการแตกร้าวมีจุดเริ่มต้นจากผิวด้านในของครอบฟันเป็นส่วนใหญ่[51,52] แต่การแตกร้าวของครอบฟันหรือสะพานฟันอินซีแรมจะมีจุดเริ่มต้นของการแตกที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างชั้นของอินซีแรมและพอร์ซเลนวีเนียร์[53,54] เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีตำหนิหรือรูพรุนของวัสดุในปริมาณสูงเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆ จึงเป็นตำแหน่งที่มีความอ่อนแอมากที่สุดของครอบฟัน การแตกร้าวที่เริ่มต้นจากบริเวณดังกล่าวอาจขยายตัวและทำให้เกิดการแตกร้าวเฉพาะชั้นของพอร์ซเลนวีเนียร์ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่า[54] หรือรอยร้าวอาจขยายเข้าสู่ทั้งชั้นของพอร์ซเลนวีเนียร์และอินซีแรมแล้วทำให้ครอบฟันมีการแตกร้าวทั้งชิ้นก็ได้[53,55]

รูพรุนในบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นของอินซีแรมและชั้นของพอร์ซเลนวีเนียร์เกิดจากการที่พอร์ซเลนที่ใช้ขึ้นรูปไม่สามารถไหลแผ่ไปบนผิวของอินซีแรมได้อย่างทั่วถึง ทำให้มีรูพรุนเกิดขึ้น

และกลายเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวของครอบฟัน Carrier และ Kelly[56] พบว่าการมีปริมาณแก้วเหลืออยู่ที่ผิวนอกของอินซีแรมมากกว่าที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำเล็กน้อยจะไม่ทำให้ความแข็งแรงของอินซีแรมลดลง แต่จะช่วยลดรูพรุนที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างชั้นอินซีแรมกับพอร์ซเลนที่ใช้ขึ้นรูป วิธีการนี้อาจเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงของครอบฟันอินซีแรมได้

ความแนบสนิทของครอบฟันอินซีแรม

การขึ้นรูปของอินซีแรมทำโดยเทคนิคสลิปแคสติง ซึ่งแม่แบบจะทำหน้าที่ดูดซับของเหลวออกจากสลิปทำให้อะลูมินาก่อตัวและอัดแน่นอยู่บนแม่แบบพร้อมที่จะนำไปเผา วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบเหมือนการทำครอบฟันเซรามิกชนิดอื่นๆจึงลดโอกาสที่จะเกิดการบิดเบี้ยวของชิ้นงานในขั้นตอนการขึ้นรูป ส่วนการหดตัวที่เกิดจากการเผามีค่าต่ำมากคือประมาณร้อยละ 0.21-0.24 และสามารถชดเชยด้วยการขยายตัวของแม่แบบที่เหมาะสมจึงไม่มีผลต่อความแนบบริเวณขอบของครอบฟัน[41] นอกจากนี้การเผาในขั้นตอนอื่นๆก็ไม่ทำให้ครอบฟันอินซีแรมเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดของช่องว่างบริเวณขอบอย่างมีนัยสำคัญ[57] จากการศึกษาความแนบสนิทของครอบฟันอินซีแรมพบว่ามีช่องว่างบริเวณขอบอยู่ในระหว่าง 1-63 ไมครอนและมีขนาดเฉลี่ย 19 ไมครอน[42,57-59] แกนอินซีแรมที่เตรียมด้วยวิธีการป้ายด้วยฟู่กันตามปกติหรือเตรียมจากแท่งอินซีแรมสำเร็จรูปด้วยวิธีการกลึง (Copy-milled) มีค่าความแนบที่ขอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยมีค่า 32.5 ไมครอนและ 38 ไมครอนตามลำดับ[42]

Pera และคณะ[57] พบว่าการกรอแต่งฟันหลักเป็นขอบโค้ง (Chamfer) ขอบตัดเอียง 130 องศาจะมีขนาดช่องว่างบริเวณขอบน้อยกว่าการกรอแต่งแบบขอบตัดตั้งฉาก (Shoulder) 90 องศาอย่างมีนัยสำคัญ และจำนวนครั้งที่เผาเพื่อเติมพอร์ซเลนวีเนียร์ก็ไม่มีผลต่อขนาดของช่องว่างบริเวณขอบ อย่างไรก็ตามขนาดของช่องว่างบริเวณขอบของครอบฟันอินซีแรมสำหรับการกรอแต่งทั้ง 3 แบบ (21.67, 23.75, และ 27.50 ไมครอน) เป็นค่าที่ยอมรับได้ในทางคลินิกคือ น้อยกว่า 50 ไมครอน[60-62]

เมื่อเทียบกับครอบฟันโลหะชนิดต่างๆ Sorensen และคณะ[58] พบว่าช่องว่างบริเวณขอบ (Marginal discrepancy) ของครอบฟันและสะพานฟันอินซีแรมมีขนาด 24±25 ไมครอนซึ่งไม่แตกต่างจากครอบฟันและสะพานฟันโลหะที่มีขนาด 58±38 แต่ Grey, Piddock, และ Wilson[63] ได้ผล

การศึกษาที่แตกต่างกันคือ พบว่าครอบฟันเซรามิกเชื่อมกับโลหะมีความแนบสนิทดีกว่าครอบฟันอินซีแรมอย่างมีนัยสำคัญ โดยช่องว่างระหว่างครอบฟันอินซีแรมกับฟันหลักมีค่าเฉลี่ย 123±30 ไมครอน แต่ครอบฟันเซรามิกเชื่อมกับโลหะมีช่องว่างเฉลี่ยเพียง 95±23 ไมครอน

การสึกของฟันธรรมชาติที่สบกับครอบฟันอินซีแรม

อินซีแรมใช้งานทางคลินิกเป็นแกนของครอบฟันหรือสะพานฟันร่วมกับพอร์ซเลนวีเนียร์ ซึ่งขึ้นรูปทับชั้นของอินซีแรมไว้ ดังนั้นการสึกของฟันธรรมชาติที่สบกับครอบฟันหรือสะพานฟันอินซีแรมจึงขึ้นกับชนิดของพอร์ซเลนวีเนียร์เป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามการนำอินซีแรมไปประยุกต์ใช้ในลักษณะอื่น เช่น การใช้อินซีแรมเป็นโครงสำหรับสะพานฟันชนิดยึดติดด้วยเรซิน (Resin bonded bridge)[64] หรือในกรณีที่ไม่สามารถกรอแต่งเนื้อฟันได้เพียงพอสำหรับพอร์ซเลนวีเนียร์ทำให้มีส่วนของอินซีแรมที่สบกับฟันธรรมชาติโดยตรง[4] จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงการสึกของฟันธรรมชาติ

อินซีแรมมีความแข็งผิวสูงกว่าเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนจึงอาจทำให้มีการสึกของฟันธรรมชาติมากกว่า แต่ Seghi และคณะ[31] พบว่าความแข็งผิวเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการสึกของฟันธรรมชาติเท่านั้น การสึกของฟันธรรมชาติที่สบกับเซรามิกนอกจากจะขึ้นกับความแข็งผิวของเซรามิกแล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายอย่างด้วยกันคือ ความเรียบของพื้นผิว, ขนาด, รูปร่าง, และลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุ, พลังงานแตกหัก (Fracture toughness) ของวัสดุ[65] จากการศึกษาของ Reeve และคณะ[66] พบว่าอินซีแรมซึ่งมีค่าความแข็งผิวนูปสูงมาก (KHN=1040) และมีพื้นผิวที่หยาบกว่าเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนแต่ทำให้ผิวเคลือบฟันสึกน้อยกว่าเฟลด์สพาติกพอร์ซเลน เนื่องจากเฟลด์สพาติกพอร์ซเลนที่ใช้งานจริงในช่องปากจะเกิดการสึกและแตกร้าวที่บริเวณผิวได้ง่ายกว่า ทำให้พื้นผิวมีความคมและหยาบมากขึ้นส่งผลให้ฟันธรรมชาติสึกมากขึ้น ในขณะที่อินซีแรมมีความแข็งแรงและต้านทานแตกร้าวที่ดีกว่า การแตกร้าวหลังจากการใช้งานจึงน้อยกว่าและทำให้ฟันธรรมชาติสึกน้อยกว่า Reeve และคณะยังให้ข้อสรุปว่าความแข็งผิวและความหยาบของพื้นผิวก่อนการใช้งานมีผลต่อการสึกของฟันธรรมชาติน้อยกว่าความต้านทานการแตกร้าวของพื้นผิว และเสนอให้ใช้อินซีแรมเป็นผิวสัมผัสด้านบดเคี้ยวของครอบฟันในกรณีที่ไม่ต้องการความสวยงาม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซีเมนต์สำหรับครอบฟันอินซีแรม

Bruke[67] รายงานว่าเรซินซีเมนต์ช่วยให้เซรามิกมีความต้านทานต่อการแตกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 75 เมื่อเทียบกับซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ นอกจากนี้การศึกษาเกี่ยวกับผลของเรซินซีเมนต์เมื่อใช้กับครอบฟันกลาสเซรามิกยังพบว่าการใช้เรซินซีเมนต์ยึดครอบฟันกลาสเซรามิกไดคอร์จะช่วยเพิ่มแรงต้านการแตกของครอบฟัน[68-70] และทำให้มีความล้มเหลวต่ำกว่าครอบฟันที่ยึดด้วยซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์[71] สาเหตุที่เรซินซีเมนต์ช่วยเพิ่มแรงต้านการแตกของเซรามิกอาจเกิดจากกรดที่ใช้กัดผิวเซรามิกเพื่อเตรียมสภาพผิวของเซรามิกทำให้รอยตำหนิบริเวณผิวเปลี่ยนแปลงจากลักษณะแหลมลึกกลายเป็นรอยตำหนิที่กว้างและตื้น ทำให้โอกาสการขยายตัวของรอยตำหนิจนเกิดการแตกร้าวลดลง ส่วนเรซินซีเมนต์ สารยึดติดเนื้อฟัน และสารไซเลนที่ใช้ก็จะแทรกซึมเข้าไปเคลือบหรือแทนที่ภายในรอยตำหนิก็ช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าว นอกจากนี้แรงยึดติดระหว่าง เรซินซีเมนต์กับเซรามิกที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดแรงเครียดกดสะสมอยู่ชั้นเซรามิกคอยทำหน้าที่ต้านการขยายตัวของรอยร้าวอีกด้วย[55]

เรซินซีเมนต์ส่วนใหญ่ไม่สามารถยึดติดกับเซรามิกด้วยพันธะเคมีโดยตรง แต่การใช้สารไซเลน (Silane couping agents) เชื่อมยึดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกที่ถูกกัดผิวเพื่อเพิ่มความขรุขระด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกจะทำให้การยึดติดเชิงกล (Micromechanical retention) เพิ่มขึ้น

อินซีแรมมีองค์ประกอบและลักษณะโครงสร้างที่ต่างจากเซรามิกโดยทั่วไป การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดจะไม่ทำให้เกิดความขรุขระที่เหมาะสมกับการยึดติดและไม่ทำให้แรงยึดมีค่าเพิ่มขึ้น Sadoun และ Asmussen[72] พบว่าการใช้สารยึดติดเนื้อฟันร่วมกับเรซินซีเมนต์ยึดอินซีแรมที่กัดผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกไม่ทำให้มีค่าพลังงานยึดติด (Bond energy) เพิ่มขึ้น เนื่องจากอะลูมิเนียมออกไซด์ในอินซีแรมสามารถทนต่อกรดได้ดี การใช้กรดกัดจึงไม่สามารถทำให้ผิวอินซีแรมขรุขระ Fischer และคณะ[73] พบว่าสามารถใช้กรดซัลฟุริกร่วมกับการใช้ความร้อนสูงกัดผิวของอินซีแรมให้มีความขรุขระได้ แต่แรงยึดกับเรซินซีเมนต์ที่เกิดก็ยังมีค่าต่ำและไม่คงทน นอกจากนี้การใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดอาจถือเป็นข้อห้ามเพราะจะทำให้โครงสร้างของอินซีแรมเปลี่ยนแปลงไป[4] เนื่องจากกรดจะละลายเอาเมทริกซ์แก้วออกไปคงเหลืออยู่เฉพาะผลึกอะลูมินา อินซีแรมที่ถูกกรดกัดจึงไม่มีลักษณะการแทรกซึมระหว่างอะลูมินาและแก้วตามปกติ Wood และคณะ[74] พบว่าอินซีแรมที่ถูกกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและยึดด้วยเรซินซีเมนต์มีค่าความแข็งแรงดัดขวาง

(171.3±20.4 เมกกะปาสคาล) ต่ำกว่าอินซีแรมปกติ (271.0±59.7 เมกกะปาสคาล) อย่างมีนัยสำคัญ วิธีการปรับปรุงผิวอินซีแรมให้มีความขรุขระที่เหมาะสมอาจทำได้โดยการเป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ Kern และ Thompson[36] พบว่าการเตรียมพื้นผิวของอินซีแรมโดยการเป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 110 ไมครอน ที่ความดัน 2.5 บาร์ เป็นเวลา 14 วินาที ทำให้อินซีแรมมีพื้นผิวขรุขระที่เหมาะสมกับการยึดติดและมีการสึกกร่อนของอินซีแรมในปริมาณที่ไม่มากนัก รวมทั้งไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ (Surface composition) ที่พื้นผิวของอินซีแรมอย่างการใช้กรดกัด

การใช้สารไซเลนเคลือบผิวของอินซีแรมก็ไม่ทำให้ค่าแรงยึดกับเรซินซีเมนต์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ[75] เนื่องจากปริมาณของซิลิกาในอินซีแรมที่จะยึดกับสารไซเลนมีอยู่น้อยมากคือ มีอยู่เฉพาะในเมทริกซ์แก้วซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยเพียงประมาณร้อยละ 20-30 สารไซเลนจึงไม่สามารถช่วยเพิ่มแรงยึดติดกับอินซีแรมได้ดีนัก วิธีการอย่างหนึ่งในการเพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างอินซีแรมกับเรซินซีเมนต์ทำได้โดยการเพิ่มแรงยึดของอินซีแรมกับสารไซเลน สารไซเลนยึดติดกับอินซีแรมได้ดีขึ้นเมื่ออินซีแรมมีปริมาณซิลิกามากขึ้น ในทางปฏิบัติการอาจทำโดยการเคลือบซิลิกา ซึ่งมีวิธีต่างๆ เช่น

1. ระบบซิลิโคตเตอร์-เอ็มดี (Silicoater MD, Heraeus Kulzer, Wehrheim, Germany) ทำโดยการเป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ แล้วทำการเคลือบซิลิกาโดยใช้ความร้อนสูง

2. ระบบโรคาเทค (Rocatec system, Espe, Sefeld, Germany) โดยใช้ขบวนการ Tribochemical silica coating เป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์เพื่อทำความสะอาดพื้นผิว แล้วสร้างชั้นของซิลิกาโดยใช้ผงซิลิการ่วมกับผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (Rocatec plus powder) เป่าไปยังพื้นผิวที่ต้องการ

การเคลือบซิลิกาทั้งสองระบบร่วมกับสารไซเลนสามารถช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างอินซีแรมกับเรซินซีเมนต์ที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยมีค่าความแข็งแรงยึดติดใกล้เคียงกันคือ 50 เมกกะปาสคาล แต่หลังจาก 150 วันแรงยึดในระบบซิลิโคตเตอร์-เอ็มดีจะมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญในขณะที่แรงยึดจากระบบโรคาเทคมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก[76,77]

ชนิดของเรซินซีเมนต์

เรซินซีเมนต์ อาจแบ่งชนิดโดยความสามารถในการยึดติดกับฟันหรือวัสดุอื่นๆ ได้เป็นกลุ่มต่างๆ ดังต่อไปนี้ [18,78]

1. คอมโพสิตเรซินซีเมนต์ (Composite resin cement)

เรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้มีองค์ประกอบหลักเป็นบิสจีเอมเอ Bis-GMA หรือ ยูรีเทนไดเมทราคริเลตเรซิน (Urethanedimethacrylate resins:UDMA) และสารอัดแทรก (Filler) ซีเมนต์ชนิดนี้ไม่เกิดการยึดทางเคมีกับเซรามิก แต่อาจสร้างแรงยึดทางเคมีได้โดยการใช้สารไซเลนเป็นตัวกลาง เรซินซีเมนต์โดยทั่วไปจัดอยู่ในกลุ่มนี้ เช่น เรซินซีเมนต์ 3 เอ็มสกอตบอนด์ (3M Scothbond, 3M, Minisota, USA) เรซินซีเมนต์ช้อยซ์ (Choice, Bisco, Illinois, USA)

2. เรซินซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติยึดติดได้ (Adhesive resin cement)

เรซินซีเมนต์กลุ่มนี้ยังคงมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับคอมโพสิตเรซินซีเมนต์ แต่จะมีส่วนประกอบที่มีคุณสมบัติที่สามารถยึดติดกับเนื้อฟันหรือโลหะ และสามารถเกิดพันธะเคมีกับอะลูมิเนียมอิออนของอินซีแรมได้โดยตรง เรซินซีเมนต์ในกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกตามชนิดของสารประกอบได้ดังนี้

ฟอสฟอเนตเรซินซีเมนต์ (Phosphonate resin cement or phosphate monomer system) เป็นเรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตเอสเตอร์ (Phosphate ester groups) เป็นองค์ประกอบ ตัวอย่างของซีเมนต์ในกลุ่มนี้ได้แก่ พานาเวีย 21 (Panavia 21, Kuraray,Osaka, Japan)

คาร์บอกซิลเรซินซีเมนต์ (Carboxyl monomer system) เป็นเรซินซีเมนต์ที่มีองค์ประกอบของหมู่คาร์บอกซิลคอยทำหน้าที่ยึดติดกับเนื้อฟันหรือโลหะ สารเคมีที่มีคุณสมบัตินี้ ได้แก่ 4META (4 Methacryoxymythyl-trimellitic anhydride), HEMA (Hydroxyethyl methacrylate) ตัวอย่างซีเมนต์ในกลุ่มนี้ได้แก่ ซีแอนด์บีเมทาบอนด์ (C&B Metabond, Parkell, USA)

เรซินซีเมนต์ทั้งสองกลุ่มสามารถใช้ได้กับอินซีแรม แต่มีวิธีการใช้ที่แตกต่างกันคือ กรณีที่ใช้คอมโพสิตเรซินซีเมนต์ก็ควรใช้ร่วมกับการเคลือบซิลิกาที่ผิวของอินซีแรมและสารไซเลนเพื่อเพิ่มแรงยึดติด ส่วนกรณีที่ใช้เรซินซีเมนต์ซึ่งมีคุณสมบัติยึดติดอาจไม่จำเป็นต้องอาศัยใช้สารไซเลนในการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างอินซีแรมและเรซินซีเมนต์

จากการศึกษาของ Kern และ Thompson[75,77] พบว่าการใช้เรซินซีเมนต์พานาเวีย 21 ร่วมกับการเป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ให้ค่าความแข็งแรงยึดติดระหว่างอินซีแรมกับเรซินซีเมนต์สูง ใกล้เคียงกับความแข็งแรงยึดติดจากการเตรียมพื้นผิวอินซีแรมด้วยการเคลือบซิลิการะบบโรคาเทคร่วมกับสารไซเลนและยึดด้วยคอมโพสิตเรซินซีเมนต์

ความสวยงามและความสำเร็จทางคลินิกของครอบฟันและสะพานฟันอินซีแรม

ครอบฟันอินซีแรมไม่มีส่วนของโลหะเป็นองค์ประกอบจึงมีคุณสมบัติในการกระจายและการส่องผ่านของแสงได้ดีกว่าครอบฟันเซรามิกเชื่อมกับโลหะ อย่างไรก็ตามอินซีแรมก็มีความทึบแสงจากอะลูมินา ครอบฟันอินซีแรมมีคุณสมบัติในการมองเห็นที่เหมาะกับการเลือกใช้ในฟันที่มีสีเข้ม เช่น สีเอ-3 หรือสีเอ-4 โดยเฉพาะในกรณีที่ฟันมีความเข้มที่บริเวณคอฟันมากและการกรอตัดเนื้อฟันทำได้จำกัดไม่มีเนื้อที่พอสำหรับพอร์ซเลนวีเนียร์ซึ่งการใช้ครอบฟันเซรามิกร่วมกับโลหะจะทำให้มองเห็นชั้นทึบแสงหรือสีของโลหะ แต่ครอบฟันอินซีแรมสามารถแต่งสีของแกนได้ตามสีของเนื้อฟันจึงสามารถให้ความสวยงามได้ดีกว่า นอกจากนี้ครอบฟันอินซีแรมยังสามารถใช้กับฟันที่มีลักษณะทึบแสงแต่มีสีอ่อนเช่น สีเอ-1 หรือเอ-2 ได้เช่นกัน แต่กรณีฟันที่มีลักษณะโปร่งแสง ความสวยงามที่ได้อาจไม่เท่ากับการเลือกใช้ครอบฟันเซรามิกไอพีเอส-เอมเพรสหรือครอบฟันกลาสเซรามิกไดคอร์[79]

อย่างไรก็ตามนอกจากความสวยงามแล้วความแข็งแรงทนทานของครอบฟันก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะต้องพิจารณา แม้ข้อมูลจากการศึกษาในห้องปฏิบัติการจะระบุว่าอินซีแรมเป็นเซรามิกที่มีความแข็งแรงสูงก็ตาม การพิจารณาถึงความสำเร็จจะต้องอาศัยการศึกษาและติดตามผลทางคลินิกร่วมด้วย Probster[2] พบว่าครอบฟันอินซีแรมจำนวน 60 ซี่ที่มีการใช้งานในช่องปากเป็นเวลาเฉลี่ย 20.8 เดือนไม่มีการแตกหักเสียหายเกิดขึ้นเลยและหลังจากการติดตามผลต่อไปจนเป็นเวลา 56 เดือน[80] โดยมีจำนวนครอบฟันที่ทำเพิ่มขึ้นเป็น 96 ซี่ พบว่ามีครอบฟัน 1 ซี่เกิดการแตกในส่วนของพอร์ซเลนวีเนียร์ แต่ไม่พบการแตกร้าวในส่วนของอินซีแรมที่เป็นแกนของครอบฟัน ส่วน Huls[4] ติดตามผลการรักษาโดยครอบฟันอินซีแรมจำนวน 352 ซี่ ซึ่งมีอายุการใช้งานต่างๆกัน ตั้งแต่ต่ำกว่า 12 เดือนจนมากกว่า 5 ปี พบว่าครอบฟันมีการแตกของพอร์ซเลนวีเนียร์จำนวน 2 ซี่ แต่ไม่พบการแตกร้าวแกนอินซีแรมเลย

แม้ว่าผลการศึกษาต่างๆ จะแสดงให้เห็นว่าอินซีแรมมีคุณสมบัติที่ดีมีความสำเร็จทางคลินิกที่ค่อนข้างสูงแต่ยังขาดรายงานการศึกษาหรือการติดตามผลในระยะยาว การเลือกใช้อินซีแรมสำหรับทำครอบหรือสะพานฟันจึงควรพิจารณาเลือกใช้ในกรณีที่เหมาะสม และติดตามข้อมูลจากการศึกษาวิจัยต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย