

## บทที่ 2

### หลักการและเหตุผล ทบทวนวรรณกรรม

เซอรัโคเนี่ยเซรามิกส์นำมาใช้มากขึ้นในช่วง 3-4 ปีที่ผ่านมา โดยใช้เป็นออร์โทดอนติกแบรคเก็ต (orthodontic brackets) รากเทียม (dental implants) แกนเดือยฟัน (post and core) ครอบฟัน (crowns) และฟันเทียมติดแน่น (fixed partial dentures) ซึ่งความสำเร็จของชิ้นงานบูรณะขึ้นอยู่กับ การยึดติดที่ติระหว่างเรซินซีเมนต์และชิ้นงานบูรณะ ในปัจจุบันเรซินซีเมนต์มีหลายรูปแบบและหลายประเภทซึ่งมีส่วนประกอบแตกต่างกัน เรซินซีเมนต์แบ่งตามส่วนประกอบพื้นฐานได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่<sup>20</sup> คือ

#### 1. อะคริลิกเรซินซีเมนต์ (acrylic resin cements)

ส่วนประกอบคือส่วนผงและส่วนของเหลว ส่วนผงประกอบด้วยเมทิลเมทาครีเลตโพลีเมอร์ (methyl methacrylate polymer) หรือโคโพลีเมอร์ (copolymer) ที่มีเบนซิลเพอออกไซด์ (benzoyl peroxide) เป็นตัวตั้งต้นปฏิกิริยา โดยมีส่วนของวัสดุอัดแทรก (fillers) และเม็ดสี (pigments) รวมอยู่ด้วย คุณสมบัติของอะคริลิกเรซินซีเมนต์ คือ มีความแข็งแรงสูง มีความเหนียว (toughness) สูง และมีการละลายตัวต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ เรซินซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีประสิทธิภาพในการยึดติดกับโครงสร้างของฟันที่มีความชื้นได้ดีเพียงพอ ทำให้เกิดการรั่วซึมตามขอบ เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันและมีระยะเวลาในการทำงานที่สั้น ปัจจุบันมีการปรับปรุงอะคริลิกเรซินซีเมนต์ โดยเติมสารที่ช่วยเพิ่มการยึดอยู่ (adhesion promoter) เช่น โพรเมทาหรือโพรเมทิลออกซีเอทิลไตรเมลเลติกแอนไฮไดรด์ (4-META; 4-methoxy ethyltrimellitic anhydride) โดยโพรเมทาช่วยให้เกิดพันธะทางเคมีกับฟันได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ซูเปอร์บอนด์ซีแอนด์บี (Super-Bond C&B<sup>®</sup>, Sun Medical, Japan) ซีแอนด์บีเมทาบอน (C&B Metabond<sup>®</sup>, Sun Medical, Japan)

#### 2. ไดเมทาครีเลตซีเมนต์ (dimethacrylate cement)

ส่วนประกอบคือ เรซินเมทริกซ์ (resin matrix) พวกบิสจีเอ็มเอหรือบิสฟินอล เอ ไดเมทาครีเลต (Bis GMA; Bisphenol A Dimethacrylate) และวัสดุอัดแทรกอนินทรีย์ (inorganic fillers) ได้แก่ ไมโครฟิล (microfill) ซึ่งเป็นซิลิกาที่มีขนาดประมาณ 0.04 ไมโครเมตรหรือไมครอน (micrometer or micron,  $\mu\text{m}$ ) หรือชนิดไฮบริด (hybrid) ที่ประกอบด้วยไมโครฟิลปนกับวัสดุอัดแทรกประเภทซิลิเกต (silicate) เซอรัโคเนี่ย อลูมินา ซึ่งมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1 - 10 ไมโครเมตร ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ รีไลเอกซ์เออาร์ซี วาริโอลิงก์ทู

แบ่งเรซินซีเมนต์ตามระบบการยึดติดได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ<sup>2</sup>

1. เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบโททอลเอช ระบบนี้มีมีการกำจัดชั้นเสมียร์ (smear layers) เสมียร์ปลั๊ก (smear plug) โดยใช้กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) ทำให้เกิดการละลายแร่ธาตุออกจากเดนทีน (dentine) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น วารีโอลิงค์ทู รีไลเอกซ์เออาร์ซี โดยสารยึดติดระบบโททอลเอช ได้แก่ ซินแทค (Syntac<sup>®</sup>, Ivoclar North America, USA) ซิงเกิลบอนด์ (Single Bond<sup>™</sup>, 3M ESPE, USA) เป็นต้น

2. เรซินซีเมนต์ที่ใช้ร่วมกับสารยึดติดระบบเซลฟ์เอช ระบบนี้มีมีโมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidic monomer) สามารถละลายชั้นเสมียร์ได้เกือบหมด แต่ยังเหลือเสมียร์ปลั๊กอยู่บ้าง และเกิดการละลายแร่ธาตุในเดนทีนบางส่วนพร้อมๆ กับการพาราเรซิน (resin) แทรกซึมเข้าไปในส่วนที่ละลายแร่ธาตุแล้ว เกิดเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer, resin-dentin interdiffusion zone) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ โดยสารยึดติดระบบเซลฟ์เอช ได้แก่ อีดีไพร์เมอร์ (ED<sup>®</sup> primer, Kuraray, Japan) เป็นต้น

3. เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ ระบบนี้ไม่สามารถละลายชั้นเสมียร์ที่หนา 3-4 ไมโครเมตรได้ จึงไม่พบชั้นไฮบริด พบเป็นชั้นรวมของเดนทีนที่ไม่ถูกละลายแร่ธาตุ ชั้นเสมียร์ และเรซินซีเมนต์แทน (interdiffusion zone) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น รีไลเอ็กซ์ยูร็อย รีไลเอ็กซ์ยูนิเซม มัลติลิงค์ สปรินท์ แมกเซ็มอีลิท

การยึดชิ้นงานบูรณะเซรามิกส์ด้วยเรซินซีเมนต์กับตัวฟันมักเกิดพื้นผิวที่ยึดติดกัน 2 ส่วน ส่วนแรกคือ พื้นผิวของตัวฟันและเรซินซีเมนต์ อีกส่วนหนึ่งคือเรซินซีเมนต์และพื้นผิวเซรามิกส์ ส่วนของตัวฟันและเรซินซีเมนต์นั้น กลไกในการยึดติดขึ้นอยู่กับวิธีการยึดติดทฤษฎีกลศาสตร์ (micro-mechanical retention) ซึ่งเกิดจากชั้นไฮบริด เรซินแทค (resin tag) และส่วนแขนงด้านข้าง (lateral branch) ของสารยึดติด ในระบบโททอลเอชนั้นใช้กรดฟอสฟอริกที่มีค่าพีเอชต่ำ (pH=1)<sup>22</sup> สามารถกำจัดชั้นเสมียร์ได้ทั้งหมด มีการละลายแร่ธาตุออกจากเดนทีนทำให้เส้นใยคอลลาเจน (collagen fibers) เผยผิ้ออก จากนั้นส่วนของไพร์เมอร์ (primers) จะช่วยคงสภาพและปรับสภาพเส้นใยคอลลาเจนให้พร้อมต่อการแทรกซึมของเรซิน เพิ่มพลังงานที่พื้นผิว (surface energy) เพิ่มความสามารถในการไหลแผ่บนพื้นผิวเนื้อฟัน (wettibility) เมื่อทาสารแอคทีฟเรซินลงบนเนื้อฟัน ส่วนโมโนเมอร์จะไหลแทรกซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยคอลลาเจน เมื่อแข็งตัวจะเกิดเป็นชั้นที่ประกอบด้วยสารเรซินและคอลลาเจนที่เรียกว่าชั้นไฮบริด<sup>23</sup> ชั้นไฮบริดมีความหนาประมาณ 8-10 ไมโครเมตร และไม่พบการแยกชั้นระหว่างชั้นไฮบริดและเรซินซีเมนต์ สำหรับระบบเซลฟ์เอชนั้น มีโมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรดทำการละลายชั้นเสมียร์ได้เกือบหมด แต่ยังเหลือเสมียร์ปลั๊กอยู่บ้าง และเกิดการละลายแร่ธาตุในเดนทีนบางส่วนพร้อมๆ กับการพาราโมโนเมอร์แทรกซึมเข้าไปใน

ส่วนที่ละลายแร่ธาตุ<sup>24</sup> ระบบเซลล์ฟอซเฟตเกิดขึ้นไฮบริดที่มีความหนาประมาณ 1-1.5 ไมโครเมตร ซึ่งหนาน้อยกว่าระบบโททอลเอช ระบบเซลล์ฟอซเฟตมีกลุ่มทำงาน (functional monomer) คือ เอ็มดีพี หรือเทินเมทาครัยโลอิลออกซีเดซิลไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (MDP:10-methacryloyloxydecyldihydrogen phosphate) ซึ่งเป็นฟอสเฟตโมโนเมอร์ (phosphate monomer) สามารถมีพันธะทางเคมีกับเนื้อฟันได้ สำหรับเซลล์แอคทีฟเรซินซีเมนต์ ถึงแม้จะมีการยึดติดทางเคมีกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ของเนื้อฟันได้ มีเพียงแค่ขั้นตอนเดียวไม่ต้องล้างกรดออก ทำให้เทคนิคไม่ยุ่งยากเหมือนระบบโททอลเอช ลดขั้นตอนและเวลา แต่ไม่พบว่าเกิดขึ้นไฮบริดเลยจึงทำให้มีค่ากำลังแรงยึดที่ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์สองแบบแรก<sup>25</sup>

พื้นผิวยึดติดกันระหว่างเรซินซีเมนต์และเซรามิกสึนั้น สามารถเพิ่มการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับชิ้นงานบูรณะเซรามิกส์ โดยมีการปรับสภาพพื้นผิวของเซรามิกส์ด้วยวิธีการต่างๆ ตามลักษณะของเซรามิกส์แต่ละชนิด เซรามิกส์แบ่งได้หลายแบบ โดยถ้าแบ่งตามความไวในการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดพื้นผิว จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ กรดกัดได้ ซึ่งได้แก่ กลาสเซรามิกส์และกลาสอินฟิลเตรทเซรามิกส์ และต้านทานต่อการกัดด้วยกรด ซึ่งได้แก่ อลูมินาเซรามิกส์และเซอร์โคเนียเซรามิกส์<sup>4,5,6</sup> หรือแบ่งตามการขึ้นรูปจะแบ่งได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่<sup>26</sup>

### 1. คอนเดนเซชัน (condensation)

ระบบนี้เป็นการใช้ผงผสมน้ำขึ้นรูปบนแม่แบบ (die) ส่วนประกอบหลักได้แก่ โพแทสเฟลด์สปาร์ (potash feldspar) ควอร์ทซ์ (quartz) คาโอลิน (kaolin) ให้ความสวยงามสูง แต่มีความแข็งแรงต่ำ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ออพเทคเอสที (Optec<sup>®</sup> HSP, Jeneric/Pentron, USA) ดูซีแรมแอลเอฟซี (Duceram<sup>®</sup> LFC, Dentsply, USA)

### 2. การกดอัดด้วยความร้อน (heat pressing)<sup>27</sup>

ระบบนี้เมื่อได้แบบขี้ผึ้ง (wax pattern) ของชิ้นงานแล้วนำไปลงอินเวสเมนต์ (investment) ด้วยปูนพิเศษ (refractory material) จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่ 850 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ขี้ผึ้งออกแล้วกดอัดเซรามิกอินกอตส์ (ceramic ingots) เข้าไปแทนที่ขี้ผึ้ง ซึ่งเซรามิกอินกอตส์ที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ ลิวไซต์กลาสเซรามิกส์ (leucite glass ceramics) ลิเทียมไดซิลิเกตกลาสเซรามิกส์ (lithium disilicate glass ceramics) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเทติก (IPS Empress<sup>®</sup> Esthetic, Ivoclar Vivadent, Liechtenstien) ไอพีเอสเอ็มเพรสอีแม็กซ์ (IPS Empress<sup>®</sup> e.max, Ivoclar Vivadent, Liechtenstien)

### 3. การแคสติง (casting)

ระบบนี้เมื่อได้แบบขี้ผึ้งแล้วนำไปลงอินเวสเมนต์พิเศษ ไล่ขี้ผึ้งออก แล้วห้วยเซรามิกอินกอตส์ที่หลอมเหลวเข้าไปแทนที่ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ไดคอร์ (Dicor<sup>®</sup>, Dentsply, USA) ซึ่งมี

องค์ประกอบเป็นผลึกฟลูออโรไมก้า (fluoromica crystal -  $\text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZrO}_2$ ) ในกลาสเมทริกซ์ (glass matrix) ระบบนี้มีความสวยงามสูงแต่มีความแข็งแรงต่ำ จึงแนะนำให้ใช้ในครอบฟันหน้าเท่านั้น

#### 4. สลิปแคสติง (slip-casting)

ระบบนี้ขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีสลิป (slip) คือ นำเอาอนุภาคอลูมินาที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (dispersion of alumina particles in water) ไปขึ้นรูปบนแม่แบบยิปซัม (gypsum die) ส่วนของน้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปในแม่แบบ ส่งผลให้อนุภาคอลูมินาอัดตัวกันแน่นเข้ากับแม่แบบ ต่อจากนั้นนำไปเผาซินเทอร์ (sinter) และหลอมแลนทานัมอลูมิโนซิลิเกตกลาส (lanthanum alumino silicate glass) เข้าไปในส่วนที่เป็นช่องว่าง ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อินซีเรมสปิเนล (In-ceram<sup>®</sup> Spinell, Vita Zahnfabrik, Germany -  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) อินซีเรมอลูมินา (In-ceram<sup>®</sup> Alumina, Vita Zahnfabrik, Germany -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) อินซีเรมเซอร์โคเนีย (In-ceram<sup>®</sup> Zirconia, Vita Zahnfabrik, Germany -  $\text{ZrO}_2$ )

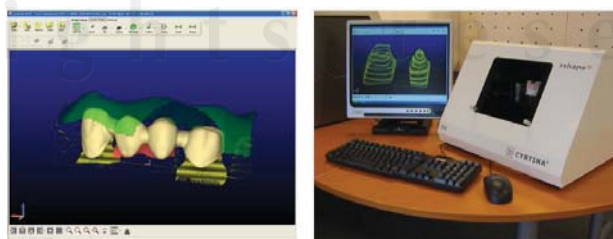
#### 5. การขึ้นรูปโดยใช้คอมพิวเตอร์ (computer-aided-design/computer-aided-manufacturing - CAD/CAM)

ระบบนี้สแกนแม่แบบหรือแบบขึ้นรูปแล้วออกแบบตัดแต่งขึ้นรูปด้วยคอมพิวเตอร์ดังตัวอย่างในรูปที่ 1 โดยเซรามิกอินกอตส์ที่ใช้มีหลายประเภท ได้แก่

5.1 เฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เซเรกซ์วีต้าบล็อคมาร์ควัน (Cerec<sup>®</sup> Vitablock Mark I, Vita Zahnfabrik, Germany) เซเรกซ์วีต้าบล็อคมาร์คทู (Cerec<sup>®</sup> Vitablock Mark II, Vita Zahnfabrik, Germany) ซีเลย์ (Celay<sup>®</sup>, Vita Zahnfabrik, Germany)

5.2 อลูมินาเซรามิกส์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ โพรเซรา (Procera<sup>®</sup>, Noble Biocare, Sweden)

5.3 เซอร์โคเนียเซรามิกส์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลาวา (Lava<sup>®</sup>, 3M-ESPE, USA) เซอร์คอน (Cercon<sup>®</sup>, Dentsply Ceramco, USA) ดีซีเซอร์คอน (DC-Zircon<sup>®</sup>, DCS Dental AG, Switzerland) โพรเซราเซอร์โคเนีย (Procera<sup>®</sup> Zirconia, Noble Biocare, Sweden) วีต้าวายแซดซีเรค (Vita YZ-Cerec<sup>®</sup>, Vita Zahnfabrik, Germany)



รูป 1 ระบบออกแบบตัดแต่งสิ่งบูรณะด้วยคอมพิวเตอร์-แคดแคม<sup>28</sup>



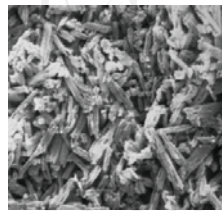
แบ่งเซรามิกส์ตามองค์ประกอบทางเคมีจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ<sup>29</sup>

### 1. กลาสเซรามิกส์

เซรามิกส์กลุ่มนี้ประกอบด้วยส่วนที่เป็นอะมอร์ฟัสเมทริกซ์ (amorphous or non-crystalline matrix) หรือวิทรีียสเฟส (vitreous phase) และส่วนคริสตัลลีนเฟส (crystalline phase) ที่ให้ความแข็งแรง โดยส่วนเมทริกซ์มีองค์ประกอบหลักคือ ซิลิกอนออกซิเจน (silicon-oxygen: Si-O) โดยซิลิกอน 1 อะตอมจับกับออกซิเจน 4 อะตอมเรียงตัวเป็นโครงร่างเตตระฮีดรอล (tetrahedral configuration)<sup>30</sup> ส่วนคริสตัลลีนเฟสมีผลึกได้หลายแบบ ได้แก่ ผลึกลิวไรท์ ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) ดังรูปที่ 2 ก. ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต ( $\text{Li}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ ) ดังรูปที่ 2 ข. ผลึกฟลูออโรไมก้า ดังรูปที่ 2 ค.<sup>31</sup> ผลึกลิวไรท์และผลึกฟลูออโรไมก้ามีความโปร่งแสงสูง แต่มีความแข็งแรงที่ต่ำ แนะนำให้ใช้ทำครอบฟันหน้าและวีเนียร์ (veneers) เท่านั้น ส่วนผลึกลิเทียมไดซิลิเกตมีความโปร่งแสงน้อยลงแต่มีความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น ใช้ทำครอบฟันหลังและฟันเทียมติดแน่น 3 ซี่ (anterior 3 unit bridge)<sup>32</sup> ได้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ไอพีเอสเอ็มเพรสเอสเทติก เอ็มเพรสอีแมกซ์ ไคคอร์



รูป 2 ก. ผลึกลิวไรท์<sup>33</sup>



รูป 2 ข. ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต<sup>33</sup>



รูป 2 ค. ผลึกฟลูออโรไมก้า<sup>33</sup>

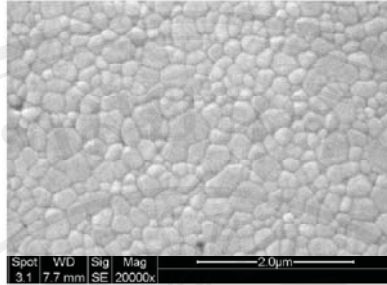
### 2. กลาสอินฟิลเตรทเซรามิกส์

กลาสอินฟิลเตรทเซรามิกส์จะประกอบด้วยผลึกอลูมินาซึ่งเป็นส่วนที่เป็นคริสตัลลีนเฟสแทรกช่องว่างระหว่างคริสตัลลีนเฟสด้วยเลนทานัมกลาส (lanthanum glass)<sup>34</sup>

### 3. โพลีคริสตัลลีนเซรามิกส์ (polycrystalline ceramics) หรือออกไซด์เซรามิกส์ (oxide ceramics)

ออกไซด์เซรามิกส์ประกอบด้วยคริสตัลลีนเฟสล้วน โดยองค์ประกอบส่วนนี้เป็นผลึกอยู่ติดกันแน่น ไม่มีส่วนของซิลิกาอยู่เลย<sup>30,35</sup> ดังตัวอย่างในรูปที่ 3 เซรามิกส์ในกลุ่มนี้ ได้แก่ อลูมินาเซรามิกส์ เซอร์โคเนียเซรามิกส์<sup>31</sup> เมื่อดูโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructures) ของเซอร์โคเนียเซรามิกส์พบว่าเป็นเตตราโกนอลเซอร์โคเนียโพลีคริสตัล (Tetragonal Zirconia Polycrystal, TZP) โดยปกติเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง เซอร์โคเนียเซรามิกส์มีรูปร่างผลึกเป็นโมโนคลินิก (monoclinic) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (1,100 องศาเซลเซียส) ผลึกจะเปลี่ยนเป็นเตตราโกนอล จึงเติมยิทเทรียมออกไซด์ (yttrium oxide -  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ) ลงไปประมาณ 3 โมลเปอร์เซ็นต์ (mol%) เพื่อให้คงรูปร่างผลึกเป็นเตตราโกนอล

เซอร์โคเนียโพลีคริสตัลลอสอยู่ได้เมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เซอร์โคเนียเซรามิกส์มีความแข็งแรงที่สูงขึ้น<sup>36,37,38,39</sup>



รูป 3 รูปร่างผลึกของเตตราโกนอนเซอร์โคเนียโพลีคริสตัลลอสที่กำลังขยาย 20,000 เท่า<sup>28</sup>

เซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่นำมาใช้ทางทันตกรรม แบ่งได้หลักๆ เป็น 3 ชนิด คือ

1. ฟูลลิซันเทอร์เร็ด (fully sintered) หรือเอชไอพีเซอร์โคเนีย (HIP zirconia - hot isostatic pressing zirconia) คือ เซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ผ่านการซินเทอร์ริง (sintering) จนครบรอบ (cycle) ก่อนนำมาบด (milling) ขึ้นงาน เมื่อผ่านการซินเทอร์ริงจนครบรอบแล้วจะทำให้เซอร์โคเนียเซรามิกส์แข็งแรง การบดทำได้ยากและอาจทำให้เกิดตำหนิบนชิ้นงานได้<sup>40</sup> ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ดีซีเซอร์คอน

2. พาร์เชียลลิซันเทอร์เร็ด (partially sintered) คือ เซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ผ่านการซินเทอร์ริงมาบางส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการบดชิ้นงานและหลังจากได้รูปร่างที่ต้องการแล้ว จึงนำไปซินเทอร์ริงอีกครั้งหนึ่งจนเสร็จสมบูรณ์<sup>38</sup> ซึ่งหลังจากขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความแข็งแรงมาก และมีความหนาแน่นของชิ้นงานมากขึ้นกว่าระยะที่เป็นพาร์เชียลลิซันเทอร์เร็ด<sup>26</sup> ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ลาวา เซอร์คอน โพรเซรา เซอร์โคเนีย วิต้าวายแซดซีเรค

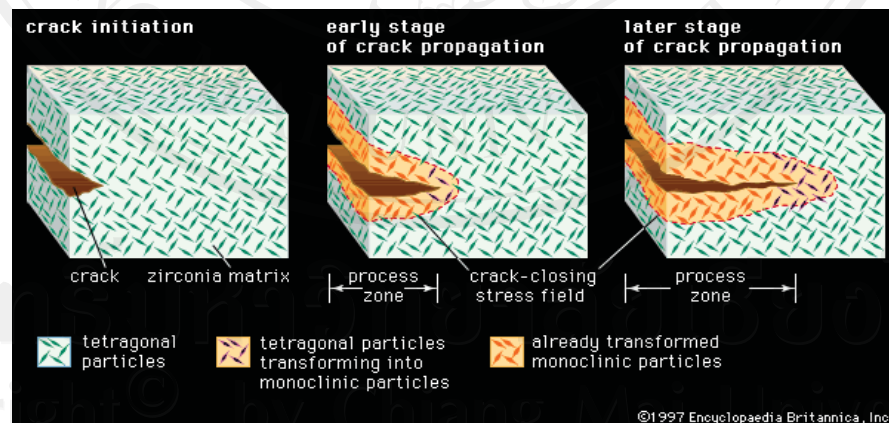
3. กลาสอินฟิลเทรตเซอร์โคเนีย (glass-infiltrated zirconia) เป็นการอัดแทรกแก้วเข้าไปในพาร์เชียลลิซันเทอร์เร็ดออกไซด์ลูมินาเซอร์โคเนีย (partially sintered oxide alumina-zirconia) มีส่วนประกอบของพาร์เชียลลิซเตบิลไลซ์เซอร์โคเนีย (partially stabilized zirconia) ร้อยละ 35<sup>41,42</sup> ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ อินซีเรมเซอร์โคเนีย

เซอร์โคเนียเซรามิกส์มีคุณสมบัติทางกายภาพที่แข็งแรง ดังตารางที่ 1 มีค่ากำลังแรงดัด (flexural strength) และมีความต้านทานต่อการแตกหัก (fracture toughness) สูง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทรานส์ฟอร์มเมชันทัพเทนนิ่ง (transformation toughening)<sup>29</sup> ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่โดดเด่นอย่างหนึ่งของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ เมื่อมีแรงดึง (tensile stress) เกิดขึ้นในขนาดที่มากพอและเกิดรอยร้าว (crack) จะมีการเปลี่ยนแปลงของเซอร์โคเนียหรือเซอร์โคเนียไดออกไซด์ (zirconium dioxide- $ZrO_2$ ) จากเตตราโกนอนเฟสไปเป็นโมโนคลินิกเฟสตรงรอยร้าว ทำให้เกิดการขยายขนาดของปริมาตรร้อยละ 3-5 และเกิดแรงกด (compressive stress) ในบริเวณนั้น มีผลทำให้การแตกร้าวนั้น

หยุดลงดังรูปที่ 4 ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อสภาวะที่เกิดความล้า (fatigue situation) เช่น สภาวะรับแรงที่เกิดจากการบดเคี้ยวเป็นเวลานาน เป็นต้น การใช้เซอร์โคเนียเซรามิกส์ในการสร้างครอบฟันกระเบื้องลิ้นในปัจจุบันจึงได้รับความนิยมสูงขึ้นมาก เพราะเป็นเซรามิกส์ที่ให้ความแข็งแรงมากที่สุด

ตาราง 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของเซอร์โคเนียเซรามิกส์<sup>43</sup>

Property	Range of values
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	6.05 – 6.09
Zirconia content [%]	95 – 97
Yttria content [%]	3 – 5
Average grain size [μm]	0.2 – 0.4
Vickers hardness [HV0.1]	1200 – 1300
Elastic modulus [GPa]	150 – 210
Compressive strength [MPa]	> 2000
Tensile strength [MPa]	> 650
Flexural strength [MPa]	900 – 1300
Fracture toughness [MN m <sup>-3/2</sup> ]	7 – 9

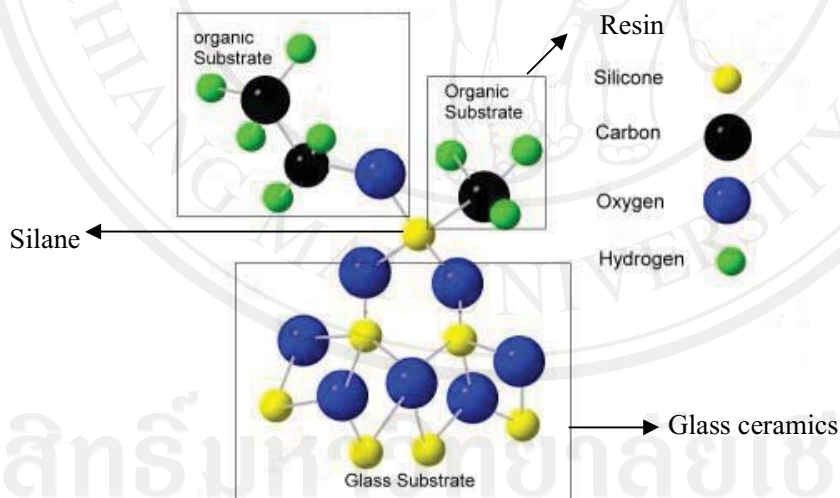


รูป 4 การเกิดทรานส์ฟอร์มชันเมื่อมีรอยร้าว<sup>44</sup>

มีการศึกษาพัฒนาเพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และผิวเซรามิกส์โดยทำให้เกิดการยึดติดทางกลศาสตร์ (mechanical bond) และทางเคมี โดยกลไกการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับกลาสเซรามิกส์ สามารถทำให้เกิดทั้งการยึดติดทางกลศาสตร์และทางเคมี<sup>45</sup> โดยมีรายละเอียดคือ

1. การยึดติดทางกลศาสตร์ คือ การทำให้ซีเมนต์ยึดติดกับพื้นผิวที่ไม่เรียบของเซรามิกส์โดยการทำให้ผิวเซรามิกส์หยาบหรือขรุขระไม่เรียบมากขึ้น ทำได้ด้วยวิธีการหลายแบบ เช่น การกรอด้วยหัวกรออากาศเพชร การเป่าทรายโดยใช้อนุภาคซิลิกาขนาด 50 ไมโครเมตร<sup>46</sup> การกัดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid etching) การกัดด้วยเจลเอพีเอฟ (APF gel etching) เป็นต้น เมื่อผิวเซรามิกส์เกิดความขรุขระทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวให้เรซินซีเมนต์ยึดเกาะเพิ่มขึ้น แรงที่ได้จากการยึดติดจึงสูงขึ้น

2. การยึดติดทางเคมีได้จากการเคลือบผิวเซรามิกส์ด้วยสารไซเลน ซึ่งช่วยให้เรซินซีเมนต์เกิดการยึดติดกับชั้นงานบูรณะได้ดีขึ้น สารไซเลนมีสูตรโครงสร้างคือ  $R - Si - (OCH_3)_3$  สารไซเลนจะสามารถยึดติดกับอะตอมต่าง ๆ ได้ด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond)<sup>46</sup> โดยไซเลนเป็นโมเลกุลที่มีแขนทำงาน 2 ปลาย (bifunctional molecules) ปลายข้างหนึ่งประกอบด้วยหมู่อัลคอกซี (alkoxy groups) เช่น เมทอกซี (methoxy  $(-O-CH_3)$ ) อีทอกซี (ethoxy  $(-O-CH_2CH_3)$ ) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับพื้นผิวสารอนินทรีย์ (inorganic surface) เช่น แก้วเซรามิกส์ ส่วน R คือ ปลายอีกข้างหนึ่งที่เป็นสารอินทรีย์ (organic side chain) เช่น ไวนิล (vinyl) อัลคิล (alkyl) เป็นหมู่ที่ทำปฏิกิริยากับพื้นผิวสารอินทรีย์ (organic surface) เช่น เรซินซีเมนต์ ดังรูปที่ 5

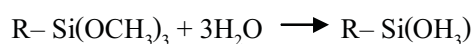


รูป 5 กลไกในการยึดระหว่างสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์โดยใช้ไซเลน<sup>33</sup>

กระบวนการทำงานของไซเลนสามารถอธิบายได้ดังนี้<sup>46,47,48</sup>

1. ไซเลนถูกสลายโดยน้ำและมีกรดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยา

ไฮโดรไลซิส (hydrolysis) เกิดการเปลี่ยนแปลงของไซเลนไปเป็นไซลานอล (silanol)

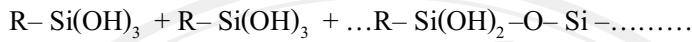


ไซเลน

ไซลานอล

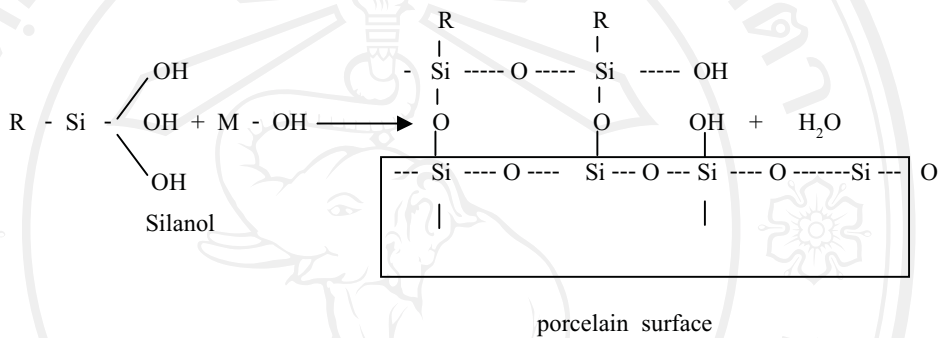


2. การอัดแน่นของไซลานอล และเริ่มเกิดพันธะระหว่างกลุ่มของไซลานอล ผลจากการเกิดปฏิกิริยาจะได้น้ำ



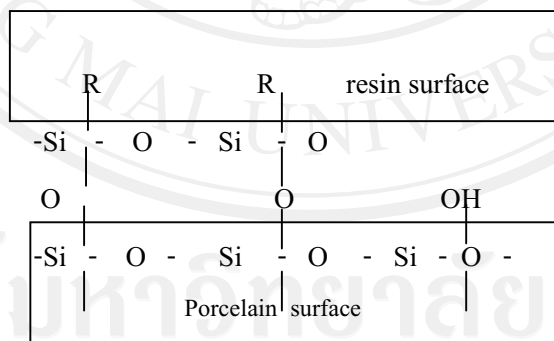
(R)(OH)-... Condensation

3. ซิลิกอนในไซลานอล เกิดพันธะโควาเลนต์กับซิลิกอนไดออกไซด์ในเซรามิกส์ เรียกว่าพันธะซิลอกเซน (si-o-si : siloxane bond)



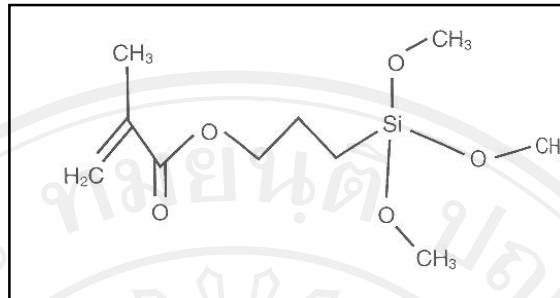
M = Si หรือ โลหะอัลคาไลน์อื่น (other alkaline earth metal)

4. ปลายอีกข้างของไซลานอลเข้าทำปฏิกิริยากับสารในกลุ่มเมทาครีเลตของเรซินซีเมนต์ ทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเซรามิกส์และเรซินซีเมนต์ที่มีไซเลนเป็นตัวเชื่อมตรงกลาง



R = เมทาครีเลตของเรซินซีเมนต์

ไซเลนที่ใช้กันมากในทางห้องปฏิบัติการและทางคลินิก คือ โมโนฟังก์ชัน  $\gamma$ -เมทาครีลออกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (monofunction  $\gamma$ -methacryloxypropyltrimethoxysilane) หรือ เอ็มพีเอส (MPS) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 6 โดยจะทำให้เงื้องางในสารละลายน้ำ-แอลกอฮอล์<sup>46,47,48</sup> เอ็มพีเอสช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างกลาสเซรามิกส์และคอมโพสิต (composite) ที่มีส่วนประกอบเป็นกลุ่มเมทาครีเลตได้



รูป 6 โครงสร้างโมเลกุลของ MPS<sup>48</sup>

นอกจากไซเลนช่วยให้เกิดการยึดทางเคมีด้วยพันธะโควาเลนต์กับทั้งกลาสเซรามิกส์และเรซิน โดยใช้หมู่ฟังก์ชันที่ปลายโมเลกุลทั้งสองแล้ว ไซเลนยังช่วยเพิ่มความสามารถของซีเมนต์ให้ไหลแผ่และเข้าสู่ผิวเซรามิกส์ได้ โดยลดแรงตึงผิวของซีเมนต์บนผิวของเซรามิกส์ ทำให้เรซินซีเมนต์ไหลเข้าสู่ผิวเซรามิกส์เกิดการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ อีกทั้งช่วยลดจำนวนและขนาดของรอยแตกภายในผิวของเซรามิกส์ ไซเลนจึงเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซรามิกส์ด้วย

มีบางการศึกษาว่าการใช้ไซเลนทำให้แรงยึดระหว่างเรซินซีเมนต์และชิ้นงานบูรณะเซรามิกส์มีค่าสูงขึ้น<sup>49</sup> แต่สำหรับเซอร์โคเนียเซรามิกส์นั้นการใช้ไซเลนไม่ได้ช่วยเพิ่มแรงยึดเลย เนื่องจากเซอร์โคเนียเซรามิกส์ไม่มีส่วนของซิลิกา การปรับสภาพพื้นผิวด้วยกรดเพื่อเพิ่มความหยาบหรือขรุขระร่วมกับสารไซเลนเพื่อให้เกิดการยึดติดทางเคมีจึงไม่สามารถทำได้<sup>50</sup> ซึ่งตรงกับหลายๆ การศึกษา เช่น การศึกษาของ Atsu และคณะ<sup>35</sup> พบว่าเซอร์โคเนียเซรามิกส์กลุ่มที่ใช้ซิลิกาเคลือบผิว (tribochemical silica coating) โดยใช้อุปกรณ์โรคาเทค ร่วมกับการใช้สารไซเลนมีค่าการยึดติดมากกว่ากลุ่มที่ใช้สารไซเลนเพียงอย่างเดียว และมากกว่ากลุ่มที่ใช้วิธีการเป่าทราย เนื่องจาก การปรับสภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยซิลิกาที่เคลือบบนผงอลูมินาป่าบนบนผิวเซรามิกส์ ทำให้ผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ขรุขระและช่วยเพิ่มพื้นผิวการยึดติดกับเรซินซีเมนต์ นอกจากนี้ซิลิกาที่ติดอยู่บนผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์และทำปฏิกิริยาทางเคมีกับไซเลน เป็นการเพิ่มทั้งการยึดอยู่ทางกลและทางเคมีอีกด้วย<sup>35,51</sup> และจากการศึกษาของ Sarafianou และคณะ<sup>52</sup> ที่ศึกษาเปรียบเทียบแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และผิวเซอร์โคเนียโดยมีการเตรียมพื้นผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์แบบต่างๆ ร่วมกับเรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มฟอสเฟตโมโนเมอร์ (พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์) ได้แก่ การเตรียมพื้นผิวด้วยไซเลน การเตรียมพื้นผิวด้วยไพรเมอร์ที่มีเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบผสมกับไซเลน (MDP-containing primer/silane coupling agent) และการใช้ไพรเมอร์ที่มีเอ็มดีพีเป็นส่วนประกอบผสมกับไซเลนร่วมกับการใช้ซิลิกาเคลือบทับบนผิวเซรามิกส์ ช่วยเพิ่มแรงยึดติดได้ดีกว่ากลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยไซเลนเพียงอย่างเดียว<sup>52</sup>

ชนิดของเรซินซีเมนต์มีผลกับแรงยึดติดระหว่างเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ในหลายๆ การศึกษาพบว่า เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟตโมโนเมอร์ (เอ็มดีพี) ให้ค่าแรงยึดติดที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์คอนเวนชันนอล (conventional resin cement)<sup>53</sup> ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wolfart และคณะ<sup>2</sup> เปรียบเทียบค่าแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆ กับออกไซด์เซรามิกส์ พบว่าการเป่าทรายตามด้วยการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟต ให้ค่าแรงยึดติดที่สูงขึ้นและมีความคงทนสอดคล้องกับการศึกษาของ Piwowarczyk และคณะ<sup>18</sup> ศึกษาค่าแรงยึดติดระหว่างเซอร์โคเนียกับเรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟต 2 ชนิด ได้แก่ พานาเวียเอฟสองจุดศูนย์และรีไลเอกซ์ยูนิเซม เปรียบเทียบกับเรซินซีเมนต์คอนเวนชันนอลชนิดรีไลเอกซ์เออาร์ซีและวารีโอลิงทู กลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cements) และซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ (zinc phosphate cements) พบว่ารีไลเอกซ์ยูนิเซมให้ค่าแรงยึดติดสูงสุด รองลงมาเป็นพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์ วารีโอลิงทูและรีไลเอกซ์เออาร์ซี (7.6, 4.6, 4.1, 3.6 MPa ตามลำดับ) ส่วนกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์และซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ให้ค่าแรงยึดติดที่ต่ำมาก เมื่อนำไปผ่านวิธีการเทอร์โมไซคลิก คือการเก็บชิ้นงานในน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ บางชิ้นงานทดสอบเกิดการหลุด (debond) ของซีเมนต์ที่ยึดติด ก่อนนำไปทดสอบหาค่าแรงยึดติดอีกด้วย แต่มีบางการศึกษาที่ให้ผลที่แตกต่าง เช่น การศึกษาที่เปรียบเทียบระหว่างการใช้เรซินซีเมนต์คอนเวนชันนอลชนิดทวินลูค (Twinlook<sup>®</sup>, Heraeus Kulzer, USA) เรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มฟอสเฟตโมโนเมอร์ชนิดพานาเวียอีลิบเอ็ด (Panavia<sup>®</sup> 21, Kuraray, Japan) และกลุ่มอะคริลิกชนิดซูเปอร์บอนด์ (Superbond<sup>®</sup>, Sun Medical, Japan) พบว่ากลุ่มอะคริลิกให้ผลการยึดติดสูงสุด (19.5 MPa)<sup>1</sup> รองลงมาเป็นเรซินซีเมนต์ที่มีกลุ่มฟอสเฟตโมโนเมอร์ชนิดพานาเวียอีลิบเอ็ดและเรซินซีเมนต์คอนเวนชันนอลชนิดทวินลูค (8.9, 8.9 MPa ตามลำดับ)

ต่อมาได้มีการคิดค้นวิธีช่วยเพิ่มการยึดติดทางเคมีระหว่างเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ มีผู้ริเริ่มนำเมทัลแอคทีฟไฟพรเมอร์มาใช้เตรียมพื้นผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ซึ่งเป็นออกไซด์ของโลหะ เดิมเมทัลแอคทีฟไฟพรเมอร์นำมาใช้ในการซ่อมแซมครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องที่พอร์ซเลนเกิดการแตกหักถึงชั้นโลหะ องค์ประกอบของเมทัลแอคทีฟไฟพรเมอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก<sup>54</sup> คือ ส่วนเรซินโมโนเมอร์ (resin monomer) และตัวทำละลาย โดยเมทัลแอคทีฟไฟพรเมอร์แต่ละชนิด แต่ละบริษัทมีกลุ่มทำงานที่แตกต่างกันตามชนิดของเรซินโมโนเมอร์ที่ใช้ กลุ่มทำงานของเรซินโมโนเมอร์แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

1. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid derivative)

กลุ่มนี้มีเรซินโมโนเมอร์ที่เป็นกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl, -COOH) ยึดด้วยพันธะเคมีกับโลหะผสมพื้นฐาน (predominantly base alloy) ในชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ<sup>55</sup> ได้แก่

- โฟร์เมทา<sup>55</sup> หรือ โฟร์เมทิลออกซีเอทิลไตรเมลลิติกแอนไฮไดรด์ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เมตาฟาสต์บอนดิงไลเนอร์ (META FAST<sup>®</sup> BONDING LINER, Sun Medical, Japan) ส่วนของเหลวของซูเปอร์บอนด์ ซีแอนด์บี (Superbond<sup>®</sup> C&B liquid, Sun Medical, Japan)
- โฟร์เอทา<sup>55</sup> หรือ โฟร์เอครีโยลิตออกซีเอทิลไตรเมลลิติกแอนไฮไดรด์ (4-AETA: 4-acryloyloxyethyl trimellitate anhydride) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เอคริลบอนด์ (Acryl Bond<sup>®</sup>, Border Construction Specialties, USA)
- อีพีเอเอ็มเอ<sup>56</sup> หรือ เท็น-เอพิตีโอเดคริลเมทาครีเลต (EP8MA: 10-epithio decryl methacrylate) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เอ็กเพอริเมนทัลไพรเมอร์ (Experimental<sup>®</sup> primer, Border Construction Specialties, USA)
- บีพีดีเอ็ม<sup>55</sup> หรือ แอดคักคอปพูไฮดรอกซีเอทิลเมทาครีเลต แอนด์ ทรี, โฟร์, โฟร์, ไฟท์-ไบฟีนิลเตตราคาร์บอกซิลิกแอนไฮไดรด์ (BPDM: adduct of 2-hydroxyethyl methacrylate and 3,4,4',5'-biphynyltetracarboxylic anhydride) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น ออลบอนด์ทูไพรเมอร์ บี (All-Bond<sup>®</sup> 2 primer B, Bisco, Canada)
- แมกเท็น<sup>55</sup> หรือ เท็น เมทาครีโยลิตออกซีเดคาเมธิลีนมาโลอิกแอซิด (MAC-10: 10-methacryloyloxydecamethylene malonic acid) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เอ็มอาร์บอนด์ (MR<sup>®</sup>-bond, Tokuyama Dental Corporation, Japan)

## 2. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid derivative)

กลุ่มนี้มีเรซินโมโนเมอร์ที่เป็นกลุ่มฟอสเฟต ยึดด้วยพันธะเคมีกับโลหะผสมพื้นฐานในชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ ได้แก่

- เอ็มดีพี ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น อัลลอยด์ไพรเมอร์
- เอ็มพี<sup>56</sup> หรือ เมทาครีเลตฟอสเฟต (MP: methacrylate phosphate) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น อายไซท์โอเพคไพรเมอร์ (Eye Sight<sup>®</sup> Opaque Primer, Kanebo, Japan)
- ซิกส์เอ็มเอชพีเอ<sup>57</sup> หรือ ซิกส์เมทาครีลอกซีเฮกซิลฟอสโฟโนอะซีเตต (6-MHPA: methacryloxyhexyl phosphonoacetate) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เอ็มแอลไพรเมอร์ (ML-primer<sup>®</sup>, Shofu Dental Corporation, Japan)

## 3. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กลุ่มไธโอน หรือ ไธอัล (thione or thiol group)

กลุ่มนี้มีเรซินโมโนเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นไธโอน (=S) สามารถเปลี่ยนเป็นไธอัล (-SH)<sup>58</sup> ได้ โดยไธอัลสร้างพันธะทางเคมีกับอะตอมของโลหะผสมมีตระกูล (Noble alloy) ได้ด้วยกลุ่มทำงานเมอร์แคปแทน (mercaptan functional group) ได้แก่



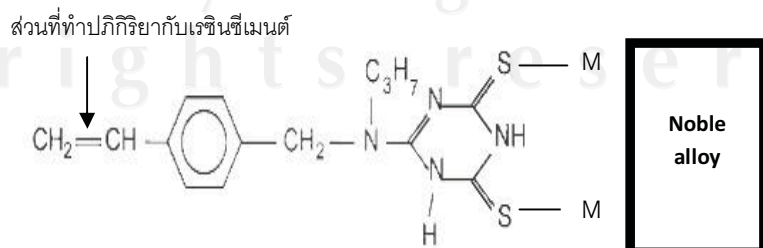
- วิบีเอทีดีที<sup>59</sup> หรือ วิทีดี หรือ ซิกส์ไพร์ไวนิลเบนซิลเอ็นโพรพิลอะมิโน วันทรีไฟว์ไตรอะไซน์ทูโพร์ไคโธไอออน (VBATDT=VTD: 6-(4-vinylbenzyl-n-propyl)amino-1,3,5-triazine-2,4-dithione) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น วิโปรเมอร์(V PRIMER<sup>®</sup>, Sun Medical, Japan) อัลลอยด์ไพโรเมอร์
- เอ็มทียูซิก<sup>60</sup> หรือซิกเมทาครัยโลอิลออกซีเฮกซิล ทูโซโอยูราซิล ไพร์คาร์บอกซิลเลต (MTU-6: 6-methacryloyloxyhexyl-2thiouracil 5-carboxylate) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เมทัลไทท์ (Metalite<sup>®</sup>, Tokuyama Dental Corporation, Japan)
- เท็นเอ็มดีดีที<sup>58</sup> หรือ เท็น เมทาครัยลอคซีเดซิล ซิกเอทไดไทโออกทานเนต (10-MDDT: 10 methacryloxydecyl-6,8-dithiooctanate) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เอ็มแอลไพโรเมอร์

4. กลุ่มทำงานที่มีอนุพันธ์กรดไซโอฟอสฟอริก (thiophosphoric acid derivative)

กลุ่มนี้มีกลุ่มทำงาน 2 แบบรวมอยู่ในสายโครงสร้างเดียวกัน คือ กลุ่มเมอร์แคปแทนในการสร้างพันธะทางเคมีกับอะตอมของโลหะผสมมีตระกูล และกลุ่มฟอสเฟตที่สร้างพันธะเคมีกับออกไซด์ของโลหะผสมพื้นฐาน ได้แก่

- เอ็มพีทีเอส<sup>58</sup> หรืออนุพันธ์ของเมทาครัยโลอิลออกซีอัลคิล ไซโอฟอสเฟต (MEPS: methacryloyl oxyalkylthiophosphate derivative) ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ เช่น เมทัลไพโรเมอร์ (Metal primer<sup>®</sup>, GC, Japan) และเมทัลไพโรเมอร์ทู (Metal primer<sup>®</sup> II, GC, Japan)

จากการศึกษาที่ผ่านมามีการเปรียบเทียบค่าแรงยึดติดระหว่างการเตรียมผิวโลหะด้วยเมทัลแอคทีซีไฟไพโรเมอร์ชนิดต่างๆ กับโลหะผสมพื้นฐาน<sup>52</sup> และโลหะผสมมีตระกูล<sup>61,62</sup> พบว่าการใช้เมทัลแอคทีซีไฟไพโรเมอร์ให้ค่าแรงยึดติดสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเรซินโมโนเมอร์ที่เป็นกลุ่มคาร์บอกซิลหรือกลุ่มฟอสเฟตจะยึดด้วยพันธะเคมีกับโลหะผสมพื้นฐานในชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ กลุ่มที่มีเรซินโมโนเมอร์ที่มีโครงสร้างเป็นไซโอไน จะสามารถสร้างพันธะทางเคมีกับอะตอมของโลหะผสมมีตระกูลด้วยกลุ่มทำงานเมอร์แคปแทน ตัวอย่างเช่น วิบีเอทีดีทีซึ่งเป็นกลุ่มทำงานที่เป็นอนุพันธ์ของซัลเฟอร์ (sulfur derivative) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดระหว่างเมทาครัยเลตเบสโมโนเมอร์ (methacrylate-based monomer) และโลหะผสมมีตระกูล ดังรูปที่ 7



รูป 7 การยึดติดทางเคมีระหว่าง วิบีเอทีดีที กับพื้นผิวของโลหะผสมมีตระกูล<sup>63</sup>

ดังนั้นจึงได้มีผู้ริเริ่มนำเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์มาใช้ในการเตรียมพื้นผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ดังการศึกษาของ Lindgren และคณะ<sup>64</sup> เตรียมผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์ ชนิดเมทัลไฟโพรเมอร์ทูและสารไฮเลนชนิดเซรามิกไฟโพรเมอร์ (Ceramic Primer™, 3M ESPE, USA) ร่วมกับการใช้เซลฟ์แอคทีฟเรซินซีเมนต์รีโกลเอกซ์ยูนิเซม พบว่าเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่มีการเตรียมผิวด้วยเมทัลไฟโพรเมอร์ทูให้ค่าแรงยึดติดที่สูงและคงทนกว่าการใช้เซรามิกไฟโพรเมอร์ การศึกษาของ Özcan และคณะ<sup>65</sup> ที่เปรียบเทียบค่าแรงยึดติดระหว่างของเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่มีการเตรียมผิวด้วยการเป่าทรายข้างแก้อีร่วมกับเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์ชนิดอัลลอยด์ไฟโพรเมอร์และซีล็ดทูปโอเพกไฟโพรเมอร์ (Cesead™ II Opaque Primer, Kuraray, Japan) กับการเตรียมผิวด้วยการเคลือบซิลิกาจากการเป่าทรายจากห้องปฏิบัติการโดยใช้อุปกรณ์โรคาเทค ร่วมกับไฮเลนชนิดเอสเปซิล (ESPE-Sil, 3M ESPE, USA) และอุปกรณ์ไซลาโนเพน (Silano-Pen: Bredent, USA) ร่วมกับไฮเลน พบว่าค่าแรงยึดติดของเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่มีการเตรียมผิวโดยเป่าทรายข้างแก้อีร่วมกับการใช้เมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์และการเตรียมพื้นผิวด้วยอุปกรณ์โรคาเทคร่วมกับการใช้ไฮเลน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการศึกษาของ Lindgren และ Özcan<sup>64,65</sup> พบว่าการใช้สารไฮเลนปรับสภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์อย่างเดียวไม่ช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ในขณะที่ใช้เมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์ปรับสภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ช่วยเพิ่มค่าแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ได้ จึงมีการพัฒนาเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์ชนิดเมทัลเซอร์โคเนียไฟโพรเมอร์ขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ปรับสภาพพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ แต่ผลของเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์นั้นยังคงเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ เนื่องจากบางการศึกษาให้ผลที่ดีในสถานะที่แห้ง แต่บางการศึกษาได้กล่าวถึงปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรไลติก (hydrolytic) ของเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์เมื่อนำไปแช่น้ำ<sup>66,67,68</sup> อย่างไรก็ตามเมทัลแอคทีฟไฟโพรเมอร์ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มทำงานที่มีปลายข้างหนึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดต่างๆ ทำหน้าที่เชื่อมกับพื้นผิวโลหะหรือออกไซด์ของโลหะ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งทำหน้าที่เชื่อมติดกับเรซินซีเมนต์<sup>65</sup> อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการปรับสภาพพื้นผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ซึ่งเป็นออกไซด์เซรามิกส์ได้ เนื่องจากมีขั้นตอนการทำที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และสามารถนำมาใช้ข้างแก้อีทันตกรรมได้