



บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์แต่ละชนิดกับ เซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ไม่ปรับสภาพผิวและปรับสภาพพื้นผิวด้วยเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ชนิด ต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกัน ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยว ของการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆกับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ไม่ปรับสภาพผิวและปรับ สภาพพื้นผิวด้วยเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ชนิดต่างๆนั้นได้รับการปฏิเสธ เนื่องจากมีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซินซีเมนต์ชนิดต่างๆกับการ เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ก่อนหลังการเทอร์โมไซคลิก โดยเซอร์โคเนียเซรามิกส์กลุ่มที่มีการ เตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ชนิดอัลลอยด์ไฟโรเมอร์แล้วยึดด้วยเรซินซีเมนต์พานา เวียเอฟสองจุดศูนย์เช่น้ำ 24 ชั่วโมงให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด ส่วนกลุ่มที่ไม่มีการเตรียม พื้นผิวใดๆแล้วยึดด้วยเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูร่อยหลังเทอร์โมไซคลิกให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยว ค่าที่ต่ำที่สุด

ในปัจจุบันความต้องการของผู้ป่วยที่ต้องการครอบฟันที่มีสีเหมือนฟันได้เพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการ พัฒนาระบบครอบฟันกระเบื้องล้วนขึ้นมา ซึ่งแต่ละระบบก็ให้ความสวยงามและคุณสมบัติที่ แตกต่างกันไป เซอร์โคเนียเซรามิกส์ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากมีความสวยงาม สามารถวาง ขอบของครอบฟันอยู่ที่บริเวณขอบเหงือกหรือต่ำกว่าขอบเหงือก 0.5 มิลลิเมตรได้ จึงปลอดภัยต่อ อวัยวะปริทันต์ มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อ (biocompatibility) ส่งผ่านความร้อนได้ดีน้อยกว่า ครอบฟันโลหะ จึงลดการเกิดอาการเสียวและการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อโพรงประสาทฟันจากการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้⁶⁹ นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงและมีความต้านทานต่อการแตกหักสูง จึง สามารถนำมาใช้เป็นครอบฟันและฟันเทียมติดแน่นทั้งฟันหน้าและฟันหลังได้

การยึดติดระหว่างครอบฟันเซอร์โคเนียเซรามิกส์กับตัวฟันนั้น ต้องอาศัยเรซินซีเมนต์เป็นตัว ยึด ถึงแม้ว่าเซอร์โคเนียเซรามิกส์สามารถยึดด้วยซีเมนต์ทั่วไป เช่น ซิงค์ฟอสเฟตซีเมนต์ ซิงค์โพลีคาร์ บอกซีเลทซีเมนต์ (zinc polycarboxylate cement) ได้ แต่อาจนำไปสู่ความแนบของขอบ (marginal adaptation) ที่ไม่เพียงพอ ทำให้เกิดฟันผุต่อ (secondary caries) เกิดการติดสีบริเวณขอบครอบฟัน หรือเกิดการหลุดของครอบได้¹⁴ การใช้เรซินซีเมนต์จึงให้ผลที่ดีกว่าหลายประการ เช่น ทำให้เกิด

ความแนบของขอบ ป้องกันการรั่วซึมตามขอบ (microleakage) และเพิ่มการยึดอยู่ (retention) ของครอบฟันได้^{71,70,71}

เรซินซีเมนต์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบและหลายประเภทซึ่งมีส่วนประกอบแตกต่างกันออกไป การใช้เรซินซีเมนต์ชนิดโคมพาทริลเรซินซีเมนต์พวกบิสฟีเอ็มเอ ที่ไม่มีกลุ่มทำงานพวกฟอสเฟต โมโนเมอร์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์นั้น ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับใช้เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟต โมโนเมอร์ และเมื่อผ่านการเทอร์โมไซคลิงมักเกิดการหลุดของซีเมนต์ก่อนนำไปทดสอบเป็นส่วนมาก¹⁴ มีหลายการศึกษาที่แนะนำให้ทำการเป่าทรายและใช้เรซินซีเมนต์ที่มีฟอสเฟต โมโนเมอร์ในการยึดเซอร์โคเนียเซรามิกส์^{14,15,69,72} เนื่องจากให้ค่าแรงยึดติดที่สูงกว่าเรซินซีเมนต์ที่ไม่มีกลุ่มทำงานฟอสเฟตและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ทางคลินิก คือ อยู่ระหว่าง 10 -13 เมกะปาสคาล⁷³ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่กล่าวว่าเมื่อเป่าทรายแล้วใช้เรซินซีเมนต์ที่มีส่วนผสมของฟอสเฟต โมโนเมอร์เป็นตัวยึดเซอร์โคเนียเซรามิกส์นั้น มีค่าแรงยึดติดที่ดีและคงทนกว่าการเตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยการใช้ซิลิกาเคลือบผิวแล้วตามด้วยสารไซเลนอีกด้วย¹⁶ เนื่องจากข้อเสียของการเคลือบซิลิกา ก็คือ อาจเกิดการปนเปื้อนของชั้นงานระหว่างลองชั้นงานบนพื้นหลักในช่องปาก ซึ่งอาจส่งผลให้ค่าการยึดติดลดลงได้⁷⁴ เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์และรีไลเอกซ์ยูรีย เป็นชนิดที่มีฟอสเฟต โมโนเมอร์ทั้งคู่ ส่วนของฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์นั้นจะประกอบด้วยบิสโพลีเอทอกซีเลตเรซิน (bis-polyethoxy-lated resin) ปริมาตรร้อยละ 78 โดยน้ำหนัก โดยมีกลุ่มทำงานคือ เอ็มดีพี⁷⁵ ส่วนรีไลเอกซ์ยูรียประกอบด้วยเมทาคริลเลต โมโนเมอร์ที่มีกลุ่มทำงานเป็นกรดฟอสฟอริก⁷⁶ (methacrylate monomers containing phosphoric acid groups) ซึ่งกลุ่มทำงานทั้งสองตัวนี้มีความแตกต่างกัน พบได้จากการศึกษานี้ว่าฟอสเฟต โมโนเมอร์ที่เป็นเอ็มดีพีให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่สูงกว่ากลุ่มทำงานที่เป็นกรดฟอสฟอริก

จากผลการศึกษาพบว่าเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวทั้งกลุ่มที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมง และกลุ่มที่ผ่านเทอร์โมไซคลิง การใช้เรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูรียให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดติดที่ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาการยึดติดของเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูรียนั้นคล้ายกับปฏิกิริยาของกลาสไอโอ โนเมอร์ซีเมนต์ รีไลเอกซ์ยูรียประกอบด้วยกลุ่มทำงานมัลติฟังก์ชันอลฟอสฟอริกแอซิด (multi-functional phosphoric acid) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับพื้นหรือโลหะ เพื่อให้เกิดการยึดติดได้^{3,76} โดยในช่วงเวลาแรกของการผสม ถึงแม้ค่าความเป็นกรดหรือพีเอช (pH) ที่เกิดขึ้นในตอนแรกจะต่ำ โดยลดลงต่ำกว่า 2 ซึ่งความเป็นกรดนี้เกิดมาจากกลุ่มทำงานมัลติฟังก์ชันอล โมโนเมอร์ทำให้เกิดการยึดติดได้กับทั้งเนื้อฟันและเซรามิกส์ แต่ในช่วงแรกค่าแรงยึดติดจะยังไม่สูงมาก เนื่องจากเรซินซีเมนต์

จะยังไม่มีการบ่มตัวที่สมบูรณ์ (maturation) แต่เมื่อเวลาผ่านไปเรซินซีเมนต์มีการบ่มตัวสมบูรณ์ ค่าแรงยึดติดก็จะสูงขึ้น⁷⁷

ค่ากำลังแรงคด (flexural strength) ของเรซินซีเมนต์ ขนาดและปริมาณของวัสดุอัดแทรกในเรซินซีเมนต์ส่งผลต่อค่าแรงยึดติด โดยวัสดุอัดแทรกที่มีขนาดใหญ่อาจไปขัดขวางไม่ให้เรซินเมทริกซ์แทรกซึมเข้าไปในพื้นที่ที่ขรุขระ ทำให้ค่าแรงยึดติดลดลง⁷⁸ และเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อยมักดูดน้ำมากกว่าเรซินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุอัดแทรกสูง ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของเรซินซีเมนต์ ทำให้ค่าแรงยึดติดลดลง⁷⁹ จากการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบขนาดของวัสดุอัดแทรกในเรซินซีเมนต์ทั้งสองชนิด พบว่าเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูรียอมีขนาดของวัสดุอัดแทรกโดยเฉลี่ย 12.5 ไมโครเมตรและมีปริมาณวัสดุอัดแทรกร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก⁸⁰ เรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์มีขนาดของวัสดุอัดแทรกระหว่าง 0.04 ถึง 0.9 ไมโครเมตรและมีปริมาณวัสดุอัดแทรกร้อยละ 73 โดยน้ำหนัก⁷⁵ ขนาดของวัสดุอัดแทรกที่ใหญ่ของเรซินซีเมนต์รีไลเอกซ์ยูรียออาจไปขัดขวางการแทรกซึมของเรซินเมทริกซ์ร่วมกับมีปริมาณวัสดุอัดแทรกน้อย ทำให้ดูดน้ำสูงเกิดการสลาย (degradation) ของตัวเรซินซีเมนต์ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดติดที่ได้ต่ำกว่าเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์

สำหรับค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวหลังเทอร์โมไซเคิลเมื่อเปรียบเทียบกับการแช่น้ำ 24 ชั่วโมงไม่ว่าจะเป็นเรซินซีเมนต์ฟานาเวียเอฟสองจุดศูนย์หรือรีไลเอกซ์ยูรียอก็ให้ค่าที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเกิดการสลายของตัวเรซินซีเมนต์เอง⁸¹ หรือเกิดพลาสติกไซส์เซชัน (plasticization effect) ของเรซินเมทริกซ์เมื่อมีน้ำเข้าแทรก โดยน้ำที่มีขนาดโมเลกุลเล็กสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างอิสระระดับนาโน (nano-size free-volume space) ระหว่างสายโพลีเมอร์หรือเข้าไปแทรกรอบๆ กลุ่มทำงานที่ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจน ส่งผลให้ความเสถียรต่ออุณหภูมิ (thermal stability) ลดลง^{51,82,83} เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ (mechanical properties) ของเรซินซีเมนต์⁸⁴ นอกจากนี้เมื่อมีการดูดซึมน้ำ (water sorption) ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายโดยน้ำและอุณหภูมิ (hydrothermal degradation) ซึ่งเกิดจากขบวนการเทอร์โมไซเคิล ทำให้ชั้นเรซินซีเมนต์เกิดการอ่อนตัวลงและมีการกระจายแรงบริเวณรอยต่อ (interface) ระหว่างเรซินซีเมนต์และเซอร์โคเนียเซรามิกส์เปลี่ยนแปลงไป โดยถึงแม้จะมีแรงกระทำเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดการหลุดได้^{79,81} ซึ่งสอดคล้องกับรูปจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดว่าหลังการผ่านเทอร์โมไซเคิลจะพบลักษณะการแตกหักเป็นทั้งแบบแอคซีซิฟและแบบรวมที่มากขึ้น

นอกจากการเลือกใช้เรซินซีเมนต์ที่เหมาะสมแล้ว การยึดติดที่ดีจะเกิดขึ้นได้ต้องมีการเตรียมพื้นผิวของตัวเซรามิกส์ด้วย เซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ เลยจะมีความเฉื่อย (inert) มีพลังงานพื้นผิวและการไหลแผ่ต่ำ^{85,86} มีการศึกษาที่กล่าวว่า การใช้เอมดีพีโมโนเมอร์เตรียม

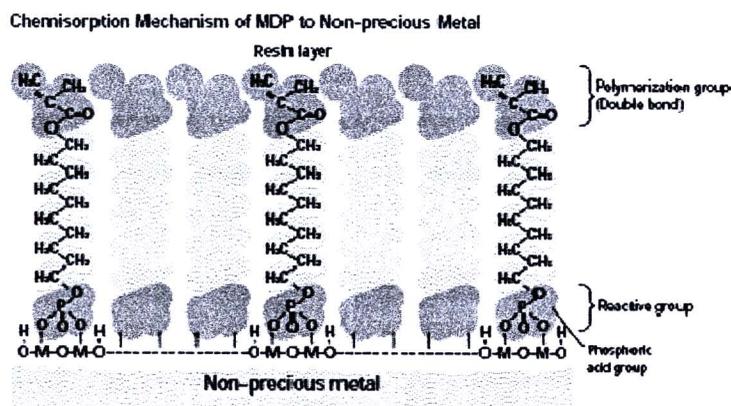
พื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่ไม่ได้ผ่านการเป่าทรายแล้วยึคด้วยเรซินซีเมนต์ได้ค่าแรงยึดติดที่ไม่ดี และส่วนมากจะเกิดการหลุดก่อนที่จะนำไปทดสอบ แสดงให้เห็นว่าอย่างไรก็ตามการยึดติดทางกล เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทำให้เกิดการยึดติดที่ดี สำหรับการยึดติดทางเคมีนั้นเป็นเพียงตัวช่วยเสริมเท่านั้น^{68,87} การเตรียมพื้นผิวโดยการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกัดเซอร์โคเนียเซรามิกส์นั้นไม่สามารถทำได้เหมือนกับการใช้กรดกัดกลาสเซรามิกส์ เนื่องจากเซอร์โคเนียเซรามิกส์ไม่มีส่วนที่เป็นซิลิกาอยู่เลย⁸⁸ การเป่าทรายอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่จะสัมผัสกับเรซินซีเมนต์ เพิ่มพลังงานพื้นผิว ทำให้เอื้อต่อการเกิดการยึดติดทางจุลกลศาสตร์ นอกจากนี้ยังช่วยลดแรงตึงผิว (surface tension) ด้วย⁸⁹ ขนาดของทรายที่ใช้เป่าก็มีความสำคัญ ควรเลือกใช้ทรายที่มีขนาดอนุภาคเล็กและละเอียด โดยเฉพาะบริเวณขอบของครอบฟันหรือฟันเทียมติดแน่น การเลือกใช้ทรายที่มีขนาดใหญ่หรือใช้ความแรงในการเป่าสูงอาจทำให้ขอบของครอบฟันเสียหายได้⁹⁰

มีการศึกษาว่าการเป่าทรายอาจทำให้เกิดรอยแตกเล็กๆ (microcrack) บนเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ซึ่งอาจทำให้ความต้านทานการแตกหักลดลง⁹⁰ แต่บางการศึกษาก็ให้ผลที่แตกต่าง โดยหลังการเป่าทรายแล้วใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ตัวเรซินซีเมนต์จะช่วยทำให้เซอร์โคเนียเซรามิกส์แข็งแรงขึ้น เนื่องจากเรซินซีเมนต์จะไปสมาน (healing) คำนิเล็กน้อย ที่เกิดขึ้นได้^{91,92,93,94} บางการศึกษาว่าการเป่าทรายบนพื้นผิวเซรามิกส์ทำให้เกิดรอยร้าว แต่สำหรับเซอร์โคเนียเซรามิกส์เมื่อเกิดรอยร้าวจะมีการเปลี่ยนแปลงของเซอร์โคเนียจากเตตราโกโนลเฟสไปเป็นโมโนคลินิกเฟสบริเวณรอยร้าว ทำให้เกิดการขยายขนาดของปริมาตร และเกิดแรงกดในบริเวณนั้น มีผลทำให้การแตกร้าวนั้นหยุดลง⁹⁴ ดังนั้นการเป่าทรายอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ โดยต้องเลือกใช้ขนาดอนุภาคและความดันที่เหมาะสมในการเตรียมพื้นผิว เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีที่สุด⁹⁵

สำหรับการใช้เมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์จากการทดลองนี้ กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวในกรณีแช่น้ำ 24 ชั่วโมงและกลุ่มที่ผ่านการเทอร์โมไซคลิง ผลตรวจลักษณะการหลุดของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ที่มีการเตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ พบว่าลักษณะการหลุดบางส่วนเป็นแบบรวมไม่เป็นแบบแอคทีฟทั้งหมด ดังที่พบในกลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ แสดงว่าเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์มีส่วนช่วยเพิ่มการยึดติดของเรซินซีเมนต์กับพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ โดยเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ชนิดอัลลอยด์ไฟโรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดที่สูงกว่ากลุ่มที่ใช้เมทัลเซอร์โคเนียไฟโรเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากเอ็มคิพีซึ่งเป็นส่วนประกอบในอัลลอยด์ไฟโรเมอร์ สามารถยึดติดโดยตรงได้กับเซอร์โคเนียออกไซด์และเกิดพันธะทางเคมีที่ต้านทานต่อน้ำได้ (water-resistant

bond)¹⁴ ต่างจากเมทัลเซออร์โคเนียไพรมเมอร์ ที่มีกลุ่มทำงานที่เกิดพันธะทางเคมีกับเซออร์โคเนียม ออกไซด์ แต่ก็ยังเป็นพันธะที่ไม่คงทนและมีลักษณะที่ชอบน้ำ (hydrophilic) สอดคล้องกับการศึกษาของ Yang และคณะ⁹⁶ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแรงยึดติดระหว่างการเตรียมพื้นผิวเซออร์โคเนียเซรามิกส์ ด้วยเมทัลแอคธีฟไพรมเมอร์ 3 ชนิด (เมทัลเซออร์โคเนียไพรมเมอร์ อัลลอยด์ไพรมเมอร์และเคลียร์ฟิล เซรามิกส์ไพรมเมอร์ (Clearfil Ceramic Primer[®], Kuraray, Japan)) และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆ หลังแช่น้ำ 3 วัน และ 150 วัน พบว่าหลังแช่น้ำ 150 วัน กลุ่มที่ใช้อัลลอยด์ไพรมเมอร์และเคลียร์ฟิลเซรามิกส์ไพรมเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยแรงยึดติดสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เตรียมพื้นผิวและกลุ่มเมทัลเซออร์โคเนียไพรมเมอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมทัลแอคธีฟไพรมเมอร์ที่มีเอมีดีฟิเป็นส่วนประกอบมีประสิทธิภาพในการทำให้ค่ากำลังแรงยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเซออร์โคเนียเซรามิกส์ที่แช่น้ำ 24 ชั่วโมงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เหมือนการใช้เมทัลแอคธีฟไพรมเมอร์กับโลหะผสมพื้นฐานที่ยึดติดกันด้วยพันธะเคมีในชั้นออกไซด์ที่ผิวโลหะ^{97,98,99} ดังรูปที่ 34¹⁰⁰ โดยพื้นผิวของเซออร์โคเนียเซรามิกส์นั้นก็มีเซออร์โคเนียม ออกไซด์ (zirconium oxide) ซึ่งเป็นออกไซด์ของโลหะที่สามารถยึดติดด้วยพันธะเคมีได้ มีหลายการศึกษาแล้วว่าเอมีดีฟิสามารถยึดติดโดยตรงได้กับออกไซด์ของโลหะ ได้แก่ โครเมียม (chromium) นิกเกิล (nickel) อลูมิเนียม ไทเทเนียม (titanium) และเซออร์โคเนียม⁹⁹ การยึดติดทางเคมีระหว่างเอมีดีฟิกับเซออร์โคเนียเซรามิกส์อาจมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl) ในเอมีดีฟิและกลุ่มไฮดรอกซิลที่พื้นผิวเซออร์โคเนียเซรามิกส์⁶⁸

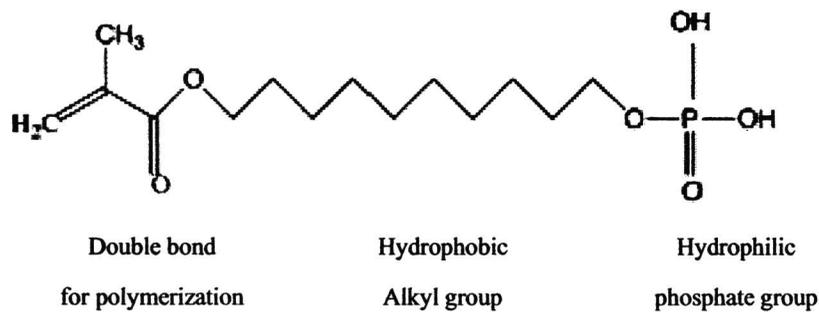


รูป 34 การยึดด้วยพันธะเคมีระหว่างโลหะผสมพื้นฐานกับเอมีดีฟิ¹⁰⁰

โดยปกติแล้วเอมีดีฟิสามารถมีพันธะทางเคมีกับไฮดรอกไซด์เอพาทาไค์และออกไซด์ของโลหะต่างๆ ได้ นอกจากนี้พันธะที่เกิดขึ้นยังเป็นพันธะที่เกิดการละลายได้ต่ำ เนื่องจากมีสายคาร์บอนิลที่ยาว (long carbonyl chain)^{101,102,103}

ส่วนประกอบของอัลลอยด์ไพโรเมอร์นอกจากประกอบด้วยเอมีนดีฟีนยังมีวีบีเอทีดีที มีรายงานว่าวีบีเอทีดีทีอาจจะยับยั้งการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ที่ประกอบด้วยเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เอมีน (benzoyl peroxide-amine initiator system) เช่น พานาเวียอีลิบเอ็ดและพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์^{104,105} ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดไม่ดี สอดคล้องกับการศึกษาของ Yun และคณะ¹⁰⁶ ที่พบว่ากลุ่มที่ใช้เมทิลแอคซีลไพโรเมอร์ที่มีเพียงวีบีเอทีดีทีอย่างเดียวให้ค่าแรงยึดติดที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้ไพโรเมอร์ที่มีเอมีนดีฟีนเป็นส่วนประกอบ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการแตกหักที่เกิดขึ้นมักเป็นแบบแอคซีล มีแบบรวมบ้างเล็กน้อย แสดงว่าวีบีเอทีดีทีอาจมีผลต่อการโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์เพียงเล็กน้อย เพราะการแตกหักที่เกิดส่วนใหญ่เป็นแบบแอคซีล แสดงว่าจุดอ่อนไม่ได้อยู่ที่ตัวเรซินซีเมนต์ การที่เรซินซีเมนต์และอัลลอยด์ไพโรเมอร์มีส่วนผสมของเอมีนดีฟีนเป็นส่วนสำคัญทำให้แรงยึดติดกับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ดีขึ้น เห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวในกลุ่มอัลลอยด์ไพโรเมอร์สูงกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงอาจสรุปได้ว่าวีบีเอทีดีทีเพียงอย่างเดียวไม่ช่วยให้ค่าแรงยึดติดดีขึ้น แต่ถ้ามีทั้งเอมีนดีฟีนและวีบีเอทีดีทีที่ค่าแรงยึดติดที่ได้สูงขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ de Souza และคณะ¹⁰⁷

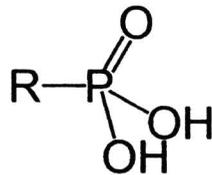
เอมีนดีฟีนที่มีในพานาเวียเอฟสองจุดศูนย์และอัลลอยด์ไพโรเมอร์นั้นประกอบด้วย 3 องค์ประกอบที่ทำงานแตกต่างกัน คือ เมต้าคริลิล (methacryloyl) กลุ่มเดซิลหรืออัลคิล (decyl or alkyl groups) และ กลุ่มไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (dihydrogen phosphate)¹⁰⁸ ดังรูปที่ 35 เมต้าคริลิลเป็นสิ่งจำเป็นทำให้เกิดโพลีเมอร์ไรเซชันร่วมกันระหว่างเอมีนดีฟีน โมโนเมอร์กับเรซินเมทริกซ์ของเรซินซีเมนต์ ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเป็นส่วนที่ทำให้เกิดพันธะทางเคมีกับออกไซด์ของโลหะ และกลุ่มเดซิลซึ่งเป็นกลุ่มไม่ชอบน้ำจะเป็นตัวป้องกันการแทรกซึมของน้ำบริเวณรอยต่อ (adhesive interface) ลดการเกิดไฮโดรไลซิสหรือเกิดซัลลงได้ สอดคล้องกับผลการศึกษานี้ที่พบว่ากลุ่มที่เตรียมพื้นผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยอัลลอยด์ไพโรเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ดีกว่ากลุ่มอื่นๆ ถึงแม้จะผ่านการเทอร์โมไซเคิลมาแล้วก็ตาม



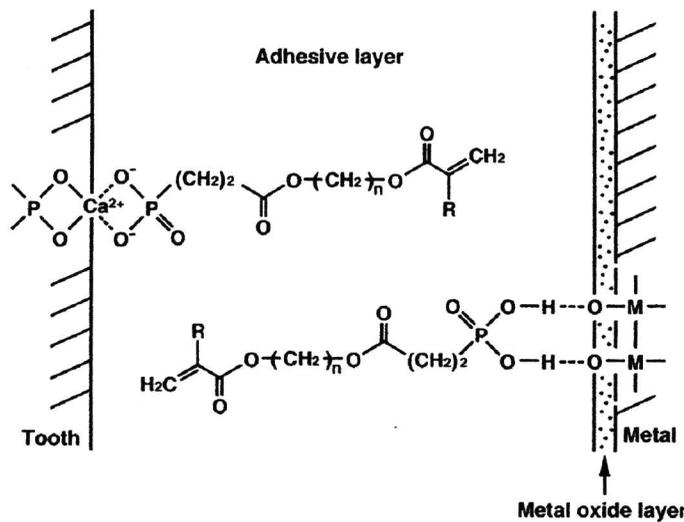
รูป 35 โครงสร้างโมเลกุลของเอมีนดีฟีน¹⁰⁸

เมทิลเซอร์โคเนียไพโรเมอร์ประกอบด้วยส่วนหลักๆ คือ กรดฟอสโฟนิก (phosphonic acid : -P(=O)(OH)₂) ดังรูปที่ 36¹⁰⁹ กรดฟอสโฟนิกมีประสิทธิภาพทำให้ค่ากำลังแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเรซิน

ซีเมนต์และเซอร์โคเนียเซรามิกส์หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมงสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเตรียมพื้นผิวใดๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การยึดติดทางเคมีระหว่างกรดฟอสโฟนิกกับเซอร์โคเนียเซรามิกส์อาจเกิดจากการยึดติดด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) ระหว่างกรดฟอสโฟนิกกับออกไซด์ของโลหะ ดังรูปที่ 37¹⁰



รูป 36 โครงสร้างโมเลกุลของกรดฟอสโฟนิก¹⁰⁹



รูป 37 การยึดติดระหว่างกรดฟอสโฟนิกกับเนื้อฟันและกรดฟอสโฟนิกกับโลหะ¹¹⁰

กลุ่มที่เตรียมพื้นผิวด้วยเมทัลเซอร์โคเนียไพริเมอร์ให้ค่าเฉลี่ยกำลังแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้อัลลอยด์ไพริเมอร์ อาจเนื่องจากกลุ่มทำงานที่มีความเป็นกรดในเมทัลเซอร์โคเนียไพริเมอร์ทำปฏิกิริยากับเทอร์เชียรีเอมีน (tertiary amine) ที่เป็นตัวเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ในเรซินซีเมนต์ เกิดตะกอนสีเหลือง (yellowish salts) ไปยับยั้งปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของเรซินซีเมนต์ได้¹¹¹ ทำให้พบว่าภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกลุ่มที่ใช้เมทัลเซอร์โคเนียไพริเมอร์มีการหลุดของซีเมนต์แบบรวมมากกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เตรียมพื้นผิวใดๆ

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความสามารถในการยึดติดของไพริเมอร์แต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของโครงสร้างทางเคมี ซึ่งส่งผลต่อความเป็นขั้วของโมโนเมอร์ชนิดนั้นๆ โดยกรดฟอสโฟนิกมีลักษณะที่เป็นขั้วและชอบน้ำ อาจดูคนน้ำแม้เกิดการโพลีเมอร์ไรเซชันไปแล้ว ส่งผลให้ค่าแรงยึดติดลดลงได้ ซึ่งแตกต่างจากอัลลอยด์ไพริเมอร์ที่มีกลุ่มสเปซเซอร์ (spacer group) เป็นสาย

คาร์บอนที่อิ่มตัว (saturated carbon chain) ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำ ส่วนนี้เองเป็นตัวกั้นไม่ให้โมเลกุลน้ำเข้าไประหว่างพันธะที่เกิดขึ้นและยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้¹²

จากข้อจำกัดของการศึกษาในครั้งนี้อย่างไรก็ตาม จำนวนตัวอย่างและวิธีออกแบบการทดลองยังไม่สมบูรณ์มากนักเมื่อเทียบกับสถานะจริงในทางคลินิก เนื่องจากการทดสอบกำลังแรงยึดเค้นเฉพาะเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์โดยใช้เรซินคอมโพสิตในการยึดติด ในความเป็นจริงมีรอยต่อระหว่างฟันกับเรซินซีเมนต์และระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ผลที่ได้จากการศึกษานี้เป็นเพียงข้อมูลพื้นฐานซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป โดยเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ชนิดของเมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์ ตลอดจนออกแบบการทดลองที่ค่อนข้างจำเพาะเจาะจง เช่น ยึดเซอร์โคเนียเซรามิกส์ด้วยเรซินซีเมนต์กับผิวฟัน ศึกษารอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียและรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับผิวฟัน เป็นต้น นอกจากนี้อาจศึกษาลักษณะและความขรุขระของพื้นผิว (surface characteristic and surface roughness) ของเซอร์โคเนียเซรามิกส์หลังการเป่าทราย ร่วมกับความทนทานต่อการแตกหัก (fracture toughness) การใช้ไฟโรเมอร์ชนิดต่าง ๆ และซิลิกาเคลือบทับบนผิวเซรามิกส์ และศึกษารูปแบบการหลุดของเรซินซีเมนต์ร่วมกับปริมาณที่หลงเหลืออยู่บนพื้นผิวเซรามิกส์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนและเป็นประโยชน์ต่องานทางทันตกรรมบูรณะมากขึ้น

การใช้งานทางคลินิก

เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพที่แข็งแรงของเซอร์โคเนียเซรามิกส์ คือ มีค่ากำลังแรงคัดและค่าความต้านทานการแตกหักสูง ใช้เป็นแกนของครอบฟันได้ทุกบริเวณในช่องปาก และสามารถสร้างฟันเทียมติดแน่นบริเวณฟันหน้าและฟันเทียมติดแน่น 3 ซี่ในฟันหลัง การพิจารณาใช้ทางคลินิกจำเป็นต้องติดตามผลของการรักษาในระยะยาวประกอบ เนื่องจากความล้มเหลวการใช้งานมีผลต่อความล้มเหลวของชิ้นงานบูรณะ การใช้เมทัลแอคทีฟไฟโรเมอร์เตรียมพื้นผิวชิ้นงานบูรณะเซอร์โคเนียเซรามิกส์ก่อนการยึดด้วยเรซินซีเมนต์ มีส่วนช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซอร์โคเนียเซรามิกส์ อย่างไรก็ตามพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นเป็นเพียงส่วนเสริมเท่านั้น ส่วนเพิ่มการยึดติดของชิ้นงานบูรณะกับตัวฟันด้วยเรซินซีเมนต์ทางกลศาสตร์ เช่น การเป่าทราย อาจเกิดรอยร้าวเล็กๆบนผิวเซอร์โคเนียเซรามิกส์ ส่งผลให้ความต้านทานการแตกหักลดลง ขนาดของอนุภาคผงทรายที่ใช้มีความสำคัญ ควรเลือกใช้ทรายที่มีขนาดอนุภาคเล็กและละเอียด โดยเฉพาะบริเวณขอบของครอบฟันหรือฟันเทียมติดแน่น การเลือกใช้ทรายที่มีขนาดใหญ่หรือใช้ความแรงในการเป่าสูง อาจทำให้ขอบของครอบฟันเสียหายได้ ส่วนมากเครื่องเป่าทรายข้างแก้อีมีขนาดอนุภาคค่อนข้างใหญ่ (110 ไมโครเมตร) และไม่สามารถควบคุมความดันในการเป่าได้ อาจทำให้เกิดความเสียหายของชิ้นงานบูรณะ ดังนั้นควรกรอแต่งฟันหลักโดยยึดตามหลักการกรอแต่งฟัน (Principles of tooth

preparation)¹¹³ เพื่อให้ได้การยึดอยู่ที่ดี หลักทั่วไปคือกรอแต่งให้มีการต้านทานต่อการหลุดทั้งในแนวการถอดใส่และแนวอื่น (retention and resistance) โดยกรอแต่งให้ผนังสองด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน เช่น ผนังด้านใกล้แก้มและผนังด้านใกล้ลิ้นมีความขนานหรือสอบเข้าหากันเล็กน้อย ปกติครอบฟันโลหะควรกรอแต่งฟันให้มีความสอบ 2-6 องศาและครอบฟันเซรามิกล้วนมีความสอบ 5-10 องศา ความสูงของฟันในแนวคเคี้ยว-ใกล้เหงือก (occluso-gingival length) มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยตัวฟันที่ยาวต้านทานการหลุดที่เกิดจากแรงในแนวเฉียง (tipping force) ได้ดีกว่าตัวฟันที่สั้น กรณีที่ตัวฟันหลักสั้นทำได้โดยการวางขอบของฟันหลักไว้ได้เหงือก

ชิ้นงานบูรณะทำหน้าที่ได้ดีเมื่อติดแน่นอยู่บนฟันหลัก การยึดติดทางกลศาสตร์และทางเคมีเป็นเพียงส่วนเสริม ฉะนั้นการกรอฟันหลักให้มีการต้านทานต่อการหลุดในแนวการถอดใส่และแนวอื่นอย่างพอเพียงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อด้านทานการหลุดของชิ้นงานบูรณะ