

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์ผลการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดลองจากปัจจัยรูปแบบของสารไซเลน

จากการทดลองพบว่าตัวอย่างในทุกกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน Monobond S ซึ่งเป็นตัวแทนของกลุ่มสารไซเลนชนิดเดียวกับไฮโดรไลซ์แล้ว จะมีค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ต่ำกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน Porcelain liner M ซึ่งเป็นตัวแทนของสารไซเลนระบบแยกสองขวด โดยกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน Monobond S จะมีค่าเฉลี่ยค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์เฉลี่ย 10.94 ± 5.14 เมกกะพาสคาล ส่วนกลุ่มที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลน Porcelain liner M จะมีค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์เฉลี่ย 19.77 ± 5.33 เมกกะพาสคาล

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาเคมีของสารไซเลนพบว่า สารไซเลนจะสามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางและตัวส่งเสริมการยึดติดระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ก็ต่อเมื่อสารไซเลนถูกแยกสลายด้วยน้ำ และเกิดปฏิกิริยาควบแน่น โดยเมื่อสารไซเลนอยู่ในสารละลายที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ หมู่อัลคอกซี (OR) ในโมเลกุลของไซเลนจะทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (Si-OH) และแอลกอฮอล์ (R-OH) สามารถเขียนเป็นสมการปฏิกิริยาเคมีได้ดังนี้



ต่อมาโมเลกุลของไฮดรอกซิล (Si-OH) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการสลายโมเลกุลไซเลนด้วยน้ำจะเกิดการควบแน่นระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ไดเมอร์ ดังสมการ



โมเลกุลของไดเมอร์ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเองระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นออลิโกเมอร์ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น ดังนั้นภายในสารละลายจึงประกอบด้วยโมเลกุลของไซลอกเซนมอนอเมอร์ ไซลอกเซนไดเมอร์ และ ไซลอกเซนออลิโกเมอร์ ซึ่งแต่ละโมเลกุลสามารถเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนกลายเป็นออลิโกเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นล่องลอยอยู่ภายในสารละลาย เมื่อทาสารไซเลนบนผิวของวัตถุ แต่ละโมเลกุลของไซลอกเซนพอลิเมอร์ที่ล่องลอยอยู่ในสารละลายจะเชื่อมต่อกันเองกลายเป็น

แผ่นฟิล์มบางๆ เคลือบบริเวณผิว โดยปลายด้านหนึ่งของโมเลกุลสามารถเชื่อมต่อกับหมู่ไฮดรอกซีซึ่งอยู่ในเมทริกซ์ของสารอินทรีย์ เช่น ซิลิกา หรือ ออกไซด์ของโลหะ ส่วนอีกปลายก็จะมีหมู่อัลคิลซึ่งพร้อมจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับเมทริกซ์ของสารอินทรีย์

การเชื่อมต่อระหว่างโมเลกุลที่ผ่านปฏิกิริยาการสลายด้วยน้ำ จะถูกควบคุมด้วยสภาวะความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย โดย ณ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเท่ากับ 4 อัตราการควบแน่นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลมอนอเมอร์ไฮเลนไปเป็นออลิโกเมอร์จะมีค่าต่ำสุด และที่ระดับความเป็นกรดต่างดังกล่าวสารละลายไฮเลนจะมีความคงตัวมากที่สุด เพื่อสร้างให้เกิดสภาวะกรด-ด่างดังกล่าวโดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตมักเติมกรดอะซีติกลงไปในสารละลายเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บสารไฮเลนโดยไม่เกิดการเสื่อมสภาพ

ความหนาของชั้นไฮดรอกซิลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไฮเลน โดยทางทฤษฎีชั้นดังกล่าวควรหนาเพียงชั้นเดียว แต่ในทางปฏิบัติพบว่าชั้นดังกล่าวมีความหนาประมาณ 50-100 นาโนเมตร และภายในจะมีทิศทางการเรียงตัวของโมเลกุลไฮเลนอย่างสุ่ม

จากการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารไฮเลนข้างต้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการทำหน้าทีของสารไฮเลนขึ้นอยู่กับความสามารถในการที่โมเลกุลของสารไฮเลนจะถูกสลายด้วยน้ำ สภาวะกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างโมเลกุลไฮเลนที่ถูกแยกสลายด้วยน้ำ และปริมาณหมู่ทำหน้าที่

เมื่อพิจารณาสารไฮเลนชนิดเดียวที่ไฮโดรไลซ์แล้ว ซึ่งมีเอทานอลและน้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าบริษัทผู้ผลิตจะผสมกรดอะซีติกลงไปเพื่อปรับค่าสภาวะกรด-ด่างให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการจับตัวกันของโมเลกุลไฮเลนที่ไฮโดรไลซ์แล้ว เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับตัวทำละลายจะเห็นได้ว่าทั้งน้ำและเอทานอลเป็นสารที่สามารถระเหยได้ง่ายหากเก็บด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสม การระเหยของตัวทำละลายย่อมส่งผลต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ซึ่งส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลภายในโมเลกุลไฮเลนไปเป็นออลิโกเมอร์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ สอดคล้องกับ Barghi และคณะในปี 2000¹⁰⁵ ที่กล่าวว่าสารไฮเลนชนิดเดียวที่ ไฮโดรไลซ์แล้วจะมีระยะเวลาเก็บที่จำกัด เนื่องจากโมเลกุลของไฮเลนจะเกิดการจับตัวเป็นออลิโกเมอร์ และเมื่อใช้สารไฮเลนดังกล่าวเพื่อเชื่อมระหว่างผิววัตถุอินทรีย์และผิววัตถุอินทรีย์จะเกิดชั้นไฮเลนที่หนามากกว่าปกติคั่นระหว่างผิวทั้งสอง เกิดลักษณะคล้ายการทำไฮเลนซ้ำหลายชั้น ซึ่งจากการศึกษาของ Debnath และคณะ ในปี 2003¹⁰⁷ ที่พบว่า การทำไฮเลนซ้ำหลายชั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของไฮเลนในการทำหน้าที่ส่งเสริมการยึดติดระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ เนื่องจากจะทำให้จำนวนหมู่เมทาคริเลตที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาลดลงและชั้นของไฮเลนที่มีความหนาเมื่อได้รับแรงกระทำอาจเกิดรอยแตกภายในชั้นของไฮเลน

เมื่อพิจารณาไซเลนระบบแยกสองขวด ซึ่งแยกสารไซเลน 3-(trimethoxysilyl) propyl methacrylate ออกจากตัวกระตุ้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาแยกสลายด้วยน้ำ ระบบนี้โมเลกุลของไซเลนจะถูกสลายด้วยน้ำกลายเป็นโมเลกุลที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยาก็ต่อเมื่อผสมส่วนผสมทั้งสองขวดเข้าด้วยกันเท่านั้น โอกาสการเกิดโมเลกุลออลิโกเมอร์ของไซเลนจึงลดลง ดังนั้นค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซลส์ที่วัดจากตัวอย่างกลุ่มที่ใช้สารไซเลนระบบแยกสองขวดในการทำหน้าที่เป็นตัวกลางและตัวส่งเสริมการยึดติดระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์จึงมีค่าสูงกว่ากลุ่มที่ใช้สารไซเลนระบบขวดเดียว

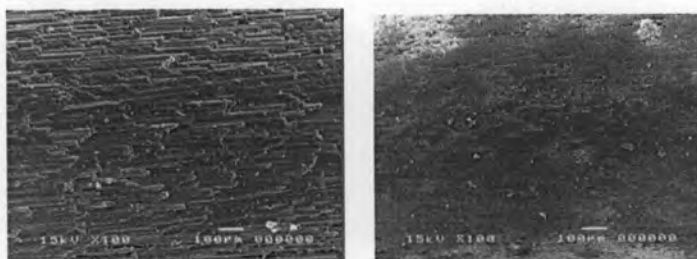
วิจารณ์ผลการทดลองเกี่ยวกับปัจจัยชนิดของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิต

จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซลส์ระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยแต่ละผลิตภัณฑ์กับเรซินคอมพอสิตแบบไฮบริดชนิดบ่มตัวด้วยแสงมีค่าแตกต่างกัน โดยเดือยสำเร็จรูป DT light ซึ่งเป็นตัวแทนของเดือยสำเร็จรูปที่ใช้เส้นใย ควอร์ซเป็นตัวเสริมความแข็งแรง มีค่าความแข็งแรงยึดเฉลี่ยสูงสุด (17.59 ± 6.44 MPa) รองลงมาคือกลุ่มเดือยสำเร็จรูปที่ใช้เส้นใยแก้วเป็นตัวเสริมความแข็งแรง ได้แก่ FRC postec, Exacto conical และกลุ่ม Easy post ตามลำดับ ส่วนเดือยสำเร็จรูป innopost มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด (10.69 ± 5.56 MPa)

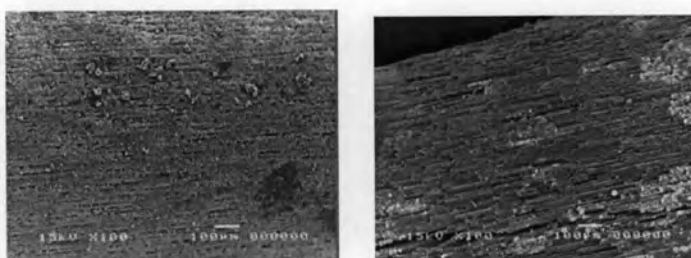
เมื่อนำค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซลส์ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาทดสอบด้วยสถิติทดสอบทูเกียที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซลส์ของกลุ่ม DT light, FRC postec, Easy post และ Exacto conical ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ Innopost มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซลส์น้อยกว่าทั้ง 4 กลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจากข้อสรุปจากการศึกษาของ Aksornmuang และคณะ ในปี 2004⁴ ซึ่งทำการศึกษาเปรียบเทียบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซลส์ระหว่างวัสดุเรซินคอมพอสิตชนิดบ่มตัวด้วยแสงกับเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยแก้วและเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยควอร์ซ ที่กล่าวว่า องค์ประกอบของชนิดของเส้นใยที่แตกต่างกันอาจมีอิทธิพลต่อการยึดติดกับเรซินเมทริกซ์ โดยจากการศึกษาดังกล่าวพบว่า กลุ่มเดือยสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยควอร์ซที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารไซเลนจะให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดบริเวณผิวสัมผัสสูงกว่ากลุ่มเดือยสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยแก้วที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยวิธีเดียวกัน

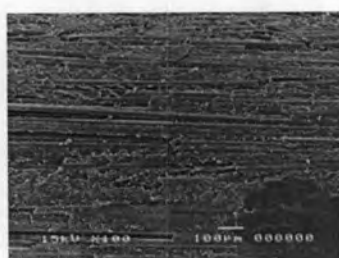
เมื่อพิจารณาภาพถ่าย SEM จากศึกษาในครั้งนี้ พบว่าพื้นผิวของเดือยสำเร็จรูปแต่ละผลิตภัณฑ์มีลักษณะแตกต่างกัน (ดังแสดงในรูปที่ 21) เป็นไปได้ว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ที่แตกต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิต เป็นผลมาจากลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของหลุม ร่อง หรือความขรุขระบริเวณผิวของเดือยฟันซึ่งส่งผลต่อการเกิดการยึดติดเชิงกลขนาดเล็ก (Micromechanical retention) ระหว่างผิวเดือยสำเร็จรูปและวัสดุเรซินคอมพอสิต



DT light (RTD, France) FRC postec (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)



Easy post (Krugg, Milano, Italy) Exacto conical (Angelus, Londrina, Parana, Brazil)



Innopost (Innotech SLR, Robio Italy)

รูปที่ 21 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงลักษณะผิวเดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ

นอกจากนั้นค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ที่แตกต่างกันระหว่างผลิตภัณฑ์เดียว สำเร็จรูปเรซินคอมพอสิต อาจได้รับอิทธิพลจากการยึดติดบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ ของเดียวสำเร็จรูป เพราะหากเส้นใยที่ใช้เสริมความแข็งแรงยึดติดไม่ดี ไม่แข็งแรงเพียงพอ หรือมีตำหนิ บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์ของเดียว เมื่อขึ้นตัวอย่างได้รับแรงกระทำจะเกิดการฉีกขาด หรือหลุดร่อนของเส้นใยออกจากเรซินเมทริกซ์ ส่งผลต่อค่าการยึดติดบริเวณผิวสัมผัส ดังนั้นตำหนิบริเวณ ผิวของเดียวพื้นสำเร็จรูปจึงเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่ง ที่ส่งผลต่อค่าการยึดติดระหว่างผิวเดียวสำเร็จรูป กับวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกนฟัน ดังเช่นกรณีเดียวสำเร็จรูป Innopost ซึ่งมีค่าความแข็งแรงยึด ไมโครเทนไซล์ต่ำที่สุด พบว่าบริเวณผิวของเดียวสำเร็จรูปจะมีการแตกหักของเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ ตลอดจนรอยแยกระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์กระจายอยู่โดยทั่วไป แตกต่างจากลักษณะผิวของเดียว สำเร็จรูป DT light, FRC postec และ Easy post ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดสูงกว่า โดยเดียว สำเร็จรูปในกลุ่มหลังจะมีการเชื่อมยึดที่ติระหว่างเส้นใยและส่วนเรซินเมทริกซ์ ไม่พบการแตกหักของส่วน เส้นใยหรือส่วนเรซินเมทริกซ์ (ดังแสดงในรูปที่ 21)

ในปี 2007 Seefeld และคณะ¹¹⁰ กล่าวว่า เส้นใยที่ประกอบอยู่ภายในเดียวสำเร็จรูปเรซิน คอมพอสิตจะทำหน้าที่รับแรงดึง (tensile) ในขณะที่ส่วนเรซินเมทริกซ์จะทำหน้าที่ต้านทานแรงกด (compressive stress) เมื่อเดียวได้รับแรงกระทำ ความแตกต่างของค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นระหว่าง เส้นใยและเมทริกซ์จะทำให้เกิดแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ เมื่อร่วมกับลักษณะภายใน โครงสร้างของเดียว เช่น ช่องว่าง (void) รอยร้าว (crack line) หรือฟองอากาศ (micro bubble) ซึ่งอาจ เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต รอยแยกหรือรอยแตกย่อมเกิดขึ้นและลุกลามไปได้ง่ายและรวดเร็วกว่า กรณีที่ไม่มีตำหนิในเนื้อวัสดุ ลักษณะดังกล่าวย่อมส่งผลต่อความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างเส้นใยและ เมทริกซ์

นอกจากนั้นความแตกต่างของวัสดุที่ใช้สร้างเส้นใยตลอดจนกระบวนการผลิตเส้นใยที่ต่างกันในแต่ละบริษัทผู้ผลิตก็อาจมีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของเดียวสำเร็จรูป ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Lassila และคณะ ในปี 2004⁷⁵ กล่าวว่า โดยทั่วไปเส้นใยแก้วที่ใช้เสริมความแข็งแรงสำหรับเดียว สำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตจะเป็นชนิด E-glass fiber (electric glass) ซึ่งภายในโครงสร้างประกอบด้วย SiO_2 , CaO , B_2O_3 , Al_2O_3 และออกไซด์ของอัลคาไลเมทัลอีกเล็กน้อย ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Amorphous phase) มีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นเท่ากับ 73 GPa หรืออาจใช้ R-glass (86 GPa) หรือ S-glass (high-strength-glass/ 87 GPa) ซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันเหมือนกับ E-glass แต่มีส่วนประกอบที่ แตกต่างกัน โดยขนาดเส้นใย (filament diameter) ของ R และ S glass ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับ ขนาดของเส้นใย E-glass ทำให้เรซินเมทริกซ์สามารถกระจายแทรกตัวไประหว่างเส้นใยได้ดีกว่า

ส่วนเส้นใยควอร์ซภายในเคือย DT light ผลิตจากซิลิกาบริสุทธิ์ (pure silica) ซึ่งมีความอดุศลของสภาพ ยืดหยุ่นไม่แตกต่างมากนักกับเส้นใยแก้ว

ความแตกต่างของค่ามอดุศลของสภาพยืดหยุ่นระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์ของเคือยแต่ละ ผลิตภณท์ ทำให้เกิดแรงกระทำต่อผิวรอยต่อที่แตกต่างกันในแต่ละผลิตภณท์ นอกจากนี้ปัจจัยเกี่ยวกับ ขนาดและความหนาแน่นของเส้นใยที่แตกต่างกันในแต่ละผลิตภณท์ ย่อมมีผลต่อปริมาณแรงที่แตกต่างกัน บริเวณผิวรอยต่อระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ของเคือยสำเร็จรูปแต่ละผลิตภณท์ ปัจจัยเหล่านี้ล้วน ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ที่แตกต่างกันในเคือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตแต่ละ ผลิตภณท์

วิจารณ์ผลการทดลองเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยรูปแบบของสารไซเลนและชนิด ผลิตภณท์เคือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิต

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยรูปแบบของสารไซเลนและชนิดผลิตภณท์เคือยสำเร็จรูป เรซินคอมพอสิต พบว่าสามารถแบ่งค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ที่แตกต่างกันของทั้ง 10 กลุ่ม ทดลอง ได้เป็น 4 ระดับ (ดังแสดงในตารางที่ 6) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ของ เคือยสำเร็จรูปกลุ่ม Exacto conical ที่เตรียมผิวด้วยสารไซเลนระบบขวดเดี่ยวและกลุ่มที่เตรียมผิวด้วยสาร ไซเลนระบบแยกสองขวด พบว่าค่าที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ของเคือยสำเร็จรูปกลุ่มอื่นๆ ที่เตรียมผิวด้วยสารไซเลนระบบ ขวดเดี่ยวและกลุ่มที่เตรียมผิวด้วยสาร ไซเลนระบบแยกสองขวด จะจัดอยู่คนละระดับอย่างชัดเจน

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากรูปแบบการแตกหักของชิ้นตัวอย่างกลุ่ม Exacto conical ซึ่งทุกตัวอย่างที่ ทดสอบจะเกิดการแตกหักภายในเนื้อของเคือยสำเร็จรูป ซึ่งแตกต่างจากตัวอย่างในกลุ่มทดลองอื่นๆ ที่จะ เกิดการแตกหักบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเคือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและวัสดุเรซินคอมพอสิต

การแตกหักของชิ้นตัวอย่างในกลุ่ม Exacto conical น่าจะมีจุดเริ่มต้นจากบริเวณผิวรอยต่อ ระหว่างเส้นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมและส่วนของเมทริกซ์ซึ่งไม่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี บริเวณนี้จึง เปรียบเสมือนเป็นตำหนิภายในเนื้อวัสดุ เมื่อมีแรงมากระทำ การแตกหักจึงลุกลามไปในเนื้อวัสดุก่อให้เกิด การแตกหักได้ง่าย ค่าแรงที่วัดได้จึงเป็นค่าแรงที่ใช้เพื่อให้เนื้อวัสดุที่มีตำหนิภายในเกิดการแตกหัก ไม่ใช่แรงที่ใช้ทำลายการยึดติดระหว่างผิวรอยต่อของเคือยสำเร็จรูปและวัสดุเรซินคอมพอสิต ด้วยเหตุนี้ค่า ความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ของกลุ่ม Exacto conical ที่เตรียมผิวด้วยสารไซเลนชนิดขวดเดี่ยวที่ ไฮโดรไลซ์แล้วจึงไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มที่เตรียมผิวด้วยสารไซเลนระบบสองขวด

วิจารณ์ผลการทดลองเกี่ยวกับการแตกหักของชิ้นทดสอบ

เมื่อพิจารณารูปแบบการแตกหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึด ไมโครเทนไซล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 35 เท่า พบลักษณะการแตกหัก 2 รูปแบบ คือ การแตกหักบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมพอสิตแบบไฮบริดชนิดบ่มตัวด้วยแสง และการแตกหักภายในเดือยสำเร็จรูป โดยรูปแบบการแตกหักที่เกิดขึ้นในเดือยสำเร็จรูปจะพบเฉพาะในผลิตภัณฑ์ Exacto conical ซึ่งมีเส้นลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเสริมบริเวณแกนกลางเพื่อให้มีคุณสมบัติที่บ่งชี้เท่านั้น รูปแบบการแตกหักดังกล่าวพบได้ทั้งในกลุ่มตัวอย่างที่เตรียมสภาพผิวด้วยสารไซเลน Monobond S และ Porcelain liner M ส่วนตัวอย่างกลุ่มอื่นๆ จะพบเฉพาะการแตกหักบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและวัสดุเรซินคอมพอสิตเท่านั้น

เมื่อนำชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์มาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า พบว่า เมื่อพิจารณารอยหักด้านผิวเดือยฟันของกลุ่ม DT light, FRC postec และ Easy post บางบริเวณอาจพบเส้นใยที่ไม่มี เรซินเมทริกซ์หุ้มอยู่ติดอยู่บริเวณผิวได้บ้าง ส่วนบริเวณด้านผิวเรซินคอมพอสิตจะพบพื้นผิวเรซิน คอมพอสิตที่มีร่องตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยบริเวณผิวของเดือยสำเร็จรูป บางบริเวณอาจพบฟองอากาศขนาดเล็กแทรกอยู่ในเนื้อวัสดุ

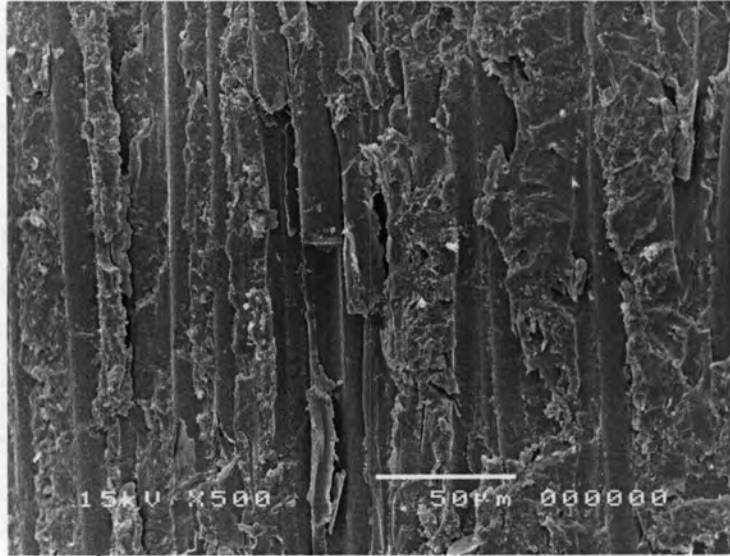
เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่า เดือย DT light จะมีแนวร่องบริเวณผิวด้านเรซินคอมพอสิตชัดเจนและมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับกลุ่ม FRC postec และกลุ่ม Easy post (ดังแสดงในภาพที่ 22-27) ตัวอย่างในกลุ่มนี้จะพบการแตกหักหรือหลุดของเส้นใยติดบริเวณผิวเรซิน คอมพอสิตได้น้อยมาก เป็นไปได้ว่าการยึดติดระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ของเดือยสำเร็จรูปผลิตภัณฑ์นี้มีความแข็งแรง หรืออาจเป็นไปได้ว่าการเตรียมผิวด้วยการพ่นผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด $50\mu\text{m}$ ไม่สามารถทำลายเรซินเมทริกซ์ที่เคลือบเส้นใยบริเวณผิวเดือยได้ ทำให้ไม่มีการเชื่อมยึดด้วยพันธะเคมีระหว่างเส้นใย สารไซเลน และวัสดุเรซินคอมพอสิต

เมื่อพิจารณารอยหักบริเวณผิวเดือยฟันของกลุ่ม innopost จะพบเส้นใยที่ไม่มีเรซินเมทริกซ์ปกคลุมติดอยู่บริเวณผิวชิ้นตัวอย่างด้านเดือยฟันได้มากกว่า และบางบริเวณอาจพบเส้นใยที่แตกหักติดค้างอยู่ เมื่อพิจารณาผิวด้านเรซินคอมพอสิต จะพบลักษณะเรซินคอมพอสิตที่เป็นร่องตามแนวเส้นใยของด้านผิวเดือยสำเร็จรูปร่วมกับพบชิ้นส่วนของเส้นใยหักติดอยู่ โดยกลุ่มที่เตรียมผิวด้วย porcelain liner M จะพบลักษณะดังกล่าวได้มากกว่ากลุ่มที่เตรียมผิวด้วย Monobond S อาจเนื่องมาจากการเชื่อมยึดทาง

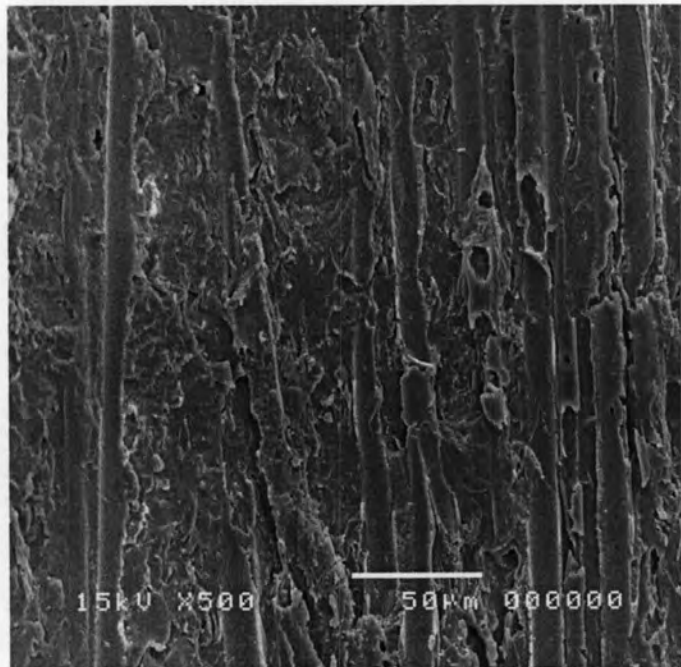
เคมีที่ดีกว่าระหว่างเดือยสำเร็จรูปที่ปรับสภาพผิวด้วยสารไฮเลน porcelain liner M เปรียบเทียบกับกลุ่มที่เตรียมผิวด้วยสารไฮเลน Monobond S (ดังแสดงในภาพที่ 28 และ 29)

เมื่อพิจารณาข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด สรุปได้ว่ารูปแบบการแตกหักที่เกิดในกลุ่ม Innopost น่าจะเป็นชนิดผสม คือมีทั้งการแตกหักในเดือยฟัน และการแตกหักบริเวณผิวสัมผัส

ส่วนกลุ่ม Exacto conical ซึ่งมีรูปแบบการแตกหักแตกต่างจากกลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน คือ เกิดการแตกหักภายในเนื้อของเดือยสำเร็จรูป เมื่อพิจารณารอยหักภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าบริเวณผิวที่หักจะมีรอยแยกระหว่างเส้นใยและเส้นลวดเสริมความแข็งแรง โดยที่ส่วนของเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ของเดือยสำเร็จรูปยังคงผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าจุดเริ่มต้นการแตกของชิ้นตัวอย่างน่าจะเริ่มจากบริเวณรอยต่อระหว่างเส้นลวดกับเดือยสำเร็จรูป (ดังแสดงในรูปที่ 30 และ 31)

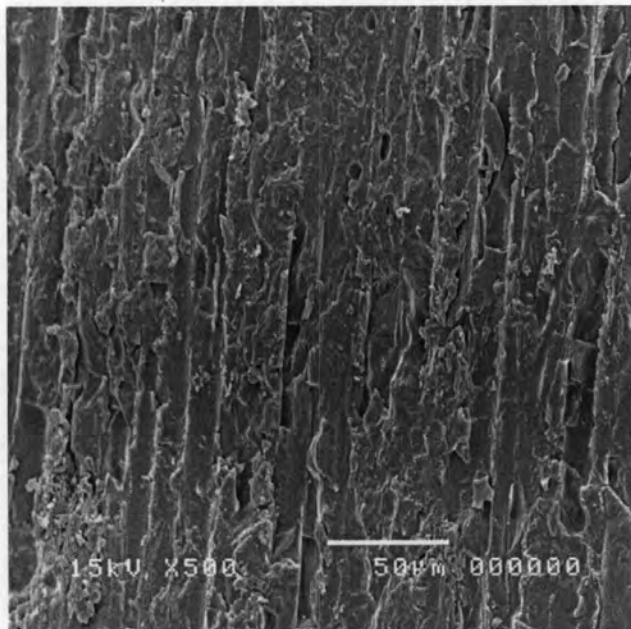


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดือยสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

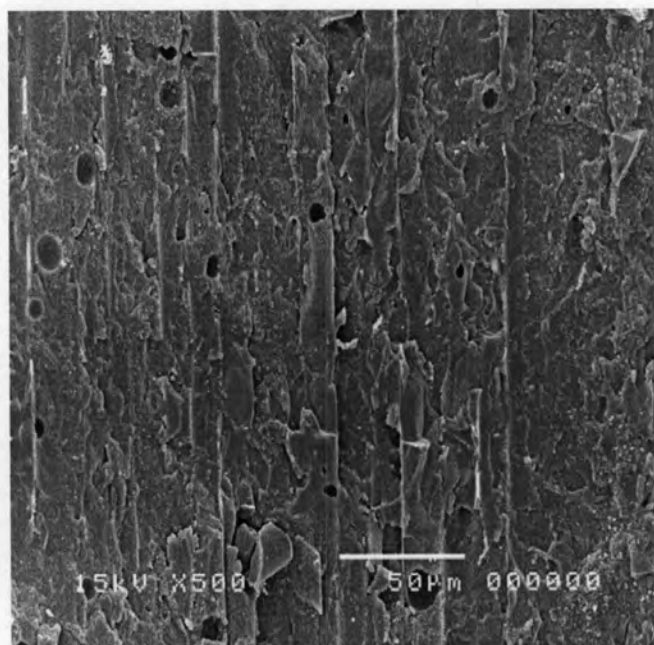


พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 22 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 1 (DT light + Monobon S)

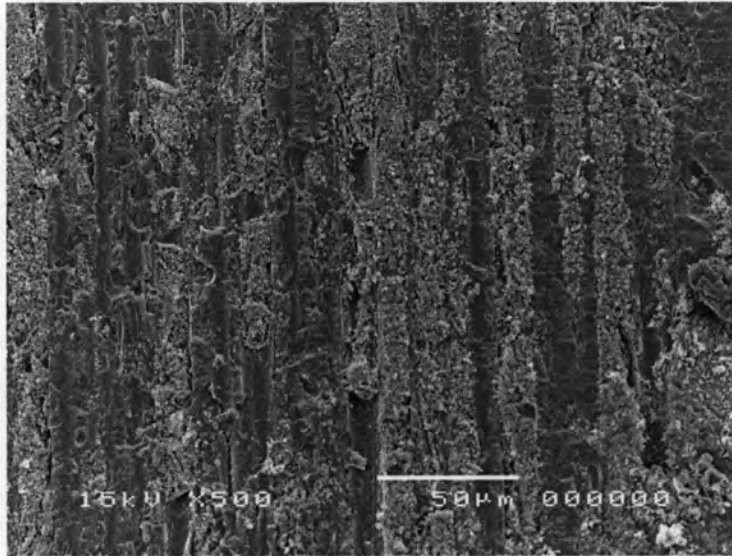


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดือยสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

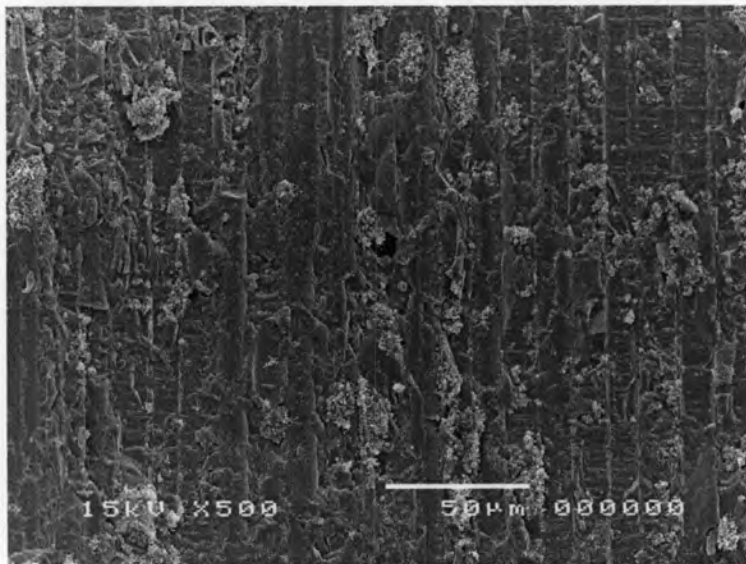


พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 23 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังจากทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 2 (DT light+Porcelain liner M)

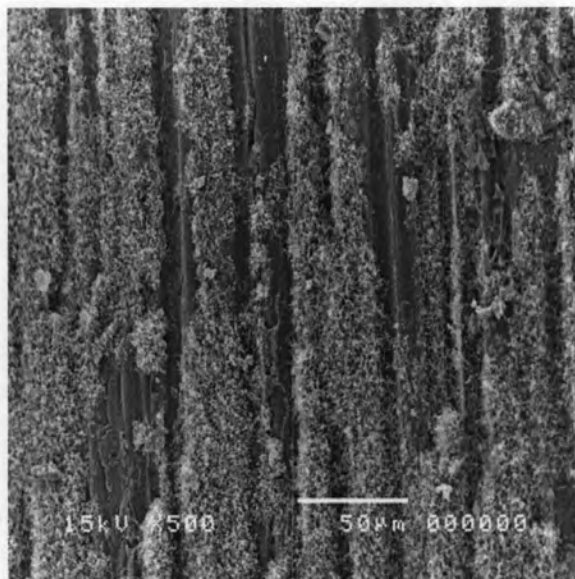


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดือยสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

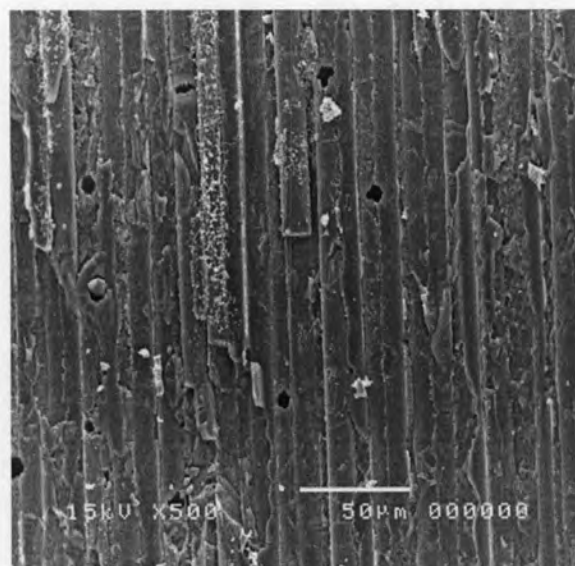


พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 24 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 3 (FRC postec+Monobond S)



พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเคียวสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

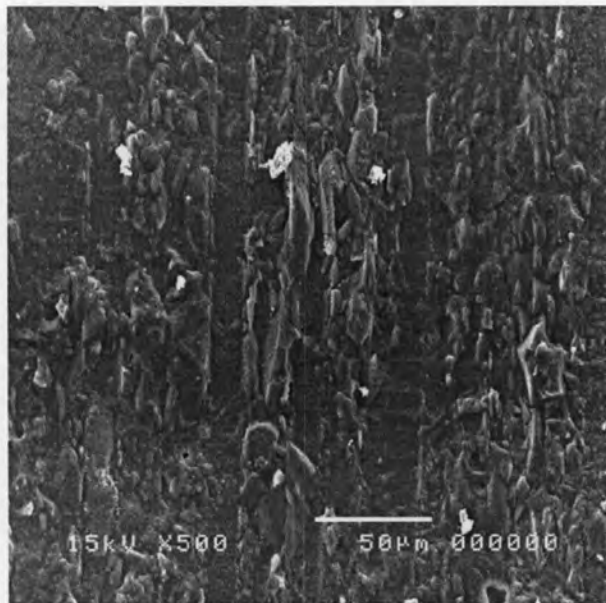


พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 25 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 4 (FRC postec+Porcelain liner M)

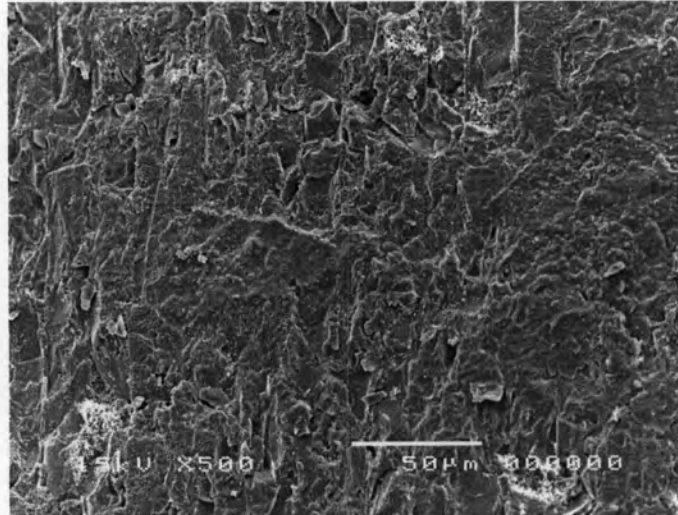


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดือยสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)



พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 26 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 5 (Easy post+Monobond S)

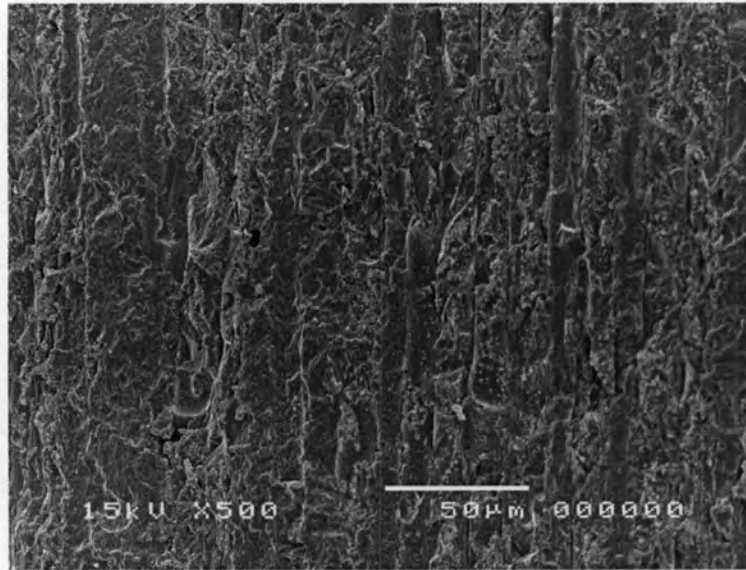


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดือยสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

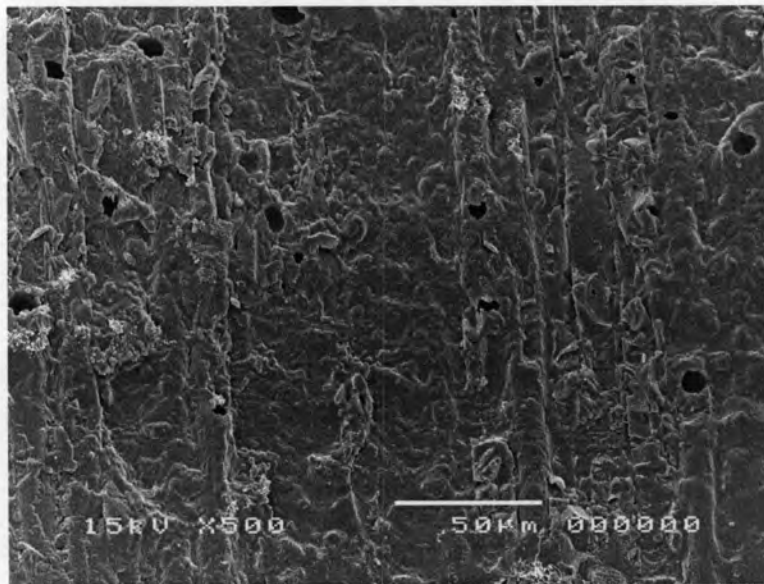


พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 27 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 6 (Easy post+Porcelain liner M)

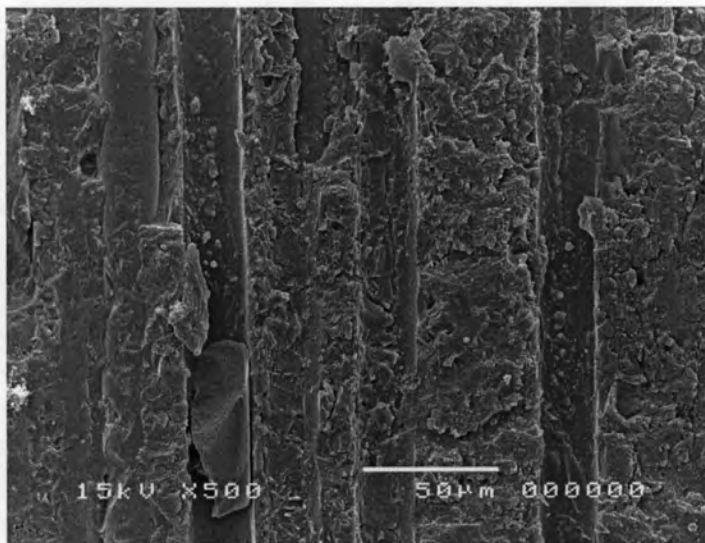


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดียวสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

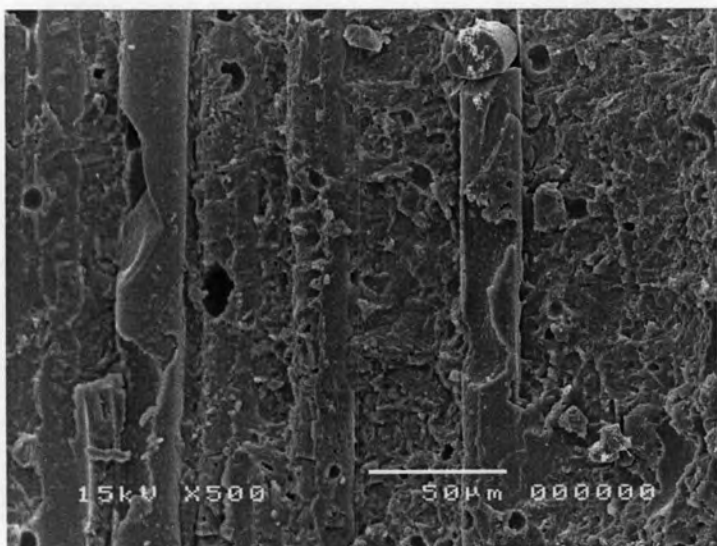


พื้นผิวรอยต่อเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 28 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 7 (Innopost+Monobond S)

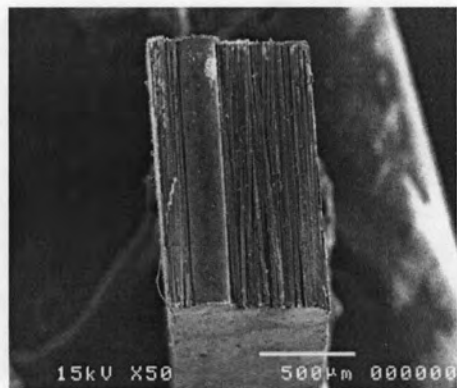


พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเคียวสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)

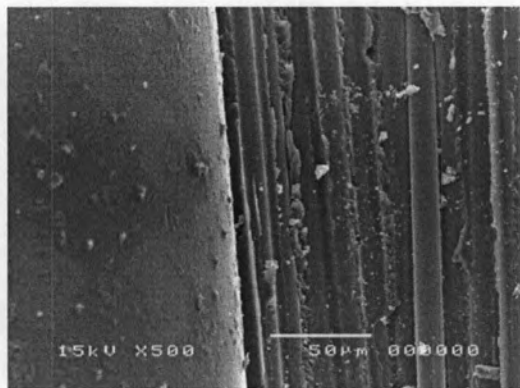


พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 29 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 8 (Innopost+Porcelain liner M)

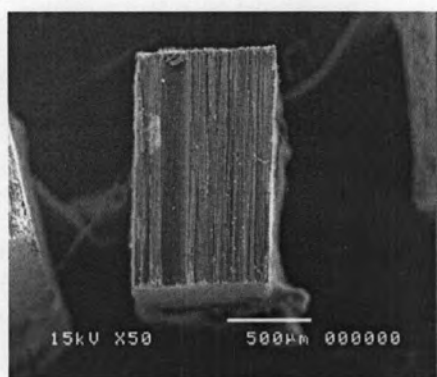


(ขยาย 50 เท่า)

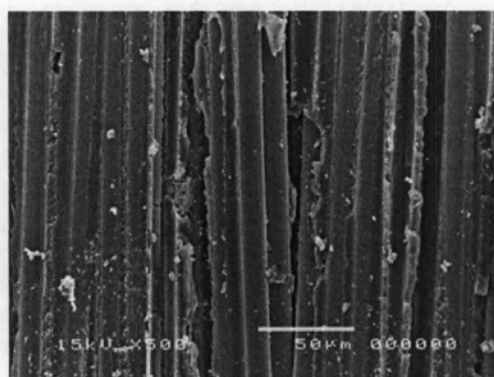


(ขยาย 500 เท่า)

พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเดี่ยวสำเร็จรูป



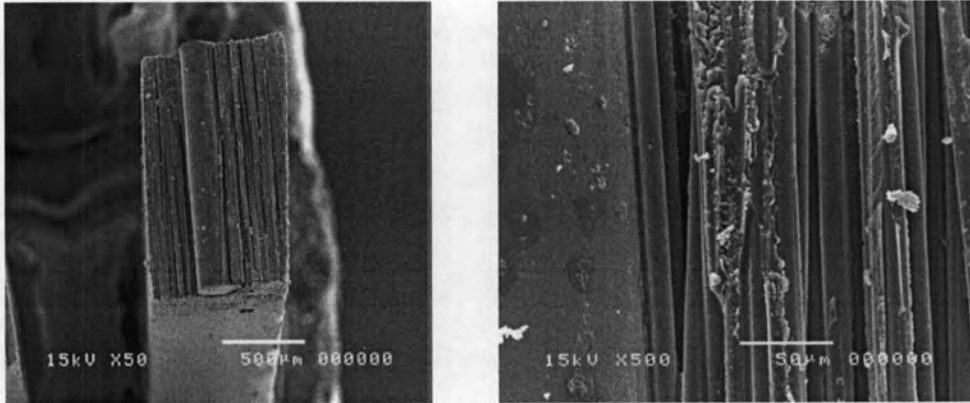
(ขยาย 50 เท่า)



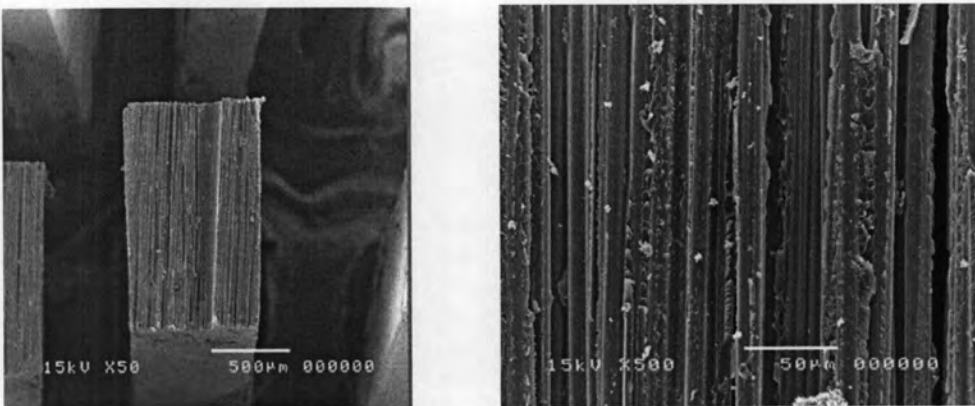
(ขยาย 500 เท่า)

พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 30 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 9 (Exacto conical+Monobond S)



พื้นผิวรอยต่อด้านผิวเต็ยสำเร็จรูป (ขยาย 500 เท่า)



พื้นผิวรอยต่อด้านเรซินคอมพอสิต (ขยาย 500 เท่า)

รูปที่ 31 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า แสดงลักษณะพื้นผิวบริเวณรอยหักของชิ้นตัวอย่างภายหลังจากการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ กลุ่มที่ 10 (Exacto conical+Porcelain liner M)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดลองต่อเนื่องโดยเพิ่มชนิดของผลิตภัณฑ์ไชนอนในแต่ละระบบ และควรศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของไชนอนแต่ละผลิตภัณฑ์
2. ควรทดลองต่อเนื่องในส่วนของคุณสมบัติของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยผ่านวงจรเพิ่มอุณหภูมิ (Thermocycling) และอิทธิพลของแรงกระทำซ้ำๆ (Fatigue) ที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ของแต่ละกลุ่มตัวอย่าง

สรุปผลการวิจัย

ภายใต้ข้อกำหนดของระเบียบวิธีวิจัยของการทดลองนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สารไชนอนระบบแยกสองขวด ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์สูงกว่าสารไชนอนระบบขวดเดียวที่ไฮโดรไลซ์แล้วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตแต่ละผลิตภัณฑ์ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์กับวัสดุเรซินคอมพอสิตแบบไฮบริดชนิดบ่มตัวด้วยแสงแตกต่างกัน โดยเดือยสำเร็จรูป Innopost จะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์อื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. ปัจจัยรูปแบบของสารไชนอนและปัจจัยชนิดผลิตภัณฑ์เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยและวัสดุเรซินคอมพอสิต