

ผลของการปรับสภาพพื้นผิวต่อความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มี
ส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต



นางสาวศรียา เคารยยะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SURFACE TREATMENT ON MICROTENSILE BOND STRENGTH
BETWEEN DIMETHACRYLATE-BASED FIBER POST AND
RESIN COMPOSITE CORE

Miss Sariya Saoraya



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการปรับสภาพพื้นผิวต่อความแข็งแรงดึงระดับ
จุลภาคระหว่างเตื่อยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบ
พื้นฐานเป็นโตนีมาทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต

โดย

นางสาวศรียา เศรษฐะ

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร.วัชรศักดิ์ ตุมราศวิน

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.สุจิต พูลทอง)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ วิวัฒน์วรพันธ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ทันตแพทย์ ดร.วัชรศักดิ์ ตุมราศวิน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.นิยม อังรงค์อนันต์สกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.วรรณธนะ สัตตบรรณสุข)

ศรียา เคารยยะ : ผลของการปรับสภาพพื้นผิวต่อความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต (EFFECT OF SURFACE TREATMENT ON MICROTENSILE BOND STRENGTH BETWEEN DIMETHACRYLATE-BASED FIBER POST AND RESIN COMPOSITE CORE) อ.ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: อ. ทพ. ดร.วัชรศักดิ์ ตุมราศวิน, 177 หน้า.

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต หลังจากปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมี

วัสดุและวิธีการวิจัย เดือยฟันยี่ห้อเอฟอาร์ซี โพลด์เทค พลัส จำนวน 96 แห่ง แบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ไม่ปรับสภาพผิว กลุ่มที่ 2 ปรับสภาพด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที กลุ่มที่ 3 ปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที กลุ่มที่ 4-6 ปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30, 35, 50 นาน 1 นาที ตามลำดับ ศึกษาสภาพพื้นผิวของเดือยฟันหลังปรับสภาพผิวกลุ่มละ 1 แห่ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด แบ่งเดือยฟันแต่ละกลุ่มที่เหลือออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่มย่อยที่ 1 ทาไฮเลน กลุ่มย่อยที่ 2 ทาสารบอนด์ดึง กลุ่มย่อยที่ 3 ทาไฮเลนและสารบอนด์ดึง วางเดือยฟันที่ปรับสภาพผิวแล้วกลางท่อพลาสติกใส แล้วฉีดมัลติคอร์โพลัวร์เข้าไปในท่อพลาสติกและฉายแสง นำชิ้นเดือยฟัน-แกนฟันมาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปแท่งจำนวน 20 ชิ้นต่อกลุ่ม เพื่อทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค จำแนกความล้มเหลวของชิ้นทดสอบด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป วิเคราะห์ผลด้วยสถิติความแปรปรวนสองทางและวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ ดันเนท ทีสาม ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลอง การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) การทาไฮเลนและสารบอนด์ดึงให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงกว่าการทาสารบอนด์ดึงหรือไฮเลนอย่างเดียว ตามลำดับ การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ตามด้วยการทาไฮเลนและสารบอนด์ดึงให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงสุด

สรุป การปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตด้วยสารเคมีตามด้วยไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดึงสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึงระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต

ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา ทันตกรรมประดิษฐ์

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5575822832 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORDS: BONDING AGENT / DIMETHACRYLATE-BASED FIBER POST / HYDROGEN PEROXIDE / MICROTENSILE BOND STRENGTH / PHOSPHORIC ACID / SILANE

SARIYA SAORAYA: EFFECT OF SURFACE TREATMENT ON MICROTENSILE BOND STRENGTH BETWEEN DIMETHACRYLATE-BASED FIBER POST AND RESIN COMPOSITE CORE. ADVISOR: WACHARASAK TUMRASVIN, Ph.D., 177 pp.

Objective: To evaluate microtensile bond strength between dimethacrylate-based fiber post and resin composite core after post surface treatment with chemical agents.

Materials and methods: Ninety-six FRC Postec Plus were divided into 6 groups: group 1 no surface treatment; group 2 treatment with 37% phosphoric acid for 1 minute; group 3 treatment with 30% hydrogen peroxide for 10 minutes; group 4-6 treatment with 30%, 35%, 50% hydrogen peroxide for 1 minute, respectively. Surface morphology of one post in each group was examined by scanning electron microscope. The remaining fiber posts in each group were divided into 3 subgroups: subgroup 1 silanization; subgroup 2 application of bonding agent; subgroup 3 application of silane-bonding agent. The surface treated post was placed at the center of a cylindrical plastic tube. Multicore Flow was injected into the matrix band and light-activated. The post-core units were cut into twenty stick-shaped specimens per group for microtensile bond strength test. Modes of failure were classified by stereomicroscope. Data of microtensile bond strength were analyzed with two-way analysis of variances and Dunnett's T3 at 95% confidence level.

Results: Post surface treatment with chemical agents could significantly increase the microtensile bond strength ($p < 0.05$). The application of silane-bonding agent resulted in higher microtensile bond strength than the application of bonding agent or silane only, respectively. Post surface treatment with 30% hydrogen peroxide for 1 minute followed by silane-bonding agent showed the highest microtensile bond strength.

Conclusions: Surface treatment of dimethacrylate-based fiber post with chemical agents followed by silane and/or bonding agent can improve bond strength between fiber post and resin composite core.

Department: Prosthodontics

Student's Signature

Field of Study: Prosthodontics

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณ อ. ทพ. ดร. วัชรศักดิ์ ตุมราศวิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ ผศ. ทพญ. ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สมบูรณ์ที่สุด ผู้เขียนมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ประธานกรรมการและคณะกรรมการทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการปรับปรุงงานวิจัยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อ. ณรงค์ฤทธิ์ อัศวเรืองพิภพ และ อ. ทพญ. ดร. สรณันท์ จันทรางศุ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับสถิติที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และศูนย์วิจัยชีววิทยาช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำการใช้เครื่องมือวิจัย และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณภาควิชาชีวเคมี คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ยืมใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการวิจัย และนางมารศรี อุชชิน ที่ให้คำปรึกษาและเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการไทเทรตหาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ขอขอบพระคุณภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ยืมใช้เครื่องสำรวจความขนาน

ขอขอบพระคุณบริษัทยูนิตี้ เติ้นดัล จำกัด ที่ลดราคาทันตวัสดุที่ใช้ในการวิจัย เอื้อเพื่อทันตวัสดุบางส่วนและให้ยืมใช้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และทุกคนในครอบครัว รวมถึงผู้มีพระคุณทั้งหมดที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่ช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังใจ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
คำสำคัญ.....	2
สมมติฐานงานวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
การออกแบบการวิจัย	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
แนวคิดและทฤษฎี	7
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย	8
1. เส้นใย	10
1.1. เดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน	10

1.2. เต๋อยพ่นเสริมเส้นใยแก้ว.....	10
1.3. เต๋อยพ่นเสริมเส้นใยควอตซ์.....	11
1.4. เต๋อยพ่นเสริมเส้นใยพอลิเอทิลีน.....	11
2. เมทริกซ์.....	12
2.1. อีพอกซีเรซิน.....	12
2.2. ไดมทาคริเลตเรซิน.....	13
2.3. เซมิไอทีเอ็นเรซินเมทริกซ์.....	14
การปรับสภาพพื้นผิวเต๋อยพ่นคอมโพสิตเสริมเส้นใย.....	15
1. การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี.....	15
1.1. สารคู่ควบไซเลน.....	15
1.2. สารบอนด์ดิง.....	16
1.3. การฉายรังสียูวี (UV irradiation).....	16
2. การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกล.....	17
2.1. การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเต๋อยพ่น.....	17
2.2. การเป่าผิวเต๋อยพ่นด้วยอนุภาคขนาดเล็ก.....	18
3. การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและเคมี.....	19
3.1. การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเต๋อยพ่นและทาไซเลน.....	19
3.2. การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเต๋อยพ่นและทาสารบอนด์ดิง.....	20
3.3. การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเต๋อยพ่นร่วมกับการทาไซเลนและสารบอนด์ดิง.....	21
3.4. การเป่าพื้นผิวเต๋อยพ่นด้วยอนุภาคขนาดเล็กและทาไซเลน.....	21
3.5. การปรับสภาพผิวเต๋อยพ่นด้วยพลาสมา.....	22
3.6. การใช้เลเซอร์.....	23

สารคู่ควบไซเลน	23
สารยี่ดติด	26
แกนพินเรซินคอมโพสิต	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	33
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	34
ระเบียบวิธีการวิจัย	35
ขนาดกลุ่มตัวอย่าง.....	37
การแบ่งกลุ่มการทดลอง	38
ขั้นตอนการวิจัย	40
1. การศึกษาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค.....	40
1.1 การทดสอบความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	40
1.2 การปรับสภาพพื้นผิวเดือยพินตามการแบ่งกลุ่มการทดลอง.....	42
1.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ	44
1.4. การทดสอบและการคำนวณค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค	50
2. การศึกษาสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	54
2.1 ศึกษาสภาพพื้นผิวเดือยพินที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี.....	54
2.2 ศึกษาแนวตัดขวางของเดือยพินบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยพินและแกนพิน เรซินคอมโพสิตก่อนการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค	54
2.3 ศึกษารอยต่อระหว่างเดือยพินและแกนพินเรซินคอมโพสิตหลังการทดสอบค่า ความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค	54
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล	55
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	57
ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค.....	57

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค.....	59
ผลความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ	60
ผลการวิเคราะห์ความล้มเหลว	63
ผลการศึกษาสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	64
ผลการศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตก่อนการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	67
ผลการศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด.....	67
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
วิจารณ์วิธีการทดลอง.....	71
วิจารณ์ผลการทดลอง	75
วิจารณ์ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค	75
วิจารณ์ความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ	81
สรุปผลการวิจัย.....	83
ข้อเสนอแนะ	83
รายการอ้างอิง	84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	177

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงยี่ห้อเดือยฟัน ชนิดเส้นใย และเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟัน.....	9
ตารางที่ 2 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบ.....	35
ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง จากการศึกษา นำร่อง.....	38
ตารางที่ 4 แสดงการแบ่งเดือยฟันออกเป็น 18 กลุ่ม ตามวิธีการปรับสภาพผิวเดือยฟัน.....	39
ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต หน่วยเป็นเมกะปาสคาล	57
ตารางที่ 6 แสดงผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปรับสภาพผิวเดือยฟันกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติโคสแควร์	63
ตารางที่ 7 แสดงผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติอีตา.....	63
ตารางที่ 8 แสดงความล้มเหลวในแต่ละช่วงค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค.....	81
ตารางที่ 9 แสดงผลการไทเทรตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง	99
ตารางที่ 10 แสดงความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในหน่วยต่างๆ	102
ตารางที่ 11 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 1 ทาไฮเลน	103
ตารางที่ 12 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 2 ทาสารบอนด์ดีง....	104
ตารางที่ 13 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 3 ทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง.....	105
ตารางที่ 14 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 4 ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ร่วมกับทาไฮเลน	106

	ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง	114
ตารางที่ 23	แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 13 ปรับสภาพผิวเดียวพื้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาไฮเลน	115
ตารางที่ 24	แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 14 ปรับสภาพผิวเดียวพื้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาสารบอนด์ดิง	116
ตารางที่ 25	แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 15 ปรับสภาพผิวเดียวพื้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง	117
ตารางที่ 26	แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 16 ปรับสภาพผิวเดียวพื้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาไฮเลน	118
ตารางที่ 27	แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 17 ปรับสภาพผิวเดียวพื้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาสารบอนด์ดิง	119
ตารางที่ 28	แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 18 ปรับสภาพผิวเดียวพื้น ด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับ ทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง	120
ตารางที่ 29	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคและ ความล้มเหลวของชิ้นทดสอบในแต่ละกลุ่ม	121

ตารางที่ 30 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มทดลองทั้งหมด 18 กลุ่ม.....	122
ตารางที่ 31 แสดงผลการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยสถิติโคลโมโกรอฟสมเออร์นอฟของ กลุ่มทดลองทั้งหมด 18 กลุ่ม	123
ตารางที่ 32 แสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบของเลวิน	129
ตารางที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยสถิติการวิเคราะห์ความ แปรปรวนแบบสองทาง.....	129
ตารางที่ 34 แสดงผลวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติต้นเนท ที่สาม	130
ตารางที่ 35 แสดงการแบ่งช่วงค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคออกเป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีสะสมราก กำลังสองของความถี่.....	148



สารบัญรูป

รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไดโกลซิทีว อีเทอร์ ของบีสฟีนอลเอ	12
รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของบิส-ไกลซิดีลเมทาคริเลต	13
รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของยูริเทน ไดเมทาคริเลต	13
รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต	14
รูปที่ 5 การเปลี่ยนสีของสารละลายจากสีใสเป็นสีชมพู	41
รูปที่ 6 เดือยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว ยี่ห้อเอพาร์ซี โปสต์เทค พลัส เบอร์ 3.....	42
รูปที่ 7 กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 ยี่ห้ออีโค เอทซ์	43
รูปที่ 8 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 โดยมวล.....	43
รูปที่ 9 ไฮเลน ยี่ห้อโมนอบอนด์-เอส	44
รูปที่ 10 สารบอนด์ดิง ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี.....	44
รูปที่ 11 เครื่องสำรวจความขนาน (A) และการยึดเดือยฟันบนแผ่นแก้ว โดยใช้เครื่องสำรวจความขนาน (B).....	45
รูปที่ 12 การวางท่อพลาสติกใสล้อมแท่งเดือยฟัน.....	45
รูปที่ 13 วัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิต ยี่ห้อมัลติคอป โพลว์	46
รูปที่ 14 เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี.....	46
รูปที่ 15 ชิ้นงานที่เตรียมเสร็จ ก่อนนำไปตัดเพื่อสร้างชิ้นทดสอบ.....	46
รูปที่ 16 ผู้ควบคุมอุณหภูมิ.....	47
รูปที่ 17 เครื่องตัดฟัน.....	47
รูปที่ 18 แนวการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดฟัน	47
รูปที่ 19 การตัดชิ้นงานในแนวตั้งฉากกับแกนฟันด้วยเครื่องตัดฟันและชิ้นงานที่ตัดได้	48
รูปที่ 20 การตัดชิ้นงานให้ได้ชิ้นทดสอบที่มีลักษณะเป็นแท่ง.....	48
รูปที่ 21 เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอลชนิดความละเอียด 0.01.....	49

รูปที่ 22	กล้องสเตอริโอไมโครสโคป	49
รูปที่ 23	ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบที่สมบูรณ์ (P = เตื่อยฟัน R = แกนฟันเรซินคอมโพสิต).....	49
รูปที่ 24	ตัวอย่างขั้นตอนทดสอบที่ไม่สมบูรณ์ มีฟองอากาศในชั้นสารบอนด์ดีง (P = เตื่อยฟัน R = แกนฟันเรซินคอมโพสิต)	50
รูปที่ 25	แท่งโลหะที่ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค.....	50
รูปที่ 26	กาวยไซยาโนอะคริเลต	51
รูปที่ 27	เครื่องทดสอบสากล.....	51
รูปที่ 28	การยึดขั้นตอนทดสอบกับแท่งโลหะที่ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค.....	51
รูปที่ 29	ความล้มเหลวของชิ้นงานหลังจากให้แรงดึงด้วยเครื่องทดสอบสากล	52
รูปที่ 30	ความยาวแนวโค้ง ความกว้างและความหนาของชิ้นงาน.....	53
รูปที่ 31	เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า.....	55
รูปที่ 32	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด	55
รูปที่ 33	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อแบ่งกลุ่มตามชนิดสารเคมี	58
รูปที่ 34	แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อแบ่งกลุ่มตามชนิดสารยึดติด.....	59
รูปที่ 35	ภาพถ่ายขั้นตอนทดสอบที่เกิดการแตกหักแบบยึดไม่อยู่ (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลว (B) จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	61
รูปที่ 36	ภาพถ่ายขั้นตอนทดสอบที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลว (B) จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	61
รูปที่ 37	ภาพถ่ายขั้นตอนทดสอบที่เกิดการแตกหักแบบผสม (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลว (B) จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	62
รูปที่ 38	แผนภูมิแท่งแสดงร้อยละความล้มเหลวของขั้นตอนทดสอบ.....	62
รูปที่ 39	ภาพพื้นผิวของเตื่อยฟันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (กำลังขยาย 500 เท่า) (A) เมื่อไม่ปรับสภาพผิวเตื่อยฟันในแนวยาว และ (a) ในแนวตัดขวาง (B) ปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ในแนวยาว	

- และ (b) ในแนวตัดขวาง (C) ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ในแนวยาว และ (c) ในแนวตัดขวาง ...65
- รูปที่ 40 ภาพพื้นผิวของเดือยฟันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (กำลังขยาย 500 เท่า) (A, B, C) เมื่อปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที ในแนวยาวและ (a, b, c) ในแนวตัดขวางตามลำดับ66
- รูปที่ 41 ภาพตัวอย่างชิ้นทดสอบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า ลูกศรชี้ช่องว่างภายในเดือยฟัน (P).....67
- รูปที่ 42 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่มีการยึดติดของความล้มเหลวชนิดยึดไม่อยู่ โดย A พื้นผิวยึดติดด้านเดือยฟัน และ B พื้นผิวยึดติดด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่กำลังขยาย 500 เท่า68
- รูปที่ 43 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่มีการยึดติดของความล้มเหลวชนิดการเชื่อมแน่นล้มเหลว โดย A พื้นผิวยึดติดด้านเดือยฟัน และ B พื้นผิวยึดติดด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....68
- รูปที่ 44 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่มีการยึดติดของความล้มเหลวชนิดผสม โดย A พื้นผิวยึดติดด้านเดือยฟัน และ B พื้นผิวยึดติดด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่กำลังขยาย 500 เท่า69
- รูปที่ 45 รอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) สารบอนด์ดีง (A) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....70
- รูปที่ 46 3-เมทาคริลอกรีโพรพิลไตรเมทอกรีโพลีเอทิลีน78
- รูปที่ 47 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มโซเลน จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า..... 150
- รูปที่ 48 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 150
- รูปที่ 49 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มโซเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B)

- แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 151
- รูปที่ 50 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 151
- รูปที่ 51 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 152
- รูปที่ 52 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 152
- รูปที่ 53 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไฮเลน จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 153
- รูปที่ 54 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 153
- รูปที่ 55 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 154

- รูปที่ 63 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดิง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 158
- รูปที่ 64 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 158
- รูปที่ 65 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มไฮเลน ที่เกิดการแตกหักแบบยึดไม่อยู่ (A) และพื้นผิวสัมผัส ที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า..... 159
- รูปที่ 66 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่ความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 160
- รูปที่ 67 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่ความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 161
- รูปที่ 68 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่ความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า..... 162
- รูปที่ 69 ภาพถ่ายขึ้นทสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่ความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 163

รูปที่ 82 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลัมเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลัมเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า 176



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการนำเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดคอมโพสิตเสริมเส้นใย (prefabricated fiber reinforce composite post) มาใช้อย่างกว้างขวางในการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคอนครากฟัน แทนการใช้เดือยฟันโลหะเทรียง เนื่องจากเดือยฟันชนิดนี้มีมอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้มีการกระจายแรงสู่ฟันได้ดีกว่าเดือยฟันโลหะเทรียง¹⁻³ และลดโอกาสที่จะเกิดการแตกของรากฟัน แต่ปัญหาที่พบบ่อยในการใช้เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย คือ การหลุดของเดือยฟัน⁴⁻⁶ เนื่องจากเดือยฟันมีผิวเรียบและมีการเชื่อมต่อเป็นโครงร่างตาข่ายสูง (highly cross-linked) จึงได้มีผู้ทดลองปรับสภาพผิวเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยหลายวิธี⁷ ได้แก่ การทำไฮเลน การทำสารบอนด์ดิง (bonding agent) การเป่าทราย (sandblasting) การแช่เดือยฟันในสารเคมีต่างๆ การฉาบด้วยพลาสมา (plasma) เป็นต้น เพื่อให้ผิวเดือยฟันขรุขระ เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micromechanical interlocking) กับวัสดุบูรณะชนิดเรซินได้⁷ และเพื่อหวังผลให้เกิดการละลายส่วนอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ (epoxy resin matrix) หรือเมทาคริเลตเรซินเมทริกซ์ (methacrylate resin matrix) ในเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เพื่อเผยพื้นผิวของเส้นใยภายในเดือยฟันให้สัมผัสกับสารคู่ควบไฮเลน (silane coupling agent) ซึ่งเพิ่มความสามารถในการเปียก (wettability) ของผิวเดือยฟัน และทำให้เกิดการเชื่อมทางเคมีระหว่างหมู่เมทาคริเลตของเรซินคอมโพสิตและหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) ของเส้นใยควอตซ์และแก้ว^{7, 8}

การปรับสภาพผิวเดือยฟันโดยการแช่เดือยฟันในสารเคมี เป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ยุ่งยากหาได้ง่ายในคลินิกทันตกรรม Vano และคณะ⁹ และ Monticelli และคณะ¹⁰ แนะนำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที และร้อยละ 24 นาน 10 นาที ในการปรับสภาพผิวเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย แต่เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในทางคลินิกนานและเป็นความเข้มข้นที่ไม่มีจำหน่าย ต้องเตรียมสารละลายขึ้นเองด้วยขั้นตอนที่ยุ่งยาก จึงมีหลายการศึกษา¹¹⁻¹⁶ ได้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และลดระยะเวลาการทดสอบลงพบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที¹¹ และความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที¹⁵ สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซีและแกนฟันเรซินคอมโพสิต นอกจากนี้บางการศึกษา¹⁴⁻¹⁶ ได้นำสารคู่ควบไฮเลนและสารบอนด์ดิงมาปรับสภาพผิวเดือยฟันร่วมกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งพบว่าเมื่อใช้สารละลายความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับการทำไฮเลนหรือสารบอนด์ดิง¹⁵ และความ

เข้มข้นร้อยละ 24 35 และ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับการทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง^{14, 16} สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซีและแกนฟันเรซินคอมโพสิต

จากการทบทวนวรรณกรรมปริทัศน์ พบว่าการศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนใหญ่ศึกษาในเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี ยังไม่มีการศึกษาใดใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที ในการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลต ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วิธีการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตให้เหมาะสม ซึ่งส่งผลถึงความสำเร็จในการบูรณะ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ต่อค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต

คำสำคัญ

กรดฟอสฟอริก	แปลจาก	phosphoric acid
ความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค	แปลจาก	microtensile bond strength
ไฮเลน	แปลจาก	silane
เดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลต	แปลจาก	dimethacrylate-based fiber post
สารบอนด์ดิง	แปลจาก	bonding agent
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	แปลจาก	hydrogen peroxide

สมมติฐานงานวิจัย

สมมติฐานว่าง (H_01) : การปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยพิน เสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไคเมทาคริเลตกับแกนพินเรซินคอมโพสิต ไม่แตกต่างกับการ ไม่ปรับสภาพผิวเตื่อยพินแต่มีการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

สมมติฐานแย้ง (H_a1) : การปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยพิน เสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไคเมทาคริเลตกับแกนพินเรซินคอมโพสิต แตกต่างกับการ ไม่ปรับสภาพผิวเตื่อยพินแต่มีการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

สมมติฐานว่าง (H_02) : การปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยพิน เสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไคเมทาคริเลตกับแกนพินเรซินคอมโพสิต ไม่แตกต่างกับการ ปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยกรดฟอสฟอริก ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

สมมติฐานแย้ง (H_a2) : การปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยพิน เสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไคเมทาคริเลตกับแกนพินเรซินคอมโพสิต แตกต่างกับการ ปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยกรดฟอสฟอริก ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) ทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยพินเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็น ไคเมทาคริเลตกับแกนพินเรซินคอมโพสิต เมื่อปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการทำไชเลนและ/หรือสารบอนด์ดิง

2. วัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทไอโวคาร์ วิวาเดนท (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ได้แก่

2.1 เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว ยี่ห้อเอฟอาร์ซี โปสต์เทค พลัส (FRC Postec Plus) ขนาดเบอร์ 3

2.2 กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 ยี่ห้ออีโค เอทช์ (Eco-Etch)

2.3 วัสดุก่อกแกนฟันเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง (dual-cured flowable core build-up composite) ยี่ห้อมัลติคอร์โฟลว์ (Multicore Flow)

2.4 ไซเลน ยี่ห้อโมนอบอนด์-เอส (Monobond-S)

2.5 สารบอนด์ดิงชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี (Excite F DSC)

3. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้ความเข้มข้นโดยมวลที่มีจำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่

3.1 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 (Carlo Erba, Italy)

3.2 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)

3.3 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การทดลองทุกขั้นตอนได้ถูกดำเนินการโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียวเท่านั้น โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ชุดเดียวกันตลอดการทดลอง

2. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองถูกผลิตจากบริษัทในคราวเดียวกัน และก่อนนำมาทดลองจะเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ยกเว้นเดือยฟันจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

3. เดือยฟันที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็น ไตเมทาคริเลต ยี่ห้อเอฟอาร์ซี โปสต์เทค พลัส ขนาดเบอร์ 3 ความยาวทั้งหมด 20 มิลลิเมตร ส่วนต้นมีความขนานยาว 10 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร และจะค่อยๆสอบลงจนถึงส่วนปลาย ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ซึ่งจะใช้ส่วนขนานในการสร้างชิ้นงานเท่านั้น

4. ตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อนใช้ทุกครั้ง ด้วยการไทเทรตวิธีแมงกานOMETริก (manganometric method) ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้จะมีความเข้มข้นตามที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้ 1

5. ชิ้นงานที่นำมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค เตรียมชิ้นงานแบบแท่งที่มีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1 ตารางมิลลิเมตร หลังจากเตรียมชิ้นงานแล้ว ชิ้นงานจะถูกเก็บแห้ง ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ± 2 ชั่วโมงก่อนนำมาทดสอบ

6. ทดลองที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 1 องศาเซลเซียส) ห้องทันตวัสดุศาสตร์ อาคารสมเด็จพระเจ้า ชั้น 9 คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อจำกัดของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถจำลองปัจจัยให้เหมือนกับสถานะในช่องปากทุกประการได้ ดังนั้นผลของงานวิจัยนี้จึงเป็นเพียงการทำนายแนวโน้มการยึดระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นโพลีเอทิลีนเททาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตเมื่อปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง เมื่อนำไปใช้ในทางคลินิก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบผลของการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นโพลีเอทิลีนเททาคริเลตด้วยวิธีการต่างๆ ต่อค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต

2. ใช้เป็นแนวทางในการเลือกวิธีการที่เหมาะสมและลดระยะเวลาการทำงานในคลินิก ในการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นโพลีเอทิลีนเททาคริเลต เพื่อให้เกิดการยึดติดที่ดีกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต

3. ใช้เป็นข้อมูลในการศึกษาค้นคว้าและทำวิจัย เพื่อพัฒนาวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันต่อไป

การออกแบบการวิจัย

วิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ศึกษาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับการทำไซเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง และรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบในแต่ละกลุ่ม วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างกลุ่มด้วยสถิติต้นเนท ที่สาม (Dunnett's T3) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปรับสภาพผิวกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติไคสแควร์ (chi-square) และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติอีตา (Eta) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ศึกษาสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลต เมื่อปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตก่อนและหลังการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

การบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟัน ได้รับความนิยมน้อยกว่าหลายในปัจจุบัน ปัจจัยสำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อความสำเร็จในการบูรณะ คือ การยึดติดที่แข็งแรงระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับการทำไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง ต่อค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต โดยหวังว่าผลการศึกษานี้จะเป็นแนวทางในการเลือกวิธีการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตที่เหมาะสมและลดระยะเวลาการทำงานในคลินิก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฟันที่ต้องได้รับการรักษาคลองรากฟัน อาจเนื่องมาจากหลายกรณี ได้แก่ ฟันผุลุกลามจนถึงชั้นโพรงประสาทฟัน ฟันที่ได้รับอุบัติเหตุ เป็นต้น ซึ่งแต่เดิมเชื่อว่าฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันเหล่านี้ จะอ่อนแอ เปราะ และเสี่ยงต่อการแตกหักง่ายกว่าฟันที่มีชีวิต เนื่องจากมีการสูญเสีย¹⁷ และโครงสร้างคอลลาเจน (collagen cross-linking)¹⁸ ทำให้เนื้อฟันแตกต่างจากเนื้อฟันในฟันที่มีชีวิต (vital pulp) อย่างไรก็ตามหลายการศึกษา^{19, 20} พบว่าฟันที่ผ่านการรักษารากฟันมีสมบัติทางชีวกลศาสตร์ ทางกายภาพ และปริมาณความชื้นไม่มีความแตกต่างกับฟันที่มีชีวิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ²¹ จึงอาจสรุปได้ว่าการรักษาคลองรากฟันไม่ได้ทำให้ฟันเปราะขึ้น แต่ปัจจัยที่ทำให้ฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันมีแนวโน้มอ่อนแอกว่าฟันที่มีชีวิต อาจเนื่องมาจากฟันที่ต้องได้รับการรักษารากฟันนั้น ส่วนใหญ่จะมีรอยโรคฟันผุขนาดใหญ่ ทำให้มีการสูญเสียเนื้อฟันไปมากจากการกรอกกำจัดฟันผุ ร่วมกับการสูญเสียเนื้อฟันไปจากกระบวนการต่างๆของการรักษารากฟัน ดังนั้นจึงต้องเลือกวิธีการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถป้องกันการแตกหักของฟันเหล่านี้ได้

การบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันนั้นมีหลายวิธี เช่น การบูรณะด้วยวัสดุอุดฟันออนเลย์ (onlay) ครอบฟัน เดือยและแกนฟันร่วมกับครอบฟัน เป็นต้น ซึ่งการที่จะเลือกการบูรณะวิธี

ได้นั้นขึ้นกับหลายๆ ปัจจัย²² ได้แก่ ปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ โครงสร้างของฟัน (morphology of tooth) ตำแหน่งฟันในช่องปาก การทำหน้าที่ในการบดเคี้ยว (occlusal function) ฟันคู่สบ ความยาว ความกว้างและความโค้งของรากฟัน เป็นต้น แต่ในฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันไปจำนวนมาก จำเป็นต้องใส่เดือยฟันเข้าไปในรากฟัน เพื่อให้การยึดอยู่แก่แกนฟันซึ่งทดแทนเนื้อฟันที่หายไป ความสำเร็จในระยะยาวของการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษารากฟันด้วยเดือยและแกนฟันร่วมกับครอบฟันนั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย^{23, 24} ได้แก่ ความยาว ขนาด รูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำเดือยฟัน วัสดุ ก่อแกนฟัน (core material) ผลของเฟอร์รู (ferrule effect) ซีเมนต์ฉาบยึด (luting cement) ปริมาณเนื้อฟันส่วนตัวฟันที่เหลืออยู่ (remaining coronal tooth structure) เป็นต้น

เดือยฟันแบ่งตามวัสดุและเทคนิคที่ใช้ในการทำ สามารถแบ่งเดือยฟันออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ เดือยฟันโลหะหเวียงเฉพาะบุคคล (custom cast post) และเดือยฟันสำเร็จรูป (prefabricated post) ซึ่งมีขนาด รูปร่าง องค์ประกอบแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิต เดือยฟันสำเร็จรูปแบ่งตามชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดโลหะ (metal prefabricated post) และเดือยฟันสำเร็จรูปชนิดปราศจากโลหะ เช่น เดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใย เดือยฟันเซรามิก (ceramic post) เป็นต้น

ปัจจุบันเดือยฟันสำเร็จรูปคอมโพสิตเสริมเส้นใยได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากใช้งานง่าย รื้อได้ง่าย ราคาถูก สามารถกรอเตรียมฟันภายในครั้งเดียวกับที่ยึดเดือยฟัน ประหยัดเวลาของทั้งทันตแพทย์และผู้ป่วย เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้เดือยฟันชนิดนี้มีความอดุลีของสภาพยึดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้มีการถ่ายทอดแรงจากวัสดุบูรณะไปที่ฟัน โดยแรงจะสะสมที่รอยต่อระหว่างครอบฟันและรากฟัน ทำให้เมื่อเกิดการแตกหักจะเป็นการแตกหักที่สามารถบูรณะได้และเกิดการแตกหักที่รากฟันน้อยกว่าเดือยฟันโลหะหรือเดือยฟันเซรามิกซึ่งมีความอดุลีของสภาพยึดหยุ่นสูงกว่าเนื้อฟัน แรงจึงถูกส่งผ่านจากเดือยฟันลงไปสู่รากฟันโดยไม่มีการดูดซับแรง ทำให้เมื่อเกิดการแตกหักจะเกิดการแตกหักที่รากฟันและไม่สามารถบูรณะซ้ำได้²⁵⁻²⁹ นอกจากนี้เดือยฟันโลหะมีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ เดือยฟันหลุด ราคาแพง เกิดการกัดกร่อน (corrosion) ปัญหาด้านความสวยงาม เนื่องจากมีการสะท้อนสีโลหะผ่านครอบฟันที่เป็นเซรามิก และจำนวนครั้งในการนัดผู้ป่วยมากกว่า เนื่องจากต้องมีการเตรียมเดือยฟันในห้องปฏิบัติการ

เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เป็นเดือยฟันสำเร็จรูปที่ผลิตจากโรงงาน มีหลากหลายขนาด และรูปร่าง เช่น ทรงกระบอก (cylindrical) ทรงกระบอกในส่วนต้นและสอบลงจนถึงส่วนปลาย (cylindroconical) ทรงกรวย (conical) เป็นต้น ผิวของเดือยฟันอาจมีลักษณะผิวเรียบ ผิวมีการบาก

เป็นร่อง (serrated) หรือเป็นเกลียว (threaded) เดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะมีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน ได้แก่ เส้นใยและเมทริกซ์

ตารางที่ 1 แสดงยี่ห้อเดือยฟัน ชนิดเส้นใย และเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟัน

Post	Fiber	Resin matrix
Composipost RTD, Grenoble, France	Carbon	Epoxy
CF Carbon Fiber Post J. Morita, USA	Carbon	Epoxy
RelyX Fiber Post 3M ESPE, St Paul, MN, USA	Glass	Resin
FRC Postec Plus Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Glass	Dimethacrylates, Ytterbium fluoride
GC Fiber Post Tokyo, Japan	Glass	Methacrylate
FibreKleer Serrated Post Jeneric/Pentron, Wallingford, CT, USA	Glass	Bis-GMA, UDMA, HDDMA
Snowpost Abrasive Technology, Lewis Center, Ohio, USA	Zirconia-rich glass	Epoxy
DT Light Post RTD, Grenoble, France	Quartz	Epoxy
Macrolock Illusion Post RTD, Grenoble, France	Quartz	Epoxy

1. เส้นใย

ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้แก่เดือยฟัน โดยการเลือกใช้ต้องพิจารณาถึงชนิดของเส้นใย ปริมาณเส้นใย ความยาวของเส้นใย และการจัดเรียงตัวของเส้นใย เนื่องจากมีผลต่อคุณสมบัติของ เดือยฟัน³⁰ แบ่งเดือยฟันตามชนิดของเส้นใยเป็น 4 ชนิด ได้แก่

1.1. เดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน

มีการพัฒนาเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนขึ้นครั้งแรกที่ประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1988 โดย Duret และ Renaud เดือยฟันชนิดนี้มีเส้นใยคาร์บอนเรียงตัวในทิศทางเดียวและขนาน ตามแนวความยาวของเดือยฟัน อยู่ในอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ ซึ่งส่วนของเส้นใยคาร์บอนทำมาจากการ เผาโพลีอะคริโลไนไตรท์ (polyacrylonitrile) ในอากาศที่อุณหภูมิ 200 ถึง 250 องศาเซลเซียส และ ในบรรยากาศเฉื่อย (inert atmosphere) ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดไฮโดรเจน ไนโตรเจนและออกซิเจน ให้เหลือแต่คาร์บอนอะตอมในการสร้างเส้นใยคาร์บอน³¹ เดือยฟันเสริมเส้น ใยคาร์บอนมีสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ สามารถเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี (biocompatibility) มีความ ต้านทานการกัดกร่อน (corrosion resistance)³² ง่ายต่อการรีไซเคิลเดือยฟันออกเพื่อการบูรณะซ้ำ มีค่า ความแข็งแรงดัดโค้งสูง (flexural strength)³³ ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน²⁹ จึง ลดโอกาสในการเกิดการแตกของรากฟัน โดยพบว่าการแตกหักของเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนจะ เกิดบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟัน ทำให้สามารถบูรณะซ้ำได้ แต่ข้อเสียของเดือยฟัน ชนิดนี้ คือ ไม่สวยงามเนื่องจากมีสีดำ โปร่งรังสี แต่ปัจจุบันได้มีการใส่สารแบเรียมซัลเฟตหรือซิลิเกต เข้าไปในเดือยฟันเพื่อให้ที่บร้งสี

ตัวอย่างเดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน ได้แก่ คอมโพสิตโพสต์ (Composipost) ซีเอฟ คาร์บอน ไฟเบอร์ โพสต์ (CF Carbon Fiber Post) เทค สองพัน (Tech 2000) เป็นต้น

1.2. เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว

เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วถูกทำจากเส้นใยแก้วหรือซิลิกา ชนิดที่นิยมมากที่สุดคือ อิเล็กทริกคอลลกลาส (electrical glass) หรือเรียกว่า อีกลาส (E-glass) ซึ่งส่วนประกอบหลักคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ประมาณร้อยละ 50-70 นอกนั้นเป็นแคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) โบรอนออกไซด์ (boron oxide) อะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) และ ออกไซด์ของโลหะอัลคาไล (alkali) เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วบางชนิดอาจใช้เส้นใยแก้วความแข็งแรง สูงหรือเรียกว่า เอสกลาส (S-glass) เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ความสวยงาม เนื่องจากโปรงแสง³⁴ สามารถนำแสงได้^{35, 36} ทำให้เมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ชนิดบ่มด้วยแสงและ ตัวเองหรือชนิดบ่มด้วยแสง จะส่งผลให้เรซินซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ มีค่ามอดุลัสของ

สภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้ลดโอกาสเกิดการแตกหักของรากฟันและเป็นการแตกหักที่สามารถบูรณะได้^{28, 37} จากการศึกษาของ Kivanc และคณะ³⁸ พบว่าฟันหน้าที่ผ่านการรักษารากฟันเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วจะให้ค่าแรงที่ทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเซอรโคเนียหรือไทเทเนียม

ตัวอย่างเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว ได้แก่ เอฟอาร์ซี โปสท์เทค พลัส (FRC Postec Plus) รีไลเอ็กซ์ (RelyX) จีซี ไฟเบอร์ โปสท์ (GC Fiber Post) เดนทีน โปสท์ เอ็กซ์ (Dentin Post X) สโนว์ โปสท์ (Snow Post) อีซี โปสท์ (Easy Post) เป็นต้น

1.3. เดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์

เดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ทำมาจากซิลิกาบริสุทธิ์ที่มีลักษณะเป็นคริสตัล (crystallized form) มีสีขาวซึ่งมีสีใกล้เคียงกับสีเนื้อฟัน สามารถนำแสงได้เช่นเดียวกับเดือยฟันเส้นใยแก้ว^{35, 36} ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อฟัน และฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์มีค่าแรงต้านทานการแตกหักสูงกว่าเดือยฟันเส้นใยแก้ว เดือยฟันเซรามิกและเดือยฟันไททาเนียมตามลำดับ²⁶

ตัวอย่างเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ ได้แก่ ดีที ไลท์ โปสท์ (D.T. Light Post) เอสทีพี-พลัส (Aestheti-Plus) แมโครล็อก อิลลูชัน โปสท์ (Macrolock Illusion Post) เป็นต้น

1.4. เดือยฟันเสริมเส้นใยพอลิเอทิลีน

เส้นใยพอลิเอทิลีนมีความแข็งแรง ความทนต่อการแตกหัก (fracture toughness) และความต้านทานต่อสารเคมี (chemical resistance) สูงกว่าเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว³⁹ แต่เส้นใยชนิดนี้มีความสามารถในการเปื่อยไม่ตี พลังงานพื้นผิวต่ำจึงต้องมีการปรับสภาพผิวเส้นใยด้วยแก๊สพลาสมาเย็น (cold gas plasmas) เพื่อเพิ่มการยึดติดกับอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ มีการพัฒนาเส้นใยพอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือเรียกว่าริบบอนด์ (Ribbond) ซึ่งเส้นใยริบบอนด์มีความแข็งแรงสูงและเพิ่มสมบัติดัดโค้งของเรซินคอมโพสิต จึงมีความสามารถในการต้านทานการแตกหักที่สูง⁴⁰ เมื่อนำเส้นใยพอลิเอทิลีนมาบูรณะฟันที่ผ่านการรักษารากฟันร่วมกับเรซินคอมโพสิต พบว่าเส้นใยพอลิเอทิลีนให้การยึดติดเชิงกลที่ดีกับเรซินคอมโพสิต เพิ่มความต้านทานการแตกหักของวัสดุบูรณะขนาดใหญ่และสวยงาม⁴¹ จากการศึกษาของ Eskitascioglu และคณะ⁴² พบว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยพอลิเอทิลีนมีการกระจายแรงไปที่คอฟันและกระดูกรองรับฟัน ในขณะที่เดือยฟันโลหะเหวี่ยงแรงจะสะสมที่ส่วนปลายของรากฟันและในเดือยฟัน ดังนั้นการใช้เส้นใยพอลิเอทิลีนร่วมกับเรซินคอมโพสิตจึงมีการแตกหักในแนวตั้งของรากฟันน้อยกว่าการใช้เดือยฟันโลหะเหวี่ยงอย่างมีนัยสำคัญ⁴³ นอกจากนี้ Turker และคณะ⁴⁴ ได้ติดตามผลการบูรณะฟันจำนวน 42 ซี่ ด้วยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

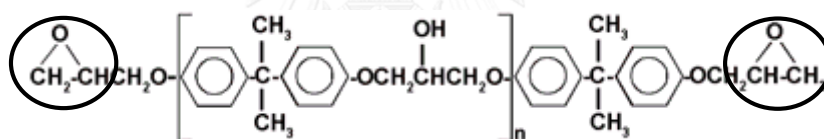
พอลิเอทิลีนร่วมกับครอบฟันเซรามิกเป็นระยะเวลา 6 ปี พบว่ามีการหลุดเพียง 1 ซี่ แสดงให้เห็นถึงอัตราความสำเร็จที่สูง

2. เมทริกซ์

เป็นส่วนที่อยู่รอบๆเส้นใยเพื่อให้เส้นใยอยู่ในตำแหน่ง มีหน้าที่ช่วยส่งผ่านแรงระหว่างเส้นใย และเป็นส่วนที่ป้องกันเส้นใยจากสารเคมี ความชื้นและการเสื่อมสลายทางกล (mechanical degradation)³⁰ ในเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ส่วนของเมทริกซ์ทำมาจากวัสดุเรซินชนิดต่างๆ ได้แก่

2.1. อีพอกซีเรซิน

สารตั้งต้นของอีพอกซีเรซิน คือ ไดโกลซิไดว อีเทอร์ ของบิสฟีนอลเอ (diglycidyl ether of bisphenol A) หรือเรียกว่า ดีจีอีบีเอ (DGEBA) ซึ่งเป็นเรซินเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ปลายทั้งสองข้างของโมเลกุลประกอบด้วยกลุ่มอีพอกไซด์ (epoxide group) ซึ่งมีออกซิเจน 1 อะตอม จับกับคาร์บอน 2 อะตอม ในลักษณะเป็นวงแหวน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไดโกลซิไดว อีเทอร์ ของบิสฟีนอลเอ

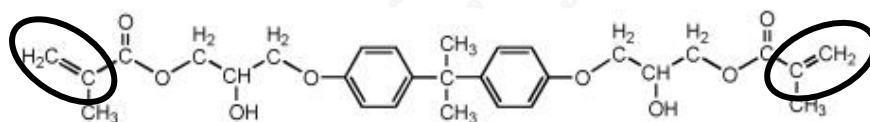
การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization reaction) เริ่มจากการเติมสารบ่มตัว (curing agent) เช่น ไดเอทิลีน ไตรอะมีน (diethylene triamine, DETA) เข้าไปในเรซินเหลว ซึ่งไฮโดรเจนอะตอมในกลุ่มเอมีน (amine group) ของดีอีทีเอ จะไปทำปฏิกิริยากับกลุ่มอีพอกไซด์ของดีจีอีบีเอ ทำให้โมเลกุลของดีจีอีบีเอสามารถสร้างโครงร่างตาข่ายระหว่างกัน เกิดเป็นโครงร่างสามมิติและเปลี่ยนจากเรซินเหลวเป็นแข็ง คุณสมบัติของอีพอกซีเรซินจะขึ้นกับปริมาณความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้น ถ้าปริมาณความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายมาก จะส่งผลให้ค่ามอดูลัสแรงดึง (tensile modulus) อุณหภูมิการเปลี่ยนผ่านสภาพแก้ว (glass transition temperature) ความเสถียรต่ออุณหภูมิ (thermal stability) และความต้านทานต่อสารเคมีดีขึ้น แต่ความทนต่อการแตกหักจะลดลง ซึ่งปัจจัยที่ควบคุมความหนาแน่นของโครงร่างตาข่าย ได้แก่ สูตรโครงสร้างของเรซินเหลวตั้งต้น เช่น จำนวนกลุ่มอีพอกไซด์ต่อโมเลกุล ช่องว่างระหว่างอีพอกไซด์ การ

ทำหน้าที่ของสารบ่มตัว เช่น จำนวนไฮโดรเจนอะตอมในดีไอทีเอที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ และสภาพการเกิดปฏิกิริยา เช่น อุณหภูมิ เวลา³⁰

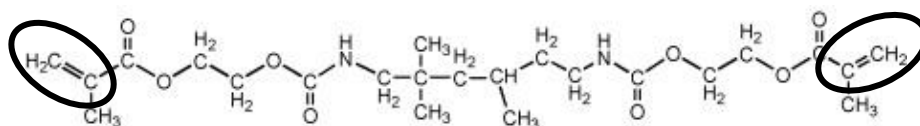
อีพอกซีเมทริกซ์เป็นเทอร์โมเซตเมทริกซ์ (thermoset matrix) ซึ่งคงรูปภายหลังจากการเกิดปฏิกิริยาโดยโมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นโครงร่างตาข่ายจับกันแน่น แรงแย้มเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมาก จึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้ อีพอกซีเมทริกซ์มีข้อดีกว่าเทอร์โมเซตเมทริกซ์ตัวอื่นๆ คือ มีคุณสมบัติหลากหลาย ไม่มีสารระเหยระหว่างเกิดการบ่มตัว การหดตัวต่ำ ต้านทานต่อสารเคมีและสารละลายดีมาก สามารถยึดติดกับฟิลเลอร์ เส้นใย หรือสารอื่นๆ ได้ดีมาก แต่ข้อเสียคือราคาแพงและใช้เวลาในการบ่มตัวนาน³⁰

2.2. ไดเมทาคริเลตเรซิน

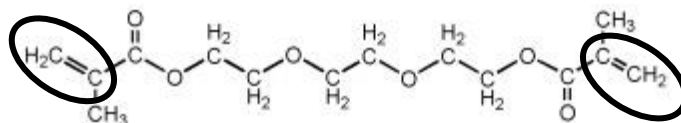
เป็นเมทริกซ์ที่มีองค์ประกอบเช่นเดียวกับเรซินคอมโพสิตที่ใช้ในการบูรณะฟัน โดยทั่วไปส่วนเมทริกซ์จะเป็นไดเมทาคริเลต โมโนเมอร์ (dimethacrylate monomers) ที่มีส่วนปลายของโมเลกุลทั้งสองข้างเป็นพันธะคู่ (double bond) ของคาร์บอน เพื่อที่จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแล้วเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย เช่น บิส-ไกลซิديلไดเมทาคริเลต (Bis-glycidyl dimethacrylate, Bis-GMA) (รูปที่ 2) ยูรีเทน ไดเมทาคริเลต (Urethane dimethacrylate, UDMA) (รูปที่ 3) ไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต (Triethylene glycol dimethacrylate, TEGDMA) (รูปที่ 4)



รูปที่ 2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของบิส-ไกลซิديلเมทาคริเลต



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของยูรีเทน ไดเมทาคริเลต



รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต

ส่วนใหญ่แล้วจะใช้บิส-ไกลซิเดิล ไดเมทาคริเลตเป็นโมโนเมอร์ในส่วนเมทริกซ์ของเรซินคอมโพสิต แต่เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลมาก โครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก (aromatic ring) อยู่ในโมเลกุล สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและการเคลื่อนตัวของโมเลกุลน้อย ซึ่งมีผลทำให้โมโนเมอร์ชนิดนี้มีความหนืดสูงและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันยาก จึงได้มีการเติมโมโนเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย เข้าไปในส่วนเมทริกซ์ เช่น ไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลต เพื่อให้วัสดุมีความหนืดลดลง ต่อมาภายหลังได้มีการนำยูริเทน ไดเมทาคริเลตมาใช้เป็นเมทริกซ์แทนบิส-ไกลซิเดิล ไดเมทาคริเลต เนื่องจากโมโนเมอร์ชนิดนี้มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่เปิด (aliphatic monomer) ทำให้ความหนืดน้อยกว่าบิส-ไกลซิเดิล ไดเมทาคริเลต และสายพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ดีกว่า จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันและปริมาณการเกิดโครงร่างตาข่ายในเมทริกซ์มากขึ้น ดังนั้นชนิดของโมโนเมอร์ จึงมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ความหนืด และการหดตัวภายหลังการเกิดปฏิกิริยา (polymerization shrinkage) รวมถึงมีผลต่อคุณสมบัติทางกล การดูดน้ำ และการบวมน้ำ⁴⁵

2.3. เซมิไอพีเอ็นเรซินเมทริกซ์

พบได้ในเดือยฟันยี่ห้อเอเวอร์สติก (Everstick) เดือยฟันชนิดนี้ประกอบด้วยเส้นใยแก้วและส่วนเมทริกซ์ประกอบด้วย บิส-ไกลซิเดิล ไดเมทาคริเลต เป็นส่วนโครงร่างตาข่ายและพอลิเมทิลเมทาคริเลต (polymethyl methacrylate) ที่มีรูปร่างเป็นสายตรง (linear) ทำให้โมโนเมอร์ของสารบอนด์ดิงที่มีค่าการละลาย (solubility parameters) เท่าหรือใกล้เคียงกับค่าการละลายของพอลิเมทิลเมทาคริเลต สามารถแทรกซึมเข้าไปในพอลิเมทิลเมทาคริเลตและเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค จากการศึกษาก่อนของ Mannocci และคณะ⁴⁶ พบว่า บิส-ไกลซิเดิล ไดเมทาคริเลต ไตรเอทิลีน ไกลคอล ไดเมทาคริเลตและไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (hydroxyethylmethacrylate, HEMA) สามารถแทรกเข้าไปในโครงร่างของเดือยฟันยี่ห้อเอเวอร์สติก ในขณะที่ไม่พบการแทรกซึมเข้าไปในเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี

เดือยฟันยี่ห้อเอเวอร์สติก (Everstick) สามารถทนต่อแรงดัดโค้งสูงกว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยยี่ห้อสโนว์ โพสต์ (Snow Post) คาร์โบโพสต์ (Carbopost) พาราโพสต์ (Parapost) ซี-โพสต์ (C-post) กลาสซิก (Glassix) และคาร์บอนไนท์ (Carbonite)⁴⁷ แต่ต่ำกว่ายี่ห้อจีซีไฟเบอร์ โพสต์⁴⁸ นอกจากนี้เดือยฟันชนิดนี้ให้ค่าความแข็งแรงยึดแบบผลึก⁴⁹ และค่าความแข็งแรงดึง

ระดับจุลภาค⁵⁰ มากกว่าเดือยฟันที่มีส่วนเมทริกซ์เป็นโครงร่างตาข่ายและไม่พบความล้มเหลวชนิดยึดอยู่ (adhesive failure) ระหว่างเดือยฟันยี่ห้อเอเวอร์สติกกับเรซินซีเมนต์^{48, 51}

จากการทบทวนวรรณกรรมปริทัศน์ พบว่าปัญหาส่วนใหญ่ของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย คือ การหลุดของเดือยฟัน⁴⁻⁶ เนื่องจากผิวเดือยฟันเรียบและผิวด้านนอกมีองค์ประกอบเป็นอีพอกซีหรือไดเมทาคริเลต ซึ่งมีปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสูง (high degree of conversion) และมีการเชื่อมต่อเป็นโครงร่างตาข่าย ทำให้ไม่มีกลุ่มทำงาน (functional groups) ที่จะทำปฏิกิริยากับเรซินคอมโพสิต จึงไม่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้^{8, 46, 52} จากหลายการศึกษา^{6, 53-55} พบว่าการหลุดของเดือยฟันส่วนใหญ่จะเกิดที่ชั้นรอยต่อระหว่างเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน เนื่องจากการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเนื้อฟันส่วนรากฟันจะมีค่าน้อยกว่าส่วนตัวฟัน ซึ่งอาจเป็นผลจากข้อจำกัดในการมองเห็น ลักษณะทางกายวิภาคและปัจจัยด้านรูปร่าง (configuration factor) ในคลองรากฟันมีค่าสูง³⁴ อย่างไรก็ตาม Ferrari และคณะ⁵⁶ พบว่าค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตมีค่าน้อยกว่าระหว่างแกนฟันเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟัน ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตด้วย หากการยึดติดที่ผิวสัมผัสไม่ดี ก็จะทำให้เกิดการหลุดหรือแตกหักของเดือยฟันหรือแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงสภาพผิวเดือยฟัน เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันเรซินคอมโพสิต

การปรับปรุงสภาพพื้นผิวเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย

สามารถแบ่งตามกลไกการยึดติดออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การปรับปรุงสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี การปรับปรุงสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกล การปรับปรุงสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและเคมี

1. การปรับปรุงสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางเคมี

1.1 สารคู่ควบไซเลน

การปรับปรุงสภาพผิวเดือยฟันด้วยการทาไซเลน ให้ความแข็งแรงพันธะ (bond strength) ระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์หรือแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงขึ้นไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁵⁷⁻⁶³ อาจเนื่องมาจากโครงสร้างโมเลกุลของไซเลนมีหมู่ทำหน้าที่สองปลาย โดยปลายด้านหนึ่งจะมีหมู่ทำหน้าที่ เช่น หมู่ไวนิล (vinyl) หมู่อัลลิล (allyl) หมู่อะมิโน (amino) หมู่ไอโซไซนาโต (isocyanato) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์กับสารอินทรีย์ (organic

function part) เช่น เมทาคริเลตหรือไดเมทาคริเลตในวัสดุอุดฟันเรซินคอมโพสิต ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะมีหมู่แอลคอกซี (alkoxy) ซึ่งอาจเป็นเมทอกซี (methoxy) หรือ เอทอกซี (ethoxy) ซึ่งสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์กับสารอนินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล เช่น เส้นใยแก้ว เส้นใยควอตซ์⁶⁴ นอกจากนี้ไซเลนเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ จึงสามารถเพิ่มความสามารถในการเปียกของผิวเดือยฟันได้ ทำให้เรซินซีเมนต์หรือวัสดุอุดฟันเรซินคอมโพสิตสามารถไหลแผ่ไปตามผิวเดือยฟันได้ดีขึ้น จึงเกิดความแนบสนิทระหว่างผิวสัมผัส ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ความแข็งแรงระหว่างพันธะสูงขึ้น อย่างไรก็ตามบางการศึกษา^{65, 66} พบว่าไซเลนไม่ช่วยเพิ่มแรงยึดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ เนื่องจากไซเลนไม่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยแก้วหรือควอตซ์ในเดือยฟันได้ เพราะเส้นใยเหล่านี้ถูกปกคลุมด้วยเรซินเมทริกซ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันก่อนทาไซเลนเพื่อให้เกิดการเปียกพื้นผิวของเส้นใยที่จะทำปฏิกิริยากับไซเลนได้

1.2 สารบอนด์ดิง

การทำสารบอนด์ดิงและการทาไซเลนร่วมกับสารบอนด์ดิงบนเดือยฟันเสริมเส้นใย สามารถเพิ่มความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต⁶⁷ และชนิดของสารบอนด์ดิงมีผลต่อค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต⁶⁸ บางบริษัทได้นำไซเลนมาผสมในสารบอนด์ดิงซึ่งมีโมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด ทำให้หมู่แอลคอกซีของไซเลนถูกแยกสลายด้วยน้ำเกิดเป็นหมู่ซิลานอล (silanol) ซึ่งสามารถเกิดพันธะซิลอกเซน (siloxane bond) กับซิลิกา จากการศึกษาของ Aksornmuang และคณะ⁵⁷ พบว่าสารบอนด์ดิงที่ผสมไซเลนสามารถเพิ่มความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการศึกษาของ Ferrari และคณะ⁵⁶ พบว่าชนิดของสารบอนด์ดิงมีผลต่อการยึดติดระหว่างแกนฟันเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟัน แต่ไม่มีผลต่อการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม Leme และคณะ⁶² พบว่าสารบอนด์ดิงไม่ได้ช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วยไซเลนแล้ว

1.3 การฉายรังสียูวี (UV irradiation)

รังสียูวีถูกนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการยึดติดของสารเคลือบ ความสามารถในการเปียกและความสามารถในการพิมพ์ของพอลิเมอร์ เนื่องจากรังสียูวีสามารถเปลี่ยนรูปร่างและสมบัติทางเคมีของผิวพอลิเมอร์ โดยโปรตอนในรังสียูวี สามารถทำลายพันธะโมเลกุล ทำให้เกิดอนุมูลอิสระซึ่งจะสามารถไปทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ จึงมีการนำรังสียูวีมาปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน จากการศึกษาของ Zhong และคณะ⁶⁹ พบว่าการฉายรังสียูวีความเข้มข้น

ต่ำ ที่ระยะทาง 10 เซนติเมตร นาน 10 นาที และยูวีความเข้มข้นสูง ที่ระยะทาง 1 เซนติเมตร นาน 3 นาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซีกับเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากรังสียูวีสามารถเพิ่มพลังงานผิว (surface energy) ความเป็นขั้ว (polarity) และความสามารถในการเปียก ซึ่งมีผลในการลดลงของมุมสัมผัส (contact angle) ของอีพอกซี นอกจากนี้โปรตอนที่มีความยาวคลื่นสั้นต่ำกว่าช่วง 350 นาโนเมตร มีพลังงานสูงพอที่จะทำลายพันธะเคมีบนผิวอีพอกซี⁷⁰ จึงอาจทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างอีพอกซีกับเรซินซีเมนต์

2. การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกล

2.1 การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน

เพื่อให้ผิวเดือยฟันขรุขระ เกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค (micro-mechanical bond)⁷¹ จากการศึกษาของ Güler และคณะ⁷² พบว่าการแช่เดือยฟันในกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 5 และ 9.6 นาน 2 นาที หรือกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 3 นาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่เดือยฟันในกรดนานขึ้น อาจทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) ของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยได้ จากการศึกษาของ สราลี¹¹ พบว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี เมื่อถูกปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 5 นาที ให้ค่าความแข็งแรงยึดแบบผลัดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที แต่เมื่อแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 35 พบว่าค่าความแข็งแรงยึดแบบผลัดต่ำกว่ากลุ่มควบคุมมาก เนื่องจากอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ถูกละลายออกไปมาก ทำให้ส่วนผิวของเส้นใยเผยออกมา แต่เรซินไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปเติมเต็มส่วนอีพอกซีที่ถูกละลายออกไป ทำให้เกิดช่องว่างในเดือยฟัน ค่าความแข็งแรงยึดจึงลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Elsaka และคณะ⁷³ พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นเมทาคริเลตด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 และเมทิลีนคลอไรด์ (methylene chloride) นาน 5 และ 10 นาที ให้ค่าความแข็งแรงยึดแบบผลัดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพและกลุ่มที่ทาไฮเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปัญหาของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือการตกค้างของอนุมูลอิสระของออกซิเจน (free oxygen radicals) ในรูพรุนขนาดเล็กบนผิวเดือยฟัน

เนื่องจากการสลายตัวของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถขัดขวางการยึดติดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต ดังนั้น Khamverdi และคณะ⁷⁴ ทดลองนำสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant agents) มาแช่เดือยฟันที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้ไอเล็กตรอนแก่ออนุมูลอิสระของออกซิเจน ทำให้อนุมูลอิสระของออกซิเจนเป็นกลาง พบว่าการแช่เดือยฟันที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที ในสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 5 นาที เอทานอล (ethanol) ความเข้มข้นร้อยละ 70 นาน 5 นาที และอะซิโตน (acetone) ความเข้มข้นร้อยละ 70 นาน 5 นาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มที่แช่อะซิโตนให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคมากกว่ากลุ่มที่แช่กรดแอสคอร์บิกและเอทานอล

2.2 การเป่าผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคขนาดเล็ก

การพ่นผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์ หรือผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์ซึ่งเคลือบด้วยผลึกซิลิกาบนเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย เพื่อให้ผิวเดือยฟันเกิดความขรุขระและเพิ่มการยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์^{75, 76} และแกนฟันเรซินคอมโพสิต^{61, 77} แต่จากการศึกษาของ Soares และคณะ⁷⁸ พบว่าการพ่นผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน แรงดัน 2 บาร์ ห่างจากผิวเดือยฟัน 10 มิลลิเมตร นาน 10 วินาที ทำให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและเรซินซีเมนต์ลดลงและเกิดการแตกหักของเส้นใยและส่วนเมทริกซ์หลุดลอกออก นอกจากนี้การศึกษาของพิศเพลินและคณะ¹² พบว่าการพ่นผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ที่ความดัน 2.5 บรรยากาศ ห่างจากเดือยฟันประมาณ 15 มิลลิเมตร นาน 10 วินาที ทำให้มีการแตกหักหรือหลุดของเส้นใยควอตซ์และอีพอกซีเรซินเมทริกซ์เป็นบริเวณกว้าง เกิดแอ่งลึกประมาณ 50 ไมครอน ซึ่งอาจมีผลต่อรูปร่างและความแนบสนิทของเดือยฟันกับคลองรากฟัน⁷⁹ ดังนั้นผลของการเป่าผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคขนาดเล็กจึงขึ้นกับขนาดของอนุภาค เวลาที่ใช้ แรงดันและระยะห่างจากผิวเดือยฟัน โดยมีการศึกษาแนะนำให้ใช้ผลึกอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน นาน 5 วินาที ห่างจากเดือยฟันประมาณ 30 มิลลิเมตร ที่ความดัน 2.5 บรรยากาศ เพราะไม่ทำให้รูปร่างเดือยฟันเปลี่ยนแปลง แต่ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและการยึดอยู่เชิงกลระดับจุลภาค⁸⁰

3. การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มการยึดติดทางกลและเคมี

3.1 การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันและทาไซเลน

การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟัน เพื่อให้ผิวเดือยฟันเกิดความขรุขระ และละลายส่วนของเมทริกซ์ออก เพื่อเผยพื้นผิวของเส้นใยทำให้เกิดพันธะเคมีกับสารคู่ควบไซเลน ได้^{9, 10, 81, 82}

สารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต (potassium permanganate) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมเพื่อละลายอีพอกซีเรซินในแผ่นโลหะของแผงวงจรไฟฟ้า จึงมีการนำสารละลายโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตมาปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี พบว่าให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^{81, 83} เช่นเดียวกับการใช้โซเดียมเอทอกไซด์ (sodium ethoxide) ความเข้มข้นร้อยละ 21 นาน 20 นาที⁸⁴ ในขณะที่การใช้เมทิลีนคลอไรด์^{82, 85} นาน 5 วินาที พบว่าไม่สามารถละลายอีพอกซีเรซินเมทริกซ์และเผยพื้นผิวของเส้นใย อย่างไรก็ตามสารเคมีทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ไม่ได้ใช้ทั่วไปทางทันตกรรม มีขั้นตอนการเตรียมที่ยุ่งยาก และใช้เวลาในคลินิกนาน จึงไม่เป็นที่นิยม

กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid) หรือกรดกัดแก้ว ถูกนำมาใช้ในการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้ว ซึ่งผลของกรดชนิดนี้ขึ้นกับระยะเวลาและความเข้มข้นของกรด การศึกษาของ D'Arcangelo และคณะ⁸⁶ พบว่าการแช่เดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ในกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 9.5 นาน 15 วินาที สามารถเพิ่มการยึดอยู่ของเดือยฟันในคลองรากฟันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่มีผลต่อความแข็งแรงดัดโค้งและค่ามอดูลัสของเดือยฟัน⁸⁷ นอกจากนี้ Vano และคณะ⁹ พบว่าเมื่อปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 60 นาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้ แต่กรดจะทำให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็กหรือเกิดการแตกหักตามแนวยาวของชั้นเส้นใยได้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของศิริพรและคณะ⁸⁸ พบว่าการแช่เดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ในกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 4 นาน 15 วินาที ทำให้ชั้นของอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ถูกกำจัดออกไปเกือบหมดและพบรอยแตกบนเส้นใยเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการแช่นานขึ้นอีพอกซีเรซินเมทริกซ์จะถูกละลายออกหมดและเกิดรอยแตกบนเส้นใยมากขึ้น

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นของเหลวที่ไม่มีสี มีรสขม ไม่คงตัว สามารถปลดปล่อยออกซิเจนได้ ส่วนใหญ่ผลิตอยู่ในรูปสารละลายความเข้มข้นร้อยละ 3-90 ซึ่งสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30-35 ถูกนำมาใช้ในการฟอกสีฟันในคลินิก⁸⁹ จาก

การศึกษาของ Vano และคณะ⁹ และ Monticelli และคณะ¹⁰ แนะนำให้แช่เตี๋ยพื้นเสริมเส้นใยในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที และร้อยละ 24 นาน 10 นาที เนื่องจากทำให้เกิดการละลายของส่วนเมทริกซ์ ผิวน้ำของเส้นใยโดยไม่ทำลายเส้นใย นอกจากนี้ Mosharraf และคณะ⁹⁰ พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 นาน 20 นาที ร่วมกับทาโซเลนให้ความแข็งแรงดีระหว่างเตี๋ยพื้นและเรซินซีเมนต์มากกว่าการทาโซเลนและการเป่าทรายร่วมกับทาโซเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ดังกล่าว ต้องใช้เวลาทำงานทางคลินิกนาน จึงมีหลายการศึกษาพยายามลดเวลาในการปรับสภาพผิวเตี๋ยพื้นลง โดยการปรับความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้สูงขึ้น จากการศึกษาของสุชาติ¹³ พบว่าการบุงนระพื้นทีร้กษาคลองรากพื้นแล้วด้วยเตี๋ยพื้นเสริมเส้นใยควอดซ์ทีผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีและร้อยละ 30 นาน 5 นาที ให้ค่าแรงทีทำให้เกิดการแตกหักสูงกว่กลุ่มทีไม่ปรับสภาพผิวเตี๋ยพื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เมื่อบุงนระด้วยเตี๋ยพื้นซึ่งแช่ในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 5 นาที มีค่าแรงทีทำให้เกิดการแตกหักลดลง อาจเนื่องมาจากอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ถูกละลายออกมามากเกินไป ทำให้เส้นใยบางส่วนที่อยู่บริเวณผิวเตี๋ยพื้นหลุดออกและส่วนของเรซินคอมโพสิตไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปเติมเต็มช่องว่างได้ทั้งหมด

นอกจากนี้มีการนำสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาด (chemical cleaning agents) ได้แก่ กรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้นร้อยละ 10 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 อะซีโตน ไดคลอโรมีเทน (dichloromethane) เอทานอล ไอโซโพรพานอล (isopropanol) และเตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran) มาทาที่พื้นผิวเตี๋ยพื้นเสริมเส้นใยแก้วทีมีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซีด้วยฟู่กันขนาดเล็คนาน 60 วินาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงยี้ระหว่างเตี๋ยพื้นกับเรซินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไดคลอโรมีเทนให้ความแข็งแรงยี้มากกว่ากรดไฮโดรฟลูออริกและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁹¹

3.2 การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเตี๋ยพื้นและทาสารบอนด์ดีง

Mosharraf และคณะ⁶¹ พบว่าเมื่อใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที ในการปรับสภาพผิวเตี๋ยพื้นเสริมเส้นใยแก้วจะให้ความแข็งแรงยี้ดน้อยกว่าการทาโซเลนและการเป่าทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่การศึกษาของ Khamverdi และคณะ⁹² พบว่าความแข็งแรงยี้ดของเตี๋ยพื้นเสริมเส้นใยควอดซ์ทีถูกปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที สูงกว่การเป่าทราย

3.3 การใช้สารเคมีปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันร่วมกับการทาไฮเลนและสารบอนด์ดิ้ง

จากการศึกษา Menezes และคณะ¹⁴ พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 24 และ 50 นาน 15 และ 10 นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิวเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคในเดือยฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และความเข้มข้นดังกล่าวไม่ทำให้เส้นใยเสียหาย ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของพิศเพลินและคณะ¹² พบว่าเมื่อใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 และ 5 นาที จะทำให้อีพอกซีเรซินเมทริกซ์มีการละลายมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 10 นาที จะทำให้อีพอกซีเรซินเมทริกซ์ถูกทำลายมากเกินไป มีการแตกหักของอีพอกซีเรซินเมทริกซ์ในชั้นที่ลึกลงไป และเส้นใยควอตซ์บางส่วนหลุดออกจากเดือยฟัน นอกจากนี้ Braga และคณะ⁹³ พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 10 นาที และร้อยละ 24 นาน 1 นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิวเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของเดือยฟัน สอดคล้องกับ Menezes และคณะ¹⁶ พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 และ 35 นาน 1 นาที ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิวเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4 การเป่าพื้นผิวเดือยฟันด้วยอนุภาคขนาดเล็กและทาไฮเลน

ได้แก่ ระบบโคเจ็ต (Co-jet system) เป็นการปรับสภาพผิวเดือยฟันโดยการพ่นอนุภาคอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ถูกเคลือบด้วยซิลิกาขนาด 30 ไมครอน ด้วยแรงดัน 2.8 บรรยากาศที่ระยะห่าง 10 มิลลิเมตร นาน 15 วินาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์^{94, 95} และแกนฟันเรซินคอมโพสิต⁹⁶ Rödiger และคณะ⁹⁷ พบว่าเมื่อปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยระบบโคเจ็ต เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตให้ความแข็งแรงยึดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตมากกว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นผลมาจากส่วนประกอบทางเคมีของเส้นใยและเมทริกซ์แตกต่างกัน แต่จากการศึกษาของ Sahafi และคณะ^{98, 99} พบว่าระบบโคเจ็ตสามารถเพิ่มการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ได้ดี แต่อาจทำให้รูปร่างของผิวเดือยฟันเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะมีผลต่อความแนบของเดือยฟันกับผนังคลองรากฟัน นอกจากนี้ Cekic-Nagas และคณะ¹⁰⁰ พบว่าปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกและการพ่นผงอะลูมินาเพิ่มความแข็งแรงยึดของเดือยฟัน

เสริมเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Radovic และคณะ¹⁰¹ ได้นำเดือยฟันมาเคลือบผิวด้วย เซอร์โคเนียมออกไซด์ตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต พบว่าให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือย ฟันกับเรซินซีเมนต์สูงชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.5 การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยพลาสมา

พลาสมา คือ แก๊สที่มีสภาพเป็นไอออน ประกอบด้วยอนุภาคที่มีทั้งประจุบวกและ ประจุลบ เมื่อพลาสมาสัมผัสผิวของพอลิเมอร์ จะเกิดการสลายสายโซ่พอลิเมอร์และเกิดอนุมูล อิสระ (free radical) จากการศึกษาของ Yavirach และคณะ⁵² ได้นำเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่มี ส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไตรเมทาคริเลตและเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็น อีพอกซี มาปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาชนิดต่างๆ ได้แก่ ออกซิเจน อากอน ไนโตรเจน และส่วนผสม ระหว่างฮีเลียมร้อยละ 20 และไนโตรเจนร้อยละ 80 พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาทุกชนิดทำ ให้ค่าความแข็งแรงดึงและเฉือน (tensile-shear bond strength) ระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใย แก้วและแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในกลุ่มเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ พบว่าเฉพาะพลาสมาชนิดออกซิเจนที่มีค่าไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม อาจเนื่องมาจากเดือยฟันเสริม เส้นใยควอตซ์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี มีโครงสร้างตาข่ายจำนวนมาก ทำให้ยากแก่การ ถูกทำลายด้วยออกซิเจน จึงยากต่อการเกิดการยึดติดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ในขณะที่ผิวเดือยฟัน เสริมเส้นใยแก้วที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไตรเมทาคริเลตเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกับส่วน โมโนเมอร์ของแกนฟันเรซินคอมโพสิต ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างกลุ่มทำงานและอนุมูลอิสระของ ทั้งสองวัสดุ จึงทำให้มีกำลังแรงดึงและเฉือนสูงกว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่มีส่วนประกอบ พื้นฐานเป็นอีพอกซี และเกิดความล้มเหลวแบบผสม โดยมีการเผยผิงและหลุดลอกของเส้นใยแก้ว จากเดือยฟัน และพลาสมาชนิดอากอนทำให้ผิวเดือยฟันมีความขรุขระชันอย่างมีนัยสำคัญ Costa Dantas และคณะ¹⁰² ได้ศึกษามุมสัมผัส (contact angle) ระหว่างผิวเดือยฟันที่ถูกปรับสภาพ ผิวด้วยวิธีการต่างๆกับน้ำ พบว่าการปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาชนิดอากอน ทำให้ผิวของเดือยฟัน มีความชอบน้ำ (hydrophilic surface) มากที่สุด รองลงมาคือ การทาไฮเลน และการใช้กรด ไฮโดรฟลูออริกกับการทาไฮเลน ส่วนพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic surface) พบในการปรับ สภาพผิวด้วยพลาสมาชนิดเอทิลีนไดอะมีน (ethylenediamine plasma) และกรดไฮโดรฟลูออริก เมื่อวัดมุมสัมผัสระหว่างผิวเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ พบว่าพลาสมาชนิดอากอนและเอทิลีนไดอะมีน ให้มุมสัมผัสที่น้อย ตามด้วยการทาไฮเลน และการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกกับการทาไฮเลน นอกจากนี้เดือยฟันที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยพลาสมาชนิดเอทิลีนไดอะมีนให้ความแข็งแรงยึดแบบหลัก กับเรซินซีเมนต์สูงกว่ากลุ่มอื่นๆ และพื้นผิวเดือยฟันมีความหยาบมากเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด อย่างไรก็ตามการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยพลาสมาต้องใช้เวลาาน ราคาสูงและวัสดุอุปกรณ์หาได้ยาก

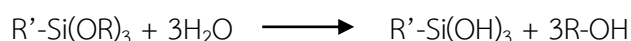
3.6 การใช้เลเซอร์

จากการศึกษาของ Arslan และคณะ¹⁰³ พบว่าการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ด้วยเลเซอร์ชนิดเออร์เปียมแย็ก (Er:YAG laser irradiation) ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดแบบปลั๊กระหว่างเดือยฟันกับผนังคลองรากฟัน และจากการศึกษาของ Kriznar และคณะ¹⁰⁴ พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยด้วยเลเซอร์ชนิดเออร์เปียมแย็กไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต แต่มีผลทำให้พื้นผิวเดือยฟันขรุขระมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตามการปรับสภาพผิวเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย ทำให้เสียเวลาในคลินิก เป็นขั้นตอนที่ยุ่งยากและไวต่อสิ่งกระตุ้น เนื่องจากตัวทำละลายของสารบอนด์ดึงระเหยไม่ดีหรือไฮเลนมีแนวโน้มที่จะสลายตัวตลอดเวลาและเกิดเป็นโอลิโกเมอร์ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของไฮเลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสลายตัวด้วยน้ำ (hydrolytic degradation) ของสารบอนด์ดึงบางตัวหรือไฮเลนที่ชอบน้ำเป็นสาเหตุให้การดูดน้ำของผิวสัมผัสเร็วขึ้น ทำให้โครงสร้างของเดือยฟันอ่อนแอลงทำให้บางบริษัทได้ผลิตเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่ได้รับการปรับสภาพผิวมาแล้วจากโรงงานผลิต เช่น ดีที ไลท์ เอสแอล (DT Light SL) ซึ่งเคลือบผิวเดือยฟันด้วยซิลิกาไฮเลน (silane-silicate coating) ทำให้เกิดการยึดติดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตที่ดี และชั้นนอกสุดเป็นพอลิเมอร์ (protective polymer layer) เพื่อป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้าไปยังเดือยฟัน

สารคู่ควบไฮเลน

ไฮเลนทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบที่ส่งเสริมการยึดติดระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ กลไกการเกิดปฏิกิริยา⁶⁴ เริ่มจากหมู่อัลคอกซี (OR) ของไฮเลนจะทำปฏิกิริยากับน้ำที่อยู่ในสารละลาย เกิดเป็นหมู่ไฮลันอล (Si-OH) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรดและแอลกอฮอล์ (R-OH) ดังสมการ



หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาควบนระหว่างโมเลกุลของไฮลันอล เกิดเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ไดเมอร์ ดังสมการ



เมื่อโมเลกุลของไดเมอร์เกิดปฏิกิริยาควบแน่นกันเอง จะเกิดเป็นไซลอกเซนออลิโกเมอร์ แต่ละโมเลกุลของไซลอกเซนออลิโกเมอร์อาจเกิดปฏิกิริยากันเองหรือเกิดพันธะไซลอกเซนกับสารอนินทรีย์ เช่น ซิลิกาออกไซด์ของโลหะ เส้นใยแก้วหรือควอตซ์ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของไซเลนที่เป็นหมู่เมทาคริเลตจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันกับเรซินคอมโพสิต

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไซเลน

1. รูปแบบไซเลน

ปัจจุบันไซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ ไซเลนระบบขวดเดียวซึ่งเป็นไซเลนที่ถูกสลายด้วยน้ำมาแล้ว และไซเลนระบบสองขวดซึ่งแยกไซเลนที่ยังไม่ผ่านกระบวนการสลายด้วยน้ำออกจากตัวเริ่มปฏิกิริยา จึงจำเป็นต้องผสมสารละลายทั้งสองขวดเข้าด้วยกันก่อนนำไปใช้งาน Suttiat และคณะ¹⁰⁵ พบว่าไซเลนระบบสองขวดให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าระบบขวดเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจากไซเลนระบบขวดเดียวมีโอกาสจับตัวกันเองระหว่างโมเลกุลกลายเป็นชั้นออลิโกเมอร์เคลือบบนผิวเดือยฟันได้มากกว่าไซเลนระบบสองขวดชั้นไซเลนที่หนาอาจทำให้เกิดการแตกหักภายในชั้นไซเลนเมื่อได้รับแรงกระทำได้ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Novais และคณะ¹⁰⁶ แต่จากการศึกษาของ Monticelli และคณะ¹⁰⁷ พบว่าไซเลนระบบขวดเดียวให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าระบบสองขวดเมื่อเป่าแห้งที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเป่าด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ทั้งสองระบบให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้รูปแบบไซเลนมีผลต่อการเก็บรักษา โดยไซเลนระบบขวดเดียวจะมีระยะเวลาในการเก็บที่จำกัด เนื่องจากโมเลกุลของไซเลนจะเกิดการจับตัวเป็นออลิโกเมอร์^{107, 108} และเมื่อใช้งานจะเกิดชั้นไซเลนที่หนามากกว่าปกติ ดังนั้นจึงมีการเติมกรดอะซิติกลงในสารละลายไซเลนเพื่อปรับสภาพให้มีความเป็นกรดต่างให้เหมาะสม เพื่อป้องกันการจับตัวของไซเลนที่ถูกสลายด้วยน้ำแล้ว

2. ความเป็นกรดต่าง

อัตราการควบแน่นระหว่างหมู่ไซลานอลของโมเลกุลไซเลนไปเป็นออลิโกเมอร์จะมีค่าต่ำสุดที่ค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายเท่ากับ 4 จึงมีการเติมกรดอะซิติกลงในสารละลายไซเลน เพื่อปรับสภาพให้มีความเป็นกรดต่างประมาณ 4 ซึ่งทำให้สารละลายไซเลนมีความคงตัวมากที่สุด⁶⁴ จากการศึกษาของ Matinlinna และคณะ¹⁰⁹ พบว่าการปรับสภาพผิวไทเทเนียมเคลือบด้วยซิลิกาด้วยไซเลนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนระหว่างไทเทเนียมกับซีเมนต์สูงสุด

ในขณะที่เมื่อใช้ไซเลนที่มีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6 ให้ค่าความแข็งแรงเฉือนต่ำสุด แต่จากการศึกษาของ Meng และคณะ¹¹⁰ พบว่าค่าความเป็นกรดต่างของไซเลนไม่มีผลต่อความแข็งแรงพันธะระหว่างเรซินซีเมนต์กับเซรามิก

3. ตัวทำละลาย

Kasraei และคณะ¹¹¹ พบว่าการปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไซเลนที่มีอะซิโตนและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตไม่แตกต่างกัน และสูงกว่าไซเลนที่ไม่มีตัวทำละลายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เพราะไซเลนที่ไม่มีตัวทำละลายมีความหนืดมากกว่าจึงไม่มีประสิทธิภาพในการทำให้ผิวเตื่อยฟันเปียก อย่างไรก็ตามชนิดของตัวทำละลายมีผลในการเป่าแห้งของไซเลน โดยอะซิโตนสามารถเป่าให้ระเหยได้ง่ายกว่าเอทานอลและน้ำตามลำดับ ถ้าตัวทำละลายระเหยไม่หมด อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยและลดพื้นผิวในการเกิดปฏิกิริยากับไซเลน¹¹²

4. อุณหภูมิที่ใช้เป่าสารละลายไซเลนให้แห้ง

Monticelli และคณะ¹⁰⁷ พบว่าการเป่าไซเลนด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียสสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตเมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยไกลซิด-ออกซี-โพรพิล-ไตรเมทิล-ออกซี-ไซเลน (glycid-oxi-propyl-trimethyl-oxi-silane) และ 4-เมทาคริลอกซีเอทิล ไตรเมทิลเทต แอนไฮไดรด์/แกมมา-ไตรเมทอกซีซิลิล โพรพิล เมทาคริเลต ไซเลน (4-methacryloxyethyl trimellitate anhydride/gamma-trimethoxysilyl propyl methacrylate silane) เนื่องจากการเป่าสารละลายไซเลนด้วยลมร้อนทำให้การระเหยของตัวทำละลายในสารละลายไซเลนดีขึ้น ซึ่งหากมีการตกค้างของตัวทำละลายจะส่งผลต่อการยึดติดระหว่างเตื่อยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้ แต่เมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วย 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-methacryloxypropyltrimethoxysilane) และเป่าด้วยลมที่อุณหภูมิ 21 และ 38 องศาเซลเซียส ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตื่อยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม Kim และคณะ¹¹³ พบว่าการเป่าไซเลนระบบสองขวดด้วยลมร้อน ที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงเฉือนระหว่างเตื่อยฟันกับเรซินซีเมนต์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Novais และคณะ¹⁰⁶ ซึ่งพบว่าการเป่าสารละลายด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเตื่อยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต

สารยึดติด

วัตถุประสงค์หลักของสารยึดติดคือการเกิดการยึดติดที่ดีกับเรซินคอมโพสิตหรือเรซินซีเมนต์ เพื่อให้สามารถทนต่อแรงบดเคี้ยวและการหดตัวของเรซินคอมโพสิต

ส่วนประกอบ

สารยึดติดมีส่วนประกอบทางเคมี¹¹⁴ ได้แก่

1. *ส่วนประกอบเรซิน (resin components)* สารยึดติดประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่เหมือนกับโมโนเมอร์ในวัสดุอุดคอมโพสิตเรซิน โมโนเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ โมโนเมอร์ที่เป็นส่วนโครงร่างตาข่าย (cross-linkers) ซึ่งจะมีหมู่ทำหน้าที่ที่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันได้ 2 กลุ่มหรือมากกว่า และโมโนเมอร์ที่เป็นส่วนทำหน้าที่ (functional monomers) ซึ่งส่วนใหญ่จะมีหมู่ทำงานที่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน เพียง 1 กลุ่ม โมโนเมอร์บางตัวสามารถเป็นได้ทั้งส่วนโครงร่างตาข่ายและส่วนทำหน้าที่ เช่น เพนทา (PENTA, dipentaerythritol pentaacrylatemonophosphate) ทีซีบี (TCB, butan-1,2,3,4-tetracarboxylic acid di-2-hydroxyethylmethacrylate ester) เป็นต้น

โครงสร้างของโมโนเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. *หมู่พอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerizable group)* ส่วนใหญ่จะเป็นโมโนเมอร์ชนิดอะคริเลต (acrylate) และชนิดเมทาคริเลต (methacrylate) แต่เนื่องจากโมโนเมอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีหมู่เอสเทอร์ (ester) ซึ่งถูกสลายได้ด้วยน้ำ¹¹⁵ จึงมีการใช้โมโนเมอร์ชนิดเมทาคริลาไมด์ (methacrylamide) ซึ่งมีหมู่เอไมด์ (amide) แทนหมู่เอสเทอร์ ทำให้ต้านทานน้ำได้มากกว่า

2. *ส่วนคั่นกลาง (spacer)* เป็นส่วนที่ไม่ได้ทำหน้าที่และแยกหมู่พอลิเมอร์ไรเซชันและหมู่ทำหน้าที่ออกจากกัน ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยสายอัลคิล (alkyl chain) หรือกลุ่มอื่นๆ เช่น เอสเทอร์ เอไมด์ หรือ อะโรมาติก ส่วนคั่นกลางมีส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติของโมโนเมอร์ ความยาวของส่วนคั่นกลางจะบอกถึงความสามารถในการละลายของโมโนเมอร์ในน้ำหรือตัวทำละลาย ขนาดของส่วนคั่นกลางจะบอกถึงความหนืดรวมถึงความสามารถในการเปียกและการแทรกซึมของโมโนเมอร์ นอกจากนี้ส่วนคั่นกลางมีผลต่อความยืดหยุ่นของโมโนเมอร์

3. *หมู่ทำหน้าที่ (functional group)* ในโมโนเมอร์ที่เป็นส่วนทำหน้าที่จะมีสมบัติชอบน้ำ ซึ่งหมู่ทำหน้าที่นี้มีหลายวัตถุประสงค์ ได้แก่ เพิ่มความสามารถในการเปียก ละลายสารอินทรีย์ในเนื้อฟัน ปลออยฟลูออไรด์ ต้านเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น หมู่ทำหน้าที่ส่วนใหญ่เป็นหมู่ฟอสเฟต (phosphate) กรดคาร์บอกซิล (carboxyl acid) และแอลกอฮอล์ โดยกรดซัลโฟนิค

(sulfonic acid) ฟอสเฟต ฟอสโฟเนต (phosphonate) และหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl groups) จะแตกตัวเพื่อปล่อยโปรตอนและเกิดปฏิกิริยากรดต่าง (acid-base reactions) ได้ ซึ่งหมู่ทำหน้าที่เหล่านี้ช่วยเพิ่มความสามารถในการเปียกและละลายสารอนินทรีย์ในเนื้อพิน โดยกรดซัลโฟนิกมีความเป็นกรดมากกว่าฟอสโฟนิก ฟอสฟอริก กรดคาร์บอกซิลิกและแอลกอฮอล์ ตามลำดับ

2. ระบบสารเริ่มต้น (initiator systems) การเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันสามารถเกิดผ่านระบบการบ่มตัวด้วยแสง ซึ่งประกอบด้วยสารที่ไวต่อการกระตุ้นด้วยแสง (photosensitizer) เช่น แคมฟอร์ควิโนน (camphorquinone) และสารเริ่มต้น เช่น เทอร์เทียรี เอมีน (tertiary amine) หรือเกิดผ่านระบบบ่มด้วยตัวเองซึ่งประกอบด้วยสารเริ่มต้น เช่น เบนโซอิล เเปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) หรือเกิดทั้งบ่มด้วยตัวเองและแสง

3. สารยับยั้งปฏิกิริยา (inhibitors) กำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากการสลายตัวของสารเริ่มต้นขณะเก็บรักษา ทำให้ระยะเวลาในการทำงานของสารยึดติดนานขึ้น สารยับยั้งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ ได้แก่ บิวทิลเลต ไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene)

4. ตัวทำละลาย เพื่อเพิ่มความสามารถในการเปียกของเนื้อพินและมีส่วนช่วยลดความหนืดของสารไพรเมอร์และ/หรือสารบอนด์ดีง ทำให้สามารถแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กของผิวพินได้ดีขึ้น ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำ เอทานอล และอะซีโตน

4.1 น้ำเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับตัวถูกละลาย จึงสามารถละลายส่วนประกอบที่มีขั้วและโครงสร้างไอออน (ionic lattices) ทำให้โมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acidic monomer) แตกตัวเป็นไอออนและช่วยขยายโครงสร้างคอลลาเจนที่ยุบตัว แต่ความสามารถในการละลายส่วนประกอบอินทรีย์ต่ำ เช่น โมโนเมอร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีสมบัติไม่ชอบน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มเอทานอลหรืออะซีโตนเข้าไปในตัวทำละลายด้วย นอกจากนี้ยังมีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ ทำให้ยากแก่การเป่าให้ระเหย ซึ่งพบว่าการที่มีน้ำตกค้างอยู่ในสารยึดติดอาจส่งผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดของสารยึดติดได้

4.2 เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูงและสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับตัวถูกละลาย ความดันไอสูงกว่าน้ำ ทำให้สามารถเป่าให้แห้งได้ง่ายกว่าและถูกใช้เป็นตัวทำละลายร่วมกับน้ำ ซึ่งถูกเรียกว่า อะซีโอโทรปิก (azeotropic) ทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างเอทานอลและน้ำ ทำให้การระเหยของตัวทำละลายที่มีน้ำและเอทานอลดีกว่าน้ำเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามไม่ควรใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายให้กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) เนื่องจากกรดคาร์บอกซิลิกจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (esterification) กับแอลกอฮอล์ จึงทำลายหมู่ทำหน้าที่ที่มีฤทธิ์เป็นกรดของโมโนเมอร์

4.3 อะซีโตนเป็นสารที่สามารถละลายได้ในส่วนประกอบที่มีขี้และไม่ขี้ มีความดันไอสูงและสูงกว่าเอทานอล 4 เท่า ทำให้สามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว แต่ส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บรักษาสารยึดติดที่ประกอบด้วยอะซีโตนสั้น โดยส่วนใหญ่แล้วอะซีโตนจะถูกใช้เป็นตัวทำละลายชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกับน้ำ ซึ่งมีสมบัติในการไล่น้ำเหมือนกับเอทานอล

5. *วัสดุอุดแทรก* อาจใส่หรือไม่ใส่ในสารยึดติด แต่ระบบสารยึดติดที่ใช้ยึดวัสดุบูรณะกับเนื้อฟันโดยตรงส่วนใหญ่จะไม่ใส่วัสดุอุดแทรก วัสดุอุดแทรกถูกใส่ในสารยึดติดเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ปรับความหนืดของสารยึดติด ปล่อยฟลูออไรด์ มีสมบัติที่บ่งชี้

6. *ส่วนประกอบอื่นๆ* ได้แก่ โพลีแอลคิโนอิก โคพอลิเมอร์ (polyalkenoic copolymer) เพื่อให้เสถียรต่อความชื้นดีซัน กลูตาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde) เพื่อเป็นสารฆ่าเชื้อ ซิติลลามีนไฮโดรฟลูออไรด์ (cetylamine hydrofluoride) เพื่อปล่อยฟลูออไรด์ เป็นต้น

ขั้นตอนและกลไกการทำงาน

สารยึดติดสามารถแบ่งตามขั้นตอนในการใช้งานและกลไกการทำงานเป็น 2 ระบบ^{114, 116} ได้แก่

1. *สารยึดติดระบบโททอลเอทช์ (total-etch)* เป็นระบบที่ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 30-40 ปรับสภาพผิวเคลือบฟันและเนื้อฟัน แล้วล้างน้ำออก เพื่อให้กำจัดชั้นเสมียร์ (smear layer) และละลายสารอินทรีย์ออกจากเนื้อฟัน แล้วทาสารไพรเมอร์ (primer) เพื่อปรับสภาพผิวเนื้อฟันให้เหมาะสมสำหรับการยึดติด แล้วจึงทาสารบอนด์ดิ้งเพื่อให้โมโนเมอร์ในสารบอนด์ดิ้งแทรกซึมเข้าไปในส่วนของเคลือบฟันและเนื้อฟันที่ถูกปรับสภาพและเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค ระบบนี้สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ สารยึดติดโททอลเอทช์ 3 ขั้นตอน และสารยึดติดโททอลเอทช์ 2 ขั้นตอน ซึ่งรวมขั้นตอนทาสารไพรเมอร์และสารบอนด์ดิ้งเป็นขั้นตอนเดียว

สารยึดติดระบบโททอลเอทช์ 3 ขั้นตอน ได้แก่ แอดเปอร์ สกอตช์บอนด์ มัลติเพอโอส (Adper Scotchbond Multi-Purpose, 3M ESPE, USA) ออลบอนด์ทู (All-Bond 2, Bisco Inc, USA) เคลียร์ฟิว ไลเนอร์ บอนด์ (Clearfil Liner Bond, Kuraray, Medical Inc, Japan) ออปทิบบอนด์ (Optibond, Kerr, USA) เป็นต้น

สารยึดติดระบบโททอลเอทช์ 2 ขั้นตอน ได้แก่ เคลียร์ฟิว ไลเนอร์ บอนด์ (Clearfil Liner Bond, Kuraray, Medical Inc, Japan) เอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี (Excite F DSC, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) เฮลิโอบอนด์ (Heliobond, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) ออปทิบบอนด์ โซโลพลัส (Optibond Solo Plus, Kerr, USA) เป็นต้น

2. สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ (self-etch) เป็นระบบที่รวมขั้นตอนการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยกรดและขั้นตอนทาไพรเมอร์ไว้ด้วยกัน โดยนำโมโนเมอร์ที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น ฟีนิลพี (Phenyl P, 2-methacryloxyethyl phenyl hydrogen phosphate) ฮีมา-ฟอสเฟต (HEMA-phosphate) 10-เอ็มดีพี (10-MDP, 10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) โฟร์-เมทา (4-META, 4-methacryloyloxyethyl trimellitic anhydride) เป็นต้น มารวมกับไพรเมอร์ เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการทำงาน สามารถแบ่งตามความรุนแรงของความเป็นกรดได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.1. ชนิดความเป็นกรดต่ำ มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 2 สามารถละลายสารอินทรีย์ออกไปบางส่วนและมีไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ตกค้างบนคอลลาเจน (collagen)

2.2. ชนิดความเป็นกรดปานกลาง มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 1.5 สามารถละลายสารอินทรีย์ในเคลือบฟันและเนื้อฟันได้ลึกกว่าชนิดความเป็นกรดต่ำ มีไฮดรอกซีอะพาไทต์หลงเหลือที่ส่วนล่างของชั้นไฮบริด (hybrid layer base)

2.3. ชนิดความเป็นกรดสูง มีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 1 หรือน้อยกว่า สามารถละลายสารอินทรีย์ในเคลือบฟันและเนื้อฟันได้มากที่สุดในระบบเซลฟ์เอทช์ สารอินทรีย์ในชั้นเคลือบฟันจะถูกละลายออกหมด เหมือนการใช้กรดฟอสฟอริกในการปรับสภาพผิวเคลือบฟันในระบบโททอลเอทช์ ในชั้นเนื้อฟันพบว่าการเผยชั้นคอลลาเจนและไฮดรอกซีอะพาไทต์ถูกละลายออกเกือบทั้งหมด

ระบบนี้สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ระบบ ได้แก่ สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ 2 ขั้นตอน สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน หรือเรียกว่า ออล-อิน-วัน (all-in-one) ซึ่งรวมขั้นตอนการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยกรด ทาสารไพรเมอร์และสารบอนด์เป็นขั้นตอนเดียว

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ 2 ขั้นตอน ได้แก่ แอดฮีซี (AdheSE, Ivoclar Vivadent, Liechtenstein) เคลียร์ฟิว โพรเทค บอนด์ (Clearfil Protect Bond, Kuraray, Medical Inc, Japan) ยูนิฟิวบอนด์ (Unifil Bond, GC, Japan) เป็นต้น

สารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ 1 ขั้นตอน ได้แก่ จี-บอนด์ (G-Bond, GC, Japan) ซีโน ทรี (Xeno III, Dentsply, Germany) เป็นต้น

จากการศึกษาของ Hiba และคณะ¹¹⁷ พบว่าการปรับสภาพผิวเนื้อฟันด้วยสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทช์ยี่ห้อแอดฮีซีให้ค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเนื้อฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตมากกว่าสารยึดติดระบบโททอลเอทช์ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้

Aksornmuang และคณะ⁵⁷ พบว่าสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ 2 ชั้นตอนยี่ห้อเคลียร์ฟิว เอสอี บอนด์ (Clearfil SE Bond) เมื่อผสมเคลียร์ฟิว พอร์ซเลน บอนด์ แอคทีเวเตอร์ (Clearfil Porcelain Bond Activator) ซึ่งเป็นแกมมา-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (γ -methacryloxy propyltrimethoxysilane) เข้าไปในส่วนของไพรเมอร์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่าการใช้เคลียร์ฟิว เอสอี บอนด์เพียงอย่างเดียว ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Zhang และคณะ¹¹⁸ พบว่าสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ 2 ชั้นตอนยี่ห้อเคลียร์ฟิว เอสอี บอนด์ พลัส เคลียร์ฟิว พอร์ซเลน บอนด์ แอคทีเวเตอร์ (Clearfil SE Bond plus Clearfil Porcelain Bond Activator) ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงกว่าสารยึดติดระบบเซลฟ์เอทซ์ 1 ชั้นตอนยี่ห้อฟิอาร์-บอนด์ เอทานอล (PR-Bond Ethanol) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม Ferrari และคณะ⁵⁶ พบว่าสารบอนด์ดิ้งไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกร่วมกับทาไซเลนกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต และชนิดของสารบอนด์ดิ้งไม่มีผลต่อการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Shirinzad และคณะ¹¹⁹ พบว่าสารบอนด์ดิ้งระบบโททอลเอทซ์ ยี่ห้อไพร์แอนด์บอนด์ (Prime&Bond) วันสเต็ป (One Step) ซิงเกิลบอนด์ (Single Bond) และ เอ็กซ์ไซท์ (Excite) ให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันที่แช่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาทีและแกนฟันเรซินคอมโพสิตไม่แตกต่างกัน ดังนั้นประสิทธิภาพของสารบอนด์ดิ้งต่อความแข็งแรงยึดติดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตจึงไม่อาจสรุปได้

แกนฟันเรซินคอมโพสิต

ปัจจุบันเรซินคอมโพสิตได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุก่อแกนฟัน¹²⁰ เนื่องจาก สามารถยึดติดกับเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใยและเนื้อฟัน มีค่าความแข็งแรงดึงสูง สามารถกรอเตรียมครอบฟันได้ทันที สีเหมือนฟัน ทำให้สามารถบูรณะร่วมกับวัสดุบูรณะที่มีความโปร่งใส และสามารถเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคกับเคลือบฟันและเนื้อฟันด้วยสารบอนด์ดิ้ง แต่หลังจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน เรซินคอมโพสิตจะหดตัว ทำให้เกิดช่องว่าง มีผลให้การยึดติดอ่อนแอลง ดูดน้ำได้ ทำให้บวม และถ้าได้รับแรงกระทำซ้ำๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างถาวรได้ (plastic deformation)

ส่วนประกอบ

แกนฟันเรซินคอมโพสิตมีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่

1. *พอลิเมอร์เมทริกซ์ (polymer matrix)* ส่วนเมทริกซ์จะเป็นไดเมทาคริเลต โมโนเมอร์ เช่น บิส-ไกลซิดีลไดเมทาคริเลต ยูริเทน ไดเมทาคริเลต ไตรเอทิลีนไกลคอลไดเมทาคริเลต

2. *วัสดุอัดแทรก (inorganic fillers)* ส่วนใหญ่มีส่วนประกอบวัสดุอัดแทรกเป็นควอตซ์ แก้วซิลิกาที่มีธาตุแบเรียม ลิเทียม อะลูมิเนียม ซิลิเกต (lithium aluminum silicate) และคอลลอยดอลซิลิกา (colloidal silica) โดยมีขนาดของวัสดุอัดแทรกตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตรจนถึงขนาด 100 ไมโครเมตร

3. *สารคู่ควบ (coupling agent)* ทำหน้าที่ในการยึดติดระหว่างวัสดุอัดแทรกและส่วนเมทริกซ์ โดยสารคู่ควบที่ใช้ต้องเป็นสารที่โมเลกุลมีกลุ่มทำงาน 2 กลุ่ม (bifunctional molecule) เพื่อให้กลุ่มทำงานด้านหนึ่งเกิดพันธะเคมีกับฟิลเลอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งเกิดพันธะเคมีกับโมโนเมอร์ของเมทริกซ์ สารคู่ควบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ ไซเลน

4. *ระบบสารเริ่มต้นและสารกระตุ้น (initiator-accelerator system)* สารเริ่มต้นและสารกระตุ้นเหมือนในระบบสารยึดติด เป็นตัวกำหนดว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของวัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตเป็นแบบบ่มด้วยตัวเอง บ่มด้วยแสง หรือบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง

การยึดติดระหว่างแกนฟันเรซินคอมโพสิตกับเดือยฟันสำเร็จรูป

อาจเกิดได้ 2 แบบ⁴⁶ ได้แก่

1. เกิดการแทรกซึมของโมโนเมอร์ของวัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตเข้าไปยังส่วนพอลิเมอร์ของเดือยฟัน ซึ่งมีส่วนโครงสร้างพอลิเมอร์ทั้งหมดหรือบางส่วนเป็นพอลิเมอร์แบบสายตรง (linear polymer)

2. เกิดจากอนุภาคลิเธียมของวัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตเข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของหมู่ทำหน้าที่ที่เหลื่ออยู่บนผิวของเดือยฟัน อย่างไรก็ตามเรซินซีเมนต์ที่มีส่วนประกอบของเมทาคริเลตไม่สามารถเกิดปฏิกิริยากับอีพอกซีและเมทาคริเลตที่ผ่านการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไปแล้ว¹²¹

เรซินคอมโพสิตหลายชนิดถูกนำมาใช้ก่อแกนฟัน เช่น คอมโพสิตชนิดไมโครไฮบริด (microhybrid composite) คอมโพสิตชนิดไหลแผ่ (flowable composite) คอมโพสิตชนิดสามารถกวดได้ (condensable composite) ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ทั้งชนิดบ่มตัวด้วยตัวเอง ชนิดบ่มตัวด้วยแสง หรือชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง หลายการศึกษาพบว่าชนิดของวัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตมีผลต่อความแข็งแรงยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต โดยคอมโพสิตชนิดไหลแผ่จะให้ค่าความแข็งแรงดิ่งต่ำกว่าคอมโพสิตชนิดไฮบริดและชนิดก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิต¹²² เนื่องจากคอมโพสิตชนิดนี้มีอัตราส่วนวัสดุอัดแทรกต่อเรซินน้อยกว่าชนิดอื่นๆ แต่คอมโพสิตชนิดไหล

แผ่นสามารถไหลแผ่ไปบนผิวเดือยฟันได้ดีและพบฟองอากาศหรือช่องว่างในแกนฟันเรซินคอมโพสิตและ/หรือบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตน้อยกว่าคอมโพสิตชนิดอื่นๆ¹²³ Ferrari และคณะ⁵⁶ พบว่าความหนืดของวัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตยี่ห้อมัลติคอร์โพลว์ไม่มีผลต่อการยึดระหว่างเดือยฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารบอนด์ติดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต แต่เมื่อไม่ทาสารบอนด์ติด พบว่ามัลติคอร์โพลว์ชนิดความหนืดน้อย (flow) ให้ความแข็งแรงยึดสูงกว่าความหนืดสูง (heavy body) นอกจากนี้พบว่าความแข็งแรงยึดระหว่างมัลติคอร์โพลว์กับเดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วยี่ห้อเอพาร์ซี โปสต์เทค พลัสสูงกว่าฟิลเทค โพลว์ (Filtek Flow) เททริก ซีแรม (Tetric Ceram) และฟิลเทค แซท250 (Filtek Z250) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเททริก โพลว์ (Tetric Flow) ให้ความแข็งแรงยึดสูงกว่าฟิลเทค แซท250 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจากมัลติคอร์โพลว์และเททริก โพลว์กับเอพาร์ซี โปสต์เทค พลัส ผลิตมาจากบริษัทเดียวกัน ทำให้มีส่วนประกอบทางเคมีเข้ากันมากกว่า¹²⁴ Wrbas และคณะ¹²⁵ พบว่าเคลียร์ฟิลคอร์ (Clearfil Core) ให้ความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่ามัลติคอร์โพลว์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. เตื่อยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว ยี่ห้อเอฟอาร์ซี โพสต์เทค พลัส เบอร์ 3 (FRC Postec Plus, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
2. วัสดุท่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง ยี่ห้อมัลติคอร์โฟลว์ (Multicore flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
3. ไซเลน ยี่ห้อโมนอบอนด์-เอส (Monobond-S, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
4. สารบอนด์ติง ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี (Excite F DSC, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
5. กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ยี่ห้ออีโค เอทช์ (Eco-Etch, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
6. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล (Carlo Erba, Italy)
7. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 และ 50 โดยมวล (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)
8. ปากคีบ (forcep)
9. ปีกเกอร์ (beaker) ขนาด 50 มิลลิลิตร
10. กระบอกตวง (cylinder) ขนาด 100 มิลลิลิตร
11. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร
12. กาวไซยาโนอะครีเลต (Model repair II blue, Sankin Industry, Tokyo, Japan)
13. ท่อพลาสติกใส (cylindrical plastic matrix) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร
14. แผ่นแก้ว (glass slide)
15. พู่กันขนาดเล็ก (microbrush)
16. ฟอยล์อะลูมิเนียม (aluminium foil)

17. ขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax)
18. ตะเกียงแอลกอฮอล์
19. หัวกรอความเร็วสูง (airoter)
20. น้ำกลั่น
21. น้ำปราศจากไอออน (deionized water)
22. สารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
23. สารละลายกรดซัลฟูริก (sulfuric acid)
24. บิวเรต (buret)
25. ปิเปต (pipet)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี (LED curing light, Elipar S10, 3M ESPE, USA)
2. เครื่องตัดฟัน (Isomet 1000, Buehler, Illinois, USA)
3. เครื่องวัดขนาดแบบดิจิทัลอลูมิเนียมความละเอียด 0.01 (Mitutoyo, Tokyo, Japan)
4. เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, EZ-S, Shimadzu, Kyoto, Japan)
5. กล้องสเตอริโอไมโครสโคป (Olympus SZ61TR, Tokyo, Japan)
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (scanning electron microscope, JSM-5410LV, JEOL, Tokyo, Japan)
7. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (ultrasonic cleaner, Branson5210, Branson, CT, USA)
8. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Contherm, New Zealand)
9. เครื่องสำรวจความขนาน (surveyor, Dentalfarm, Torino, Italy)
10. ยูนิตเคลื่อนที่ (mobile unit, Super Mobile 85 T.D.P, Thailand)
11. เครื่องคอมพิวเตอร์

12. โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่น 17.0 (SPSS version 17.0, SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA)

13. กล้องถ่ายรูป รุ่น 600D (Canon, Japan)

ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเตี๋ยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อปรับสภาพผิวเตี๋ยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับการทำไซเลนและ/หรือสารบอนด์ติง การศึกษานี้เลือกใช้เตี๋ยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลต วัสดุแกนฟันเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ ไซเลนและสารบอนด์ติงจากบริษัทไอโวนาร์ วิวาเดนท์ และใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 โดยมวล โดยกำหนดกลุ่มควบคุมเชิงลบ (negative control) คือ กลุ่มที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี และกลุ่มควบคุมเชิงบวก (positive control) คือ กลุ่มที่ได้รับการปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 ตามบริษัทแนะนำ

ตารางที่ 2 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบ

Materials	Compositions
FRC Postec Plus (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Dimethacrylates (21%) Ytterbium fluoride (9%) Glass fibres (70%) Catalysts and stabilizers (< 0.5%)
MultiCore Flow (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Matrix: bis-GMA, urethane dimethacrylate, triethylene glycol dimethacrylate Fillers: barium glass, ytterbium trifluoride, Ba-Al-fluorosilicate glass, highly dispersed silicon dioxide. Particle size 0.04-25 µm. Total volume of fillers (47%)

Materials	Compositions
Monobond-S (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	3-methacryloxypropyltrimethoxysilane (3-MPS) (1%), ethanol/water-based solvent
Excite F DSC (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Adhesive: phosphonic acid acrylate, dimethacrylates, hydroxyethyl methacrylate (72%) highly dispersed silicon dioxide (0.5%) ethanol (24.5%) catalysts, stabilizers, fluoride (3.0%) Applicator: coated with initiators
Eco-Etch (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	37% Phosphoric acid
Hydrogen peroxide 30% (Carlo Erba, Italy)	Hydrogen peroxide 30% w/w
Hydrogen peroxide 35% (Vidhyasom, Thailand)	Hydrogen peroxide 35% w/w
Hydrogen peroxide 50% (Vidhyasom, Thailand)	Hydrogen peroxide 50% w/w

ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

คำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างด้วยสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน

$$n = \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)(Z_{\frac{\alpha}{2}} + Z_{\beta})^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

โดยที่	n	=	จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่ม
	σ_1	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในประชากรกลุ่มที่ 1
	σ_2	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในประชากรกลุ่มที่ 2
	μ_1	=	ค่าเฉลี่ยของประชากรของประชากรกลุ่มที่ 1
	μ_2	=	ค่าเฉลี่ยของประชากรของประชากรกลุ่มที่ 2
	$Z_{\frac{\alpha}{2}}$	=	ค่ามาตรฐานจากตาราง Z สำหรับค่า $\alpha/2$ ที่กำหนด
	Z_{β}	=	ค่ามาตรฐานจากตาราง Z สำหรับค่า β ที่กำหนด

กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานเป็นจริง (type I error, α) เท่ากับ 0.05 จึงแทนค่า $Z_{\frac{\alpha}{2}}$ ด้วย 1.96

กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับทั้งที่สมมติฐานไม่เป็นจริง (type II error, β) เท่ากับ 0.1 จึงแทนค่า Z_{β} ด้วย 1.282

จากการศึกษานำร่องได้ศึกษาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไคเมทาคริเลตและแกนฟันเรซินคอมโพสิตในกลุ่มที่ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง ดังแสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง จากการศึกษาสำรวจ

กลุ่ม	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
37% ฟอสฟอริกร่วมกับทาไฮเลน	31.92	4.26
37% ฟอสฟอริกร่วมกับทาสารบอนด์ดีง	28.67	1.19
37% ฟอสฟอริกร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง	26.58	3.76

เมื่อนำค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีงและร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง มาคำนวณจำนวนตัวอย่างเปรียบเทียบกับกลุ่มกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน จะได้จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่มเท่ากับ 19.49 ชิ้น และ 11.90 ชิ้น ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้จำนวนตัวอย่างต่อกลุ่มเท่ากับ 20 ชิ้น

การแบ่งกลุ่มการทดลอง

แบ่งतीयพื้นเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานไตเมทาคริเลต ยีห้อเอพอาร์ซี โปสต์เทค พลัส ขนาดเบอร์ 3 ออกเป็น 18 กลุ่ม กลุ่มละ 5 แท่ง (ตารางที่ 4) ดังนี้

กลุ่มที่ 1, 2, 3 ทาไฮเลน หรือทาสารบอนด์ดีง หรือทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง ตามลำดับ

กลุ่มที่ 4, 5, 6 ปรับสภาพผิวतीयพื้นด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที แล้วทาไฮเลน หรือทาสารบอนด์ดีง หรือทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง ตามลำดับ

กลุ่มที่ 7, 8, 9 ปรับสภาพผิวतीयพื้นด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที แล้วทาไฮเลน หรือทาสารบอนด์ดีง หรือทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง ตามลำดับ

กลุ่มที่ 10, 11, 12 ปรับสภาพผิวतीयพื้นด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที แล้วทาไฮเลน หรือทาสารบอนด์ดีง หรือทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง ตามลำดับ

กลุ่มที่ 13, 14, 15 ปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที แล้วทาไฮเลน หรือทาสารบอนด์ดิง หรือทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดิง ตามลำดับ

กลุ่มที่ 16, 17, 18 ปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที แล้วทาไฮเลน หรือทาสารบอนด์ดิง หรือทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดิง ตามลำดับ

ตารางที่ 4 แสดงการแบ่งเตื่อยพินออกเป็น 18 กลุ่ม ตามวิธีการปรับสภาพผิวเตื่อยพิน

สารเคมี สารยึดติด	กลุ่ม ควบคุม (N)	37% H ₃ PO ₄ 1 นาที (P)	30% H ₂ O ₂ 10 นาที (H30/10)	30% H ₂ O ₂ 1 นาที (H30/1)	35% H ₂ O ₂ 1 นาที (H35/1)	50% H ₂ O ₂ 1 นาที (H50/1)
ไฮเลน (S)	กลุ่มที่ 1 (NS)	กลุ่มที่ 4 (PS)	กลุ่มที่ 7 (H30/10S)	กลุ่มที่ 10 (H30/1S)	กลุ่มที่ 13 (H35/1S)	กลุ่มที่ 16 (H50/1S)
สาร บอนด์ดิง (B)	กลุ่มที่ 2 (NB)	กลุ่มที่ 5 (PB)	กลุ่มที่ 8 (H30/10B)	กลุ่มที่ 11 (H30/1B)	กลุ่มที่ 14 (H35/1B)	กลุ่มที่ 17 (H50/1B)
ไฮเลน ร่วมกับสาร บอนด์ดิง (SB)	กลุ่มที่ 3 (NSB)	กลุ่มที่ 6 (PSB)	กลุ่มที่ 9 (H30/10SB)	กลุ่มที่ 12 (H30/1SB)	กลุ่มที่ 15 (H35/1SB)	กลุ่มที่ 18 (H50/1SB)

ขั้นตอนการวิจัย

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. การศึกษาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

- 1.1 การทดสอบความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
- 1.2 การปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันตามการแบ่งกลุ่มการทดลอง
- 1.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ
- 1.4 การทดสอบและการคำนวณค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

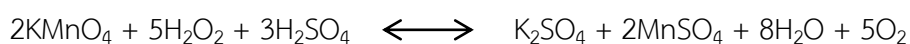
2. การศึกษาสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

- 2.1 ศึกษาสภาพพื้นผิวเดือยฟันที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี
- 2.2 ศึกษาแนวตัดขวางของเดือยฟันบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตก่อนการทดสอบ
- 2.3 การศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการทดสอบ

1. การศึกษาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

1.1 การทดสอบความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

หาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีแมงกานีส (Mn) โดยนำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลายกรดซัลฟูริก มาทำปฏิกิริยากับโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะได้เกลือแมงกานีส (manganese salt) ออกซิเจน และน้ำ ดังสมการ



ขั้นตอน

1. เติสารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ที่บรรจุในปิกรอร์ลงในบิวเรต ให้ระดับของเหลวเหนือเครื่องหมายศูนย์ เปิดสลักท่อของบิวเรตเพื่อให้

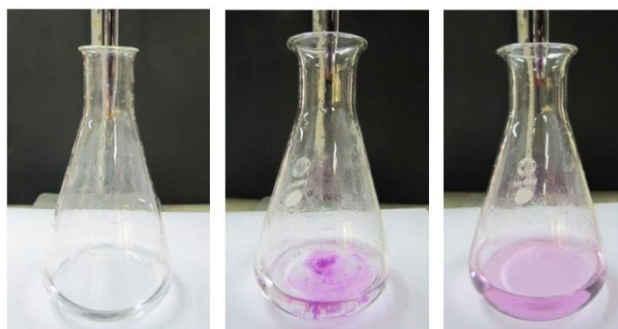
พองอากาศผ่านออกจากส่วนปลายท่อ และปิดสลักท่อเมื่อระดับของเหลวอยู่ขีดบอกปริมาตร 0 มิลลิลิตร

2. ใช้ปิเปตดูดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต้องการหาความเข้มข้น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร น้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก 6 โมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรและหมุนขวดวัดปริมาตรเบาๆ เพื่อให้สารละลายเข้ากัน

3. นำขวดวัดปริมาตรไปวางใต้บิวเรต โดยให้ส่วนปลายของบิวเรตอยู่ในขวดวัดปริมาตร แต่ให้เหนือระดับของเหลวอย่างน้อย 2 เซนติเมตร

4. เปิดสลักท่อของบิวเรต เพื่อให้สารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไหลลงทำปฏิกิริยากับของเหลวในขวดวัดปริมาตร โดยค่อยๆเพิ่มปริมาตรสารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตอย่างช้าๆ ทีละหยด หมุนขวดวัดปริมาตรเบาๆ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย

5. เมื่อสารละลายในขวดวัดปริมาตรเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน (รูปที่ 5) แสดงว่าได้ถึงจุดสิ้นสุดปฏิกิริยาเคมี ให้ทำการปิดสลักท่อและจดบันทึกปริมาตรสุดท้ายของสารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต



รูปที่ 5 การเปลี่ยนสีของสารละลายจากสีใสเป็นสีชมพู

6. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยกำหนดให้

A = ปริมาตรของสารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ในการไทเทรต

D = ความหนาแน่นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ในการวิจัยนี้ใช้สารละลายโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 โมลาร์ แสดงว่าในสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร มีโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 โมล ดังนั้นสารละลาย

โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไป A มิลลิลิตร มีโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเท่ากับ $(0.02 \times A)/1,000$ โมล

จากสมการเคมีโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 2 โมล จะทำปฏิกิริยากับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 โมล ดังนั้นโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต $(0.02 \times A)/1,000$ โมล จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $(5 \times 0.02 \times A)/(1,000 \times 2)$ โมล

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1 โมล มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 34.0147 กรัม ดังนั้น $(5 \times 0.02 \times A)/(1,000 \times 2)$ โมล มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ $(34.0147 \times 5 \times 0.02 \times A)/(1,000 \times 2)$ กรัม

สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่นำมาไทเทรต ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร มีน้ำหนักเท่ากับ $D \times 0.1$ กรัมและมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $(34.0147 \times 5 \times 0.02 \times A)/(1,000 \times 2)$ กรัม ดังนั้นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้ำหนัก 100 มิลลิลิตร มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $(34.0147 \times 5 \times 0.02 \times A \times 100)/(1,000 \times 2 \times D \times 0.1)$ กรัม

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ = $(1.7 \times A)/D$ โดยมวล/มวล

7. ทำการไทเทรตทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ยอมรับได้คือ ความเข้มข้นตามที่บริษัทกำหนด ± 1 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

1.2 การปรับสภาพพื้นผิวเต็ยฟันตามการแบ่งกลุ่มการทดลอง

นำเต็ยฟัน (รูปที่ 6) มาทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้าด้วยน้ำปราศจากไอออน นาน 2 นาที แล้วเป่าให้แห้งนาน 30 วินาที และนำมาปรับสภาพพื้นผิวเต็ยฟันตามการแบ่งกลุ่มการทดลองดังนี้



รูปที่ 6 เต็ยฟันสำเร็จรูปเรซินคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว ยี่ห้อเอพอาร์ซี โพสต์เทค พลัส เบอร์ 3

1.2.1 กลุ่มปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (รูปที่ 7) นำเตื่อยฟันมาทาด้วยกรดฟอสฟอริกทิ้งไว้เวลานาน 1 นาที แล้วจึงล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน นาน 2 นาที และเป่าให้แห้งนาน 30 วินาที



รูปที่ 7 กรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 37 ยี่ห้ออีโค เอทซ์

1.2.2 กลุ่มปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (รูปที่ 8) ตามความเข้มข้นและเวลาที่กำหนด ใช้ปากคีบจับส่วนปลายด้านสอบของเตื่อยฟันและแช่เตื่อยฟันลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่บรรจุอยู่ในภาชนะใส มีฝาปิด แล้วจึงล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนนาน 2 นาที และเป่าให้แห้งนาน 30 วินาที



รูปที่ 8 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 โดยมวล

1.2.3 กลุ่มปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยไซเลน ทาผิวเตื่อยฟันด้วยไซเลน ยี่ห้อ โมโนบอนด์-เอส (รูปที่ 9) โดยทาชั้นเดียว ทิ้งไว้เวลานาน 60 วินาที และเป่าให้แห้งนาน 30 วินาที



รูปที่ 9 ไซเลน ยี่ห้อโมนอบอนด์-เอส

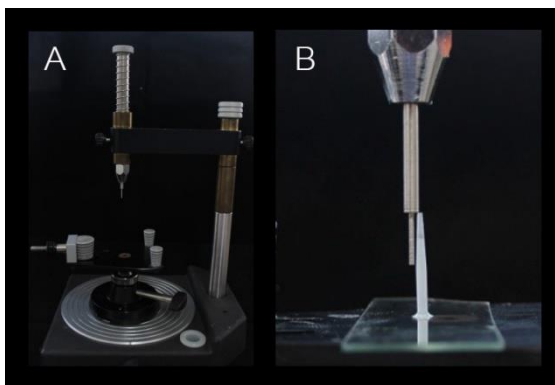
1.2.4 กลุ่มปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารบอนด์ดีดิง ทาผิวเดือยฟันด้วยสารบอนด์ดีดิง ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี (รูปที่ 10) โดยทาชั้นเดียวทิ้งไว้นาน 10 วินาที จากนั้นเป่าลมเบาๆ นาน 5 วินาที และฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี กำลัง 1,200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร นาน 20 วินาที วัตถุประสงค์ก่อนใช้เครื่องฉายแสงทุกครั้ง



รูปที่ 10 สารบอนด์ดีดิง ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี

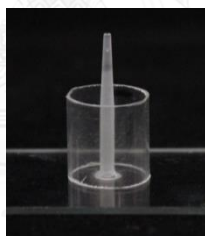
1.3 การเตรียมชิ้นทดสอบ

1.3.1 ใช้ปากคิบบีบส่วนปลายด้านสอบของเดือยฟันที่ได้รับการปรับสภาพผิวแล้ว จัดเดือยฟันให้วางตั้งฉากกับระนาบของแผ่นแก้ว โดยใช้เครื่องสำรวจความขนานช่วยตั้งแท่งเดือยฟัน ให้ตั้งฉากกับแนวระนาบ จากนั้นทำการยึดเดือยฟันกับแผ่นแก้วด้วยกาวไซยาโนอะครีเลต (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 เครื่องสำรวจความขนาน (A) และการวัดความหนาของแผ่นแก้ว โดยใช้เครื่องสำรวจความขนาน (B)

1.3.2 นำท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ความสูง 10 มิลลิเมตร วางล้อมแท่งเดือยฟันที่ยึดติดกับแผ่นแก้ว โดยจัดให้เดือยฟันอยู่กึ่งกลางวงของท่อพลาสติกใส แล้วยึดท่อพลาสติกใสกับแผ่นแก้วด้วยกาวไซยาโนอะครีเลต (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 การวางท่อพลาสติกใสล้อมแท่งเดือยฟัน

1.3.3 ฉีดวัสดุก่อแกนฟันเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสงยูวีหุ้มลวดคอรโฟลว์ (รูปที่ 13) ลงในท่อพลาสติกใสจนเต็ม จากนั้นฉายแสงด้วยเครื่องฉายชนิดแอลอีดี (รูปที่ 14) ที่หน้าตัดของเดือยฟันตามแนวเดือยฟัน นาน 40 วินาที และฉายแสงเพิ่มบริเวณด้านข้างของท่อพลาสติกทั้ง 4 ด้าน นานด้านละ 40 วินาที แล้วฉายแสงเพิ่มบริเวณด้านที่สัมผัสกับแผ่นแก้ว นาน 40 วินาที



รูปที่ 13 วัสดุท่อแกนฟันเรซินคอมโพสิต ยี่ห้อมัลติคอป โพลว์



รูปที่ 14 เครื่องฉายแสงชนิดแอลอีดี

1.3.4 เก็บชิ้นงาน (รูปที่ 15) ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ (รูปที่ 16) เก็บแบบแห้ง นาน 24 ± 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 15 ชิ้นงานที่เตรียมเสร็จ ก่อนนำไปตัดเพื่อสร้างชิ้นทดสอบ

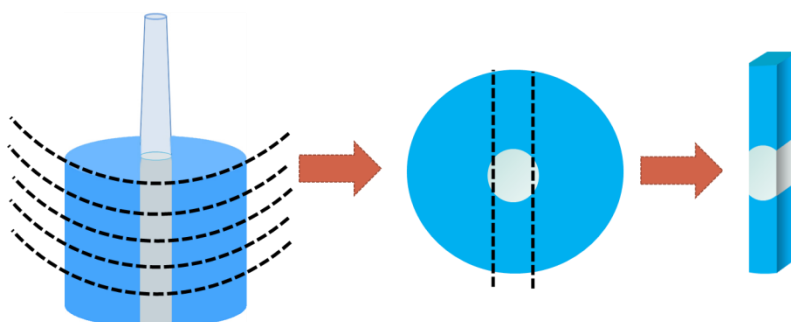


รูปที่ 16 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

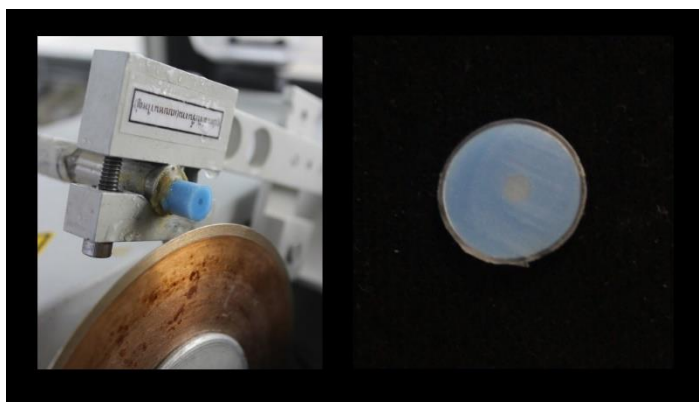
1.3.5 นำชิ้นงานไปยึดกับตัวจับชิ้นงานด้วยซีฟึงเหนียว และนำมาตัดด้วยเครื่องตัดฟัน (รูปที่ 17, 18) ในแนวตั้งฉากกับเดือยฟัน ให้ได้ความหนาชิ้นงานละ 1 ± 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งจะได้แผ่นชิ้นงานที่มีเดือยฟันอยู่กึ่งกลางและมีแกนฟันเรซินคอมโพสิตอยู่ล้อมรอบ (รูปที่ 19) จากนั้นนำแผ่นชิ้นงานดังกล่าวมาตัดให้ได้เป็นแท่งขนาดความกว้าง 1 ± 0.1 มิลลิเมตร โดยให้เดือยฟันอยู่กึ่งกลางแท่ง ซึ่งจะได้ชิ้นทดสอบขนาด $1 \times 1 \times 10$ มิลลิเมตร (± 0.1 มิลลิเมตร) (รูปที่ 20) จำนวน 5-6 ชิ้นต่อเดือยฟัน 1 แท่ง



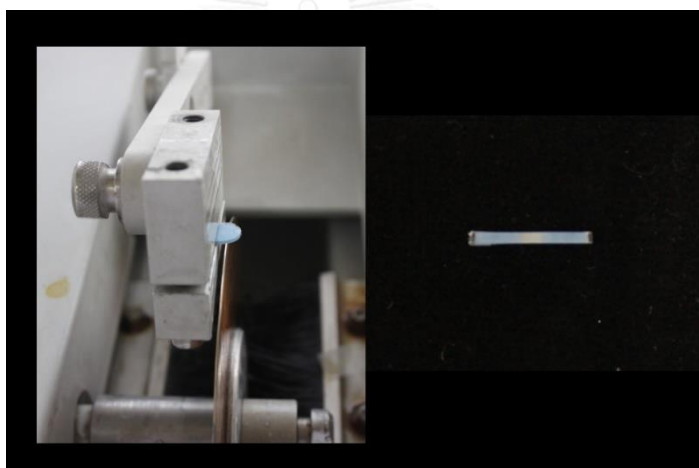
รูปที่ 17 เครื่องตัดฟัน



รูปที่ 18 แนวการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัดฟัน



รูปที่ 19 การตัดชิ้นงานในแนวตั้งฉากกับแกนพินด้วยเครื่องตัดพินและชิ้นงานที่ตัดได้



รูปที่ 20 การตัดชิ้นงานให้ได้ชิ้นทดสอบที่มีลักษณะเป็นแท่ง

1.3.6 นำชิ้นทดสอบที่ได้มาวัดขนาดด้วยเครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอล ชนิดความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร (รูปที่ 21) จดบันทึกขนาดที่วัดได้ เพื่อนำไปคำนวณค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

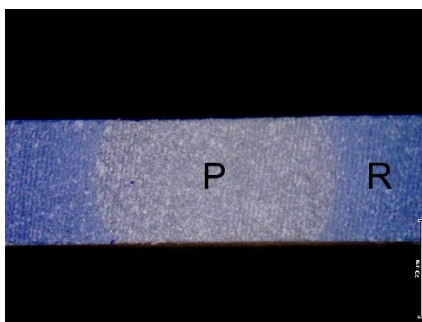


รูปที่ 21 เครื่องวัดขนาดแบบดิจิตอลชนิดความละเอียด 0.01

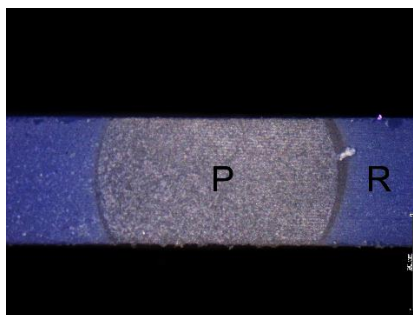
1.3.7 นำชิ้นทดสอบที่ได้ไปตรวจดูบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (รูปที่ 22) ที่กำลังขยาย 40 เท่า เลือกชิ้นทดสอบที่มีลักษณะสมบูรณ์ โดยเป็นชิ้นทดสอบที่ไม่มีรอยแตกร้าว ฟองอากาศหรือรูพรุนระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต จำนวน 20 ชิ้นต่อกลุ่ม (รูปที่ 23, 24)



รูปที่ 22 กล้องสเตอริโอไมโครสโคป



รูปที่ 23 ตัวอย่างชิ้นทดสอบที่สมบูรณ์ (P = เดือยฟัน R = แกนฟันเรซินคอมโพสิต)



รูปที่ 24 ตัวอย่างชิ้นทดสอบที่ไม่สมบูรณ์ มีฟองอากาศในชั้นสารบอนด์ดีง
(P = เดือยพิน R = แกนพินเรซินคอมโพสิต)

1.3.8 เก็บชิ้นทดสอบที่สมบูรณ์ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ เก็บแบบแห้ง นาน 24 ± 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปทดสอบ

1.4. การทดสอบและการคำนวณค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

1.4.1 ยึดส่วนปลายทั้งสองข้างของชิ้นทดสอบเข้ากับแท่งโลหะที่ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค (free sliding component jig) (รูปที่ 25) ด้วยกาวไซยาโนอะคริเลต (รูปที่ 26) รอให้กาวแข็งตัวเต็มที่ 5 นาที จึงนำไปประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบสากล



รูปที่ 25 แท่งโลหะที่ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค



รูปที่ 26 กาวโซยาโนอะคริเลต

1.4.2 ทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยเครื่องทดสอบสากล (รูปที่ 27, 28) โดยให้แรงดึงที่ความเร็ว 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที จนเกิดความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ (รูปที่ 29)



รูปที่ 27 เครื่องทดสอบสากล



รูปที่ 28 การยึดชิ้นทดสอบกับแท่งโลหะที่ใช้สำหรับทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

1.4.3 นำชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบ มาตรวจดูลักษณะความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ ด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคปที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อจำแนกความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ ออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1) การยึดไม่อยู่ (*adhesive failure*) คือ เกิดการแตกที่รอยต่อระหว่างพื้นผิวเดือยฟันและแกนพื้นเรซินคอมโพสิต มากกว่าร้อยละ 75 ของพื้นผิวสัมผัส

2) การเชื่อมแน่นล้มเหลว (*cohesive failure*) คือ เกิดการแตกภายในเดือยฟันหรือแกนพื้นเรซินคอมโพสิตมากกว่าร้อยละ 75 ของพื้นผิวสัมผัส

3) ความล้มเหลวชนิดผสม (*mixed failure*) คือ เกิดการแตกร่วมกันระหว่างการยึดไม่อยู่ ร่วมกับการแตกในเดือยฟันหรือแกนพื้นเรซินคอมโพสิต



รูปที่ 29 ความล้มเหลวของชิ้นงานหลังจากให้แรงดึงด้วยเครื่องทดสอบสากล

1.4.4 นำค่าแรงดึงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของชิ้นงาน มาคำนวณค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค⁹⁵ จากสมการ

$$\sigma \text{ (MPa)} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของชิ้นงาน (นิวตัน)

A คือ พื้นผิวสัมผัสระหว่างเดือยฟันและแกนพื้นเรซินคอมโพสิต (ตารางมิลลิเมตร)

เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเดือยฟันและแกนพื้นเรซินคอมโพสิตมีลักษณะเป็นพื้นผิวโค้งทรงกระบอก (รูปที่ 30) จึงคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัสได้จากสมการ



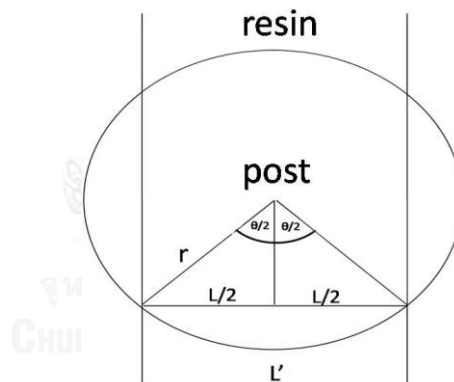
รูปที่ 30 ความยาวแนวโค้ง ความกว้างและความหนาของชิ้นงาน

$$A = L' \times h$$

เมื่อ L' คือ ความยาวแนวโค้ง (arch length) ของเดือยฟัน (มิลลิเมตร)

h คือ ความหนาของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

สามารถคำนวณค่าความยาวแนวโค้ง (L') ได้โดยพิจารณาจากรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก



$$\sin(\theta/2) = (L/2)/r$$

$$\theta/2 = \arcsin(L/2r)$$

$$\text{ดังนั้น } \theta = 2\arcsin(L/2r)$$

เส้นรอบวงของวงกลมมีค่าเท่ากับ $2\pi r$ และมุมรอบจุดศูนย์กลางวงกลมมีค่าเท่ากับ 2π เรเดียน (radian) นำมาเทียบบัญญัติไตรยางศ์ได้ว่า

มุมขนาด 2π เรเดียน มีความยาวแนวโค้งเท่ากับ $2\pi r$

ดังนั้น มุมขนาด $2\arcsin(L/2r)$ เรเดียน มีความยาวแนวโค้งเท่ากับ $(2\pi r/2\pi) \times 2\arcsin(L/2r)$

$$L' = 2r \arcsin (L/2r)$$

เมื่อ r คือ รัศมีของเดือยฟัน (มิลลิเมตร)

L คือ ความกว้างของเดือยฟัน (มิลลิเมตร)

สรุปลักษณะการคำนวณค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค ได้ดังนี้

$$\sigma \text{ (MPa)} = F/2r \arcsin (L/2r) h$$

2. การศึกษาสภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

2.1 ศึกษาสภาพพื้นผิวเดือยฟันที่ถูกปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี

นำเดือยฟันที่ไม่ได้รับการปรับสภาพผิว และปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นและระยะเวลาที่กำหนด อย่างละ 1 แท่ง มาตัดตามแนวตั้งฉากกับผิวเดือยฟันส่วนขนานด้วยหัวกรอความเร็วสูง (airoter) ให้ได้ชิ้นเดือยฟันความยาวชิ้นละ 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้น สำหรับนำมาใช้ดูลักษณะพื้นผิวแนวยาวและแนวตัดขวางซึ่งจะใช้บริเวณส่วนปลายของเดือยฟัน อย่างละ 1 ชิ้น

2.2 ศึกษาแนวตัดขวางของเดือยฟันบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตก่อนการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

โดยสุ่มเลือกชิ้นทดสอบกลุ่มละ 1 ชิ้น

2.3 ศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

โดยสุ่มเลือกชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคที่มีรูปแบบการแตกหักเป็นจำนวนมากที่สุดในแต่ละกลุ่ม กลุ่มละ 1 ชิ้น

นำชิ้นเดือยฟันหรือชิ้นทดสอบมาล้างด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (รูปที่ 31) ด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนนาน 5 นาที เป่าให้แห้ง นำมายึดกับแท่นโลหะ (metallic stub) แล้วนำไปเข้าตู้ดูดความชื้นนาน 48 ชั่วโมง ก่อนนำมาเคลือบผิวด้วยทอง (gold-sputtered) เพื่อให้ชิ้นเดือยฟันหรือชิ้นทดสอบที่ต้องการศึกษามีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (รูปที่ 32) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 31 เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า



รูปที่ 32 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมเอสพีเอสเอส รุ่น 17.0

1. สถิติเชิงพรรณนา แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคของแต่ละกลุ่ม

2. วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคของแต่ละกลุ่ม โดยทดสอบการกระจายของข้อมูล (test of normal distribution) ด้วยสถิติโคลโมโกรอฟสเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov) และทดสอบความแปรปรวนของข้อมูล (test of variances) ด้วยสถิติทดสอบของเลวิน (Levene's test) ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทางและวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทูกีย์ (Tukey's test) เมื่อค่าความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน ส่วนกรณีที่ค่าความแปรปรวนแตกต่างกัน จะวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติ ดันเนท ที่สาม ในกรณีที่ข้อมูลมีการกระจายแบบไม่ปกติ ใช้สถิติครัสคัล วอลลิส (Kruskal Wallis) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. วิเคราะห์ความล้มเหลวของแต่ละกลุ่ม โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปรับสภาพผิว กับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติไคสแควร์ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึง ระดับจุลภาคกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติอีตา ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

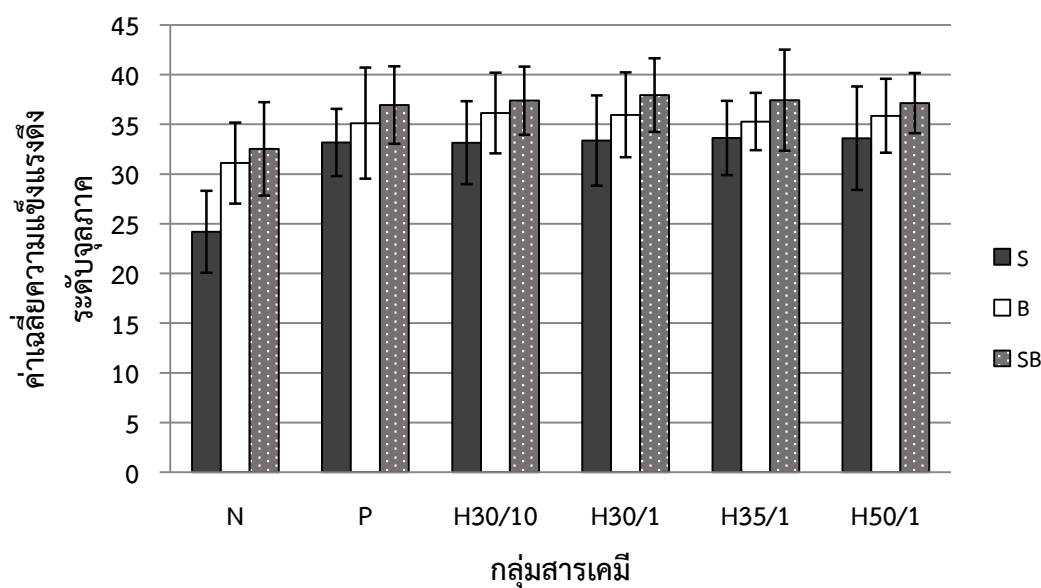
เมื่อนำขึ้นทดสอบจำนวน 360 ชิ้น จาก 18 กลุ่มทดลอง กลุ่มละ 20 ชิ้น ซึ่งแบ่งกลุ่มตามวิธีการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีออกเป็น 6 วิธี ได้แก่ ไม่ปรับสภาพผิว กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที และ 1 นาที และความเข้มข้นร้อยละ 35 และ 50 นาน 1 นาที นำมาแบ่งเป็นกลุ่มย่อย 3 กลุ่ม ตามวิธีการใช้สารยัดติด ได้แก่ ไซเลน สารบอนด์ดีง และไซเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากลเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่ม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต หน่วยเป็นเมกะปาสคาล

สารเคมี สารยัดติด	กลุ่ม ควบคุม (N)	37%	30%	30%	35%	50%
		H ₃ PO ₄ 1 นาที (P)	H ₂ O ₂ 10 นาที (H30/10)	H ₂ O ₂ 1 นาที (H30/1)	H ₂ O ₂ 1 นาที (H35/1)	H ₂ O ₂ 1 นาที (H50/1)
ไซเลน (S)	24.19 ±4.11 A	33.17 ±3.38 BC	33.15 ±4.16 BCDE	33.37 ±4.54 BCDE	33.63 ±3.73 BCDE	33.60 ±5.20 BCDE
สาร บอนด์ดีง (B)	31.11 ±4.07 B	35.12 ±5.59 BCDE	36.13 ±4.60 BCDE	35.95 ±4.27 BCDE	35.27 ±2.88 BCDE	35.86 ±3.71 BCDE
ไซเลน ร่วมกับสาร บอนด์ดีง (SB)	32.53 ±4.71 BCD	36.95 ±3.90 CDE	37.38 ±3.42 DE	37.93 ±3.70 E	37.43 ±5.09 CDE	37.13 ±3.03 CDE

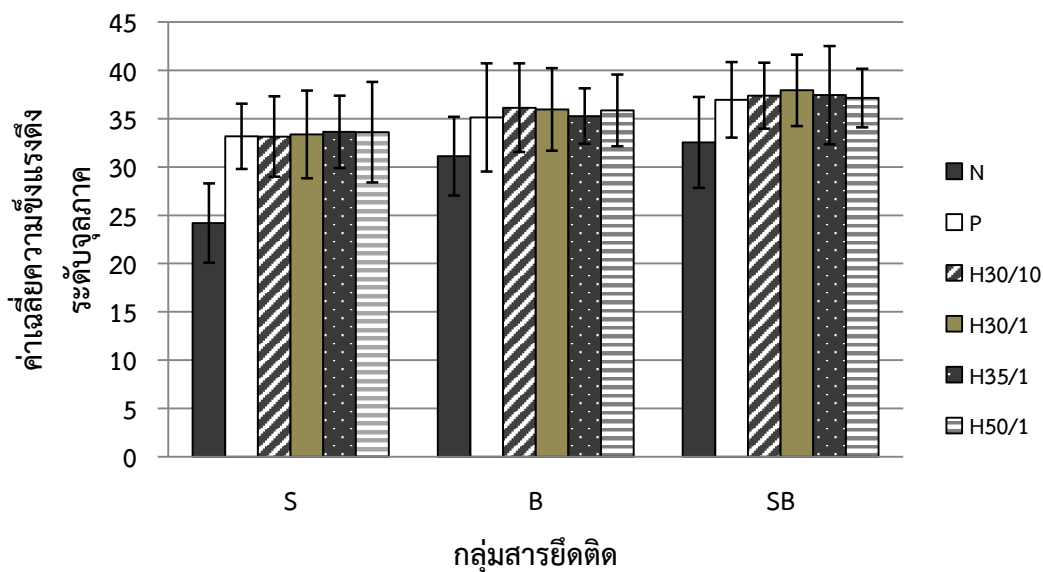
หมายเหตุ กลุ่มที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$).

จากตารางที่ 5 พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเตี้ยฟันกับแกนฟัน เรซินคอมโพสิต เมื่อปรับสภาพผิวด้วยวิธีการต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน โดยกลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงสุด (37.93 ± 3.70 เมกะปาสคาล) และกลุ่มทาไฮเลนมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคต่ำสุด (24.19 ± 4.11 เมกะปาสคาล)



รูปที่ 33 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเตี้ยฟันกับแกนฟัน เรซินคอมโพสิต เมื่อแบ่งกลุ่มตามชนิดสารเคมี

เมื่อพิจารณาผลของการปรับสภาพผิวเตี้ยฟันในแต่ละกลุ่มสารเคมี พบว่าการทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีงมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าการทาสารบอนด์ดีง และการทาสารบอนด์ดีงมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าการทาไฮเลน (รูปที่ 33)



รูปที่ 34 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุดภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อแบ่งกลุ่มตามชนิดสารยึดติด

เมื่อพิจารณาผลของการปรับสภาพผิวเดือยฟันในแต่ละกลุ่มสารยึดติด พบว่ากลุ่มที่ได้รับการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุดภาคสูงกว่ากลุ่มไม่ปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี โดยการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุดภาคใกล้เคียงกัน (รูปที่ 34)

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุดภาค

เมื่อทดสอบการแจกแจงข้อมูลด้วยสถิติโคลโมโกรอฟสมอร์นอฟ พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุดภาคมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยสถิติความแปรปรวนแบบสองทาง พบว่าชนิดสารเคมีและชนิดสารยึดติดมีผลต่อค่าความแข็งแรงดึงระดับจุดภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต แต่ชนิดสารเคมีและชนิดสารยึดติดไม่มีปฏิสัมพันธ์ต่อการส่งเสริมการยึดติดระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบของเลวิน พบว่าความแปรปรวนของชุดข้อมูลไม่เท่ากัน จึงวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยสถิติต้นเนทที่สาม (ตารางที่ 5) พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารละลาย

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีงให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าการไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันแต่ทาไฮเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง พบว่าให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟัน การทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีงและการทาสารบอนด์ดีงให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าการทาไฮเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่มีการทาไฮเลนพบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีชนิดใดๆให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกันและสูงกว่าการไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่มีการทาสารบอนด์ดีง พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีชนิดใดๆให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างจากการไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มที่มีการทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 นาน 1 นาที ให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าการไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

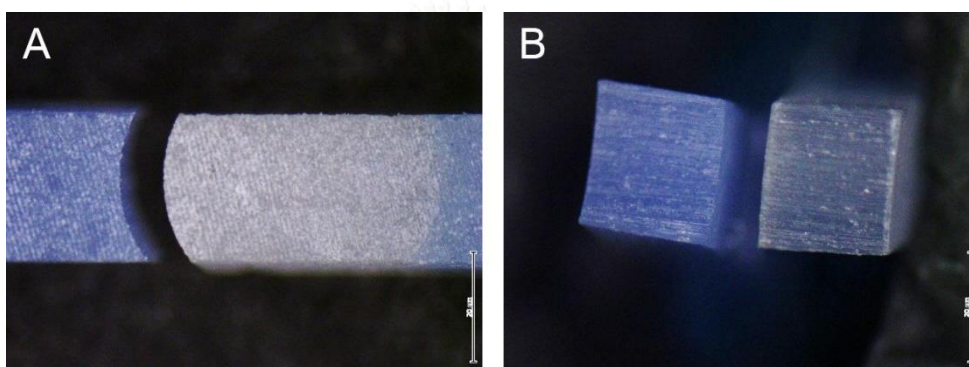
การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 นาน 1 นาทีร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีงให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่มควบคุมไม่ว่าจะทาสารยึดติดชนิดใดๆก็ตามและมากกว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน นอกจากนี้การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 30 นาน 10 นาทีร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีงให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคสูงกว่าการไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันแต่ทาไฮเลนหรือสารบอนด์ดีงและการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน

การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีงให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคมากกว่าการไม่ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีแต่ทาไฮเลนหรือการทาสารบอนด์ดีง โดยการไม่ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีแต่ทาไฮเลนเพียงอย่างเดียวให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคต่ำสุด

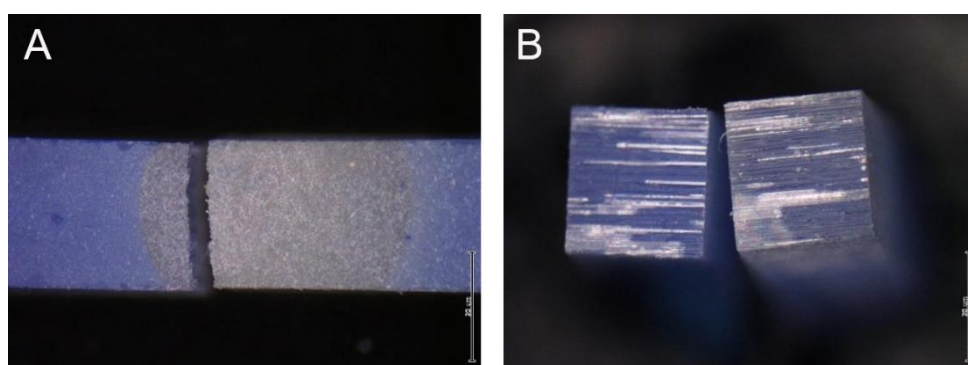
ผลความล้มเหลวของขึ้นทดสอบ

เมื่อนำขึ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบหาค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคมาวิเคราะห์ความล้มเหลวด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 40 เท่า พบลักษณะการแตกหักทั้งหมด 3

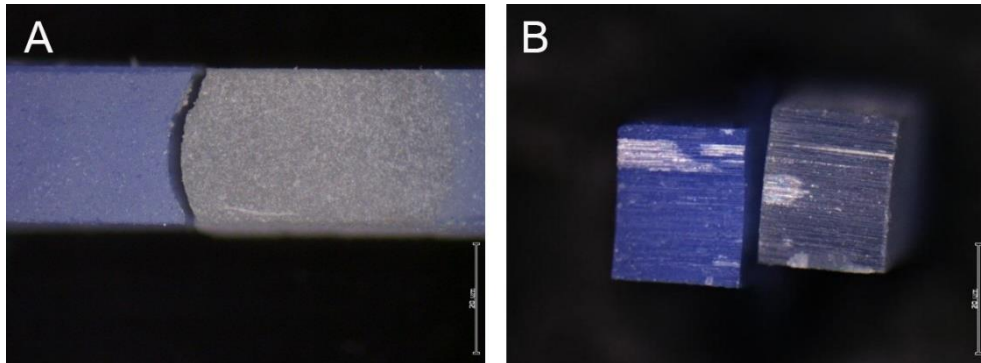
ลักษณะ ได้แก่ การยึดไม่อยู่ (รูปที่ 35) การเชื่อมแน่นลึ้มเหลว (รูปที่ 36) และความลึ้มเหลวชนิดผสม (รูปที่ 37) โดยพบว่าในกลุ่มที่ไม่มีการปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยสารเคมีนั้น ชิ้นทดสอบในกลุ่มทาไฮเลนทั้งหมดเกิดการยึดไม่อยู่ ชิ้นทดสอบในกลุ่มทาสารบอนด์ดีงและกลุ่มทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีงทั้งหมดเกิดการเชื่อมแน่นลึ้มเหลวในเตื่อยฟัน เมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยสารเคมีร่วมกับการทาไฮเลน ส่วนใหญ่จะเกิดการเชื่อมแน่นลึ้มเหลวในเตื่อยฟัน รองลงมาคือ การยึดไม่อยู่และความลึ้มเหลวชนิดผสม แต่เมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยสารเคมีร่วมกับการทาสารบอนด์ดีงหรือไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง การเกิดการยึดไม่อยู่จะลดลง โดยส่วนใหญ่พบการเชื่อมแน่นลึ้มเหลวในเตื่อยฟันและความลึ้มเหลวชนิดผสม (รูปที่ 38)



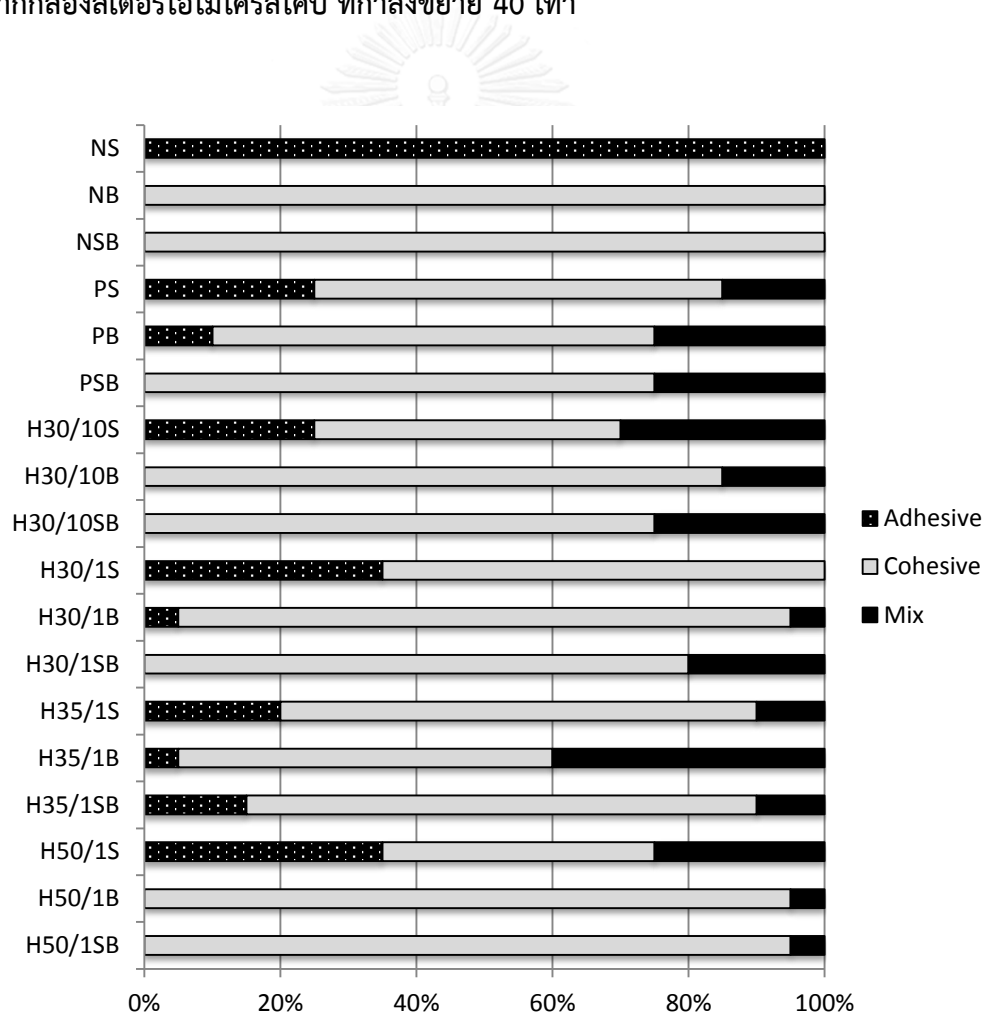
รูปที่ 35 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบที่เกิดการแตกหักแบบยึดไม่อยู่ (A) และพื้นผิวลึ้มผัสดที่เกิดความลึ้มเหลว (B) จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 36 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลึ้มเหลว (A) และพื้นผิวลึ้มผัสดที่เกิดความลึ้มเหลว (B) จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 37 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบที่เกิดการแตกหักแบบผสม (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลว (B) จากห้องสเตอร์ริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 40 เท่า



รูปที่ 38 แผนภูมิแท่งแสดงร้อยละความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ

ผลการวิเคราะห์ความล้มเหลว

ตารางที่ 6 แสดงผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปรับสภาพผิวเดียวพินกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติไคสแควร์

				Monte Carlo Sig. (2-sided)		
				99% Confidence Interval		
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Sig.	Lower Bound	Upper Bound
Pearson Chi-Square	200.135 ^a	34	.000	.000 ^b	.000	.000
Likelihood Ratio	190.925	34	.000	.000 ^b	.000	.000
Fisher's Exact Test	156.187			.000 ^b	.000	.000
Linear-by-Linear Association	9.987 ^c	1	.002	.002 ^b	.001	.003
N of Valid Cases	360					

a. 36 cells (66.7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.83.

b. Based on 10000 sampled tables with starting seed 2000000.

c. The standardized statistic is 3.160.

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปรับสภาพผิวเดียวพินกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติไคสแควร์ (ตารางที่ 6) พบว่าค่าความถี่ที่คาดหวังน้อยกว่า 5 เกินร้อยละ 20 ของจำนวนเซลล์ (cell) ทั้งหมด จึงผิดเงื่อนไขของสถิติไคสแควร์ ดังนั้นจึงต้องหาค่าระดับนัยสำคัญด้วยวิธีมอนติ คาร์โล (monte carlo method) ซึ่งได้ค่า 0.000 แสดงว่าวิธีการปรับสภาพผิวและรูปแบบความล้มเหลวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 7 แสดงผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติอีตา

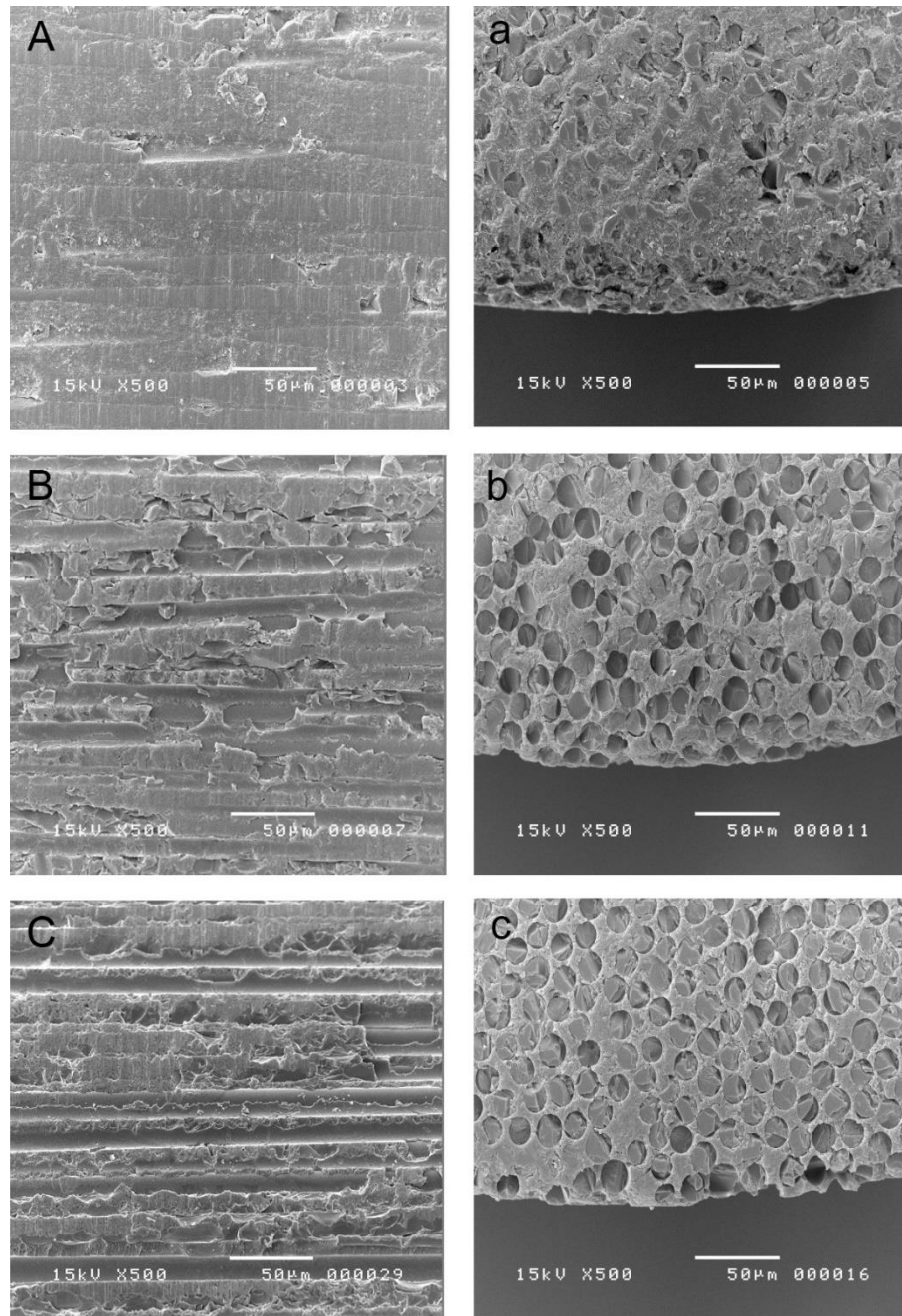
			Value
Nominal by Interval	Eta	failure Dependent	.954
		force Dependent	.366

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยสถิติอีตา (ตารางที่ 7) เมื่อพิจารณาว่าค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคเป็นตัวแปรตาม ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (interval) และรูปแบบความล้มเหลวเป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงกลุ่ม (nominal) พบว่าได้ค่า 0.366 หมายความว่า ถ้าทราบเกี่ยวกับรูปแบบการแตกหัก จะสามารถพยากรณ์ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคได้ถูกต้องร้อยละ 36.6 ของความผันแปรของค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

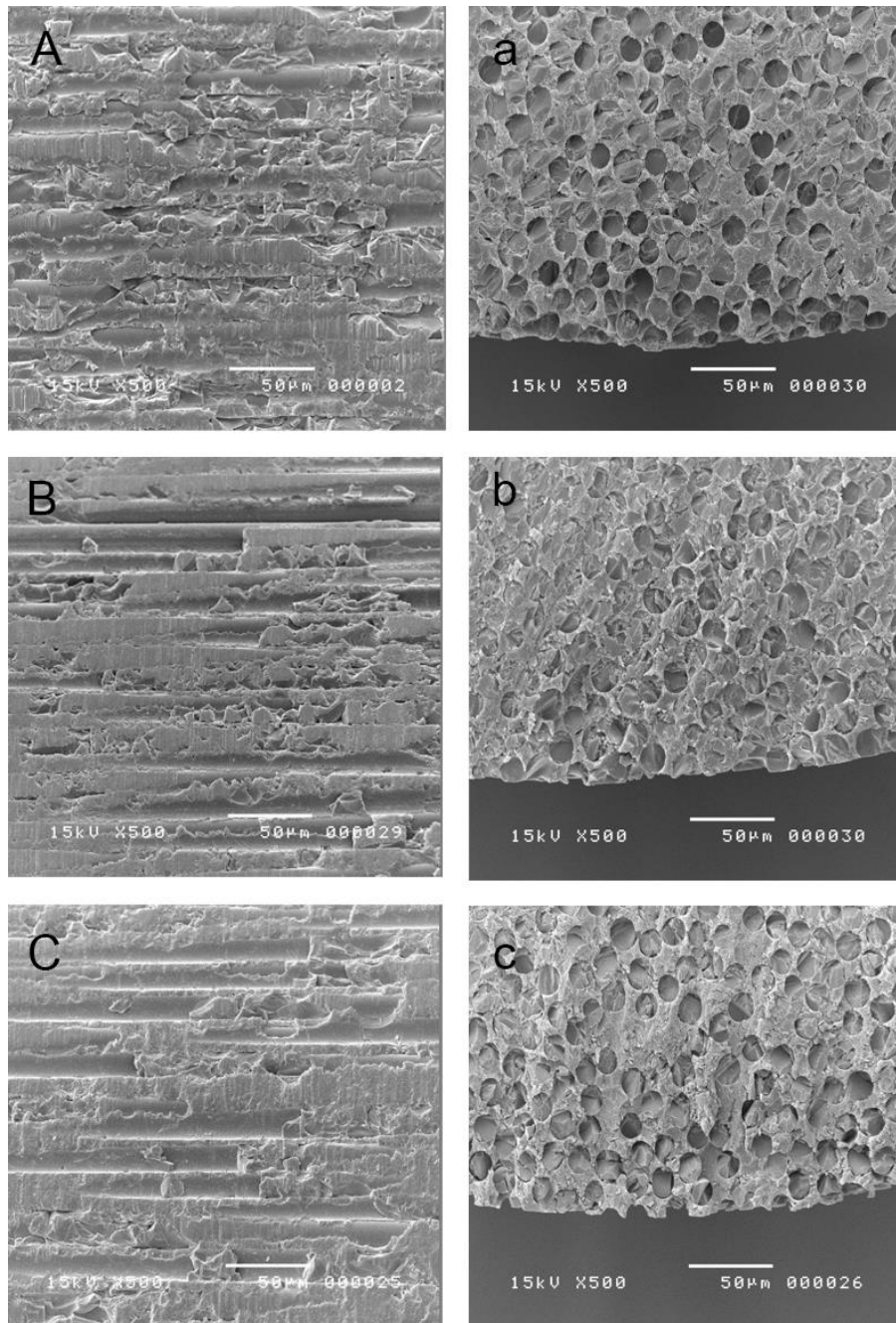
ผลการศึกษาสภาพพื้นผิวเตื่อยฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

เมื่อนำเตื่อยฟันที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวหรือปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาที่กำหนด มาศึกษาสภาพพื้นผิวของเตื่อยฟันตามแนวยาวและแนวตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 (รูปที่ 39, 40) พบว่าเตื่อยฟันที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวมีสภาพผิวเรียบ โดยพื้นผิวส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยเรซินเมทริกซ์และมีเส้นใยเผยผึ่งบางตำแหน่ง แต่เมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาที่กำหนด เรซินเมทริกซ์มีการละลายไปบางส่วน ทำให้ผิวเตื่อยฟันขรุขระและเผยผึ่งเส้นใยมากขึ้น โดยไม่มีการทำลายผิวของเส้นใย เมื่อพิจารณาภาพในแนวตัดขวางพบว่าเมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยสารเคมี ผิวรอบนอกของเตื่อยฟันบางส่วนจะมีลักษณะไม่ต่อเนื่องเหมือนเตื่อยฟันที่ไม่ได้ปรับสภาพผิว และบางส่วนมีลักษณะเว้าลงไป ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการหลุดไปของเส้นใย

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภาพในแนวยาวและแนวตัดขวางของสภาพพื้นผิวของเตื่อยฟันในแต่ละกลุ่ม พบว่าพื้นผิวของเตื่อยฟันที่ถูกปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที (รูปที่ 39 C, c) มีความขรุขระและเผยผึ่งเส้นใยมากกว่าการปรับสภาพผิวเตื่อยฟันด้วยกรดฟอสฟอริก (รูปที่ 39 B, b) และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆ นาน 1 นาที (รูปที่ 40)



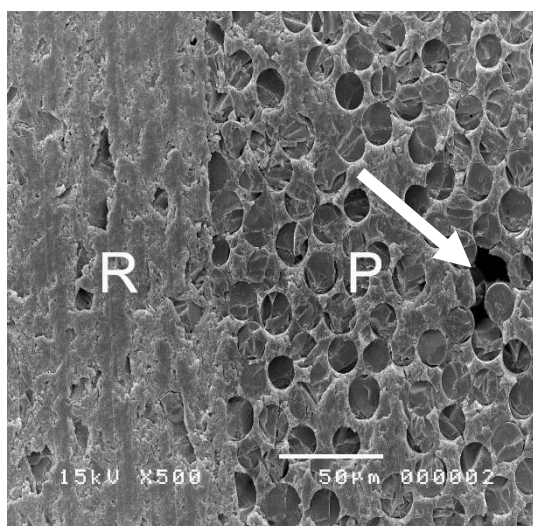
รูปที่ 39 ภาพพื้นผิวของเดือยฟันจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (กำลังขยาย 500 เท่า) (A) เมื่อไม่ปรับสภาพผิวเดือยฟันในแนวยาว และ (a) ในแนวตัดขวาง (B) ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ในแนวยาว และ (b) ในแนวตัดขวาง (C) ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ในแนวยาว และ (c) ในแนวตัดขวาง



รูปที่ 40 ภาพพื้นผิวของเตื่อยพินจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (กำลังขยาย 500 เท่า) (A, B, C) เมื่อปรับสภาพผิวเตื่อยพินด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น ร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที ในแนวยาวและ (a, b, c) ในแนวตัดขวาง ตามลำดับ

**ผลการศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตก่อนการทดสอบค่าความ
แข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด**

เมื่อสุ่มเลือกชิ้นทดสอบที่สมบูรณ์กลุ่มละ 1 ชิ้น มาศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า ไม่พบฟองอากาศหรือช่องว่างระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต หรือระหว่างเดือยฟันสารบอนด์ดีดิงและแกนฟันเรซินคอมโพสิต แต่ในบางตำแหน่งจะพบช่องว่างภายในเดือยฟัน (รูปที่ 41)

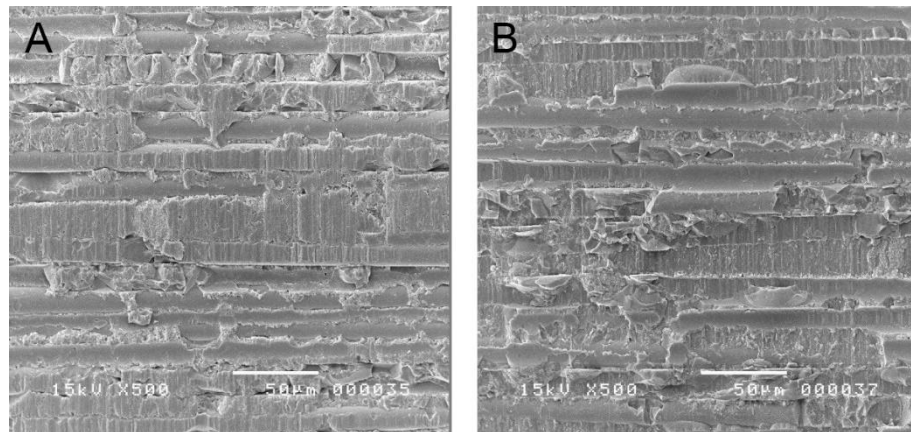


รูปที่ 41 ภาพตัวอย่างชิ้นทดสอบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า ลูกศรชี้ช่องว่างภายในเดือยฟัน (P)

**ผลการศึกษารอยต่อระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการทดสอบค่าความ
แข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด**

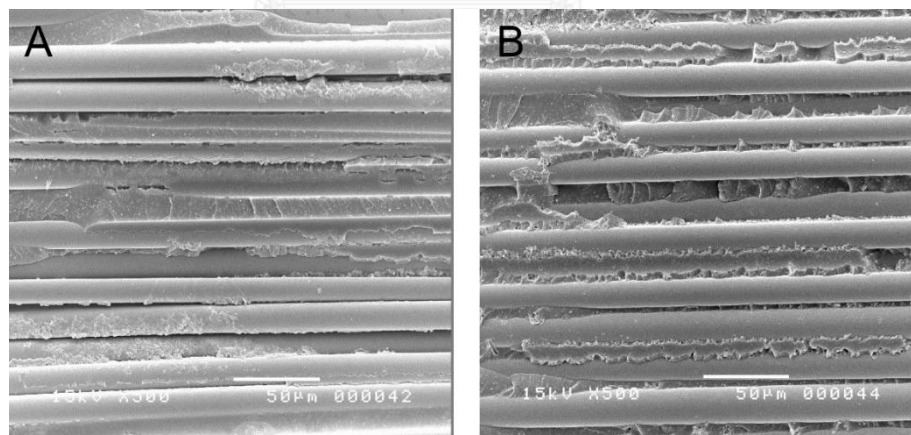
สุ่มชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคมาศึกษาในรูปแบบความล้มเหลวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ความล้มเหลวชนิดยึดไม่อยู่ระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต พบว่าพื้นผิวด้านเดือยฟันมีความขรุขระมากขึ้นและเผยผิวงเส้นใยมากขึ้น ส่วนด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิตพบว่ามีเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ติดอยู่กับส่วนแกนฟันเรซินคอมโพสิต (รูปที่ 42)



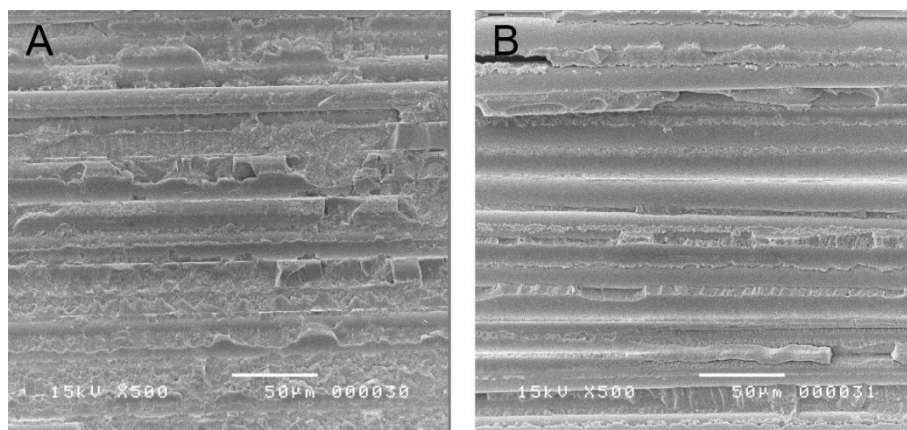
รูปที่ 42 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่มีการยึดติดของความล้มเหลวชนิดยึดไม่อยู่ โดย A พื้นผิวยึดติดด้านเดียวฟัน และ B พื้นผิวยึดติดด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่กำลังขยาย 500 เท่า

การเชื่อมแน่นล้มเหลวส่วนใหญ่เกิดในส่วนเดียวฟัน พบว่าจะเห็นส่วนเส้นใยชัดเจนทั้งสองฝั่ง มีการแตกหักของเรซินเมทริกซ์ ไม่พบการแตกหักของส่วนเส้นใย (รูปที่ 43)



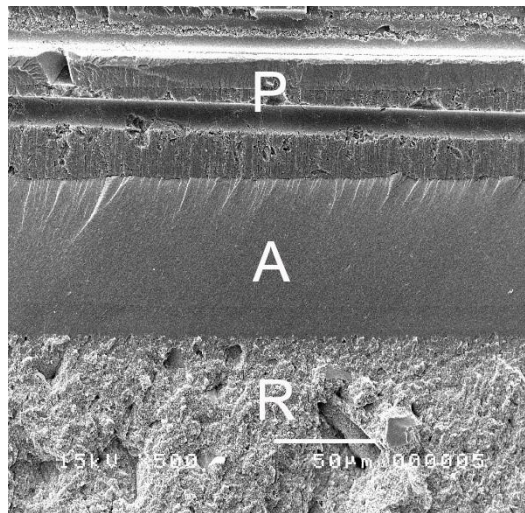
รูปที่ 43 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่มีการยึดติดของความล้มเหลวชนิดการเชื่อมแน่นล้มเหลว โดย A พื้นผิวยึดติดด้านเดียวฟัน และ B พื้นผิวยึดติดด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ความล้มเหลวชนิดผสม พบว่าส่วนที่มีการแตกหักในเดือยฟันจะเห็นส่วนเส้นใยชัดเจนทั้งสองฝั่ง ส่วนที่มีการแตกหักชนิดการยึดไม่อยู่ ด้านเดือยฟันจะเห็นบางส่วนของเส้นใยเผยผึ่งและมีการหลุดของเรซินเมทริกซ์ออกไปบางส่วน ด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิตพบว่ามีเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ติดอยู่กับส่วนแกนฟันเรซินคอมโพสิต (รูปที่ 44)



รูปที่ 44 ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่มีการยึดติดของความล้มเหลวชนิดผสม โดย A พื้นผิวยึดติดด้านเดือยฟัน และ B พื้นผิวยึดติดด้านแกนฟันเรซินคอมโพสิต ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ในกลุ่มที่มีการทาสารบอนด์ดีง ไม่พบการแตกหักระหว่างสารบอนด์ดีงกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตหรือเดือยฟัน เมื่อนำชิ้นทดสอบที่เกิดการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเดือยฟัน ชิ้นสารบอนด์ดีงและแกนฟันเรซินคอมโพสิต มาส่องดูรอยต่อที่กำลังขยาย 500 เท่า ไม่พบช่องว่างหรือฟองอากาศในชิ้นสารบอนด์ดีง และระหว่างสารบอนด์ดีงกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตหรือเดือยฟัน (รูปที่ 45)



รูปที่ 45 รอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) สารบอนด์ดีง (A) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิจารณ์วิธีการทดลอง

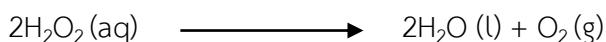
การศึกษานี้เลือกใช้เตื่อยพินยี่ห้อเอฟอาร์ซี โปสต์เทค พลัส เป็นตัวแทนเตื่อยพินเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไคเมทาคริลेट เนื่องจากเตื่อยพินยี่ห้อนี้เป็นที่นิยมใช้ในคลินิกและมีคุณสมบัติทางคลินิกที่ดีหลายประการ ได้แก่ สามารถนำแสงได้ดี³⁵ มีความโปร่งแสงมาก ทึบรังสี มีมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับเนื้อพิน ด้านทานการแตกหักสูงและไม่พบตำหนิทั้งในแนวยาวและแนวขวางหรือบริเวณผิวนอกของเตื่อยพิน¹²⁶ และให้ผลทางคลินิกที่ดี¹²⁷ โดยใช้เฉพาะส่วนขนานของเตื่อยพินในการสร้างชิ้นงานทดสอบ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการวัดและการคำนวณขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเตื่อยพินกับแกนพินเรซินคอมโพสิต

แกนพินเรซินคอมโพสิตที่เลือกใช้ในการศึกษานี้เป็นวัสดุแกนพินเรซินคอมโพสิตแบบไหลแผ่ชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง เนื่องจากเรซินคอมโพสิตชนิดไหลแผ่สามารถไหลแผ่ไปบนพื้นผิวเตื่อยพินได้ดีกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ จึงแนบสนิทกับเตื่อยพิน เกิดฟองอากาศหรือช่องว่างในส่วนแกนพินเรซินคอมโพสิตและบริเวณรอยต่อระหว่างเตื่อยพินและแกนพินน้อยกว่าเรซินคอมโพสิตชนิดอื่นๆ¹²³ และเนื่องจากเป็นชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองและแสง ทำให้สามารถใช้เป็นสารฉาบยึดและก้อแกนพินได้ ในการศึกษานี้จะทำการฉีควัสดุแกนพินเรซินคอมโพสิตยี่ห้อมัลติคอร์โพลว์ ลงในท่อพลาสติกใสจนเต็ม แล้วจึงฉายแสง ไม่ทำการก้อแกนพินเป็นชั้นๆ เนื่องจากอาจเกิดรอยต่อฟองอากาศและช่องว่างระหว่างชั้นได้ ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดความล้มเหลวในแกนพินได้

สารเคมีและสารยึดติดที่นำมาใช้ในการปรับสภาพผิวเตื่อยพินเสริมเส้นใยในการศึกษานี้ เลือกใช้สารที่หาได้ง่ายในคลินิกทันตกรรม ได้แก่

1. กรดฟอสฟอริก เป็นกรดที่ใช้ในการปรับสภาพผิวพินหรือคลองรากพิน ซึ่งบริษัทไอโวนาร์ วิวาเดนท์ แนะนำให้ใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน ในการปรับสภาพผิวเตื่อยพินเสริมเส้นใยยี่ห้อเอฟอาร์ซี โปสต์เทค พลัส ก่อนทาไฮเลน

2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นของเหลวใส หนืดกว่าน้ำเล็กน้อย มีรสขม มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ถึง 90 ในทางทันตกรรมส่วนใหญ่ใช้ความเข้มข้นร้อยละ 30-35 ในการฟอกสีฟัน¹²⁸ โดยปกติไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวไปเองอย่างช้า ๆ โดยออกซิเจน แสงสว่างและความร้อนจะช่วยเร่งให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีปฏิกิริยาการสลายตัวได้เป็นน้ำและแก๊ส ดังนี้



ดังนั้นการศึกษานี้จึงเก็บสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไว้ในขวดสีชา เพื่อไม่ให้ถูกแสง และในตู้รักษาความเย็น ที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส ซึ่งบริษัทแนะนำให้เก็บที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เนื่องจากอัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเพิ่มขึ้นประมาณ 2.2 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20 ถึง 100 องศาเซลเซียส¹²⁹ และคำนวณหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำมาใช้ทุกครั้งด้วยการไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ต้องใช้อุปกรณ์ที่ยุ่งยาก¹³⁰ โดยพบว่าความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษานี้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้ คือมีความคาดเคลื่อนอยู่ในช่วงบวกลบร้อยละ 1 และพบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 เมื่อไทเทรตทันทีทั้งที่ใช้นาน 10 นาที แล้วจึงทำการไทเทรต มีค่าไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจุบันสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ขายตามท้องตลาดใส่สารคงสภาพ (stabilizers) เพื่อลดการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเก็บปกติและการใช้งาน สารคงสภาพที่ใช้ขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตและระดับของผลิตภัณฑ์ เช่น ออร์แกนโนฟอสเฟต (organophosphonates) คอลลอยด์คอลล สแตนเนต (colloidal stannate) โซเดียม ไพโรฟอสเฟต (sodium pyrophosphate) เป็นต้น¹²⁹

สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษานี้ ใช้ความเข้มข้นที่มีจำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่ ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 โดยมวล แต่ความเข้มข้นร้อยละ 24 โดยปริมาตรนาน 10 นาที ตามที่ Vano และคณะ⁹ และ Monticelli และคณะ¹⁰ แนะนำเป็นความเข้มข้นที่ไม่มีจำหน่ายในประเทศไทย จากการคำนวณเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นร้อยละ 24 โดยปริมาตรเป็นโดยมวล จะมีค่าเท่ากับ 31.63 โดยมวล ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 30 โดยมวล ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สราลีและคณะ¹¹ และ ปริญญาพรและคณะ¹³¹ ที่พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล นาน 10 นาที ให้ค่าความแข็งแรงยึดแบบผลักระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต¹¹ และผนังคลองรากฟัน¹³¹ สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล เป็นกลุ่มควบคุมเชิงบวก เพื่อเปรียบเทียบผลกับความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที โดยไม่ศึกษาที่ความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากไม่มีจำหน่ายและการเตรียมสารละลายขึ้นเองอาจเกิดความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้

3. โซเลนใช้ยี่ห้อโมโนบอนด์-เอส โดยควรทำโซเลนเพียงชั้นเดียวเนื่องจากการทำซ้ำหลายชั้นทำให้จำนวนหมู่เมทาคริเลตที่ยังไม่ได้เกิดปฏิกิริยาลดลงและเกิดชั้นโซเลนที่หนา ทำให้เมื่อได้รับแรงจะเกิดการแตกหักภายในชั้นโซเลน¹³² และต้องเป่าผิวเดือยฟันที่ทาโซเลนให้แห้ง เนื่องจากถ้าตัวทำละลาย เช่น น้ำ เอทานอล ระยะเวลาไม่หมด ตัวทำละลายอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยแทนโซเลน ซึ่งมีผลทำให้พื้นที่ผิวของเส้นใยที่จะเกิดปฏิกิริยากับโซเลนลดลง¹¹²

4. สารบอนด์ดิงใช้ยี่ห้อเอ็กซ์ไซท์ เอฟ ดีเอสซี เนื่องจากสารบอนด์ดิงชนิดนี้เป็นระบบโพลีเอเธอร์ ซึ่งให้การยึดติดที่ดีกับเนื้อฟัน^{56, 133} และเรซินคอมโพสิต¹³⁴ และเป็นชนิดบ่มด้วยตัวเองและแสง ทำให้สามารถใช้ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มด้วยตัวเองและแสง โดยสามารถฉายแสงพร้อมกันได้ แต่ในการศึกษานี้ได้ทำการฉายแสงสารบอนด์ดิงก่อนการก่อแกนฟัน เพื่อให้สารบอนด์ดิงเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันอย่างสมบูรณ์¹³⁵ และควบคุมความหนาของชั้นสารบอนด์ดิงเนื่องจากหากก่อแกนฟันโดยไม่ฉายแสงให้สารบอนด์ดิงแข็งตัวก่อน สารบอนด์ดิงจะไหลไปรวมกัน ทำให้ความหนาของชั้นสารบอนด์ดิงไม่สม่ำเสมอ และทาสารบอนด์ดิงเพียงชั้นเดียว เพื่อไม่ให้ชั้นของสารบอนด์ดิงหนาเกินไป ซึ่งเมื่อได้รับแรงกระทำอาจเกิดการแตกหักในชั้นสารบอนด์ดิงได้ นอกจากนี้สารบอนด์ดิงชนิดนี้บรรจุเป็นช่อง พร้อมใช้งาน ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ทำให้ใช้งานได้ง่ายและองค์ประกอบของสารบอนด์ดิงแน่นอน เนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องการระเหยของตัวทำละลาย

การเก็บชิ้นงานก่อนนำมาตัด จะเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงเพื่อจำลองอุณหภูมิของร่างกายและให้สารบอนด์ดิงและแกนฟันเรซินคอมโพสิตเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันสมบูรณ์¹³⁶ แต่ไม่แช่ในน้ำเหมือนการศึกษาอื่นๆ เนื่องจากส่วนเมทริกซ์ของเดือยฟันที่เป็นไดเมทาคริเลตเรซินมีการดูดน้ำสูง¹³⁷ ทำให้เกิดการอ่อนตัวของส่วนเมทริกซ์ เกิดรอยร้าวขนาดเล็กและเกิดการสลายด้วยน้ำ (hydrolyzation) ของโซเลนที่ยึดระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์ ทำให้ส่วนเส้นใยและเมทริกซ์หลุดออกจากกัน ส่งผลทำให้ความแข็งแรงต่อการแตกหัก¹³⁸ และความแข็งแรงดัดโค้งของเดือยฟันลดลง^{63, 139, 140} จากการศึกษา Vichi และคณะ¹⁴¹ พบว่าการแช่เดือยฟันในน้ำเกลือจะทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการแตกหักลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเก็บเดือยฟันในรากฟันแล้วนำไปแช่ในน้ำให้ค่าความแข็งแรงต่อการแตกหักไม่แตกต่างจากการเก็บแห้งและแช่ในน้ำมัน เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบฟองอากาศระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ในเดือยฟันที่แช่ในน้ำเกลือ

Khamverdi และคณะ⁹² นำเดือยฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 นาน 10 นาที ร่วมกับทาสารยึดติดมาก่อนแกนฟันเรซินคอมโพสิตรอบเดือยฟันแล้วจึงนำไปแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 3 6 และ 9 เดือน ก่อนนำมาตัดเพื่อสร้างชิ้นทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค พบว่าการแช่เดือยฟันในน้ำมีผลลดความ

แข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Sahafi และคณะ¹⁴² พบว่าความแข็งแรงพันธะระหว่างเดือยฟันและแกนฟันขึ้นกับชนิดของเดือยฟัน และวิธีการปรับสภาพผิวเดือยฟันมากกว่าสภาพและระยะเวลาในการเก็บ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเก็บเดือยฟันในที่แห้ง โดยไม่แช่น้ำและไม่ทำการสลับอลูมิเนียมร้อนเย็น (thermocycling) เพื่อกำจัดปัจจัยการปนเปื้อนในน้ำ

การประเมินความแข็งแรงพันธะระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตสามารถทำได้หลายวิธี¹⁴³ ได้แก่

1. วิธีทดสอบความแข็งแรงพันธะแบบเฉือนและแบบดึง โดยให้แรงกระทำในแนวคดหรือดึงระหว่างรอยต่อของวัสดุที่ทดสอบ แต่การทดสอบวิธีนี้มีข้อจำกัด คือการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอ¹⁴⁴ และมักเกิดการเชื่อมแน่นล้มเหลว ทำให้ไม่สามารถประเมินค่าความแข็งแรงยึดที่แท้จริงได้¹⁴⁵

2. วิธีทดสอบความแข็งแรงยึดแบบผลึก เป็นการทดสอบที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ทางคลินิก โดยให้แรงดันเดือยฟันให้หลุดออกจากแกนฟันเรซินคอมโพสิต แต่พบว่ากรณีให้แรงกระทำต่อเดือยฟันทั้งขึ้นหรือขึ้นทดสอบที่หนา จะทำให้ความเค้นที่กระทำต่อพื้นผิวยึดติดไม่สม่ำเสมอ (highly non-uniform stress) ทำให้ค่าแรงที่วัดได้อาจน้อยกว่าความเป็นจริง¹⁴⁶ และขึ้นทดสอบที่หนาจะมีพื้นที่เสียหายมากขึ้น อาจมีผลให้ค่าความแข็งแรงยึดมากกว่าความเป็นจริง ดังนั้น Goracci และคณะ¹⁴⁷ จึงเตรียมขึ้นทดสอบให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดการกระจายความเค้นอย่างสม่ำเสมอขึ้น และไม่พบการแตกหักของขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบ แต่จากการศึกษานำร่อง พบว่าหัวกดจะกดลงบนเดือยฟันโดยตรง ทำให้พบการแตกหักในเดือยฟันก่อนการหลุดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต จึงไม่อาจสรุปได้ว่าเป็นผลจากการยึดติดที่ติระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต หรือเกิดจากการที่หัวกดกดลงบนเดือยฟันโดยตรง ซึ่งอาจไปทำให้เกิดการแตกหักของเส้นใยและ/หรือเมทริกซ์ นอกจากนี้วิธีนี้ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์แยกชนิดความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้

3. วิธีทดสอบความแข็งแรงยึดแบบดึงระดับจุลภาค โดยให้แรงดึงในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัสระหว่างวัสดุทดสอบขนาดเล็ก ขนาดพื้นผิวยึดติดที่ทดสอบมีขนาดเล็กทำให้มีการกระจายแรงที่สม่ำเสมอตลอดทั้งพื้นผิวและได้จำนวนขึ้นทดสอบหลายชิ้นจากชิ้นงานหนึ่งชิ้น¹⁴⁸ แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ การเตรียมขึ้นทดสอบทำได้ยาก ใช้เวลานาน และเกิดการแตกหักของขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบ¹²² นอกจากนี้ Asakawa และคณะ¹⁴⁹ พบว่าครึ่งหนึ่งของขึ้นทดสอบด้วยวิธีนี้จะแตกหักระหว่างการสลับอลูมิเนียมร้อนเย็น ดังนั้นการประเมินความแข็งแรงพันธะหลังการสลับอลูมิเนียมร้อนเย็นด้วยวิธีการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคจึงอาจไม่เหมาะสม จากการศึกษา นำร่อง

พบว่าเดือยฟันที่ไม่ปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีและไม่ได้ทำสารยึดติดใดๆ จะเกิดจากแตกหักขณะที่ตัดขึ้นทดสอบ แสดงว่าความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตน้อยมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเดือยฟันเสริมเส้นใยมีพื้นผิวที่เรียบและเรซินเมทริกซ์เป็นโตนเมทาคริเลตซึ่งมีความหนาแน่นของโครงร่างตาข่ายสูงและมีปริมาณการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันของเรซินเมทริกซ์สูง¹⁵⁰ และแกนฟันเรซินคอมโพสิตที่มีความหนืดไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปยังช่องว่างขนาดเล็กในเดือยฟันและเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงไม่มีกลุ่มควบคุมที่ไม่ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีและไม่ได้ทำสารยึดติดใดๆ แต่การเตรียมขึ้นทดสอบตามกลุ่มทดลองที่กำหนดผู้วิจัยไม่พบการแตกหักของขึ้นทดสอบระหว่างการเตรียมขึ้นทดสอบแบบแห้งด้วยวิธีการทดสอบค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค นอกจากนี้การทดสอบด้วยวิธีนี้สามารถตรวจวิเคราะห์แยกชนิดความล้มเหลวของการยึดติดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้

วิจารณ์ผลการทดลอง

วิจารณ์ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

จากผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมี ได้แก่ กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที และความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที ให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงกว่าการไม่ปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกช่วยเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต อาจเนื่องจากกรดฟอสฟอริกสามารถละลายส่วนของเรซินเมทริกซ์ได้ เพราะกรดฟอสฟอริกมีฤทธิ์เป็นกรดซึ่งมีผลกระตุ้นการไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) พันธะเอสเทอร์ (ester) ของโตนเมทาคริเลตเรซินเมทริกซ์^{115, 151} ทำให้พื้นผิวเดือยฟันขรุขระมากขึ้น สังเกตได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และทำให้เผยเส้นใยแก้วให้สามารถเกิดการยึดติดทางเคมีกับไซเลนได้ จึงช่วยเพิ่มการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต นอกจากนี้กรดฟอสฟอริกช่วยทำความสะอาดและกำจัดสิ่งแปลกปลอมบนพื้นผิว เช่น สิ่งสกปรก น้ำมัน ความชื้น และชั้นออกไซด์ที่อ่อนแอ (weak oxide layer) ทำให้เกิดพันธะการยึดติดที่ดีขึ้น ซึ่งหากไม่กำจัดสิ่งแปลกปลอมเหล่านี้ จะทำให้สารยึดติดเกิดพันธะกับชั้นผิวนอกที่อ่อนแอ (weak boundary layer) แทนที่จะเกิดพันธะกับผิวเดือยฟัน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับหลายการศึกษา^{72, 83, 152} แต่จากการศึกษาของ Valandro และคณะ⁹⁵ พบว่าเกิดการแตกหักของขึ้นทดสอบในกลุ่มเดือยฟันที่ปรับสภาพผิวด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 32 นาน 1 นาที ร่วมกับทา

ไซเลน ก่อนการทดสอบความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคเป็นจำนวนมาก แตกต่างจากการศึกษานี้ที่ไม่พบการแตกหักของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ อาจเนื่องจากความแตกต่างของชนิดเดือยฟันที่นำมาทดลอง ซึ่งในการศึกษาของ Valandro และคณะ ใช้เดือยฟันยี่ห้อไลท์ โปสต์ (Light post) ซึ่งเป็นเดือยฟันเสริมเส้นใยควอตซ์ที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี แต่การศึกษานี้ใช้เดือยฟันเสริมเส้นใยแก้วที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นโพลีเมทาคริลเลต ไซเลนที่ใช้ต่างบริษัทกัน ทำให้มีความแตกต่างในเรื่องปริมาณไซเลน ความเป็นกรดต่าง ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายในไซเลน¹⁰⁹ หรือวิธีการทดลอง เช่น วิธีการเก็บชิ้นทดสอบ ความเร็วในการตัดชิ้นทดสอบ¹⁵³ เป็นต้น

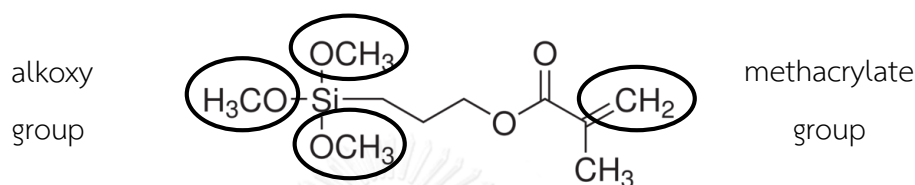
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถละลายส่วนของเรซินเมทริกซ์ อาจเนื่องจากสารละลายมีฤทธิ์เป็นกรดเช่นเดียวกับกรดฟอสฟอริก จึงมีผลกระตุ้นการไฮโดรไลซ์พันธะเอสเทอร์ของโพลีเมทาคริลเลตเรซินเมทริกซ์^{115, 151} หรืออาจเกิดปฏิกิริยาไฮโดรเปอร์ออกไซด์ออกซิเดชัน (hydroperoxide oxidation) ทำให้เกิดการตัดคาร์บอนพันธะคู่และพันธะเดี่ยวของเรซินเมทริกซ์¹⁵⁴ ทำให้พื้นผิวเดือยฟันขรุขระมากขึ้น จึงส่งเสริมเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตและเผยผิวงเส้นใยให้สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับไซเลนได้ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยมวล นาน 10 นาที สามารถเพิ่มความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับหลายการศึกษา^{11, 73, 131} ในขณะที่การศึกษาของ วิศิษฐ์และคณะ¹⁵⁵ พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นโพลีเมทาคริลเลตด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 24 และ 35 นาน 10 นาที โดยมวล ร่วมกับทาไซเลน ให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคต่ำกว่าการทาไซเลนอย่างเดียว โดยให้เหตุผลว่าอาจเนื่องมาจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกตัวให้น้ำและออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนที่ตกค้างอยู่บนผิวเดือยฟันจะยับยั้งการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของระบบสารยึดติดและมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาการก่อตัวของแกนฟันเรซินคอมโพสิตที่บริเวณรอยต่อ หากมีการตกค้างของออกซิเจน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดจะพบฟองอากาศในชั้นสารยึดติด¹⁵⁴ แต่จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดของการศึกษานี้ ไม่พบฟองอากาศหรือช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตหรือในชั้นสารยึดติด ดังนั้นการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนนาน 2 นาที ร่วมกับการเป่าแห้งนาน 30 วินาที ก่อนนำมาทาสารยึดติด (ไซเลนและ/หรือสารบอนด์ดิ้ง) จึงเพียงพอที่จะกำจัดออกซิเจนที่เกิดจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อาจตกค้างอยู่บนผิวเดือยฟัน นอกจากนี้พบว่าสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที ให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างจากความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับ Menezes และคณะ¹⁴ พบว่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันที่ปรับสภาพ

ผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างกันร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ติดกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกรดฟอสฟอริกและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากเมื่อมีการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมี ความล้มเหลวส่วนใหญ่ที่พบคือการเชื่อมแน่นล้มเหลวในเดือยฟันซึ่งอาจไม่สามารถแสดงค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคอย่างแท้จริงได้¹⁵⁶ และจากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่าทั้งกรดฟอสฟอริกและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถละลายส่วนของเรซินเมทริกซ์และเผยผิงเส้นใยได้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งให้ผลแตกต่างจากการศึกษาของ Sumitha และคณะ⁸³ และ Shori และคณะ¹⁵² พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไฮเลน ให้ความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่าการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 5 นาที และ 15 วินาที ร่วมกับทาไฮเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของเดือยฟันที่นำมาทดสอบ ซึ่งในการศึกษาของ Sumitha และ Shori ใช้เดือยฟันยี่ห้อดิสโปเดนท (Dispodent) และยี่ห้อไฟบราโพสทพลัส (Fibrapost Plus) ซึ่งมีอีพอกซีเรซินเป็นส่วนประกอบพื้นฐานและหลังจากแช่เดือยฟันในกรดฟอสฟอริกหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้ว นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำกลั่น นาน 24 ชั่วโมงก่อนนำไปตัดเพื่อสร้างชิ้นทดสอบ นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกแตกต่างจากการศึกษานี้

จากการศึกษานำร่องพบว่าชิ้นทดสอบที่ไม่ได้ปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีและไม่ได้ทาไฮเลนหรือสารบอนด์ติดจะเกิดการแตกหักระหว่างการตัดชิ้นงาน แต่เมื่อมีการปรับสภาพผิวด้วยสารยึดติด ได้แก่ ไฮเลน สารบอนด์ติด และไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ติด ไม่พบการแตกหักของชิ้นทดสอบระหว่างการเตรียมชิ้นงาน ดังนั้นการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ติดสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต อาจเนื่องจากไฮเลนเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ จึงสามารถเพิ่มความสามารถในการเปียกของผิวเดือยฟัน ทำให้วัสดุก่อนแกนฟันเรซินคอมโพสิตสามารถไหลแผ่ไปตามผิวเดือยฟันได้ดีขึ้น เกิดความแนบสนิทระหว่างผิวสัมผัสและเกิดพันธะแวนเดอร์วาลส์ (van der waals' forces) ระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน¹⁵⁷ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ไฮเลนยี่ห้อโมโนบอนด์-เอส ประกอบด้วย 3-เมทาคริลอキシโพรพิลไตรเมทอกซีไฮเลน (รูปที่ 46) มีหมู่ทำหน้าที่ 2 หมู่ ปลายด้านหนึ่งเป็นหมู่อัลคอกซี เมื่อถูกสลายด้วยน้ำจะเกิดเป็นหมู่ไฮลันอลซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮลันอกเซนกับวัสดุอุดแทรกและเส้นใยแก้วหรือควอตซ์ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งเป็นหมู่เมทาคริเลตสามารถทำปฏิกิริยากับเรซินคอมโพสิต ดังนั้นจึงต้องปรับสภาพผิวเดือย

ฟันด้วยสารเคมีก่อนทาไซเลน เพื่อละลายส่วนเมทริกซ์และทำให้เกิดการเผยผิวงเส้นใย ไซเลนจึงสามารถเกิดพันธะเคมีระหว่างแกนฟันเรซินคอมโพสิตกับส่วนเส้นใยแก้วหรือควอตซ์ของเดือยฟันได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงพบว่าการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีก่อนทาไซเลนให้ค่าความแข็งแรงดั่งระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่าการทาไซเลนโดยปราศจากการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีก่อนทาไซเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับหลายการศึกษา^{73, 83, 152}



รูปที่ 46 3-เมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน

ไซเลนส่วนใหญ่ในทางทันตกรรมเป็นเมทาคริลอกซีโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน^{64, 158} ส่วนที่แตกต่างกันของไซเลนแต่ละยี่ห้อ คือ ปริมาณไซเลน ค่าความเป็นกรดต่าง ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลาย ซึ่งปริมาณไซเลนส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นร้อยละ 1-5 โดยปริมาตร เพราะความเข้มข้นของไซเลนที่ต่ำจะทำให้กระบวนการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างโมเลกุลของไซเลนเหมาะสมและความหนาของชั้นไซเลนบาง¹⁵⁹ ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 4 ซึ่งทำให้อัตราการควบแน่นระหว่างหมู่ไซลานอลของโมเลกุลไซเลนไปเป็นออลิโกเมอร์มีค่าต่ำสุดและสารละลายไซเลนมีความคงตัวมากที่สุด⁶⁴ ชนิดและความเข้มข้นของตัวทำละลายมีผลกับการเป่าแห้งของไซเลน โดยอะซิโตนสามารถเป่าให้ระเหยได้ง่ายกว่าเอทานอลและน้ำตามลำดับ¹¹⁴ ถ้าตัวทำละลายระเหยไม่หมด อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย จึงลดพื้นผิวของเส้นใยในเดือยฟันซึ่งจะเกิดปฏิกิริยากับไซเลน¹¹² นอกจากนี้ไซเลนยี่ห้อโมโนบอนด์-เอสเป็นไซเลนระบบขวดเดี่ยวซึ่งไซเลนถูกสลายด้วยน้ำมาแล้ว ดังนั้นโมเลกุลของไซเลนมีโอกาสดับตัวกันเองเกิดเป็นออลิโกเมอร์ทำให้เมื่อทาที่ผิวเดือยฟันจะเกิดชั้นไซเลนที่หนามากกว่าไซเลนระบบสองขวด ซึ่งชั้นไซเลนที่หนาอาจทำให้เกิดการแตกหักภายในชั้นไซเลนเมื่อได้รับแรงกระทำได้ จากการศึกษาของ Suttiat และคณะ¹⁰⁵ พบว่าประสิทธิภาพของไซเลนระบบสองขวดยี่ห้อฟอร์ซเลนไลน์เนอร์เอ็ม (porcelain liner M) ให้ค่าความแข็งแรงดั่งระดับจุลภาคสูงกว่าระบบขวดเดี่ยวยี่ห้อโมโนบอนด์-เอส

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการศึกษาของ Monticelli และคณะ¹⁰⁷ พบว่าไซเลนียี่ห้อ โมโนบอนด์-เอสให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงกว่ายี่ห้อพอร์ซเลนไลเนอร์เอ็มเมื่อเป่าไซเลนให้แห้งด้วยลมอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเป่าไซเลนให้แห้งด้วยลมร้อน 38 องศาเซลเซียส ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคของทั้ง 2 ยี่ห้อไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างในการเตรียมผิวเดือยฟันก่อนทดสอบ ซึ่งในการศึกษาของ Suttiat และคณะ¹⁰⁵ ได้ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ในขณะที่ Monticelli และคณะ¹⁰⁷ แซ่เดือยฟันในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการเป่าไซเลนให้แห้งมีผลต่อการระเหยของตัวทำละลายในไซเลน ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงมีผลต่อประสิทธิภาพของไซเลนแต่ละยี่ห้อในการยึดติดระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตแตกต่างกัน

สารบอนด์ดีงสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตและแกนฟันเรซินคอมโพสิต สอดคล้องกับหลายศึกษา^{57, 67} อาจเนื่องจากสารบอนด์ดีงมีความหนืดต่ำจึงสามารถไหลแผ่ไปบนผิวเดือยฟันได้ดี เพิ่มความสามารถในการเปียกของผิวเดือยฟัน¹⁶⁰ และมีการแทรกซึมของสารบอนด์ดีงเข้าไปยังพื้นผิวที่ขรุขระของเดือยฟันและเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาค ร่วมกับการเกิดพันธะเคมีระหว่างสารบอนด์ดีงกับหมู่ทำหน้าที่ที่เหลืออยู่ของเรซินเทริกซ์ของเดือยฟัน¹⁶¹ อย่างไรก็ตามพันธะคู่ของคาร์บอนบนผิวของพอลิเมอร์ที่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันไปแล้วเหลือน้อย¹²¹ ดังนั้นโอกาสที่จะเกิดพันธะเคมีระหว่างไดเมทาคริเลตของสารบอนด์ดีงกับไดเมทาคริเลตเรซินเมเทริกซ์ของเดือยฟันจึงเป็นไปได้น้อย⁴⁶ เมื่อใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันร่วมกับทาสารบอนด์ดีง พบว่าค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงกว่าการทาสารบอนด์ดีงอย่างเดียว เป็นผลเนื่องมาจากพื้นผิวของเดือยฟันขรุขระมากขึ้น ทำให้สารบอนด์ดีงสามารถเกิดการยึดติดเชิงกลระดับจุลภาคกับเดือยฟันได้ แต่ไม่เห็นความแตกต่างในทางสถิติ เมื่อใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันร่วมกับทาไซเลนและสารบอนด์ดีงพบว่าให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคสูงกว่าการทาไซเลนหรือสารบอนด์ดีงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจากผลของทั้งไซเลนและสารบอนด์ดีงในการเกิดการยึดติดเชิงเคมีและเชิงกลกับเดือยฟัน

เมื่อพิจารณาผลจากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองด้วยสถิติต้นเนท ที่สาม (ตารางที่ 5) พบว่าการไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันร่วมกับทาไซเลนอย่างเดียวให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากไซเลนไม่สามารถเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยได้ เนื่องจากเส้นใยถูกปกคลุมไปด้วยเรซินเมเทริกซ์ ทำให้สามารถเกิดเพียงพันธะแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงอ่อนๆระหว่างโมเลกุลที่อยู่ใกล้กัน¹⁵⁷ แต่เมื่อไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเดือยฟันร่วมกับทาสารบอนด์ดีงหรือไซเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง พบว่าให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคมากกว่าการทาไซเลนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากสารบอนด์ดีงมีความหนืดต่ำ จึงสามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างขนาดเล็กบนผิวเดือยฟันและเกิดเป็นการยึดเชิงกล

ระดับจุลภาค จึงให้แรงยึดที่สูงกว่า แต่เมื่อใช้กรดฟอสฟอริกหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างกันในการปรับสภาพผิวเดือยฟันก่อนการทำไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีงให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างกัน เนื่องจากกรดฟอสฟอริกและสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถละลายเรซินเมทริกซ์ ทำให้พื้นผิวเดือยฟันขรุขระขึ้นและเผยเส้นใยให้เกิดพันธะเคมีกับไฮเลนได้ จึงมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคไม่แตกต่างจากการปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีร่วมกับการทำสารบอนด์ดีงหรือไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการศึกษาของ Ferrari และคณะ⁵⁶ พบว่าการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกร่วมกับการทำไฮเลนหรือร่วมกับการทำไฮเลนและสารบอนด์ดีงให้ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิตไม่แตกต่างกัน แต่ให้ผลต่างจากการศึกษาของ Ounsi และคณะ¹⁶² ซึ่งพบว่าการทำสารบอนด์ดีงภายหลังปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีและทำไฮเลนสามารถเพิ่มความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต อาจเนื่องจากการศึกษาของ Ounsi และคณะ ใช้เดือยฟันยี่ห้อรีไลเอ็กซ์ซึ่งมีส่วนเรซินเมทริกซ์เป็นอีพอกซีและปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที และแช่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 นาน 20 นาที ล้างน้ำและแช่ในโซเดียม แอสคอร์เบต (sodium ascorbate) นาน 10 นาที ล้างน้ำ เป่าแห้ง ก่อนทำไฮเลนและทำสารบอนด์ดีง ซึ่งการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีหลายชนิดอาจมีผลทำให้เกิดการกัดผิวเดือยฟันมากเกินไป ทำให้วัสดุก๊อแกนฟันเรซินคอมโพสิตที่มีความหนืดสูงกว่าสารบอนด์ดีงไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างที่ถูกสารเคมีกัดออกได้หมด ดังนั้นค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคในกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้ทำสารบอนด์ดีงจึงน้อยกว่ากลุ่มที่ทำสารบอนด์ดีงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Ounsi และคณะ พบว่าชนิดของสารบอนด์ดีงไม่มีผลต่อการยึดติดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับหลายการศึกษา^{56, 119}

ดังนั้นการปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตอาจเลือกใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ตามบริษัทแนะนำหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 35 และ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทำไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง แต่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 อาจต้องรอบริษัทนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศและความเข้มข้นร้อยละ 50 เป็นความเข้มข้นที่ไม่ได้ใช้ในทางทันตกรรม แต่สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 หาซื้อได้ง่าย มีจำหน่ายที่ภาควิชาวาสีกรรม คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเป็นสารที่มีใช้ในคลินิกทันตกรรม อย่างไรก็ตามต้องมีวิธีเก็บรักษาสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างถูกวิธี ควรเก็บไว้ในขวดสีชาเพื่อไม่ให้ถูกแสงและในตู้รักษาความเย็น ซึ่งบริษัทแนะนำให้เก็บที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เพราะ

อาจมีผลต่อประสิทธิภาพของสารละลายได้ และสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นสูงสามารถทำให้เกิดการระคายเคือง เป็นแผลและระคายเคืองระบบทางเดินหายใจได้ จึงต้องมีความระมัดระวังในการใช้¹²⁸ และการทาสารบอนด์ดิงที่ผิวเตื่อยฟันช่วยเพิ่มการยึดระหว่างเตื่อยฟันและแกนฟันเรซินคอมโพสิต กรณีที่ไม่ใช้สารเคมีปรับสภาพผิวเตื่อยฟัน

วิจารณ์ความล้มเหลวของขั้นตอนทดสอบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการปรับสภาพผิวเตื่อยฟันกับรูปแบบความล้มเหลวด้วยวิธีมอนเท คาร์โล พบว่าวิธีการปรับสภาพผิวและรูปแบบความล้มเหลวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยขั้นตอนทดสอบทั้งหมดในกลุ่มทาไซเลน เกิดความล้มเหลวชนิดยึดไม่อยู่ ในขณะที่กลุ่มอื่นๆ ขั้นตอนทดสอบส่วนใหญ่เกิดการเชื่อมแน่นล้มเหลวภายในเตื่อยฟัน ซึ่งแสดงว่าความแข็งแรงยึดที่ผิวสัมผัสระหว่างเตื่อยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตมีค่ามากกว่าความแข็งแรงยึดในเตื่อยฟัน ซึ่งเป็นการยึดระหว่างเส้นใยกับส่วนเมทริกซ์ด้วยไซเลน ดังนั้นกลุ่มทาไซเลนจึงมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคต่ำกว่ากลุ่มอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 8 แสดงความล้มเหลวในแต่ละช่วงค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค

ค่าความแข็งแรงดึง ระดับจุลภาค (นิวตัน)	ความล้มเหลว [ชิ้น(%)]			รวม
	การยึดไม่อยู่	การเชื่อมแน่น ล้มเหลว	ความล้มเหลว ชนิดผสม	
18.00-27.99	21 (5.83)	13 (3.61)	3 (0.83)	37 (10.28)
28.00-31.99	12 (3.33)	48 (13.33)	10 (2.78)	70 (19.44)
32.00-35.99	13 (3.61)	81 (22.50)	10 (2.78)	104 (28.89)
36.00-39.99	6 (1.67)	78 (21.67)	16 (4.44)	100 (27.78)
40.00-48.99	3 (0.83)	34 (9.44)	12 (3.33)	49 (13.61)
รวม	55 (15.28)	254 (70.55)	51 (14.17)	360 (100.00)

เมื่อนำค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคมาแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม ด้วยวิธีสะสมรากกำลังสองของความถี่ (cumulative square root of the frequency method)¹⁶³ ดังตารางที่ 8 พบว่าเมื่อความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคอยู่ในช่วง 18.00-27.99 นิวตัน ขึ้นทดสอบส่วนใหญ่จะเกิดความล้าเหลวชนิดยึดไม่อยู่ แต่เมื่อค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคมีค่ามากกว่า 27.99 ขึ้นทดสอบส่วนใหญ่จะเกิดความล้าเหลวชนิดเชื่อมแน่นล้าเหลวในเดือยฟัน อย่างไรก็ตามรูปแบบความล้าเหลวสามารถพยากรณ์ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคได้ถูกต้องเพียงร้อยละ 36.6 ของความผันแปรของค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคเท่านั้น พบว่าขึ้นทดสอบบางชิ้นแม้เกิดความล้าเหลวชนิดยึดไม่อยู่ แต่ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคกลับสูงกว่าขึ้นทดสอบบางชิ้นที่เกิดการเชื่อมแน่นล้าเหลวในเดือยฟัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเส้นใยกับเรซินเมทริกซ์ของเดือยฟันในแต่ละบริเวณมีค่าแตกต่างกัน นอกจากนี้จากภาพถ่ายขึ้นทดสอบก่อนการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด พบว่ามีช่องว่างระหว่างเรซินเมทริกซ์และเส้นใยของเดือยฟันยี่ห้อเอพาร์ซี โปสต์เทค พลัส ในบางตำแหน่ง สอดคล้องกับการศึกษาของ Zicari และคณะ¹⁶⁴ ซึ่งพบความไม่ต่อเนื่องและช่องว่างระหว่างเรซินเมทริกซ์และเส้นใยของเดือยฟันยี่ห้อนี้ ซึ่งอาจเป็นจุดเริ่มต้นของความล้าเหลวในเดือยฟัน

นอกจากนี้ชนิดของเรซินเมทริกซ์และการปรับสภาพผิวเดือยฟันมีผลต่อชนิดความล้าเหลว¹⁴⁹ จากการศึกษาของ Soares และคณะ⁷⁸ พบว่าเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็น ไตเมทาคริเลต จะพบความล้าเหลวแบบยึดไม่อยู่และเชื่อมแน่นล้าเหลวในเดือยฟันหลังจากทดสอบความแข็งแรงถึงระดับจุลภาค ในขณะที่เดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็น อีพอกซีจะล้าเหลวแบบยึดไม่อยู่ และการศึกษาของ Ferrari และคณะ⁶⁷ พบว่าเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นอีพอกซี เมื่อปรับสภาพผิวด้วยสารบอนด์ดีดิงและไซเลนร่วมกับสารบอนด์ดีดิงส่วนใหญ่เกิดเป็นความล้าเหลวชนิดยึดไม่อยู่ ซึ่งอาจเนื่องจากไตเมทาคริเลตเรซินเมทริกซ์มีความแข็งตึง (stiffness) มากกว่าอีพอกซีเรซินเมทริกซ์และทนต่อแรงดึงได้น้อยกว่า จึงเกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้าเหลวในเดือยฟันก่อนที่จะเกิดการยึดไม่อยู่ และอาจเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเดือยฟันแต่ละยี่ห้อทำให้เดือยฟันสามารถทนต่อแรงดึงได้แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้วิธีทดสอบค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคโดยให้แรงดึงในแนวตั้งฉากกับพื้นผิวสัมผัสระหว่างขึ้นทดสอบ แต่ในความเป็นจริงแล้วเดือยฟันได้รับแรงในหลายทิศทาง ดังนั้นค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคและความล้าเหลวที่เกิดขึ้นจึงเป็นเพียงการทำนายแนวโน้มการยึดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตเท่านั้น ซึ่งการเชื่อมแน่นล้าเหลวในเดือยฟันอาจไม่เกิดขึ้นจริงในทางคลินิก ดังนั้นจึงควรมีการติดตามผลทางคลินิกต่อไป

สรุปผลการวิจัย

1. การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง ทำให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตสูงกว่าการไม่ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีร่วมกับทาไฮเลน แต่ไม่แตกต่างจากการไม่ปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารเคมีร่วมกับทาสารบอนด์ดีงหรือไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดีง

2. การปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง ทำให้ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคระหว่างเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต ไม่แตกต่างกับการปรับสภาพผิวเดือยฟันด้วยกรดฟอสฟอริกร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง

3. ในการบูรณะ อาจเลือกใช้การปรับสภาพผิวเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลตด้วยกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที หรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ทำได้ง่ายในคลินิกทันตกรรม ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาผลของอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต เมื่อปรับสภาพผิวด้วยสารเคมีร่วมกับสารยึดติด

2. ควรนำผลจากการวิจัยนี้ไปศึกษาต่อถึงความสามารถในการต้านทานการแตกหักของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันที่มีส่วนประกอบพื้นฐานเป็นไดเมทาคริเลต เมื่อปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับการทาไฮเลนและ/หรือสารบอนด์ดีง เนื่องจาก การปรับสภาพผิวด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีการละลายส่วนของเรซินเมทริกซ์ ทำให้เกิดรูพรุนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของเดือยฟันและฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันนั้นๆ ได้

รายการอ้างอิง

1. Plotino G, Grande NM, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. *Dent Mater.* 2007;23:1129-35.
2. Goto Y, Nicholls JI, Phillips KM, Junge T. Fatigue resistance of endodontically treated teeth restored with three dowel-and-core systems. *J Prosthet Dent.* 2005;93:45-50.
3. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF. Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *J Adhes Dent.* 1999;1:153-8.
4. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A. Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature, Part II (Evaluation of fatigue behavior, interfaces, and in vivo studies). *Quintessence Int.* 2008;39:117-29.
5. Cagidiaco MC, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Clinical studies of fiber posts: a literature review. *Int J Prosthodont.* 2008;21:328-36.
6. Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent.* 2000;13:15B-8B.
7. Monticelli F, Osorio R, Sadek FT, Radovic I, Toledano M, Ferrari M. Surface treatments for improving bond strength to prefabricated fiber posts: a literature review. *Oper Dent.* 2008;33:346-55.
8. Goracci C, Ferrari M. Current perspectives on post systems: a literature review. *Aust Dent J.* 2011;56 Suppl 1:77-83.
9. Vano M, Goracci C, Monticelli F, Tognini F, Gabriele M, Tay FR, et al. The adhesion between fibre posts and composite resin cores: the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. *Int Endod J.* 2006;39:31-9.
10. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Sadek FT, Goracci C, Ferrari M. A simple etching technique for improving the retention of fiber posts to resin composites. *J Endod.* 2006;32:44-7.
11. สราลี. ความแข็งแรงยึดระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปเสริมเส้นใยกับแกนฟันเรซินคอมโพสิตหลังการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารเคมี [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2553.

12. Chanatepaporn P, Sae-lee D, Swasdipanich C, Gaveeyanon E. A comparative study of surface characteristics between hydrogen peroxide etching and airborne aluminium oxide particle abrasion on fiber post. *Khon Kaen Dental Journal*. 2010;13:37-48.
13. สุขาวดี. ผลของการปรับสภาพพื้นผิวเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อความต้านทานการแตกหักของฟันรักษาคอลงราก [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย;2554.
14. Menezes MS, Queiroz EC, Soares PV, Faria-e-Silva AL, Soares CJ, Martins LR. Fiber post etching with hydrogen peroxide: effect of concentration and application time. *J Endod*. 2011;37:398-402.
15. Sae-Lee D, Chanatapaporn P, Narangkool P, Hompa R, Kwansirikul A, Mukanaso A. Bond strength between fiber post with different surface treatments and resin composite cores. *Khon Kaen Dental Journal*. 2012;15:81-94.
16. Menezes MS, Faria-e-Silva AL, Silva FP, Reis GR, Soares CJ, Stape TH, et al. Etching a fiber post surface with high-concentration bleaching agents. *Oper Dent*. 2014;39:16-21.
17. Helfer AR, Melnick S, Schilder H. Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1972;34:661-70.
18. Rivera EM, Yamauchi M. Site comparisons of dentine collagen cross-links from extracted human teeth. *Arch Oral Biol*. 1993;38:541-6.
19. Huang TJ, Schilder H, Nathanson D. Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. *J Endod*. 1992;18:209-15.
20. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod*. 1992;18:332-5.
21. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol*. 1994;10:91-3.
22. Tait CM, Ricketts DN, Higgins AJ. Restoration of the root-filled tooth: pre-operative assessment. *Br Dent J*. 2005;198:395-404.
23. Al-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod*. 2010;36:1439-49.
24. Fernandes AS, Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: a review. *Int J Prosthodont*. 2001;14:355-63.

25. Mahmoudi M, Saidi A, Gandjalikhan Nassab SA, Hashemipour MA. A three-dimensional finite element analysis of the effects of restorative materials and post geometry on stress distribution in mandibular molar tooth restored with post-core crown. *Dent Mater J*. 2012;31:171-9.
26. Akkayan B, Gulmez T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent*. 2002;87:431-7.
27. Mortazavi V, Fathi M, Katiraei N, Shahnasari S, Badrian H, Khalighinejad N. Fracture resistance of structurally compromised and normal endodontically treated teeth restored with different post systems: An in vitro study. *Dent Res J (Isfahan)*. 2012;9:185-91.
28. Makade CS, Meshram GK, Warhadpande M, Patil PG. A comparative evaluation of fracture resistance of endodontically treated teeth restored with different post core systems - an in-vitro study. *J Adv Prosthodont*. 2011;3:90-5.
29. Padmanabhan P. A comparative evaluation of the fracture resistance of three different pre-fabricated posts in endodontically treated teeth: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2010;13:124-8.
30. Mallick PK. *Fiber-reinforced composites : materials, manufacturing, and design*. 3rd ed. New York: CRC Press Taylor & Francis Group; 2008.
31. Baba NZ, Golden G, Goodacre CJ. Nonmetallic prefabricated dowels: a review of compositions, properties, laboratory, and clinical test results. *J Prosthodont*. 2009;18:527-36.
32. Torbjorner A, Karlsson S, Syverud M, Hensten-Pettersen A. Carbon fiber reinforced root canal posts. Mechanical and cytotoxic properties. *Eur J Oral Sci*. 1996;104:605-11.
33. Stewardson DA, Shortall AC, Marquis PM, Lumley PJ. The flexural properties of endodontic post materials. *Dent Mater*. 2010;26:730-6.
34. Bitter K, Kielbassa AM. Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: a review. *Am J Dent*. 2007;20:353-60.
35. Goracci C, Corciolani G, Vichi A, Ferrari M. Light-transmitting ability of marketed fiber posts. *J Dent Res*. 2008;87:1122-6.

36. dos Santos Alves Morgan LF, Peixoto RT, de Castro Albuquerque R, Santos Correa MF, de Abreu Poletto LT, Pinotti MB. Light transmission through a translucent fiber post. *J Endod.* 2008;34:299-302.
37. Schmitter M, Rammelsberg P, Gabbert O, Ohlmann B. Influence of clinical baseline findings on the survival of 2 post systems: a randomized clinical trial. *Int J Prosthodont.* 2007;20:173-8.
38. Kivanc BH, Gorgul G. Fracture resistance of teeth restored with different post systems using new-generation adhesives. *J Contemp Dent Pract.* 2008;9:33-40.
39. Ferrari M, Breschi L, Grandini R. Fiber posts and endodontically treated teeth: a compendium of scientific and clinical perspectives: *Modern Dentistry Media*; 2008.
40. Karbhari VM, Wang Q. Influence of triaxial braid denier on ribbon-based fiber reinforced dental composites. *Dent Mater.* 2007;23:969-76.
41. Memarpour M, Shafiei F. Restoration of primary anterior teeth using intracanal polyethylene fibers and composite: an in vivo study. *J Adhes Dent.* 2013;15:85-91.
42. Eskitascioglu G, Belli S, Kalkan M. Evaluation of two post core systems using two different methods (fracture strength test and a finite elemental stress analysis). *J Endod.* 2002;28:629-33.
43. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM. An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-core systems. *J Prosthet Dent.* 1999;81:262-9.
44. Turker SB, Alkumru HN, Evren B. Prospective clinical trial of polyethylene fiber ribbon-reinforced, resin composite post-core buildup restorations. *Int J Prosthodont.* 2007;20:55-6.
45. Shalaby WS, Ulrich S. *Polymers for dental and orthopedic applications.* New York: CRC Press Taylor & Francis Group; 2007.
46. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF, Vallittu PK. Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *Int Endod J.* 2005;38:46-51.
47. Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK. Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater.* 2004;20:29-36.

48. Davis P, Melo LS, Foxton RM, Sherriff M, Pilecki P, Mannocci F, et al. Flexural strength of glass fibre-reinforced posts bonded to dual-cure composite resin cements. *Eur J Oral Sci.* 2010;118:197-201.
49. Le Bell AM, Tanner J, Lassila LV, Kangasniemi I, Vallittu P. Bonding of composite resin luting cement to fiber-reinforced composite root canal posts. *J Adhes Dent.* 2004;6:319-25.
50. Abo El-Ela OA, Atta OA, El-Mowafy O. Microtensile bond strength of nonmetallic dowels bonded to radicular dentin with self-etch adhesives. *J Prosthodont.* 2009;18:167-71.
51. Bell AM, Lassila LV, Kangasniemi I, Vallittu PK. Bonding of fibre-reinforced composite post to root canal dentin. *J Dent.* 2005;33:533-9.
52. Yavirach P, Chaijareenont P, Boonyawan D, Pattamapun K, Tunma S, Takahashi H, et al. Effects of plasma treatment on the shear bond strength between fiber-reinforced composite posts and resin composite for core build-up. *Dent Mater J.* 2009;28:686-92.
53. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent.* 2000;13:9B-13B.
54. Malferrari S, Monaco C, Scotti R. Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. *Int J Prosthodont.* 2003;16:39-44.
55. Amaral M, Rippe MP, Konzen M, Valandro LF. Adhesion between fiber post and root dentin: evaluation of post surface conditioning for bond strength improvement. *Minerva Stomatol.* 2011;60:279-87.
56. Ferrari M, Goracci C, Sadek FT, Monticelli F, Tay FR. An investigation of the interfacial strengths of methacrylate resin-based glass fiber post-core buildups. *J Adhes Dent.* 2006;8:239-45.
57. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent.* 2004;32:443-50.
58. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balleri B, Bertelli E, Ferrari M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater.* 2005;21:437-44.

59. Mazzitelli C, Papacchini F, Monticelli F, Toledano M, Ferrari M. Effects of post surface treatments on the bond strength of self-adhesive cements. *Am J Dent.* 2012;25:159-64.
60. Magni E, Mazzitelli C, Papacchini F, Radovic I, Goracci C, Coniglio I, et al. Adhesion between fiber posts and resin luting agents: a microtensile bond strength test and an SEM investigation following different treatments of the post surface. *J Adhes Dent.* 2007;9:195-202.
61. Mosharraf R, Baghaei Yazdi N. Comparative evaluation of effects of different surface treatment methods on bond strength between fiber post and composite core. *J Adv Prosthodont.* 2012;4:103-8.
62. Leme AA, Pinho AL, de Goncalves L, Correr-Sobrinho L, Sinhoreti MA. Effects of silane application on luting fiber posts using self-adhesive resin cement. *J Adhes Dent.* 2013;15:269-74.
63. Bitter K, Neumann K, Kielbassa AM. Effects of pretreatment and thermocycling on bond strength of resin core materials to various fiber-reinforced composite posts. *J Adhes Dent.* 2008;10:481-9.
64. Matinlinna JP, Lassila LV, Ozcan M, Yli-Urpo A, Vallittu PK. An introduction to silanes and their clinical applications in dentistry. *Int J Prosthodont.* 2004;17:155-64.
65. Bitter K, Noetzel J, Neumann K, Kielbassa AM. Effect of silanization on bond strengths of fiber posts to various resin cements. *Quintessence Int.* 2007;38:121-8.
66. Perdigao J, Gomes G, Lee IK. The effect of silane on the bond strengths of fiber posts. *Dent Mater.* 2006;22:752-8.
67. Ferrari M, Monticelli F, Cury A, Papacchini F, Chieffi N, Goracci C. Efficacy of a combined silica/methacrylate coupling on the fiber post bonding to composite cores. *Inter Dent SA.* 2006;8:58-65.
68. Monticelli F, Osorio R, Albaladejo A, Aguilera FS, Tay FR, Ferrari M, et al. Effect of adhesive systems and surface treatment of methacrylate resin-based fiber posts on post-resin-dentin bonds. *Am J Dent.* 2007;20:231-4.
69. Zhong B, Zhang Y, Zhou J, Chen L, Li D, Tan J. UV irradiation improves the bond strength of resin cement to fiber posts. *Dent Mater J.* 2011;30:455-60.

70. Lee B-S MT, Ichikawa K, Tabata Y, Lee D-C. The analysis of surface degradation on UV-treated epoxy/glass fiber by corona-charging properties. *Polym Degrad Stab.* 1999; 66: 271-278.
71. Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M, Osorio E, Monticelli F, Osorio R. Surface roughness analysis of fiber post conditioning processes. *J Dent Res.* 2008;87:186-90.
72. Guler AU, Kurt M, Duran I, Uludamar A, Inan O. Effects of different acids and etching times on the bond strength of glass fiber-reinforced composite root canal posts to composite core material. *Quintessence Int.* 2012;43:e1-8.
73. Elsaka SE. Influence of chemical surface treatments on adhesion of fiber posts to composite resin core materials. *Dent Mater.* 2013;29:550-8.
74. Khamverdi Z, Talebian R. Effect of ascorbic acid, ethanol and acetone on adhesion between the treated fiber posts and composite resin cores. *J Adv Prosthodont.* 2012;4:187-91.
75. Kelsey WP, Latta MA, Kelsey MR. A comparison of the retention of three endodontic dowel systems following different surface treatments. *J Prosthodont.* 2008;17:269-73.
76. Balbosh A, Kern M. Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. *J Prosthet Dent.* 2006;95:218-23.
77. Cheleux N, Sharrock P, Degrange M. Surface treatments on quartz fiber post: influence on adhesion and flexural properties. *Am J Dent.* 2007;20:375-9.
78. Soares CJ, Santana FR, Pereira JC, Araujo TS, Menezes MS. Influence of airborne-particle abrasion on mechanical properties and bond strength of carbon/epoxy and glass/bis-GMA fiber-reinforced resin posts. *J Prosthet Dent.* 2008;99:444-54.
79. Sahafi A, Peutzfeld A, Asmussen E, Gotfredsen K. Effect of surface treatment of prefabricated posts on bonding of resin cement. *Oper Dent.* 2004;29:60-8.
80. Nergiz I, Schmage P, Platzner U, McMullan-Vogel CG. Effect of different surface textures on retentive strength of tapered posts. *J Prosthet Dent.* 1997;78:451-7.
81. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Goracci C, Ferrari M. Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater.* 2006;22:602-9.

82. Yenisey M, Kulunk S. Effects of chemical surface treatments of quartz and glass fiber posts on the retention of a composite resin. *J Prosthet Dent.* 2008;99:38-45.
83. Sumitha M, Kothandaraman R, Sekar M. Evaluation of post-surface conditioning to improve interfacial adhesion in post-core restorations. *J Conserv Dent.* 2011;14:28-31.
84. Monticelli F, Osorio R, Toledano M, Goracci C, Tay FR, Ferrari M. Improving the quality of the quartz fiber postcore bond using sodium ethoxide etching and combined silane/adhesive coupling. *J Endod.* 2006;32:447-51.
85. Kulunk S, Kulunk T, Yenisey M. Effects of different surface pre-treatments on the bond strength of adhesive resin cement to quartz fiber post. *Acta Odontol Scand.* 2012;70:547-54.
86. D'Arcangelo C, D'Amario M, Prosperi GD, Cinelli M, Giannoni M, Caputi S. Effect of surface treatments on tensile bond strength and on morphology of quartz-fiber posts. *J Endod.* 2007;33:264-7.
87. D'Arcangelo C, D'Amario M, Vadini M, De Angelis F, Caputi S. Influence of surface treatments on the flexural properties of fiber posts. *J Endod.* 2007;33:864-7.
88. ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล, อิศราวัลย์ บุญศิริ, กัลยา ยั่งยืน, กิจศิริภรณ์ บุญอำนวย, ชุติมณฑาน์ ชีฆวณิช. ผลของการปรับสภาพพื้นผิวต่อลักษณะพื้นผิวของเดือยฟันชนิดเส้นใยควอตซ์ด้วยสารเคมี. *วทันต จุฬาฯ.* 2554;34:1-8.
89. Tredwin CJ, Naik S, Lewis NJ, Scully C. Hydrogen peroxide tooth-whitening (bleaching) products: review of adverse effects and safety issues. *Br Dent J.* 2006;200:371-6.
90. Mosharraf R, Ranjbarian P. Effects of post surface conditioning before silanization on bond strength between fiber post and resin cement. *J Adv Prosthodont.* 2013;5:126-32.
91. Goncalves AP, Ogliari Ade O, Jardim Pdos S, Moraes RR. Chemical cleaning agents and bonding to glass-fiber posts. *Braz Oral Res.* 2013;27:70-2.
92. Khamverdi Z, Abbasi S, Habibi E, Kasraei S, Azarsina M, Ebadi S. Effect of storage time on microtensile bond strength between quartz fiber post and composite core after different post surface treatments. *J Conserv Dent.* 2011;14:361-5.

93. Braga NM, Souza-Gabriel AE, Messias DC, Rached-Junior FJ, Oliveira CF, Silva RG, et al. Flexural properties, morphology and bond strength of fiber-reinforced posts: influence of post pretreatment. *Braz Dent J.* 2012;23:679-85.
94. Zicari F, De Munck J, Scotti R, Naert I, Van Meerbeek B. Factors affecting the cement-post interface. *Dent Mater.* 2012;28:287-97.
95. Valandro LF, Yoshiga S, de Melo RM, Galhano GA, Mallmann A, Marinho CP, et al. Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: effect of post surface conditioning. *J Adhes Dent.* 2006;8:105-11.
96. Schmage P, Cakir FY, Nergiz I, Pfeiffer P. Effect of surface conditioning on the retentive bond strengths of fiber reinforced composite posts. *J Prosthet Dent.* 2009;102:368-77.
97. Rodig T, Nusime AK, Konietschke F, Attin T. Effects of different luting agents on bond strengths of fiber-reinforced composite posts to root canal dentin. *J Adhes Dent.* 2010;12:197-205.
98. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K. Retention and failure morphology of prefabricated posts. *Int J Prosthodont.* 2004;17:307-12.
99. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K. Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber, and zirconia. *J Adhes Dent.* 2003;5:153-62.
100. Cekic-Nagas I, Sukuroglu E, Canay S. Does the surface treatment affect the bond strength of various fibre-post systems to resin-core materials? *J Dent.* 2011;39:171-9.
101. Radovic I, Monticelli F, Cury AH, Bertelli E, Vulicevic ZR, Ferrari M. Coupling of composite resin cements to quartz fiber posts: a comparison of industrial and chairside treatments of the post surface. *J Adhes Dent.* 2008;10:57-66.
102. Costa Dantas MC, do Prado M, Costa VS, Gaiotte MG, Simao RA, Bastian FL. Comparison between the effect of plasma and chemical treatments on fiber post surface. *J Endod.* 2012;38:215-8.
103. Arslan H, Barutcgil C, Yilmaz CB, Ceyhanli KT, Topcuoglu HS. Push-out bond strength between composite core buildup and fiber-reinforced posts after different surface treatments. *Photomed Laser Surg.* 2013;31:328-33.

104. Kriznar I, Jevnikar P, Fidler A. Effect of Er:YAG laser pretreatment on bond strength of a composite core build-up material to fiber posts. *Lasers Med Sci*. 2013 Aug 9. [Epub ahead of print].
105. Suttiat K, Wiwatwarapan C. Effect of one and two-bottle silane coupling agents on microtensile bond strength between resin composite and prefabricated fiber posts. *CU Dent J*. 2010;33:99-108.
106. Novais VR, Simamotos Junior PC, Rontani RM, Correr-Sobrinho L, Soares CJ. Bond strength between fiber posts and composite resin core: influence of temperature on silane coupling agents. *Braz Dent J*. 2012;23:8-14.
107. Monticelli F, Toledano M, Osorio R, Ferrari M. Effect of temperature on the silane coupling agents when bonding core resin to quartz fiber posts. *Dent Mater*. 2006;22:1024-8.
108. Barghi N, Berry T, Chung K. Effects of timing and heat treatment of silanated porcelain on the bond strength. *J Oral Rehabil*. 2000;27:407-12.
109. Matinlinna JP, Lassila LV, Vallittu PK. Evaluation of five dental silanes on bonding a luting cement onto silica-coated titanium. *J Dent*. 2006;34:721-6.
110. Meng X, Yoshida K, Taira Y, Kamada K, Luo X. Effect of siloxane quantity and ph of silane coupling agents and contact angle of resin bonding agent on bond durability of resin cements to machinable ceramic. *J Adhes Dent*. 2011;13:71-8.
111. Kasraei Sh ES, Atai M, khamverdi Z, Khajeh S. Effect of silane solvent on microtensile bond strength of hydrogen peroxide-treated fiber post and composite core. *Journal of Dentistry of Tehran University of Medical Sciences*. 2008;5:120-5.
112. Papacchini F, Monticelli F, Hasa I, Radovic I, Fabianelli A, Polimeni A, et al. Effect of air-drying temperature on the effectiveness of silane primers and coupling blends in the repair of a microhybrid resin composite. *J Adhes Dent*. 2007;9:391-7.
113. Kim HD, Lee JH, Ahn KM, Kim HS, Cha HS. Effect of silane activation on shear bond strength of fiber-reinforced composite post to resin cement. *J Adv Prosthodont*. 2013;5:104-9.
114. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. *Biomaterials*. 2007;28:3757-85.

115. Salz U, Zimmermann J, Zeuner F, Moszner N. Hydrolytic stability of self-etching adhesive systems. *J Adhes Dent*. 2005;7:107-16.
116. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, et al. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent*. 2003;28:215-35.
117. Hiba AS, Adel FI. The influence of adhesive systems on bond strength between FRP post and packable composite resin (a comparative study) *J Bagh College Dent*. 2010;22(4):14-21.
118. Zhang L, Wang Y, Radovic I, Chieffi N, Chen J, Ferrari M. Adhesion of two dual-cure core resins to silica fiber posts treated with different bonding agents. *Int Dent SA*. 2006;8:38-47.
119. Shirinzad M, Ebadi S, Shokripour M, Darabi M. An in vitro evaluation of the effect of four dentin bonding system on the bond strength between quartz fiber post and composite core. *J Dent (Shiraz)*. 2014;15:22-7.
120. Schwartz RS, Robbins JW. Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod*. 2004;30:289-301.
121. Lastumaki TM, Kallio TT, Vallittu PK. The bond strength of light-curing composite resin to finally polymerized and aged glass fiber-reinforced composite substrate. *Biomaterials*. 2002;23:4533-9.
122. Sadek FT, Monticelli F, Goracci C, Tay FR, Cardoso PE, Ferrari M. Bond strength performance of different resin composites used as core materials around fiber posts. *Dent Mater*. 2007;23:95-9.
123. Monticelli F, Goracci C, Grandini S, Garcia-Godoy F, Ferrari M. Scanning electron microscopic evaluation of fiber post-resin core units built up with different resin composites. *Am J Dent*. 2005;18:61-5.
124. Salameh Z, Papacchini F, Ounsi HF, Goracci C, Tashkandi E, Ferrari M. Adhesion between prefabricated fiber-reinforced posts and different composite resin cores: a microtensile bond strength evaluation. *J Adhes Dent*. 2006;8:113-7.
125. Wrbas KT, Schirmermeister JF, Altenburger MJ, Agrafioti A, Kielbassa AM. Influence of adhesive systems on bond strength between fiber posts and composite resin cores in a pull-out test design. *Dent Mater J*. 2007;26:401-8.

126. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater.* 2005;21:75-82.
127. Grandini S, Goracci C, Tay FR, Grandini R, Ferrari M. Clinical evaluation of the use of fiber posts and direct resin restorations for endodontically treated teeth. *Int J Prosthodont.* 2005;18:399-404.
128. Walsh LJ. Safety issues relating to the use of hydrogen peroxide in dentistry. *Aust Dent J.* 2000;45:257-69.
129. Hydrogen peroxide [Internet]. Atlanta: Hydrogen peroxide technical library; [cited 2014 Nov 4]. Available from: <http://www.h2o2.com/technical-library/default.aspx?pid=9&name=Technical-Library>.
130. Brandhuber P, Korshin G. Methods for the detection of residual concentrations of hydrogen peroxide in advanced oxidation processes. Alexandria: WateReuse foundation; 2009.
131. ปริญญาพร ศรีอ่อนเที่ยง, ศิริพร อรุณประดิษฐ์กุล, อิศราวัลย์ บุญศิริ. ผลของการปรับสภาพพื้นผิวด้วยฟอสฟอริกแอซิดด้วยสารเคมีต่อค่ากำลังแรงยึดแบบผลึก. *ว ทันต จุฬาฯ* 2556;36:165-76.
132. Debnath S, Wunder SL, McCool JI, Baran GR. Silane treatment effects on glass/resin interfacial shear strengths. *Dent Mater.* 2003;19:441-8.
133. Radovic I, Mazzitelli C, Chieffi N, Ferrari M. Evaluation of the adhesion of fiber posts cemented using different adhesive approaches. *Eur J Oral Sci.* 2008;116:557-63.
134. Wattanasukchai P, Sakoolnamarka R, Arksornnukit M. Adhesion of resin core foundation composites to root canal dentin using different dentin adhesives. *Am J Dent.* 2010;23:98-102.
135. ปทุมมา. ความแข็งแรงพันธะเฉือนของเรซินคอมโพสิตชนิดบ่มตัวสองรูปแบบและชนิดบ่มตัวด้วยตัวเองต่อเนื้อฟัน เมื่อใช้เทคนิคในการยึดติดต่างกัน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2546.
136. Sadek FT, Calheiros FC, Cardoso PE, Kawano Y, Tay F, Ferrari M. Early and 24-hour bond strength and degree of conversion of etch-and-rinse and self-etch adhesives. *Am J Dent.* 2008;21:30-4.

137. Venz S, Dickens B. NIR-spectroscopic investigation of water sorption characteristics of dental resins and composites. *J Biomed Mater Res.* 1991;25:1231-48.
138. Soderholm KJ, Roberts MJ. Influence of water exposure on the tensile strength of composites. *J Dent Res.* 1990;69:1812-6.
139. Chai J, Takahashi Y, Hisama K, Shimizu H. Effect of water storage on the flexural properties of three glass fiber-reinforced composites. *Int J Prosthodont.* 2005;18:28-33.
140. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF. Three-point bending test of fiber posts. *J Endod.* 2001;27:758-61.
141. Vichi A, Vano M, Ferrari M. The effect of different storage conditions and duration on the fracture strength of three types of translucent fiber posts. *Dent Mater.* 2008;24:832-8.
142. Sahafi A, Peutzfeldt A. Durability of the bond between resin composite cores and prefabricated posts. *Acta Odontol Scand.* 2009;67:271-6.
143. Goracci C, Grandini S, Bossu M, Bertelli E, Ferrari M. Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: a review. *J Dent.* 2007;35:827-35.
144. Van Noort R, Noroozi S, Howard IC, Cardew G. A critique of bond strength measurements. *J Dent.* 1989;17:61-7.
145. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Why do shear bond tests pull out dentin? *J Dent Res.* 1997;76:1298-307.
146. Ngoh EC, Pashley DH, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF. Effects of eugenol on resin bond strengths to root canal dentin. *J Endod.* 2001;27:411-4.
147. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, et al. The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci.* 2004;112:353-61.
148. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho R, et al. Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength--evaluation of a micro-tensile bond test. *Dent Mater.* 1994;10:236-40.
149. Asakawa Y, Takahashi H, Kobayashi M, Iwasaki N. Effect of components and surface treatments of fiber-reinforced composite posts on bond strength to composite resin. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2013;26:23-33.

150. Vidhya S, Chandrasekar C, Narayanan L. A comparative evaluation of fracture resistance and penetration of bonding resin into three different fiber reinforced posts using confocal microscope. *Internet Journal of Dental Science*. 2010;9:Available from: <https://ispub.com/IJDS/9/1/5802>.
151. Prakki A, Cilli R, Mondelli RF, Kalachandra S, Pereira JC. Influence of pH environment on polymer based dental material properties. *J Dent*. 2005;33:91-8.
152. Shori D, Pandey S, Kubde R, Rathod Y, Atara R, Rathi S. To evaluate and compare the effect of different post surface treatments on the tensile bond strength between fiber posts and composite resin. *J Int Oral Health*. 2013;5:27-32.
153. Reis A, Rocha de Oliveira Carrilho M, Schroeder M, Tancredo LL, Loguercio AD. The influence of storage time and cutting speed on microtensile bond strength. *J Adhes Dent*. 2004;6:7-11.
154. Papacchini F, Monticelli F, Radovic I, Chieffi N, Goracci C, Tay FR, et al. The application of hydrogen peroxide in composite repair. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2007;82:298-304.
155. วิศิษฐ์ ปิยะวัฒนาถาวร, วิชชา อัครวรฤทธิ, พิศลย์ เสนาวงษ์. กำลังแรงยึดไมโครเทนไซล์ระหว่างเรซินคอมโพสิตชนิดแกนและเดือยชนิดเส้นใยที่ปรับสภาพผิวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 24 หรือ 35. *วิทยาสารทันตแพทยศาสตร์มหิดล* 2552;29:163-73
156. Soderholm KJ, Geraldini S, Shen C. What do microtensile bond strength values of adhesives mean? *J Adhes Dent*. 2012;14:307-14.
157. Marshall SJ, Bayne SC, Baier R, Tomsia AP, Marshall GW. A review of adhesion science. *Dent Mater*. 2010;26:e11-6.
158. Lung CY, Matinlinna JP. Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview. *Dent Mater*. 2012;28:467-77.
159. Puska M LL, Vallittu PK, Seppälä J, Matinlinna J Evaluation of bis-GMA/MMA resin adhesion to silica-coated and silanized titanium. *J Adhes Sci Technol*. 2009;23:991–1006.
160. Mount GJ. The wettability of bonding resins used in the composite resin/glass ionomer 'sandwich technique'. *Aust Dent J*. 1989;34:32-5.

161. Brosh T, Pilo R, Bichacho N, Blutstein R. Effect of combinations of surface treatments and bonding agents on the bond strength of repaired composites. *J Prosthet Dent.* 1997;77:122-6.
162. Ounsi HF, Salameh Z, Carvalho CA, Cantoro A, Grandini S, Ferrari M. Bond strength of composite core build-up materials to fiber-reinforced posts: a microtensile comparison between conventional and wet-ethanol bonding systems. *J Adhes Dent.* 2009;11:375-80.
163. Scheaffer RL, Mendenhall W, Ott RL, Gerow KG. Elementary survey sampling. 7th ed. Boston: Brooks/Cole, Cengage Learning; 2008.
164. Zicari F, Coutinho E, Scotti R, Van Meerbeek B, Naert I. Mechanical properties and micro-morphology of fiber posts. *Dent Mater.* 2013;29:e45-52.



ภาคผนวก

ตารางที่ 9 แสดงผลการไทเทรตสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง

สารละลาย ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่นำมาไทเทรต		ปริมาตรสารละลาย โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่ใช้ไป (มิลลิลิตร)			ค่าเฉลี่ย (มิลลิลิตร)	ความ เข้มข้นที่ คำนวณได้ (% โดย มวล)
ความเข้มข้น (% โดยมวล)	ความ หนาแน่น (กรัม/ มิลลิลิตร)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ไฮโดรเจนเปอร์- ออกไซด์ความเข้มข้น ร้อยละ 30 โดยมวล (Carlo Erba, Italy)	1.12	19.3	19.3	19.2	19.26	29.23
ไฮโดรเจนเปอร์- ออกไซด์ความเข้มข้น ร้อยละ 35 โดยมวล (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)	1.15	24.0	23.8	24.0	23.93	35.37
ไฮโดรเจนเปอร์- ออกไซด์ความเข้มข้น ร้อยละ 50 โดยมวล (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)	1.20	34.9	34.9	34.7	34.83	49.34

การเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ความหนาแน่นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เท่ากับ 1.45 กรัม/ลบ.ซม.

ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 1 กรัม/ลบ.ซม.

สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 24% v/v

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % w/v

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 24 ลบ.ซม. คิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ $24 \times 1.45 = 34.8$ กรัม

ดังนั้นจึงคิดเป็น 34.80 % w/v

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % w/w

ความหนาแน่นของสารละลาย 1.1 กรัม/ลบ.ซม. ดังนั้น

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีน้ำหนักเท่ากับ $100 \times 1.1 = 110$ กรัม

สารละลาย 110 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 34.8 กรัม

ถ้าสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $34.8 \times 100/110 = 31.63$ % w/w

Carlo Erba 30% w/w ความหนาแน่นของสารละลาย 1.12 กรัม/ลบ.ซม.

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % w/v

แสดงว่าในสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 กรัม

สารละลาย 100 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $100/1.12 = 89.29$ ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลาย 89.29 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 กรัม

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $30 \times 100/89.29 = 33.60$ % w/v

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % v/v

แสดงว่าในสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 กรัม

สารละลาย 100 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $100/1.12 = 89.29$ ลบ.ซม.

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $30/1.45 = 20.69$ ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลาย 89.29 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 20.69 ลบ.ซม.

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $20.69 \times 100/89.29 = 23.17$ % v/v

วิทยาศาสตร์ 35% w/w ความหนาแน่นของสารละลาย 1.15 กรัม/ลบ.ซม.

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % w/v

แสดงว่าในสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 กรัม

สารละลาย 100 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $100/1.15 = 86.95$ ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลาย 86.95 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 กรัม

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $35 \times 100/86.95 = 40.25$ % w/v

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % v/v

แสดงว่าในสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 กรัม

สารละลาย 100 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $100/1.15 = 86.95$ ลบ.ซม.

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 35 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $35/1.45 = 24.14$ ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลาย 86.95 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 24.14 ลบ.ซม.

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $24.14 \times 100/86.95 = 27.76$ % v/v

วิทยาศาสตร์ 50% w/w ความหนาแน่นของสารละลาย 1.2 กรัม/ลบ.ซม.

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % w/v

แสดงว่าในสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 กรัม

สารละลาย 100 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $100/1.2 = 83.33$ ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลาย 83.33 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 กรัม

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $50 \times 100/83.33 = 60.00$ % w/v

- กรณีเปลี่ยนหน่วยเป็น % v/v

แสดงว่าในสารละลาย 100 กรัม มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 กรัม

สารละลาย 100 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $100/1.2 = 83.33$ ลบ.ซม.

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 50 กรัม คิดเป็นปริมาตรเท่ากับ $50/1.45 = 34.48$ ลบ.ซม.

ดังนั้น สารละลาย 83.33 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 34.48 ลบ.ซม.

สารละลาย 100 ลบ.ซม. มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ $34.48 \times 100/83.33 = 41.38$ % v/v

ตารางที่ 10 แสดงความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในหน่วยต่างๆ

ยี่ห้อ	ความเข้มข้นตามบริษัท	ความเข้มข้น เปรียบเทียบ			ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)
		%W/V	%V/V	%W/W	
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 24	24% V/V	34.80	24	31.63	1.11
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 30 (Carlo Erba)	30% W/W	33.60	23.17	30	1.12
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 35 (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)	35% W/W	40.25	27.76	35	1.15
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 50 (วิทยาศาสตร์, กรุงเทพฯ)	50% W/W	60.00	41.38	50	1.20

ตารางที่ 11 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 1 ทาไซเลน*

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	0.99	0.94	0.97	22.46	23.07	A
2	1.02	0.90	0.96	17.98	18.66	A
3	1.01	0.98	1.04	30.69	29.58	A
4	1.04	0.90	0.98	32.40	32.91	A
5	0.95	0.92	0.91	19.45	21.36	A
6	1.03	0.96	1.04	32.69	31.47	A
7	1.04	1.04	1.14	22.54	19.82	A
8	1.04	1.00	1.09	22.03	20.14	A
9	0.95	1.03	1.02	20.72	20.32	A
10	1.09	0.97	1.12	25.87	23.14	A
11	1.04	0.94	1.03	25.31	24.62	A
12	1.08	0.98	1.12	28.05	25.09	A
13	1.06	0.96	1.07	32.07	29.90	A
14	1.03	0.97	1.05	24.89	23.72	A
15	1.04	1.00	1.09	20.28	18.54	A
16	1.06	1.01	1.13	27.51	24.38	A
17	0.99	0.95	0.98	21.87	22.22	A
18	1.03	0.92	1.00	24.39	24.50	A
19	1.02	0.87	0.93	23.20	24.91	A
20	1.05	1.01	1.12	28.49	25.52	A

A คือ การยึดไม่อยู่

ตารางที่ 12 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 2 ทาสารบอนด์ดึง*

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.00	0.95	0.99	34.30	34.47	C
2	1.02	0.98	1.05	38.32	36.53	C
3	1.05	0.96	1.06	26.64	25.11	C
4	1.05	0.99	1.09	35.01	31.99	C
5	1.00	0.94	0.98	26.40	26.81	C
6	0.98	0.96	0.98	33.74	34.32	C
7	1.02	1.02	1.09	26.11	24.43	C
8	1.04	0.96	1.05	30.40	28.96	C
9	0.97	1.02	1.03	35.25	34.12	C
10	1.02	0.97	1.04	29.34	28.25	C
11	0.99	0.98	1.01	30.08	29.64	C
12	1.03	1.04	1.13	37.39	33.22	C
13	1.04	1.08	1.18	37.25	31.54	C
14	1.03	1.03	1.11	32.09	28.80	C
15	1.04	0.93	1.02	24.73	24.31	C
16	1.03	0.99	1.07	33.16	30.95	C
17	1.03	1.02	1.10	40.77	36.94	C
18	0.97	1.04	1.05	33.23	31.55	C
19	0.99	0.93	0.96	31.05	32.23	C
20	1.05	0.98	1.08	41.27	38.10	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

ตารางที่ 13 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 3 ทาไฮเลนร่วมกับสารบอนด์ดึง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.03	0.92	1.00	31.63	31.77	C
2	1.09	1.02	1.18	30.29	25.76	C
3	1.03	1.08	1.17	33.93	29.03	C
4	1.06	0.93	1.04	28.80	27.72	C
5	1.02	0.90	0.96	28.94	30.04	C
6	1.05	1.06	1.17	30.94	26.40	C
7	1.10	0.94	1.09	43.09	39.35	C
8	1.03	0.94	1.02	27.58	27.11	C
9	1.07	0.96	1.08	38.78	35.78	C
10	1.04	1.00	1.09	31.41	28.72	C
11	1.07	0.98	1.11	36.56	33.04	C
12	1.05	0.95	1.05	38.22	36.39	C
13	1.00	1.04	1.09	42.00	38.56	C
14	1.01	0.99	1.05	38.18	36.43	C
15	1.03	1.00	1.08	42.74	39.50	C
16	1.03	0.99	1.07	38.11	35.58	C
17	1.00	0.93	0.97	27.42	28.15	C
18	1.04	0.97	1.06	32.40	30.54	C
19	1.03	0.95	1.03	32.38	31.50	C
20	1.02	1.00	1.07	42.05	39.29	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

ตารางที่ 14 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 4* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วยกรด*
ฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ร่วมกับทาไฮเลน

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.04	0.92	1.01	37.48	37.24	C
2	1.08	1.02	1.16	39.23	33.71	C
3	1.05	0.94	1.04	36.14	34.78	C
4	1.00	1.04	1.09	30.66	28.15	C
5	1.05	0.97	1.07	30.07	28.04	C
6	1.01	0.97	1.03	35.13	34.21	C
7	1.01	0.99	1.05	38.74	36.96	M
8	1.04	0.99	1.08	40.06	37.00	M
9	1.02	1.00	1.07	27.87	26.04	A
10	1.00	0.90	0.94	29.82	31.64	A
11	0.99	0.96	0.99	35.05	35.25	A
12	1.06	0.99	1.11	39.66	35.86	A
13	0.97	0.98	0.99	34.98	35.24	C
14	1.04	1.05	1.15	41.83	36.43	C
15	1.07	1.00	1.13	33.32	29.51	C
16	1.07	0.99	1.12	35.82	32.04	C
17	0.98	0.99	1.01	30.23	29.81	A
18	0.97	0.98	0.99	31.06	31.30	M
19	1.08	1.02	1.16	40.83	35.08	C
20	1.09	1.02	1.18	41.17	35.02	C

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 15 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 5* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วยกรด*
ฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.04	0.99	1.08	43.39	40.07	C
2	1.07	0.98	1.11	35.80	32.36	C
3	1.07	0.95	1.07	36.11	33.66	C
4	1.02	0.95	1.02	43.10	42.39	C
5	1.04	0.90	0.98	41.74	42.40	C
6	1.03	0.97	1.05	43.18	41.14	C
7	1.02	0.88	0.94	37.59	39.91	C
8	0.98	1.08	1.11	37.70	34.08	C
9	1.01	0.92	0.97	30.60	31.42	C
10	1.06	1.08	1.21	37.18	30.81	C
11	1.01	0.97	1.03	30.64	29.83	C
12	1.02	1.02	1.09	30.23	27.69	A
13	1.02	0.98	1.05	40.29	38.40	C
14	1.02	1.00	1.07	31.41	29.35	M
15	0.96	1.03	1.03	31.37	30.42	C
16	1.01	1.02	1.08	30.54	28.27	M
17	1.04	0.97	1.06	29.29	27.60	A
18	1.05	1.01	1.12	45.66	40.90	M
19	0.91	0.99	0.94	36.15	38.65	M
20	0.92	1.04	0.99	42.72	42.97	M

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 16 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 6* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วยกรด*
ฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดึง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.09	1.00	1.15	32.76	28.42	C
2	0.92	1.00	0.96	32.91	34.43	C
3	1.03	1.00	1.08	34.83	32.19	C
4	0.99	0.96	0.99	39.21	39.44	C
5	1.08	0.96	1.10	43.12	39.37	C
6	0.91	1.07	1.01	38.78	38.36	C
7	1.00	0.98	1.03	36.90	35.95	C
8	0.98	1.00	1.02	38.13	37.22	M
9	1.01	1.08	1.14	49.38	43.18	C
10	0.93	0.95	0.92	32.09	34.92	C
11	0.93	0.99	0.96	38.90	40.62	M
12	1.00	1.01	1.06	36.79	34.78	C
13	1.00	1.01	1.06	43.33	40.97	M
14	1.07	1.01	1.14	33.37	29.27	M
15	1.04	1.00	1.09	44.38	40.58	M
16	1.03	1.02	1.10	41.04	37.19	C
17	0.92	0.94	0.90	32.25	35.88	C
18	1.01	0.97	1.03	38.51	37.50	C
19	1.03	1.01	1.09	45.44	41.58	C
20	0.95	1.02	1.01	37.42	37.06	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 17 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 7* ปรึบสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไฮเลน

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.03	1.08	1.17	42.17	36.08	A
2	1.06	1.03	1.15	30.14	26.19	C
3	1.10	1.05	1.22	32.34	26.44	C
4	1.06	1.06	1.18	32.91	27.79	C
5	1.03	0.90	0.97	28.53	29.29	C
6	1.07	1.10	1.24	39.86	32.10	A
7	1.02	1.05	1.12	33.59	29.88	A
8	1.07	1.10	1.24	36.60	29.47	A
9	0.98	0.97	0.99	38.19	38.44	C
10	1.02	0.93	1.00	39.67	39.85	M
11	0.96	0.93	0.93	31.28	33.59	C
12	0.97	0.97	0.98	38.12	38.81	C
13	0.99	1.06	1.10	41.87	38.14	C
14	0.99	0.93	0.96	33.42	34.70	M
15	1.01	0.97	1.03	33.22	32.35	M
16	0.99	0.90	0.93	29.82	31.99	M
17	0.95	0.95	0.94	33.48	35.60	A
18	0.97	0.93	0.94	30.45	32.33	M
19	0.93	0.94	0.91	29.77	32.74	M
20	0.96	0.90	0.90	33.60	37.28	C

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 18 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 8* ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดึง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.01	1.10	1.16	45.53	39.09	M
2	0.98	1.04	1.07	38.45	36.10	C
3	1.02	1.04	1.11	39.28	35.28	C
4	1.01	0.99	1.05	41.72	39.80	C
5	1.01	1.05	1.11	45.49	40.92	C
6	1.00	1.04	1.09	36.30	33.33	C
7	1.04	0.93	1.02	36.66	36.04	C
8	1.02	1.01	1.08	33.61	31.09	M
9	1.05	1.08	1.19	36.44	30.52	C
10	0.98	1.07	1.10	31.00	28.29	C
11	1.04	0.96	1.05	29.95	28.53	C
12	0.96	1.05	1.05	32.83	31.22	C
13	0.91	1.06	1.00	40.53	40.47	C
14	0.97	0.92	0.93	34.48	37.00	C
15	0.99	0.96	0.99	38.66	38.89	M
16	0.98	0.98	1.00	34.24	34.11	C
17	1.01	0.94	1.00	39.41	39.60	C
18	0.98	0.95	0.97	34.76	35.73	C
19	0.99	0.97	1.00	43.35	43.15	C
20	0.93	0.96	0.93	40.40	43.51	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 19 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 9* ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและ
 สารบอนด์ดึง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.06	1.06	1.18	39.91	33.70	C
2	1.05	1.02	1.13	41.38	36.69	C
3	1.04	1.08	1.18	43.74	37.03	C
4	1.04	1.09	1.19	43.03	36.09	C
5	1.04	1.09	1.19	39.57	33.19	M
6	0.99	1.06	1.10	39.69	36.15	M
7	0.99	1.05	1.09	46.09	42.38	M
8	1.01	0.92	0.97	40.04	41.11	M
9	1.04	1.04	1.14	47.92	42.13	C
10	1.02	0.94	1.01	32.11	31.91	C
11	0.97	0.92	0.93	39.61	42.51	C
12	0.90	0.96	0.90	37.65	42.01	C
13	0.99	0.97	1.00	36.63	36.46	C
14	0.96	0.90	0.90	35.02	38.86	M
15	0.95	0.90	0.89	31.41	35.25	C
16	0.98	0.97	0.99	32.29	32.50	C
17	0.93	1.00	0.97	37.73	39.00	C
18	0.98	1.03	1.05	39.04	37.01	C
19	0.92	0.95	0.91	35.77	39.38	C
20	0.90	0.94	0.88	30.04	34.23	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 20 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 10* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย*
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.06	1.00	1.12	32.01	28.65	C
2	1.10	1.04	1.21	36.07	29.78	C
3	1.04	1.05	1.15	35.98	31.33	C
4	1.10	1.02	1.19	40.04	33.70	A
5	1.06	1.10	1.23	37.91	30.85	A
6	1.00	1.02	1.07	43.57	40.79	A
7	1.10	1.03	1.20	40.71	33.93	A
8	1.10	1.08	1.26	32.93	26.17	C
9	1.07	1.03	1.16	37.18	31.97	C
10	1.00	1.03	1.08	36.62	33.95	C
11	1.08	1.02	1.16	37.56	32.28	C
12	0.94	0.94	0.92	32.68	35.53	C
13	0.99	0.92	0.95	37.06	38.90	C
14	0.93	0.95	0.92	29.29	31.87	C
15	0.94	0.95	0.93	35.72	38.42	A
16	0.91	0.98	0.93	35.51	38.35	C
17	0.97	0.98	0.99	37.19	37.47	C
18	0.96	0.91	0.91	36.28	39.81	A
19	0.99	0.96	0.99	25.60	25.75	A
20	0.92	0.99	0.95	26.32	27.81	C

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

ตารางที่ 21 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 11* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย*
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.00	1.03	1.08	39.16	36.30	C
2	1.02	1.07	1.15	39.96	34.89	C
3	1.03	1.10	1.19	37.79	31.75	C
4	1.04	1.07	1.17	37.12	31.72	C
5	1.03	1.06	1.15	40.15	35.00	C
6	1.03	1.01	1.09	44.78	40.97	C
7	1.09	1.02	1.18	35.07	29.83	A
8	1.01	1.03	1.09	36.46	33.44	C
9	1.06	1.00	1.12	37.58	33.64	C
10	1.05	1.08	1.19	46.93	39.31	C
11	1.09	0.98	1.13	36.46	32.27	C
12	0.97	1.01	1.02	44.69	43.69	C
13	0.94	1.01	0.99	42.74	43.24	C
14	0.95	1.01	1.00	39.36	39.37	C
15	1.04	0.89	0.97	33.85	34.78	C
16	1.06	1.00	1.12	31.92	28.57	C
17	1.01	1.03	1.09	36.99	33.92	C
18	1.01	0.92	0.97	38.09	39.10	C
19	0.95	0.94	0.93	35.30	37.94	C
20	0.95	0.96	0.95	37.33	39.28	M

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 22 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 12 ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสาร
 บอนด์ดิง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.01	1.03	1.09	38.00	34.85	C
2	1.05	1.03	1.14	41.58	36.52	C
3	0.95	1.07	1.06	39.39	37.19	C
4	0.99	1.05	1.09	42.92	39.47	C
5	1.01	0.92	0.97	41.69	42.80	C
6	1.06	1.06	1.18	43.10	36.39	M
7	0.96	0.99	0.99	40.03	40.38	C
8	0.98	1.09	1.12	46.53	41.68	C
9	1.00	1.05	1.10	40.86	37.16	C
10	0.99	1.06	1.10	34.51	31.44	C
11	0.98	1.02	1.04	42.77	40.94	C
12	0.96	1.06	1.06	45.02	42.41	C
13	0.96	0.98	0.98	37.71	38.43	C
14	0.93	0.94	0.91	34.89	38.37	C
15	0.92	0.94	0.90	31.43	34.97	C
16	0.96	0.97	0.97	40.85	42.06	M
17	0.92	0.90	0.86	34.84	40.49	M
18	1.00	0.99	1.04	41.92	40.43	C
19	0.99	0.99	1.03	31.26	30.49	C
20	1.00	1.00	1.05	33.73	32.21	M

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 23 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 13* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย*
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	0.99	0.92	0.95	29.39	30.84	A
2	0.98	1.01	1.03	36.49	35.27	A
3	1.02	0.99	1.06	41.32	38.99	A
4	0.97	0.97	0.98	31.75	32.32	C
5	1.03	1.04	1.13	37.45	33.28	C
6	0.96	0.97	0.97	34.82	35.84	C
7	1.01	1.00	1.06	29.68	28.04	C
8	0.98	1.04	1.07	31.64	29.71	M
9	0.95	0.97	0.96	33.49	34.88	C
10	0.96	0.97	0.97	35.49	36.54	C
11	0.99	0.92	0.95	32.19	33.78	C
12	1.06	1.02	1.14	32.40	28.43	A
13	0.97	0.99	1.00	28.94	28.86	C
14	1.02	0.98	1.05	35.40	33.74	C
15	1.04	0.99	1.08	40.68	37.57	C
16	1.00	0.95	0.99	29.90	30.05	C
17	1.03	0.92	1.00	38.88	39.06	C
18	1.08	1.00	1.14	34.77	30.48	C
19	1.06	0.96	1.07	43.13	40.21	M
20	1.04	0.98	1.07	37.15	34.66	C

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 24 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 14 ปรับสภาพผิวเดียวพันด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.00	0.96	1.01	39.24	39.03	C
2	1.05	0.96	1.06	36.83	34.71	M
3	0.96	0.97	0.97	34.26	35.27	A
4	0.99	0.90	0.93	35.59	38.19	C
5	1.08	0.95	1.08	35.95	33.16	C
6	1.00	0.92	0.96	38.88	40.35	M
7	0.96	0.99	0.99	30.54	30.81	M
8	1.05	0.99	1.09	34.82	31.81	C
9	0.95	1.01	1.00	37.68	37.69	M
10	1.02	0.90	0.96	32.12	33.34	C
11	0.97	0.94	0.95	35.83	37.64	M
12	1.05	1.05	1.16	38.66	33.31	C
13	1.02	0.94	1.01	34.35	34.14	M
14	1.05	0.94	1.04	34.46	33.16	M
15	0.97	0.98	0.99	38.28	38.57	C
16	1.07	0.90	1.02	34.18	33.64	C
17	1.05	1.00	1.11	35.27	31.90	M
18	1.05	1.00	1.11	43.90	39.72	C
19	1.03	1.03	1.11	37.49	33.64	C
20	0.98	0.99	1.01	35.77	35.28	C

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 25 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 15 ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไขมันและสาร
 บอนด์ดิ่ง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.01	1.05	1.11	48.44	43.57	C
2	1.01	1.04	1.10	50.35	45.73	C
3	0.99	1.04	1.08	42.47	39.43	C
4	1.01	0.93	0.98	33.96	34.49	C
5	0.98	0.91	0.93	32.75	35.14	A
6	1.04	0.93	1.02	31.90	31.36	C
7	0.95	0.95	0.94	35.00	37.21	M
8	0.98	1.00	1.02	33.82	33.02	A
9	0.95	1.03	1.02	36.88	36.17	C
10	0.97	0.96	0.97	32.13	33.05	C
11	0.93	1.07	1.03	39.09	37.77	C
12	0.99	1.07	1.11	36.88	33.28	C
13	0.95	1.01	1.00	32.18	32.19	A
14	1.05	1.03	1.14	52.84	46.41	C
15	1.02	1.05	1.12	37.82	33.65	C
16	0.97	0.95	0.96	46.82	48.67	C
17	0.93	1.01	0.98	35.91	36.75	M
18	0.98	0.98	1.00	37.25	37.11	C
19	0.96	1.02	1.02	41.07	40.21	C
20	1.00	1.06	1.11	37.13	33.45	C

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 26 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน *กลุ่มที่ 16* *ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย*
สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	1.10	0.92	1.07	31.19	29.11	C
2	0.98	0.92	0.94	24.43	25.92	M
3	0.95	0.98	0.97	33.67	34.71	C
4	0.98	0.98	1.00	27.32	27.22	M
5	0.97	1.06	1.07	40.90	38.10	C
6	0.98	0.96	0.98	31.51	32.05	C
7	0.91	0.98	0.93	33.40	36.07	A
8	0.92	0.97	0.93	31.02	33.45	A
9	0.94	0.98	0.96	39.60	41.29	A
10	0.95	1.00	0.99	41.25	41.67	A
11	0.90	1.07	1.00	37.80	37.84	A
12	0.97	1.02	1.03	30.59	29.61	C
13	0.98	1.00	1.02	36.04	35.19	C
14	1.03	1.05	1.14	42.75	37.63	C
15	0.94	1.07	1.05	25.90	24.74	M
16	1.02	1.01	1.08	34.80	32.19	M
17	0.97	1.01	1.02	26.84	26.24	A
18	0.96	1.00	1.00	38.10	38.05	C
19	0.99	0.95	0.98	38.38	39.01	M
20	0.99	1.09	1.13	35.94	31.84	A

A คือ การยึดไม่อยู่

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 27 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 17 ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	0.95	1.02	1.01	33.79	33.46	C
2	0.98	1.03	1.05	31.55	29.90	C
3	0.95	1.09	1.08	32.76	30.36	M
4	0.98	1.08	1.11	39.96	36.13	C
5	0.98	0.90	0.92	37.01	40.15	C
6	0.96	1.09	1.09	40.63	37.23	C
7	1.04	1.05	1.15	39.56	34.45	C
8	0.91	0.97	0.92	31.16	34.01	C
9	1.05	1.08	1.19	45.76	38.33	C
10	1.05	1.00	1.11	36.24	32.79	C
11	1.00	0.91	0.95	39.96	41.93	C
12	0.96	1.04	1.04	36.11	34.68	C
13	0.93	0.92	0.89	29.93	33.63	C
14	0.99	1.05	1.09	35.23	32.40	C
15	1.08	1.04	1.19	49.37	41.61	C
16	0.97	0.94	0.95	35.79	37.60	C
17	1.01	1.02	1.08	38.01	35.19	C
18	0.96	1.05	1.05	39.13	37.22	C
19	0.97	0.99	1.00	42.95	42.84	C
20	1.04	0.93	1.02	33.86	33.29	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 28 แสดงความกว้าง ความหนา พื้นที่ผิวสัมผัส ค่าแรงดึง ค่าความแข็งแรงดึงระดับ
 จุลภาคและรูปแบบความล้มเหลวของชิ้นทดสอบใน กลุ่มที่ 18 ปรับสภาพผิวเดียวพื้นด้วย
 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไขมันและสาร
 บอนด์ดิ่ง

ชิ้น ทดสอบ	ความ กว้าง (มม.)	ความ หนา (มม.)	พื้นที่ ผิวสัมผัส (ตร.มม.)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)	ค่าความแข็งแรง ดึงระดับจุลภาค (นิวตัน/ตร.มม.)	รูปแบบ ความ ล้มเหลว
1	0.95	1.06	1.05	35.27	33.61	C
2	1.00	1.01	1.06	38.06	35.98	C
3	1.04	1.02	1.12	41.23	36.96	C
4	0.97	1.03	1.04	33.79	32.40	C
5	1.03	0.99	1.07	39.03	36.44	C
6	0.99	1.08	1.12	37.08	33.15	C
7	0.94	0.95	0.93	35.99	38.71	C
8	0.93	1.02	0.99	35.69	36.17	C
9	0.92	1.05	1.00	36.91	36.77	C
10	0.94	1.08	1.06	35.81	33.88	C
11	0.94	1.07	1.05	42.83	40.91	C
12	1.01	1.09	1.15	43.80	37.95	C
13	0.95	1.04	1.03	39.12	38.00	C
14	1.09	0.92	1.06	40.36	38.06	C
15	0.98	1.01	1.03	43.27	41.83	C
16	1.00	0.98	1.03	37.06	36.11	C
17	1.01	1.02	1.08	35.62	32.98	C
18	0.98	1.02	1.04	44.80	42.88	M
19	0.99	0.97	1.00	39.02	38.84	C
20	0.97	1.02	1.03	42.33	40.98	C

C คือ การเชื่อมแน่นล้มเหลว

M คือ ความล้มเหลวชนิดผสม

ตารางที่ 29 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาค และความล้มเหลวของชิ้นทดสอบในแต่ละกลุ่ม

กลุ่มที่	การปรับสภาพผิวเดียวพื้น	ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (นิวตัน)	ความล้มเหลวของชิ้นทดสอบ [ชิ้น(%)]		
			การยึดไม่อยู่	การเชื่อมแน่นล้มเหลว	ความล้มเหลวชนิดผสม
1	NS	24.19 ± 4.11	20 (100)	-	-
2	NB	31.11 ± 4.07	-	20 (100)	-
3	NSB	32.53 ± 4.71	-	20 (100)	-
4	PS	33.17 ± 3.38	5 (25)	12 (60)	3 (15)
5	PB	35.12 ± 5.59	2 (10)	13 (65)	5 (25)
6	PSB	36.95 ± 3.90	-	15 (75)	5 (25)
7	H30/10S	33.15 ± 4.16	5 (25)	9 (45)	6 (30)
8	H30/10B	36.13 ± 4.60	-	17 (85)	3 (15)
9	H30/10SB	37.38 ± 3.42	-	15 (75)	5 (25)
10	H30/1S	33.37 ± 4.54	7 (35)	13 (65)	-
11	H30/1B	35.95 ± 4.27	1 (5)	18 (90)	1 (5)
12	H30/1SB	37.93 ± 3.70	-	16 (80)	4 (20)
13	H35S	33.63 ± 3.73	4 (20)	14 (70)	2 (10)
14	H35B	35.27 ± 2.88	1 (5)	11 (55)	8 (40)
15	H35SB	37.43 ± 5.09	3 (15)	15 (75)	2 (10)
16	H50S	33.60 ± 5.20	7 (35)	8 (40)	5 (25)
17	H50B	35.86 ± 3.71	-	19 (95)	1 (5)
18	H50SB	37.13 ± 3.03	-	19 (95)	1 (5)

ตารางที่ 30 แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของกลุ่มทดลองทั้งหมด 18 กลุ่ม

Group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Min	Max
					Lower Bound	Upper Bound		
NS	20	24.1935	4.11387	.91989	22.2682	26.1188	18.54	32.91
NB	20	31.1135	4.07441	.91107	29.2066	33.0204	24.31	38.10
NSB	20	32.5330	4.70754	1.05264	30.3298	34.7362	25.76	39.50
PS	20	33.1655	3.38155	.75614	31.5829	34.7481	26.04	37.24
PB	20	35.1160	5.58631	1.24914	32.5015	37.7305	27.60	42.97
PSB	20	36.9455	3.90190	.87249	35.1194	38.7716	28.42	43.18
H30/10S	20	33.1530	4.16318	.93091	31.2046	35.1014	26.19	39.85
H30/10B	20	36.1335	4.59513	1.02750	33.9829	38.2841	28.29	43.51
H30/10SB	20	37.3795	3.41896	.76450	35.7794	38.9796	31.91	42.51
H30/1S	20	33.3655	4.53955	1.01507	31.2409	35.4901	25.75	40.79
H30/1B	20	35.9505	4.27033	.95487	33.9519	37.9491	28.57	43.69
H30/1SB	20	37.9340	3.69586	.82642	36.2043	39.6637	30.49	42.80
H35/1S	20	33.6275	3.73112	.83430	31.8813	35.3737	28.04	40.21
H35/1B	20	35.2680	2.87669	.64325	33.9217	36.6143	30.81	40.35
H35/1SB	20	37.4330	5.08758	1.13762	35.0519	39.8141	31.36	48.67
H50/1S	20	33.5965	5.19923	1.16258	31.1632	36.0298	24.74	41.67
H50/1B	20	35.8600	3.71142	.82990	34.1230	37.5970	29.90	42.84
H50/1SB	20	37.1305	3.02869	.67723	35.7130	38.5480	32.40	42.88
Total	360	34.4388	5.14779	.27131	33.9052	34.9724	18.54	48.67

ตารางที่ 31 แสดงผลการทดสอบการกระจายของข้อมูลด้วยสถิติโคลโมโกรอฟสเมอ์รโนฟของกลุ่มทดลองทั้งหมด 18 กลุ่ม

Group		Force	
NS	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	24.1935
		Std. Deviation	4.11387
	Most Extreme Differences	Absolute	.174
		Positive	.174
		Negative	-.105
	Kolmogorov-Smirnov Z	.776	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.583	
NB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	31.1135
		Std. Deviation	4.07441
	Most Extreme Differences	Absolute	.092
		Positive	.080
		Negative	-.092
	Kolmogorov-Smirnov Z	.410	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.996	
NSB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	32.5330
		Std. Deviation	4.70754
	Most Extreme Differences	Absolute	.141
		Positive	.122
		Negative	-.141
	Kolmogorov-Smirnov Z	.632	
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.820	

Group		Force	
PS	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	33.1655
		Std. Deviation	3.38155
	Most Extreme Differences	Absolute	.183
		Positive	.114
		Negative	-.183
	Kolmogorov-Smirnov Z	.821	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.511		
PB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	35.1160
		Std. Deviation	5.58631
	Most Extreme Differences	Absolute	.172
		Positive	.146
		Negative	-.172
	Kolmogorov-Smirnov Z	.768	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.597		
PSB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	36.9455
		Std. Deviation	3.90190
	Most Extreme Differences	Absolute	.112
		Positive	.075
		Negative	-.112
	Kolmogorov-Smirnov Z	.500	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.964		

Group		Force	
H30/10S	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	33.1530
		Std. Deviation	4.16318
	Most Extreme Differences	Absolute	.090
		Positive	.090
		Negative	-.090
	Kolmogorov-Smirnov Z	.402	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.997		
H30/10B	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	36.1335
		Std. Deviation	4.59513
	Most Extreme Differences	Absolute	.126
		Positive	.108
		Negative	-.126
	Kolmogorov-Smirnov Z	.562	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.910		
H30/10SB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	37.3795
		Std. Deviation	3.41896
	Most Extreme Differences	Absolute	.141
		Positive	.141
		Negative	-.112
	Kolmogorov-Smirnov Z	.629	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.823		

Group		Force	
H30/1S	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	33.3655
		Std. Deviation	4.53955
	Most Extreme Differences	Absolute	.117
		Positive	.099
		Negative	-.117
	Kolmogorov-Smirnov Z	.523	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.947		
H30/1B	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	35.9505
		Std. Deviation	4.27033
	Most Extreme Differences	Absolute	.138
		Positive	.138
		Negative	-.120
	Kolmogorov-Smirnov Z	.617	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.840		
H30/1SB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	37.9340
		Std. Deviation	3.69586
	Most Extreme Differences	Absolute	.146
		Positive	.094
		Negative	-.146
	Kolmogorov-Smirnov Z	.653	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.788		

Group		Force	
H35/1S	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	33.6275
		Std. Deviation	3.73112
	Most Extreme Differences	Absolute	.122
		Positive	.122
		Negative	-.075
	Kolmogorov-Smirnov Z	.548	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.925		
H35/1B	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	35.2680
		Std. Deviation	2.87669
	Most Extreme Differences	Absolute	.164
		Positive	.164
		Negative	-.145
	Kolmogorov-Smirnov Z	.735	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.653		
H35/1SB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	37.4330
		Std. Deviation	5.08758
	Most Extreme Differences	Absolute	.174
		Positive	.174
		Negative	-.116
	Kolmogorov-Smirnov Z	.776	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.583		

Group		Force	
H50/1S	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	33.5965
		Std. Deviation	5.19923
	Most Extreme Differences	Absolute	.131
		Positive	.090
		Negative	-.131
	Kolmogorov-Smirnov Z	.586	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.882		
H50/1B	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	35.8600
		Std. Deviation	3.71142
	Most Extreme Differences	Absolute	.125
		Positive	.125
		Negative	-.089
	Kolmogorov-Smirnov Z	.558	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.915		
H50/1SB	N	20	
	Normal Parameters ^a	Mean	37.1305
		Std. Deviation	3.02869
	Most Extreme Differences	Absolute	.108
		Positive	.108
		Negative	-.102
	Kolmogorov-Smirnov Z	.485	
Asymp. Sig. (2-tailed)	.973		

a. Test distribution is Normal.

ตารางที่ 32 แสดงผลการทดสอบความแปรปรวนของข้อมูลด้วยสถิติทดสอบของเลวิน

F	df1	df2	Sig.
1.918	17	342	.016

ตารางที่ 33 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงดึงระดับจุลภาคด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3542.630a	17	208.390	11.936	.000
Intercept	426971.278	1	426971.278	2.446E4	.000
Chemical	1930.880	5	386.176	22.120	.000
Adhesive	1369.924	2	684.962	39.234	.000
Chemical *	241.826	10	24.183	1.385	.185
Adhesive					
Error	5970.767	342	17.458		
Total	436484.674	360			
Corrected Total	9513.396	359			

a. R Squared = .372 (Adjusted R Squared = .341)

ตารางที่ 34 แสดงผลวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติต้นเนท ทีสาม

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
NS	NB	-6.9200*	1.29470	.001	-11.9699	-1.8701
	NSB	-8.3395*	1.39794	.000	-13.8000	-2.8790
	PS	-8.9720*	1.19077	.000	-13.6306	-4.3134
	PB	-10.9225*	1.55130	.000	-17.0162	-4.8288
	PSB	-12.7520*	1.26785	.000	-17.6982	-7.8058
	H30/10S	-8.9595*	1.30874	.000	-14.0642	-3.8548
	H30/10B	-11.9400*	1.37911	.000	-17.3244	-6.5556
	H30/10SB	-13.1860*	1.19610	.000	-17.8639	-8.5081
	H30/1S	-9.1720*	1.36988	.000	-14.5193	-3.8247
	H30/1B	-11.7570*	1.32589	.000	-16.9291	-6.5849
	H30/1SB	-13.7405*	1.23659	.000	-18.5682	-8.9128
	H35S	-9.4340*	1.24188	.000	-14.2815	-4.5865
	H35B	-11.0745*	1.12248	.000	-15.4943	-6.6547
	H35SB	-13.2395*	1.46300	.000	-18.9660	-7.5130
	H50S	-9.4030*	1.48250	.000	-15.2100	-3.5960
	H50B	-11.6665*	1.23892	.000	-16.5029	-6.8301
H50SB	-12.9370*	1.14230	.000	-17.4242	-8.4498	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
NB	NS	6.9200*	1.29470	.001	1.8701	11.9699
	NSB	-1.4195	1.39215	1.000	-6.8585	4.0195
	PS	-2.0520	1.18397	.999	-6.6826	2.5786
	PB	-4.0025	1.54609	.733	-10.0783	2.0733
	PSB	-5.8320*	1.26146	.006	-10.7530	-.9110
	H30/10S	-2.0395	1.30255	1.000	-7.1202	3.0412
	H30/10B	-5.0200	1.37325	.096	-10.3824	.3424
	H30/10SB	-6.2660*	1.18933	.001	-10.9162	-1.6158
	H30/1S	-2.2520	1.36397	1.000	-7.5770	3.0730
	H30/1B	-4.8370	1.31978	.093	-9.9856	.3116
	H30/1SB	-6.8205*	1.23004	.000	-11.6218	-2.0192
	H35S	-2.5140	1.23535	.984	-7.3354	2.3074
	H35B	-4.1545	1.11526	.086	-8.5438	.2348
	H35SB	-6.3195*	1.45747	.016	-12.0261	-.6129
	H50S	-2.4830	1.47704	1.000	-8.2706	3.3046
	H50B	-4.7465	1.23238	.057	-9.5567	.0637
	H50SB	-6.0170*	1.13520	.001	-10.4745	-1.5595

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
NSB	NS	8.3395*	1.39794	.000	2.8790	13.8000
	NB	1.4195	1.39215	1.000	-4.0195	6.8585
	PS	-.6325	1.29607	1.000	-5.7293	4.4643
	PB	-2.5830	1.63352	1.000	-8.9692	3.8032
	PSB	-4.4125	1.36722	.264	-9.7600	.9350
	H30/10S	-.6200	1.40522	1.000	-6.1076	4.8676
	H30/10B	-3.6005	1.47099	.834	-9.3382	2.1372
	H30/10SB	-4.8465	1.30097	.085	-9.9600	.2670
	H30/1S	-.8325	1.46233	1.000	-6.5368	4.8718
	H30/1B	-3.4175	1.42121	.859	-8.9650	2.1300
	H30/1SB	-5.4010*	1.33829	.036	-10.6446	-.1574
	H35S	-1.0945	1.34317	1.000	-6.3555	4.1665
	H35B	-2.7350	1.23362	.937	-7.6275	2.1575
	H35SB	-4.9000	1.54991	.300	-10.9482	1.1482
	H50S	-1.0635	1.56833	1.000	-7.1855	5.0585
	H50B	-3.3270	1.34044	.809	-8.5783	1.9243
	H50SB	-4.5975	1.25168	.101	-9.5473	.3523

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
PS	NS	8.9720*	1.19077	.000	4.3134	13.6306
	NB	2.0520	1.18397	.999	-2.5786	6.6826
	NSB	.6325	1.29607	1.000	-4.4643	5.7293
	PB	-1.9505	1.46017	1.000	-7.7446	3.8436
	PSB	-3.7800	1.15455	.238	-8.2906	.7306
	H30/10S	.0125	1.19931	1.000	-4.6812	4.7062
	H30/10B	-2.9680	1.27574	.897	-7.9794	2.0434
	H30/10SB	-4.2140*	1.07527	.048	-8.4080	-.0200
	H30/1S	-.2000	1.26575	1.000	-5.1696	4.7696
	H30/1B	-2.7850	1.21800	.916	-7.5559	1.9859
	H30/1SB	-4.7685*	1.12014	.018	-9.1403	-.3967
	H35S	-.4620	1.12597	1.000	-4.8572	3.9332
	H35B	-2.1025	.99273	.969	-5.9826	1.7776
	H35SB	-4.2675	1.36599	.332	-9.6599	1.1249
	H50S	-.4310	1.38685	1.000	-5.9121	5.0501
	H50B	-2.6945	1.12271	.862	-7.0766	1.6876
H50SB	-3.9650*	1.01508	.050	-7.9281	-.0019	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
PB	NS	10.9225*	1.55130	.000	4.8288	17.0162
	NB	4.0025	1.54609	.733	-2.0733	10.0783
	NSB	2.5830	1.63352	1.000	-3.8032	8.9692
	PS	1.9505	1.46017	1.000	-3.8436	7.7446
	PSB	-1.8295	1.52367	1.000	-7.8293	4.1703
	H30/10S	1.9630	1.55787	1.000	-4.1534	8.0794
	H30/10B	-1.0175	1.61744	1.000	-7.3451	5.3101
	H30/10SB	-2.2635	1.46452	1.000	-8.0712	3.5442
	H30/1S	1.7505	1.60957	1.000	-4.5487	8.0497
	H30/1B	-.8345	1.57230	1.000	-7.0012	5.3322
	H30/1SB	-2.8180	1.49777	.995	-8.7321	3.0961
	H35S	1.4885	1.50213	1.000	-4.4399	7.4169
	H35B	-.1520	1.40503	1.000	-5.7815	5.4775
	H35SB	-2.3170	1.68953	1.000	-8.9115	4.2775
	H50S	1.5195	1.70644	1.000	-5.1391	8.1781
	H50B	-.7440	1.49969	1.000	-6.6644	5.1764
H50SB	-2.0145	1.42091	1.000	-7.6899	3.6609	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
PSB	NS	12.7520*	1.26785	.000	7.8058	17.6982
	NB	5.8320*	1.26146	.006	.9110	10.7530
	NSB	4.4125	1.36722	.264	-.9350	9.7600
	PS	3.7800	1.15455	.238	-.7306	8.2906
	PB	1.8295	1.52367	1.000	-4.1703	7.8293
	H30/10S	3.7925	1.27587	.429	-1.1856	8.7706
	H30/10B	.8120	1.34796	1.000	-4.4568	6.0808
	H30/10SB	-.4340	1.16004	1.000	-4.9650	4.0970
	H30/1S	3.5800	1.33851	.668	-1.6503	8.8103
	H30/1B	.9950	1.29345	1.000	-4.0533	6.0433
	H30/1SB	-.9885	1.20175	1.000	-5.6769	3.6999
	H35S	3.3180	1.20719	.608	-1.3913	8.0273
	H35B	1.6775	1.08398	1.000	-2.5803	5.9353
	H35SB	-.4875	1.43367	1.000	-6.1098	5.1348
	H50S	3.3490	1.45356	.908	-2.3562	9.0542
	H50B	1.0855	1.20415	1.000	-3.6121	5.7831
	H50SB	-.1850	1.10449	1.000	-4.5144	4.1444

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H30/10S	NS	8.9595*	1.30874	.000	3.8548	14.0642
	NB	2.0395	1.30255	1.000	-3.0412	7.1202
	NSB	.6200	1.40522	1.000	-4.8676	6.1076
	PS	-.0125	1.19931	1.000	-4.7062	4.6812
	PB	-1.9630	1.55787	1.000	-8.0794	4.1534
	PSB	-3.7925	1.27587	.429	-8.7706	1.1856
	H30/10B	-2.9805	1.38649	.963	-8.3926	2.4316
	H30/10SB	-4.2265	1.20460	.140	-8.9393	.4863
	H30/1S	-.2125	1.37731	1.000	-5.5878	5.1628
	H30/1B	-2.7975	1.33356	.974	-7.9992	2.4042
	H30/1SB	-4.7810	1.24482	.059	-9.6418	.0798
	H35S	-.4745	1.25007	1.000	-5.3550	4.4060
	H35B	-2.1150	1.13153	.996	-6.5730	2.3430
	H35SB	-4.2800	1.46996	.477	-10.0316	1.4716
	H50S	-.4435	1.48936	1.000	-6.2751	5.3881
H50B	-2.7070	1.24713	.957	-7.5765	2.1625	
H50SB	-3.9775	1.15119	.163	-8.5020	.5470	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H30/10B	NS	11.9400*	1.37911	.000	6.5556	17.3244
	NB	5.0200	1.37325	.096	-.3424	10.3824
	NSB	3.6005	1.47099	.834	-2.1372	9.3382
	PS	2.9680	1.27574	.897	-2.0434	7.9794
	PB	1.0175	1.61744	1.000	-5.3101	7.3451
	PSB	-.8120	1.34796	1.000	-6.0808	4.4568
	H30/10S	2.9805	1.38649	.963	-2.4316	8.3926
	H30/10SB	-1.2460	1.28071	1.000	-6.2746	3.7826
	H30/1S	2.7680	1.44435	.995	-2.8656	8.4016
	H30/1B	.1830	1.40269	1.000	-5.2904	5.6564
	H30/1SB	-1.8005	1.31861	1.000	-6.9627	3.3617
	H35S	2.5060	1.32356	.995	-2.6740	7.6860
	H35B	.8655	1.21224	1.000	-3.9356	5.6666
H35SB	-1.2995	1.53295	1.000	-7.2836	4.6846	
H50S	2.5370	1.55157	1.000	-3.5221	8.5961	
H50B	.2735	1.32079	1.000	-4.8965	5.4435	
H50SB	-.9970	1.23061	1.000	-5.8572	3.8632	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H30/10SB	NS	13.1860*	1.19610	.000	8.5081	17.8639
	NB	6.2660*	1.18933	.001	1.6158	10.9162
	NSB	4.8465	1.30097	.085	-.2670	9.9600
	PS	4.2140*	1.07527	.048	.0200	8.4080
	PB	2.2635	1.46452	1.000	-3.5442	8.0712
	PSB	.4340	1.16004	1.000	-4.0970	4.9650
	H30/10S	4.2265	1.20460	.140	-.4863	8.9393
H30/10B	1.2460	1.28071	1.000	-3.7826	6.2746	
H30/1S	4.0140	1.27076	.307	-.9730	9.0010	
H30/1B	1.4290	1.22321	1.000	-3.3605	6.2185	
H30/1SB	-.5545	1.12580	1.000	-4.9477	3.8387	
H35S	3.7520	1.13160	.217	-.6644	8.1684	
H35B	2.1115	.99911	.970	-1.7947	6.0177	
H35SB	-.0535	1.37063	1.000	-5.4612	5.3542	
H50S	3.7830	1.39142	.632	-1.7129	9.2789	
H50B	1.5195	1.12836	1.000	-2.8839	5.9229	
H50SB	.2490	1.02133	1.000	-3.7393	4.2373	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H30/1S	NS	9.1720*	1.36988	.000	3.8247	14.5193
	NB	2.2520	1.36397	1.000	-3.0730	7.5770
	NSB	.8325	1.46233	1.000	-4.8718	6.5368
	PS	.2000	1.26575	1.000	-4.7696	5.1696
	PB	-1.7505	1.60957	1.000	-8.0497	4.5487
	PSB	-3.5800	1.33851	.668	-8.8103	1.6503
	H30/10S	.2125	1.37731	1.000	-5.1628	5.5878
	H30/10B	-2.7680	1.44435	.995	-8.4016	2.8656
	H30/10SB	-4.0140	1.27076	.307	-9.0010	.9730
	H30/1B	-2.5850	1.39361	.997	-8.0223	2.8523
	H30/1SB	-4.5685	1.30895	.147	-9.6909	.5539
	H35S	-.2620	1.31394	1.000	-5.4024	4.8784
	H35B	-1.9025	1.20172	1.000	-6.6587	2.8537
	H35SB	-4.0675	1.52465	.673	-10.0204	1.8854
	H50S	-.2310	1.54336	1.000	-6.2596	5.7976
H50B	-2.4945	1.31115	.995	-7.6248	2.6358	
H50SB	-3.7650	1.22025	.357	-8.5812	1.0512	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H30/1B	NS	11.7570*	1.32589	.000	6.5849	16.9291
	NB	4.8370	1.31978	.093	-.3116	9.9856
	NSB	3.4175	1.42121	.859	-2.1300	8.9650
	PS	2.7850	1.21800	.916	-1.9859	7.5559
	PB	.8345	1.57230	1.000	-5.3322	7.0012
	PSB	-.9950	1.29345	1.000	-6.0433	4.0533
	H30/10S	2.7975	1.33356	.974	-2.4042	7.9992
	H30/10B	-.1830	1.40269	1.000	-5.6564	5.2904
	H30/10SB	-1.4290	1.22321	1.000	-6.2185	3.3605
	H30/1S	2.5850	1.39361	.997	-2.8523	8.0223
	H30/1SB	-1.9835	1.26284	1.000	-6.9173	2.9503
	H35S	2.3230	1.26801	.998	-2.6299	7.2759
	H35B	.6825	1.15133	1.000	-3.8593	5.2243
	H35SB	-1.4825	1.48525	1.000	-7.2896	4.3246
	H50S	2.3540	1.50445	1.000	-3.5319	8.2399
	H50B	.0905	1.26511	1.000	-4.8517	5.0327
H50SB	-1.1800	1.17065	1.000	-5.7863	3.4263	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H30/1SB	NS	13.7405*	1.23659	.000	8.9128	18.5682
	NB	6.8205*	1.23004	.000	2.0192	11.6218
	NSB	5.4010*	1.33829	.036	.1574	10.6446
	PS	4.7685*	1.12014	.018	.3967	9.1403
	PB	2.8180	1.49777	.995	-3.0961	8.7321
	PSB	.9885	1.20175	1.000	-3.6999	5.6769
H30/10S		4.7810	1.24482	.059	-.0798	9.6418
H30/10B		1.8005	1.31861	1.000	-3.3617	6.9627
H30/10SB		.5545	1.12580	1.000	-3.8387	4.9477
H30/1S		4.5685	1.30895	.147	-.5539	9.6909
H30/1B		1.9835	1.26284	1.000	-2.9503	6.9173
H35S		4.3065	1.17432	.093	-.2739	8.8869
H35B		2.6660	1.04725	.765	-1.4386	6.7706
H35SB		.5010	1.40611	1.000	-5.0257	6.0277
H50S		4.3375	1.42638	.385	-1.2745	9.9495
H50B		2.0740	1.17120	.999	-2.4942	6.6422
H50SB		.8035	1.06846	1.000	-3.3769	4.9839

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H35S	NS	9.4340*	1.24188	.000	4.5865	14.2815
	NB	2.5140	1.23535	.984	-2.3074	7.3354
	NSB	1.0945	1.34317	1.000	-4.1665	6.3555
	PS	.4620	1.12597	1.000	-3.9332	4.8572
	PB	-1.4885	1.50213	1.000	-7.4169	4.4399
	PSB	-3.3180	1.20719	.608	-8.0273	1.3913
	H30/10S	.4745	1.25007	1.000	-4.4060	5.3550
	H30/10B	-2.5060	1.32356	.995	-7.6860	2.6740
	H30/10SB	-3.7520	1.13160	.217	-8.1684	.6644
	H30/1S	.2620	1.31394	1.000	-4.8784	5.4024
	H30/1B	-2.3230	1.26801	.998	-7.2759	2.6299
	H30/1SB	-4.3065	1.17432	.093	-8.8869	.2739
	H35B	-1.6405	1.05348	1.000	-5.7710	2.4900
	H35SB	-3.8055	1.41076	.649	-9.3482	1.7372
	H50S	.0310	1.43096	1.000	-5.5965	5.6585
	H50B	-2.2325	1.17677	.996	-6.8224	2.3574
H50SB	-3.5030	1.07457	.247	-7.7086	.7026	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H35B	NS	11.0745*	1.12248	.000	6.6547	15.4943
	NB	4.1545	1.11526	.086	-.2348	8.5438
	NSB	2.7350	1.23362	.937	-2.1575	7.6275
	PS	2.1025	.99273	.969	-1.7776	5.9826
	PB	.1520	1.40503	1.000	-5.4775	5.7815
	PSB	-1.6775	1.08398	1.000	-5.9353	2.5803
H30/10S		2.1150	1.13153	.996	-2.3430	6.5730
H30/10B		-.8655	1.21224	1.000	-5.6666	3.9356
H30/10SB		-2.1115	.99911	.970	-6.0177	1.7947
H30/1S		1.9025	1.20172	1.000	-2.8537	6.6587
H30/1B		-.6825	1.15133	1.000	-5.2243	3.8593
H30/1SB		-2.6660	1.04725	.765	-6.7706	1.4386
H35S		1.6405	1.05348	1.000	-2.4900	5.7710
H35SB		-2.1650	1.30688	1.000	-7.3718	3.0418
H50S		1.6715	1.32867	1.000	-3.6290	6.9720
H50B		-.5920	1.05000	1.000	-4.7080	3.5240
H50SB		-1.8625	.93403	.989	-5.5064	1.7814

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H35SB	NS	13.2395*	1.46300	.000	7.5130	18.9660
	NB	6.3195*	1.45747	.016	.6129	12.0261
	NSB	4.9000	1.54991	.300	-1.1482	10.9482
	PS	4.2675	1.36599	.332	-1.1249	9.6599
	PB	2.3170	1.68953	1.000	-4.2775	8.9115
	PSB	.4875	1.43367	1.000	-5.1348	6.1098
	H30/10S	4.2800	1.46996	.477	-1.4716	10.0316
	H30/10B	1.2995	1.53295	1.000	-4.6846	7.2836
	H30/10SB	.0535	1.37063	1.000	-5.3542	5.4612
	H30/1S	4.0675	1.52465	.673	-1.8854	10.0204
	H30/1B	1.4825	1.48525	1.000	-4.3246	7.2896
	H30/1SB	-.5010	1.40611	1.000	-6.0277	5.0257
	H35S	3.8055	1.41076	.649	-1.7372	9.3482
	H35B	2.1650	1.30688	1.000	-3.0418	7.3718
	H50S	3.8365	1.62658	.884	-2.5081	10.1811
	H50B	1.5730	1.40816	1.000	-3.9607	7.1067
H50SB	.3025	1.32394	1.000	-4.9562	5.5612	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H50S	NS	9.4030*	1.48250	.000	3.5960	15.2100
	NB	2.4830	1.47704	1.000	-3.3046	8.2706
	NSB	1.0635	1.56833	1.000	-5.0585	7.1855
	PS	.4310	1.38685	1.000	-5.0501	5.9121
	PB	-1.5195	1.70644	1.000	-8.1781	5.1391
	PSB	-3.3490	1.45356	.908	-9.0542	2.3562
	H30/10S	.4435	1.48936	1.000	-5.3881	6.2751
	H30/10B	-2.5370	1.55157	1.000	-8.5961	3.5221
	H30/10SB	-3.7830	1.39142	.632	-9.2789	1.7129
	H30/1S	.2310	1.54336	1.000	-5.7976	6.2596
	H30/1B	-2.3540	1.50445	1.000	-8.2399	3.5319
	H30/1SB	-4.3375	1.42638	.385	-9.9495	1.2745
	H35S	-.0310	1.43096	1.000	-5.6585	5.5965
	H35B	-1.6715	1.32867	1.000	-6.9720	3.6290
	H35SB	-3.8365	1.62658	.884	-10.1811	2.5081
	H50B	-2.2635	1.42840	1.000	-7.8823	3.3553
H50SB	-3.5340	1.34545	.702	-8.8850	1.8170	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H50B	NS	11.6665*	1.23892	.000	6.8301	16.5029
	NB	4.7465	1.23238	.057	-.0637	9.5567
	NSB	3.3270	1.34044	.809	-1.9243	8.5783
	PS	2.6945	1.12271	.862	-1.6876	7.0766
	PB	.7440	1.49969	1.000	-5.1764	6.6644
	PSB	-1.0855	1.20415	1.000	-5.7831	3.6121
	H30/10S	2.7070	1.24713	.957	-2.1625	7.5765
	H30/10B	-.2735	1.32079	1.000	-5.4435	4.8965
	H30/10SB	-1.5195	1.12836	1.000	-5.9229	2.8839
	H30/1S	2.4945	1.31115	.995	-2.6358	7.6248
	H30/1B	-.0905	1.26511	1.000	-5.0327	4.8517
	H30/1SB	-2.0740	1.17120	.999	-6.6422	2.4942
	H35S	2.2325	1.17677	.996	-2.3574	6.8224
	H35B	.5920	1.05000	1.000	-3.5240	4.7080
	H35SB	-1.5730	1.40816	1.000	-7.1067	3.9607
	H50S	2.2635	1.42840	1.000	-3.3553	7.8823
H50SB	-1.2705	1.07116	1.000	-5.4620	2.9210	

(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
H50SB	NS	12.9370*	1.14230	.000	8.4498	17.4242
	NB	6.0170*	1.13520	.001	1.5595	10.4745
	NSB	4.5975	1.25168	.101	-.3523	9.5473
	PS	3.9650*	1.01508	.050	.0019	7.9281
	PB	2.0145	1.42091	1.000	-3.6609	7.6899
	PSB	.1850	1.10449	1.000	-4.1444	4.5144
	H30/10S	3.9775	1.15119	.163	-.5470	8.5020
	H30/10B	.9970	1.23061	1.000	-3.8632	5.8572
	H30/10SB	-.2490	1.02133	1.000	-4.2373	3.7393
	H30/1S	3.7650	1.22025	.357	-1.0512	8.5812
	H30/1B	1.1800	1.17065	1.000	-3.4263	5.7863
	H30/1SB	-.8035	1.06846	1.000	-4.9839	3.3769
	H35S	3.5030	1.07457	.247	-.7026	7.7086
	H35B	1.8625	.93403	.989	-1.7814	5.5064
	H35SB	-.3025	1.32394	1.000	-5.5612	4.9562
	H50S	3.5340	1.34545	.702	-1.8170	8.8850
H50B	1.2705	1.07116	1.000	-2.9210	5.4620	

Based on observed means.

The error term is Mean Square (Error) = 17.458.

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 35 แสดงการแบ่งช่วงค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาคออกเป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีสะสมรากกำลังสองของความถี่

ค่าความแข็งแรงถึงระดับจุลภาค (นิวตัน)	ความถี่ (ชิ้น)	รากกำลังสองของความถี่	ค่าสะสมของรากกำลังสองของความถี่	ช่วงที่
18.00-18.99	2	1.414	1.414	1
19.00-19.99	1	1	2.414	
20.00-20.99	2	1.414	3.828	
21.00-21.99	1	1.000	4.828	
22.00-22.99	1	1.000	5.828	
23.00-23.99	3	1.732	7.560	
24.00-24.99	7	2.646	10.206	
25.00-25.99	6	2.449	12.655	
26.00-26.99	7	2.646	15.301	
27.00-27.99	7	2.646	17.947	
28.00-28.99	16	4.000	21.947	2
29.00-29.99	18	4.243	26.190	
30.00-30.99	13	3.606	29.796	
31.00-31.99	23	4.796	34.592	
32.00-32.99	21	4.583	39.175	3
33.00-33.99	35	5.916	45.091	
34.00-34.99	25	5.000	50.091	
35.00-35.99	23	4.796	54.887	4
36.00-36.99	26	5.099	59.986	
37.00-37.99	26	5.099	65.085	
38.00-38.99	25	5.000	70.085	
39.00-39.99	23	4.796	74.881	5
40.00-40.99	19	4.359	79.240	
41.00-41.99	9	3.000	82.240	
42.00-42.99	12	3.464	85.704	
43.00-43.99	6	2.449	88.153	
44.00-44.99	0	0.000	88.153	
45.00-45.99	1	1.000	89.153	
46.00-46.99	1	1.000	90.153	
47.00-47.99	0	0.000	90.153	
48.00-48.99	1	1.000	91.153	

แบ่งค่าความแข็งแรงตั้งระดับจุลภาคออกเป็น 5 ช่วง ดังนั้น $91.153/5 = 18.231$

ช่วงที่ 1 18.231 มีค่าใกล้กับค่าสะสมของรากลำดับสองของความถี่ 17.947

ดังนั้นค่าความแข็งแรงตั้งระดับจุลภาคในช่วงที่ 1 จึงมีค่าอยู่ระหว่าง $18.00-27.99$

ช่วงที่ 2 $18.231 \times 2 = 36.462$ มีค่าใกล้กับค่าสะสมของรากลำดับสองของความถี่ 34.592

ดังนั้นค่าความแข็งแรงตั้งระดับจุลภาคในช่วงที่ 2 จึงมีค่าอยู่ระหว่าง $28.00-31.99$

ช่วงที่ 3 $18.231 \times 3 = 54.693$ มีค่าใกล้กับค่าสะสมของรากลำดับสองของความถี่ 54.887

ดังนั้นค่าความแข็งแรงตั้งระดับจุลภาคในช่วงที่ 3 จึงมีค่าอยู่ระหว่าง $32.00-35.99$

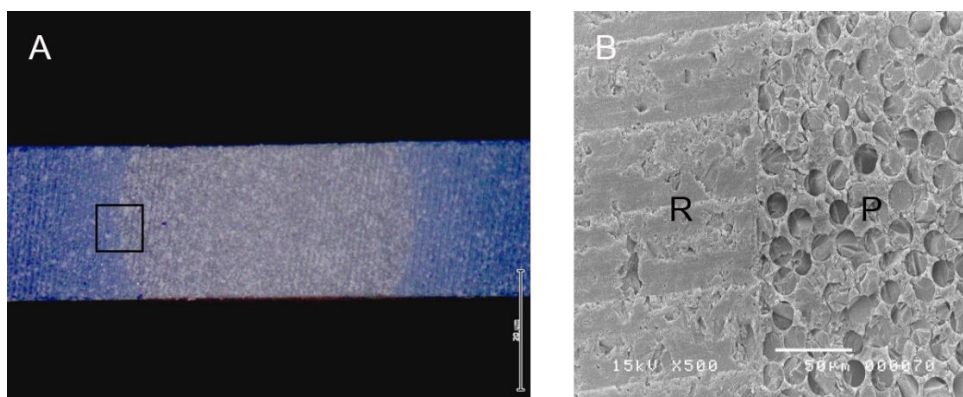
ช่วงที่ 4 $18.231 \times 4 = 72.924$ มีค่าใกล้กับค่าสะสมของรากลำดับสองของความถี่ 74.881

ดังนั้นค่าความแข็งแรงตั้งระดับจุลภาคในช่วงที่ 4 จึงมีค่าอยู่ระหว่าง $36.00-39.99$

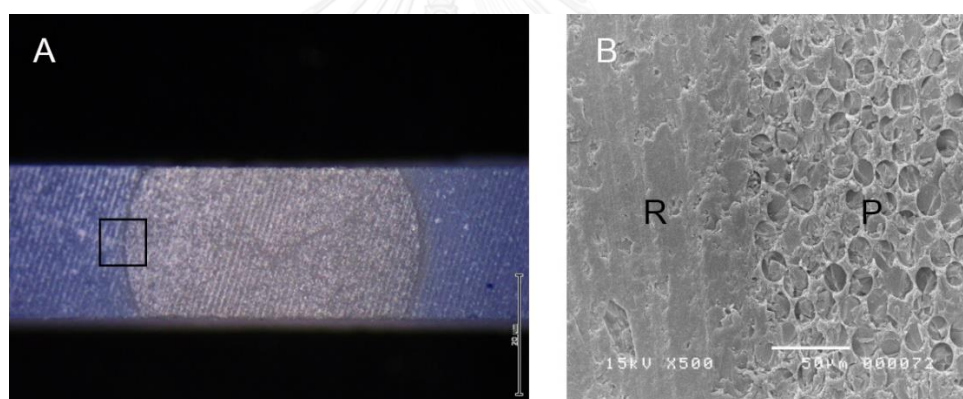
ช่วงที่ 5 $18.231 \times 5 = 91.155$ มีค่าใกล้กับค่าสะสมของรากลำดับสองของความถี่ 91.153

ดังนั้นค่าความแข็งแรงตั้งระดับจุลภาคในช่วงที่ 5 จึงมีค่าอยู่ระหว่าง $40.00-48.99$

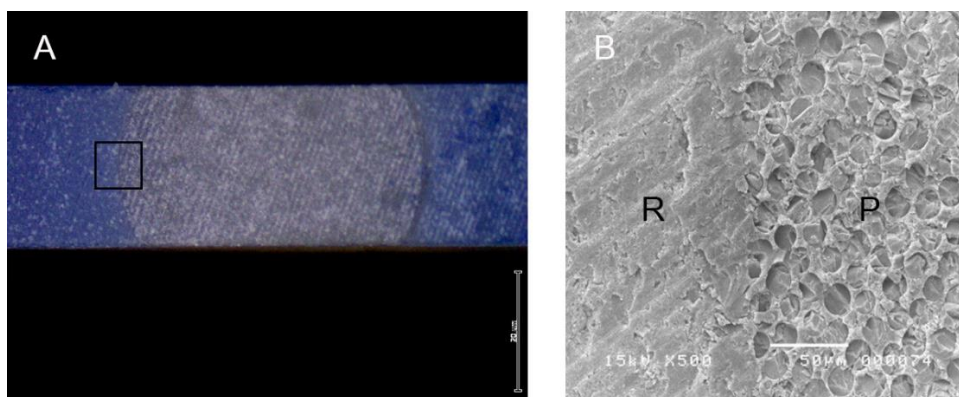




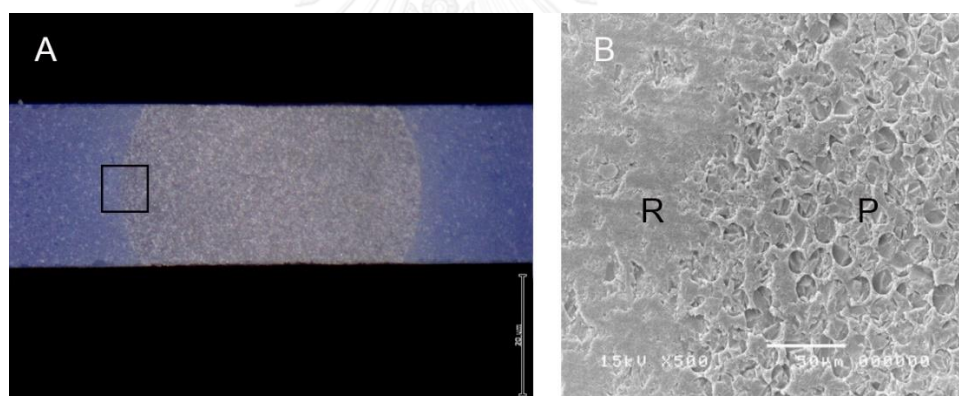
รูปที่ 47 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ *กลุ่มไซเลน* จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเตี๋ยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



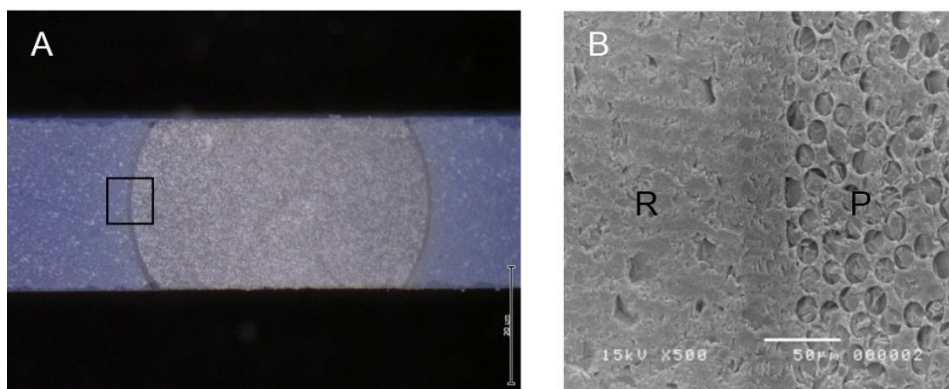
รูปที่ 48 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ *กลุ่มสารบอนด์ดิง* จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเตี๋ยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



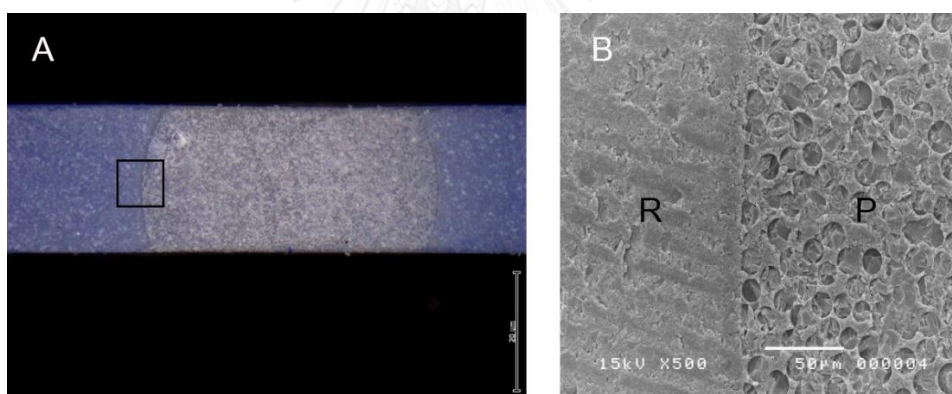
รูปที่ 49 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ *กลุ่มเซลลูโลสร่วมกับสารบอนด์ดิง* จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟีน (P) และแกนฟีนเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



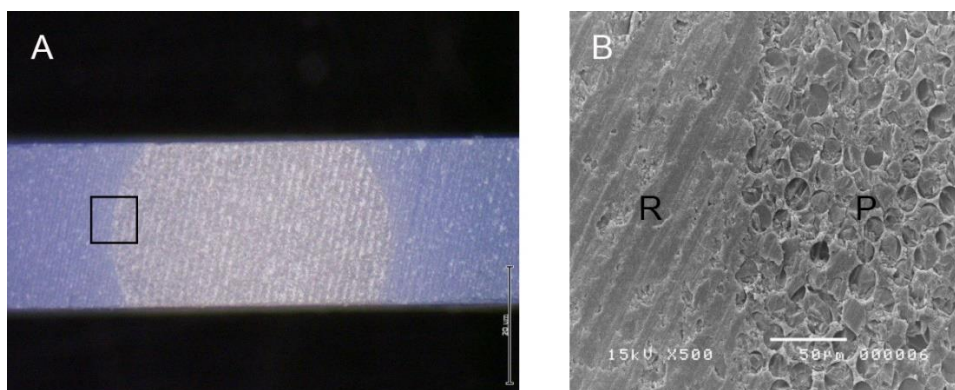
รูปที่ 50 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ *กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาเซลลูโลส* จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟีน (P) และแกนฟีนเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



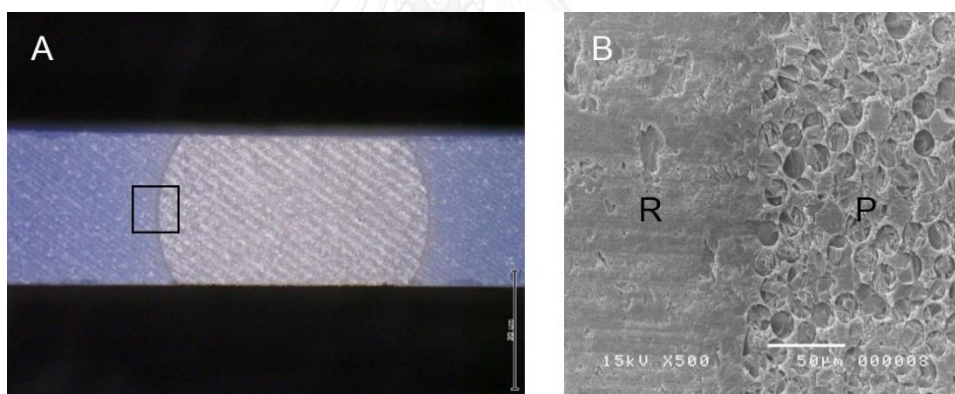
รูปที่ 51 ภาพถ่ายขึ้นทตสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



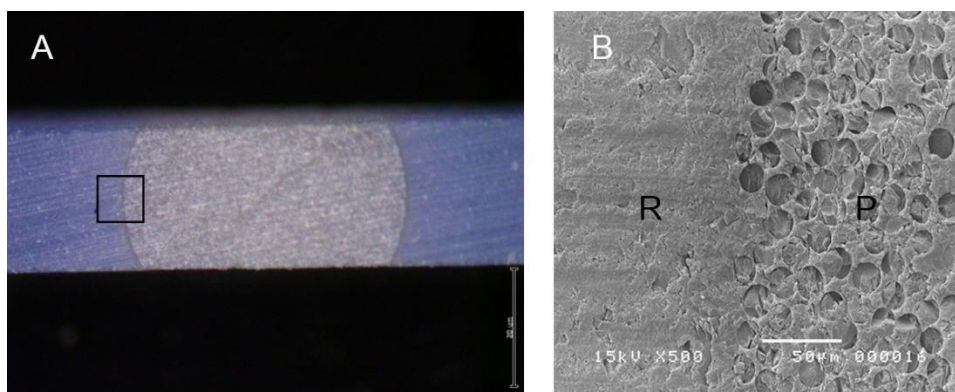
รูปที่ 52 ภาพถ่ายขึ้นทตสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไซเลนและสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



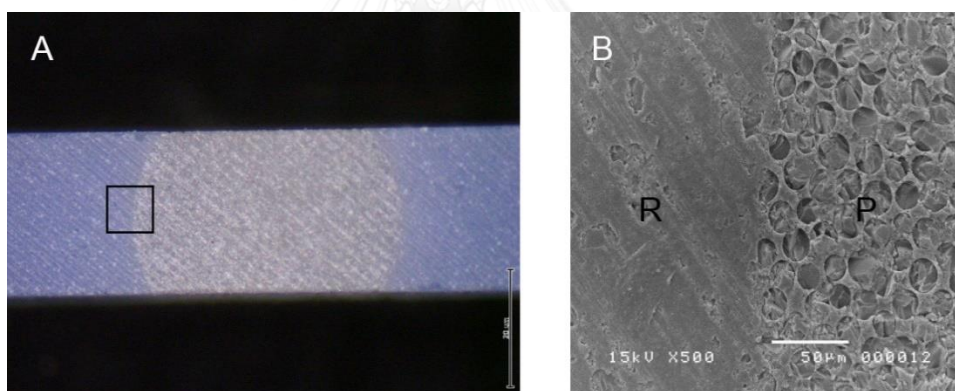
รูปที่ 53 ภาพถ่ายขึ้นทตสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไซเลน จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



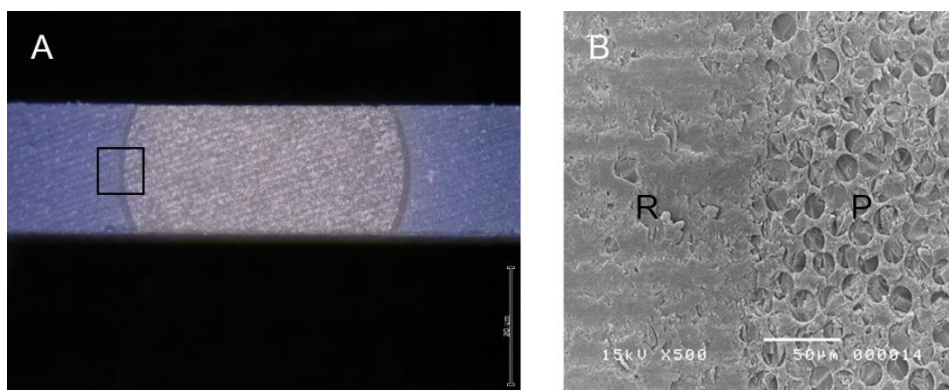
รูปที่ 54 ภาพถ่ายขึ้นทตสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



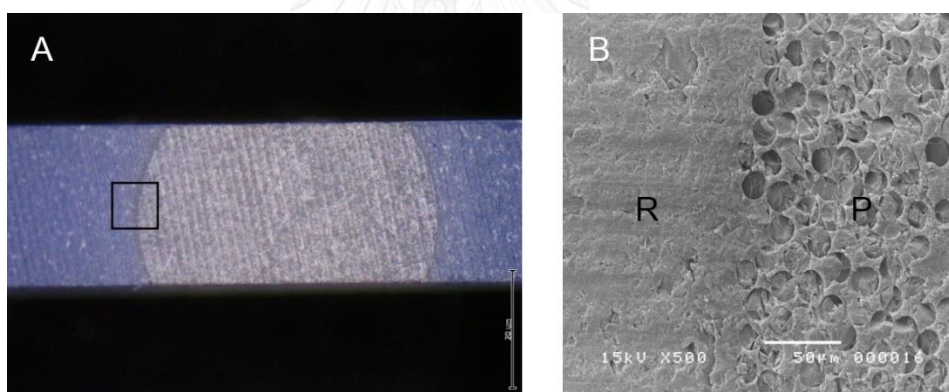
รูปที่ 55 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



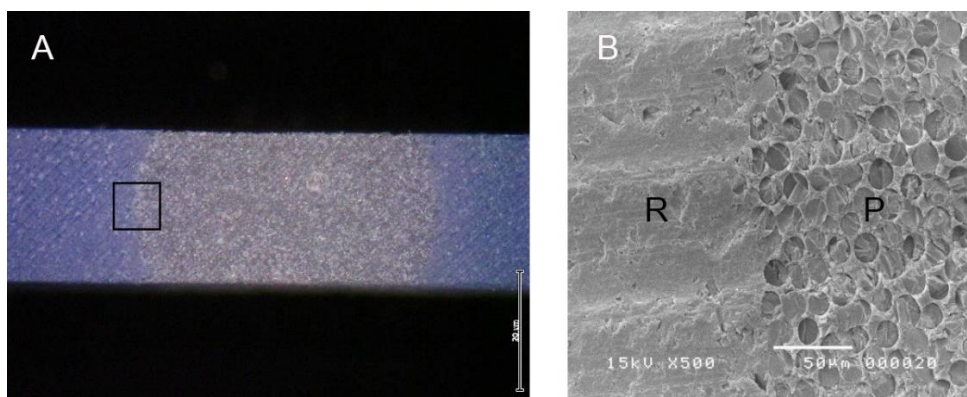
รูปที่ 56 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



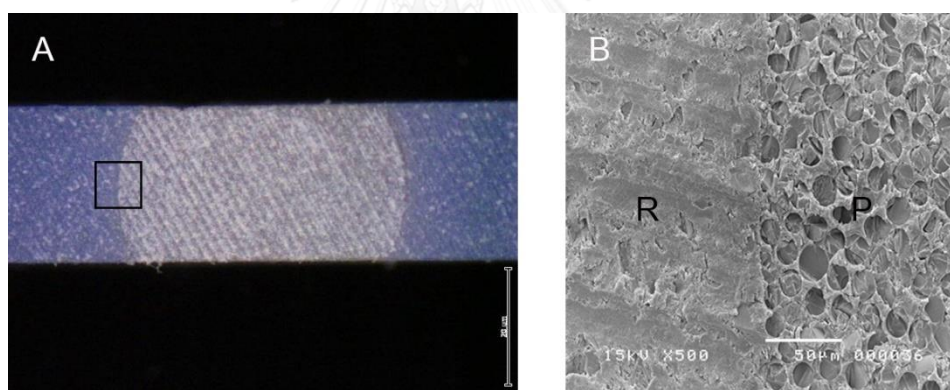
รูปที่ 57 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตรียโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



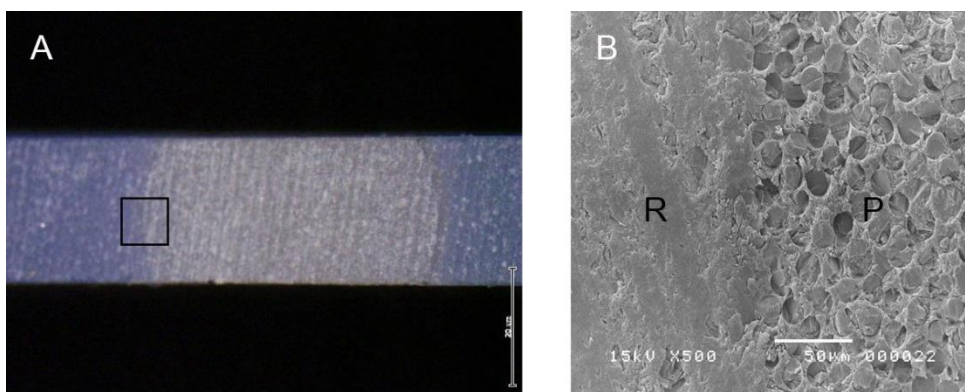
รูปที่ 58 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตรียโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



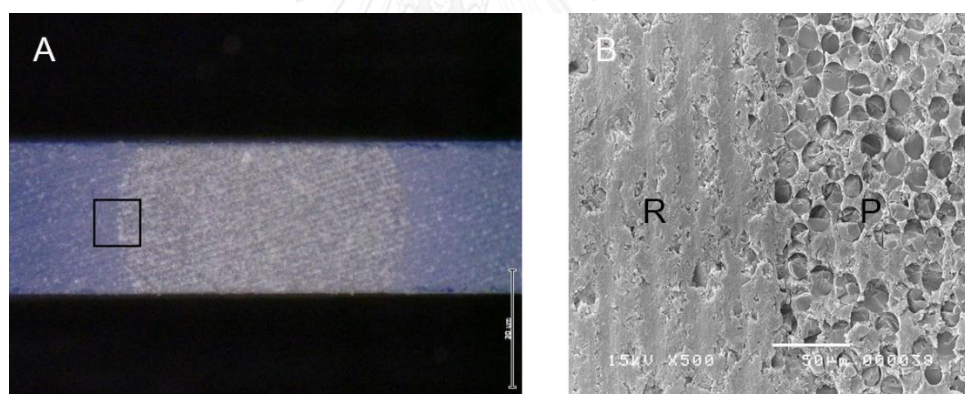
รูปที่ 59 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน จากกล้องสแตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



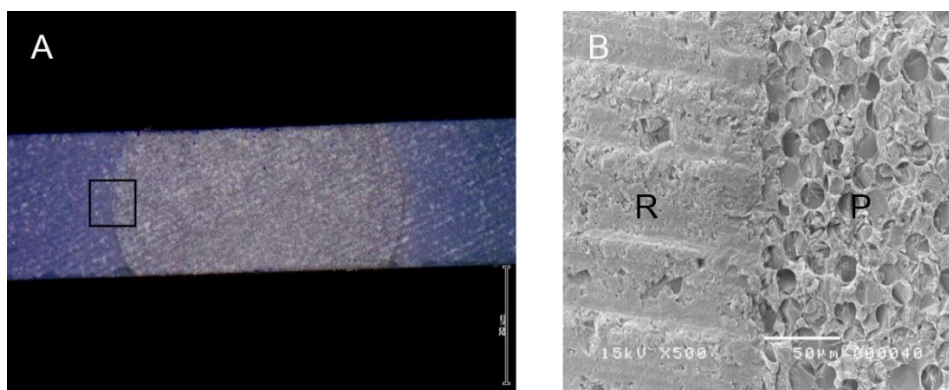
รูปที่ 60 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสแตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



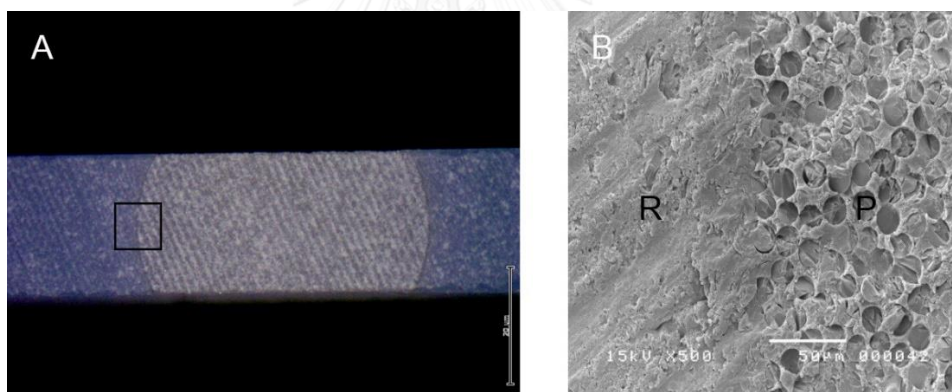
รูปที่ 61 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ติง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนพื้นเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



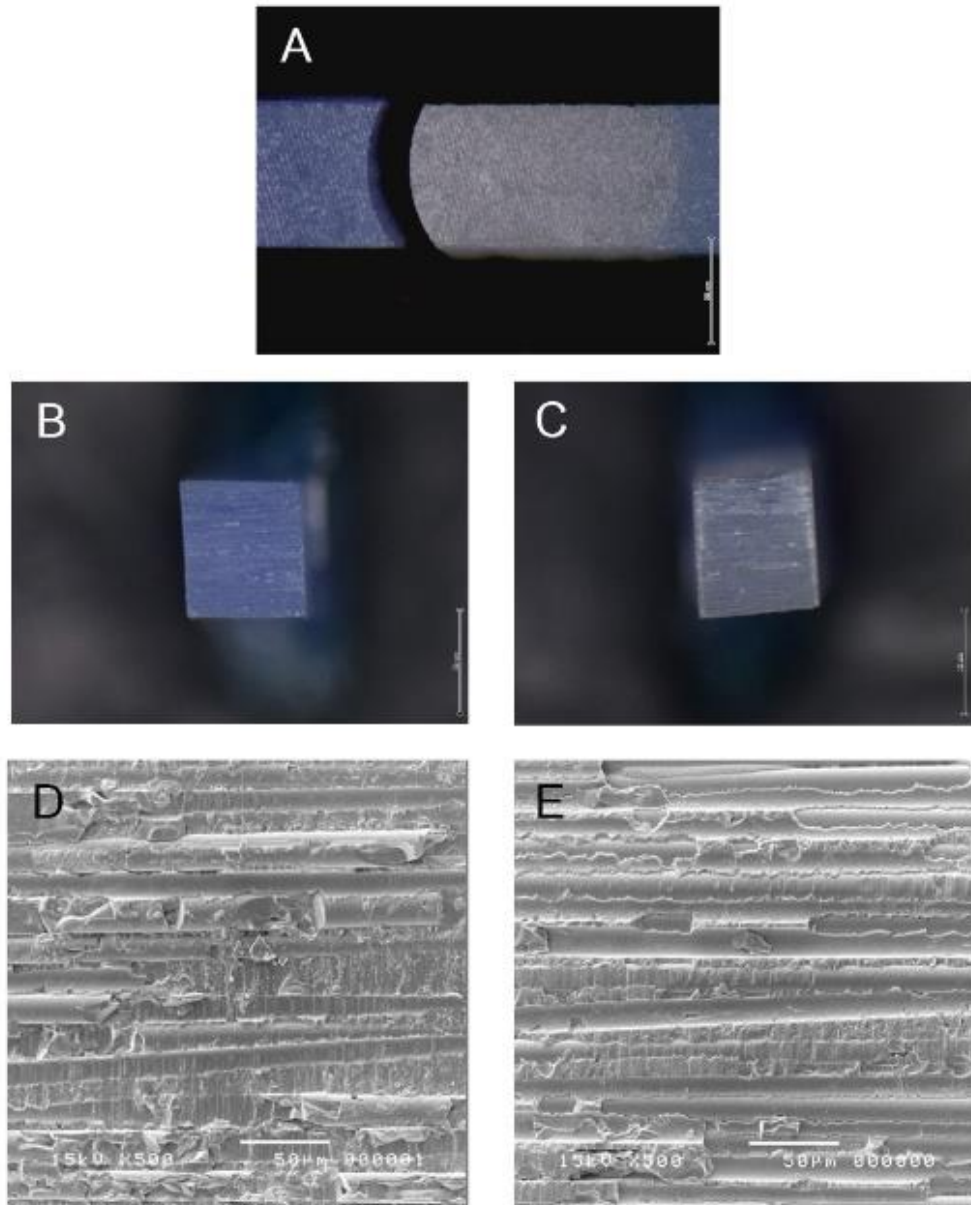
รูปที่ 62 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนพื้นเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



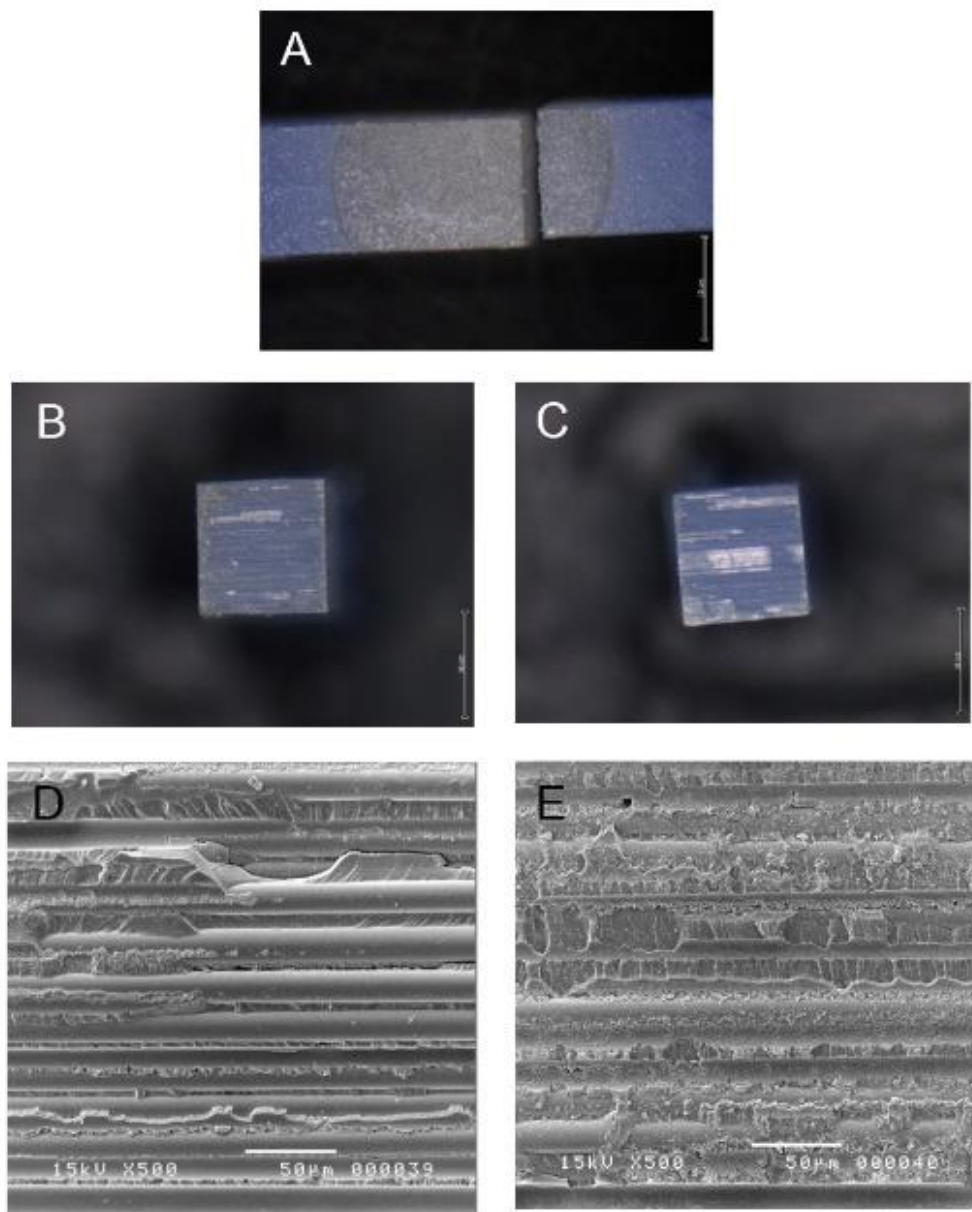
รูปที่ 63 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



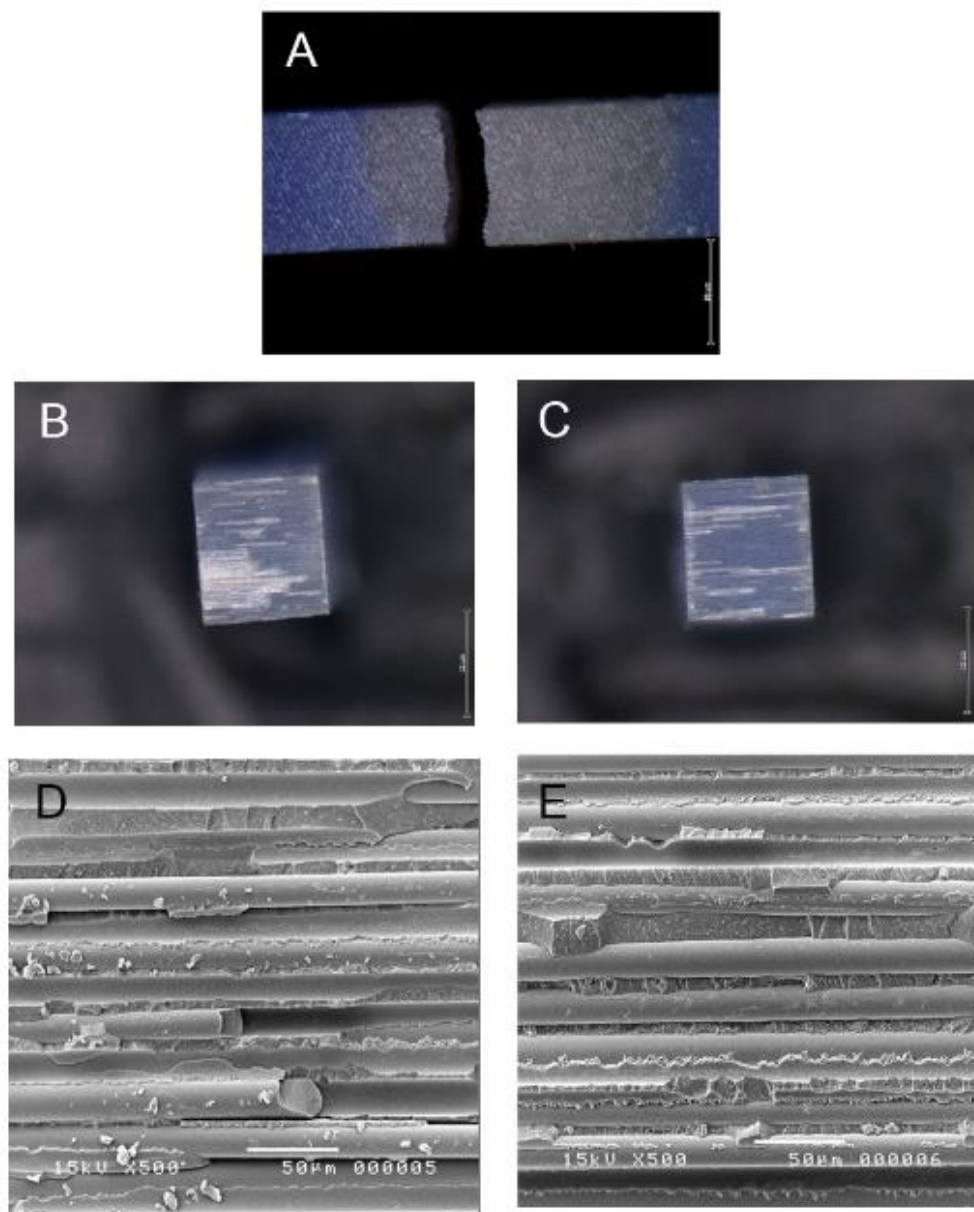
รูปที่ 64 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดีง จากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (A) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (B) แสดงรอยต่อระหว่างเดือยฟัน (P) และแกนฟันเรซินคอมโพสิต (R) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



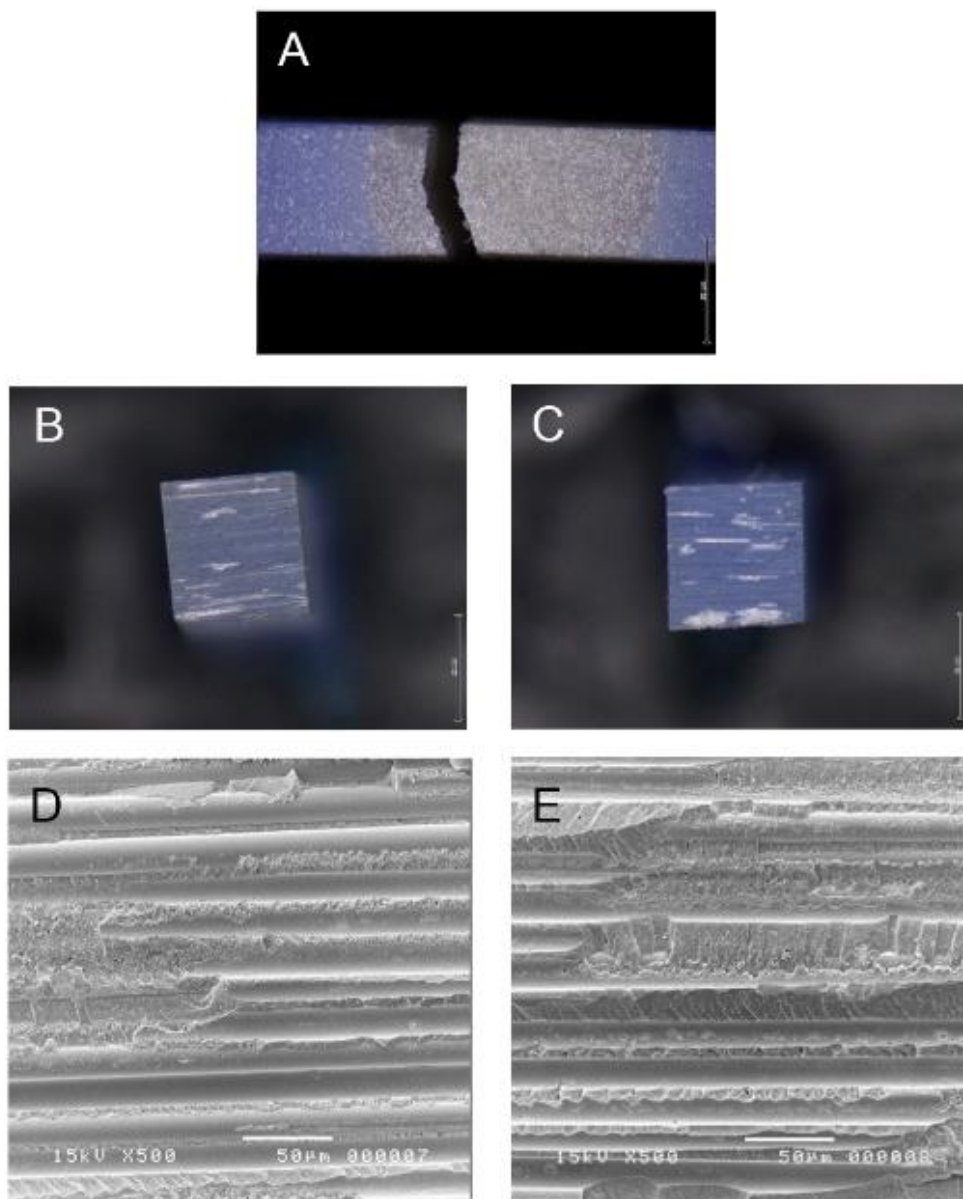
รูปที่ 65 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มไคเลน ที่เกิดการแตกหักแบบยึดไม่อยู่ (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



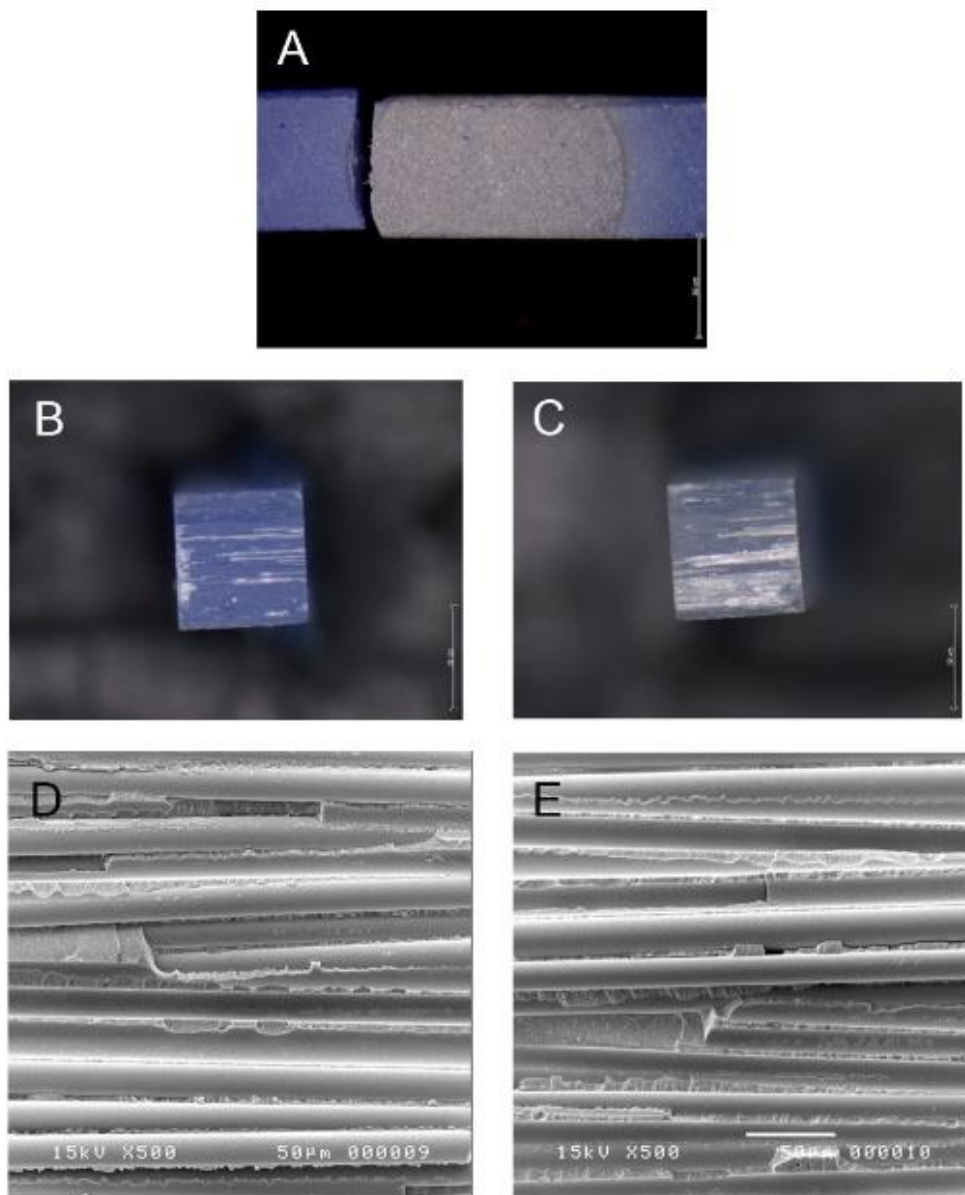
รูปที่ 66 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ *กลุ่มสารบอนด์ดิง* ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



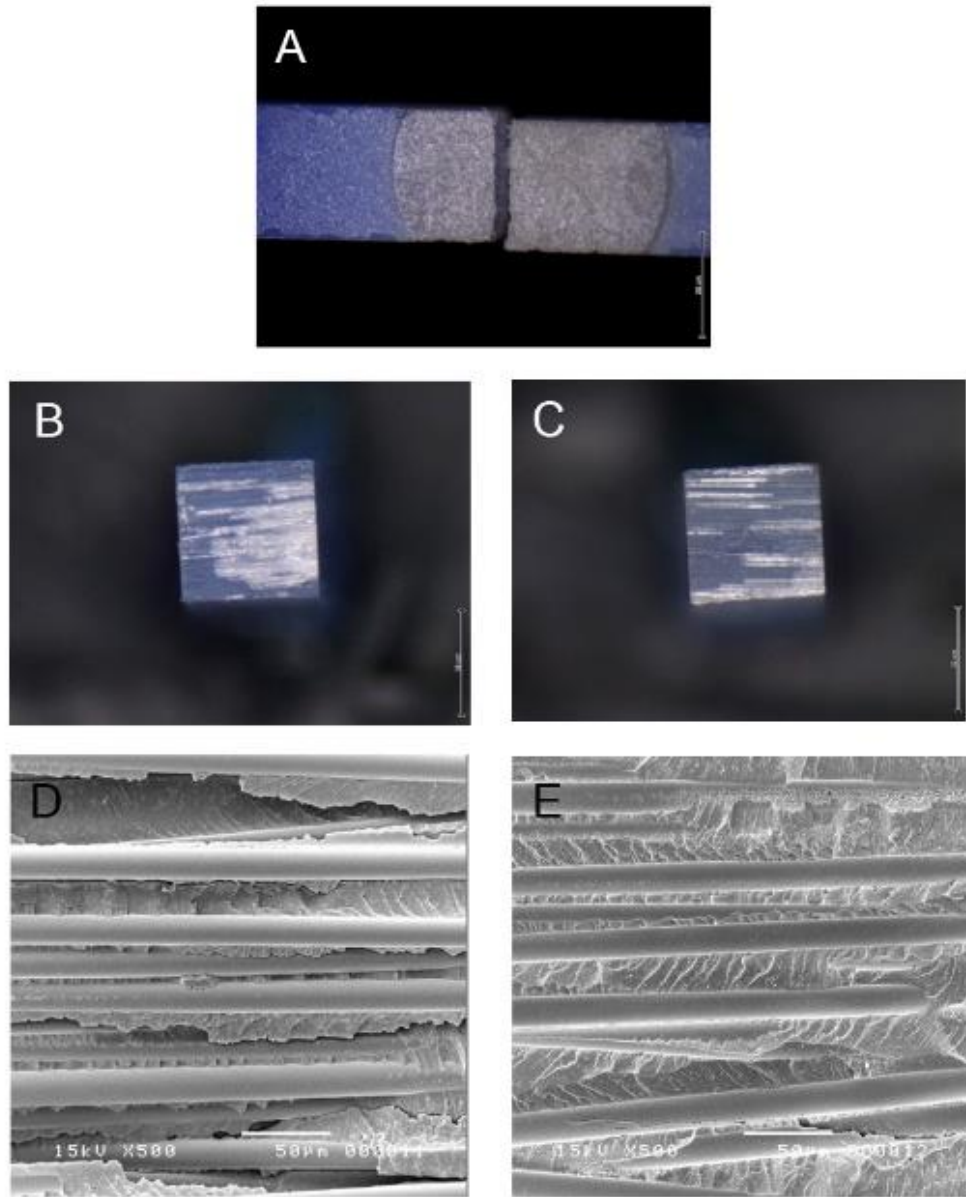
รูปที่ 67 ภาพถ่ายขั้นตอนทดสอบ กลุ่มโซเลนร่วมกับสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่น ล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



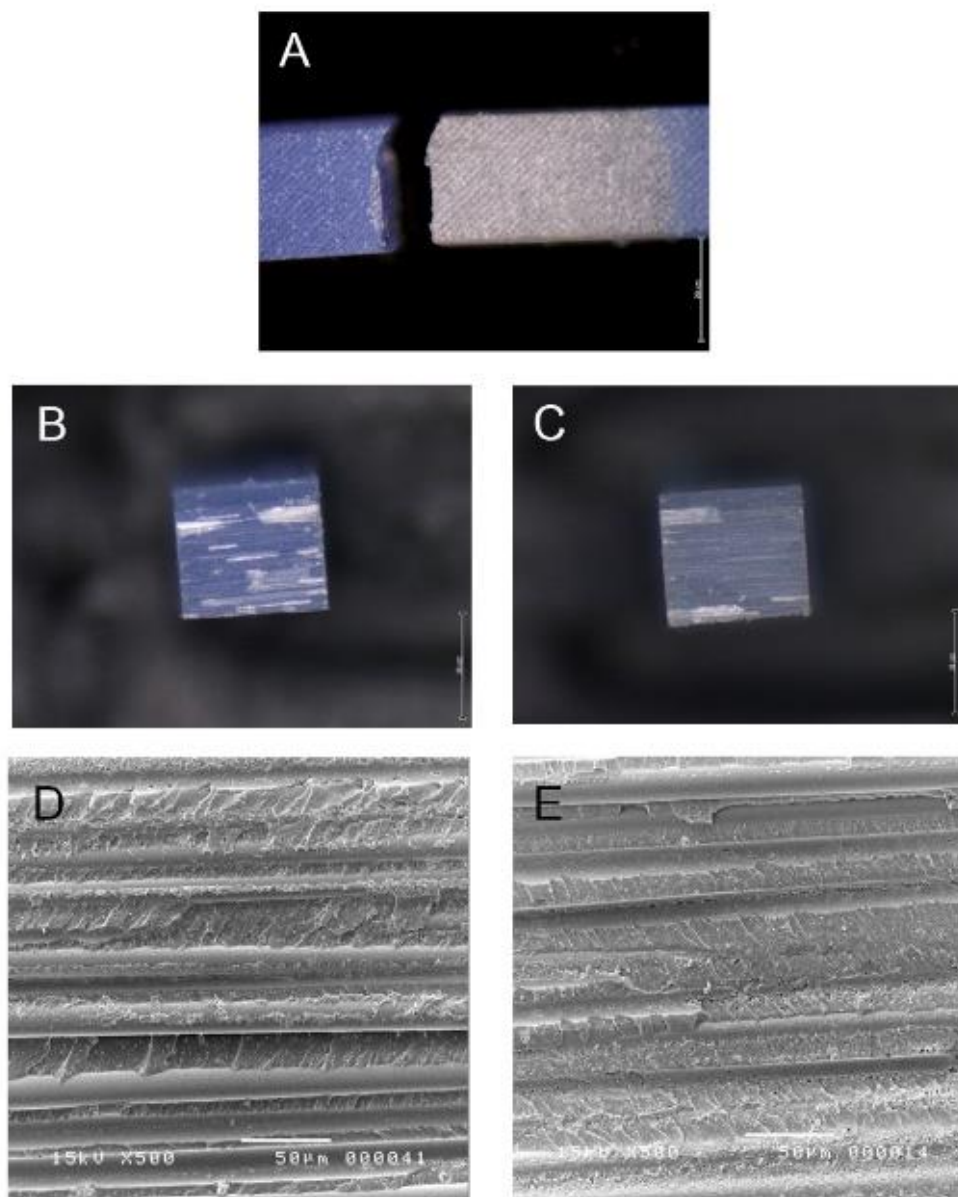
รูปที่ 68 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



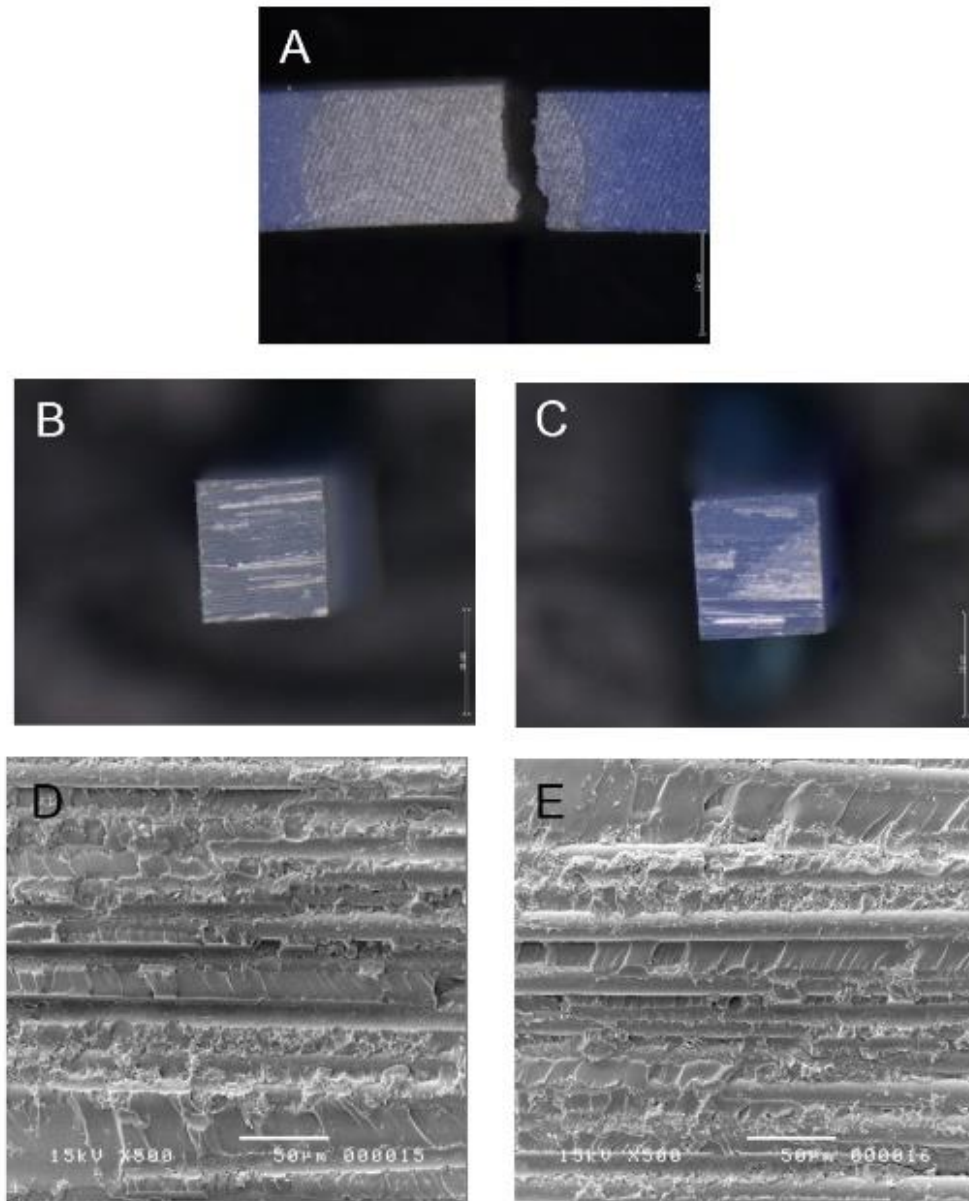
รูปที่ 69 ภาพถ่ายขึ้นทสดอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนดีดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องทรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



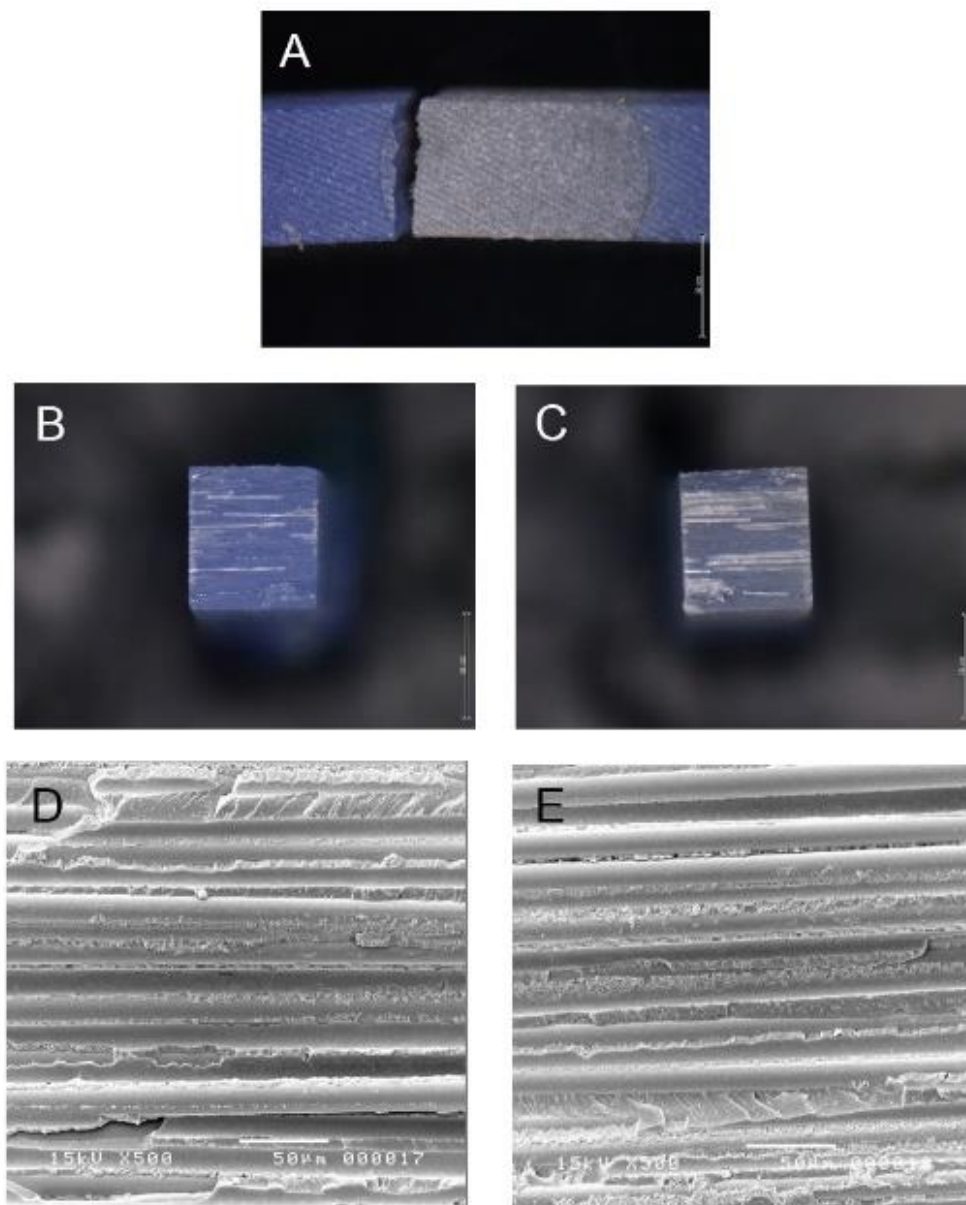
รูปที่ 70 ภาพถ่ายชิ้นทดสอบ กลุ่มฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลัมเหลว (A) และพื้นผิวลัมผัสที่เกิดความลัมเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



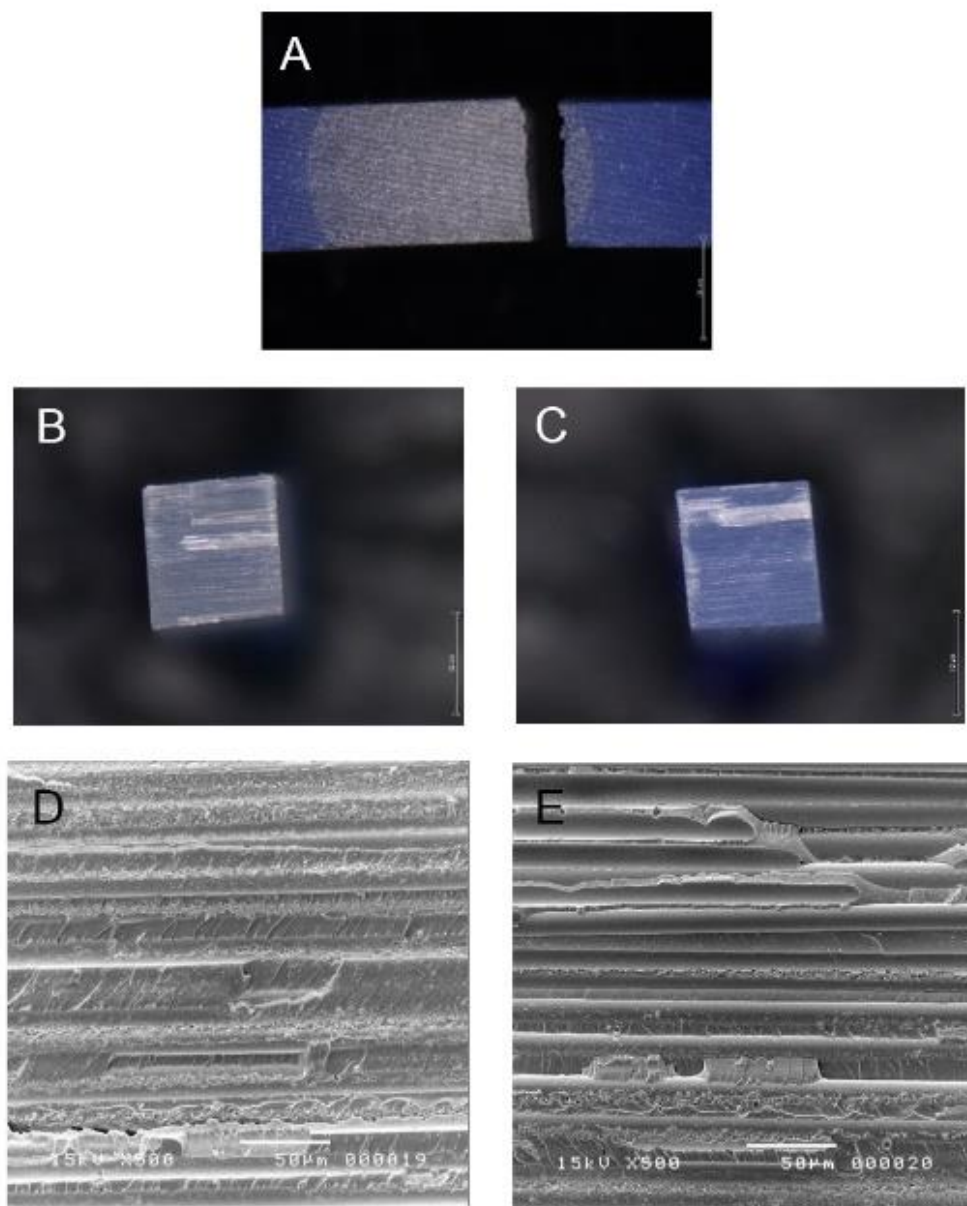
รูปที่ 71 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาลูเลน ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลัมเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลัมเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



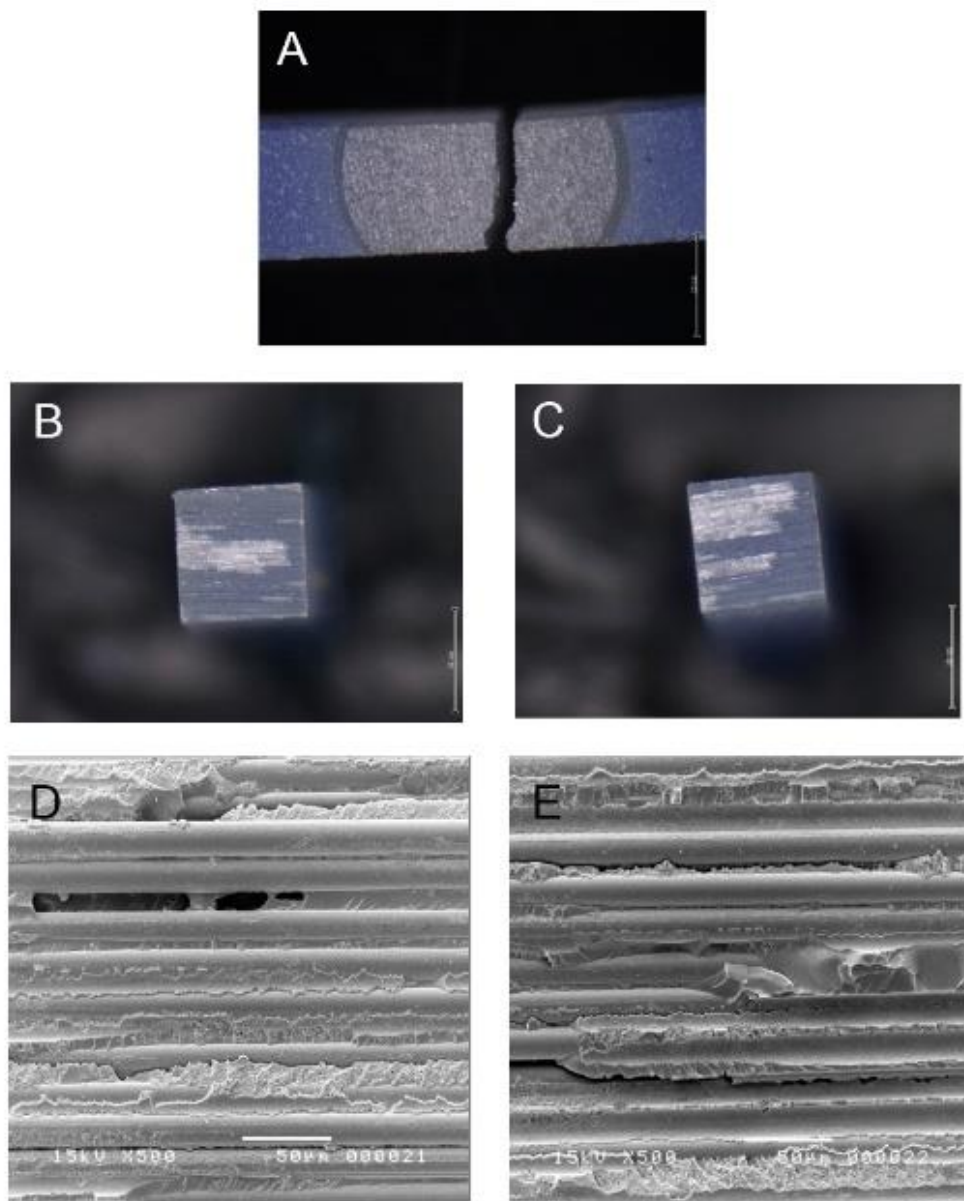
รูปที่ 72 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาสารบอนดีดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิว ล้มผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



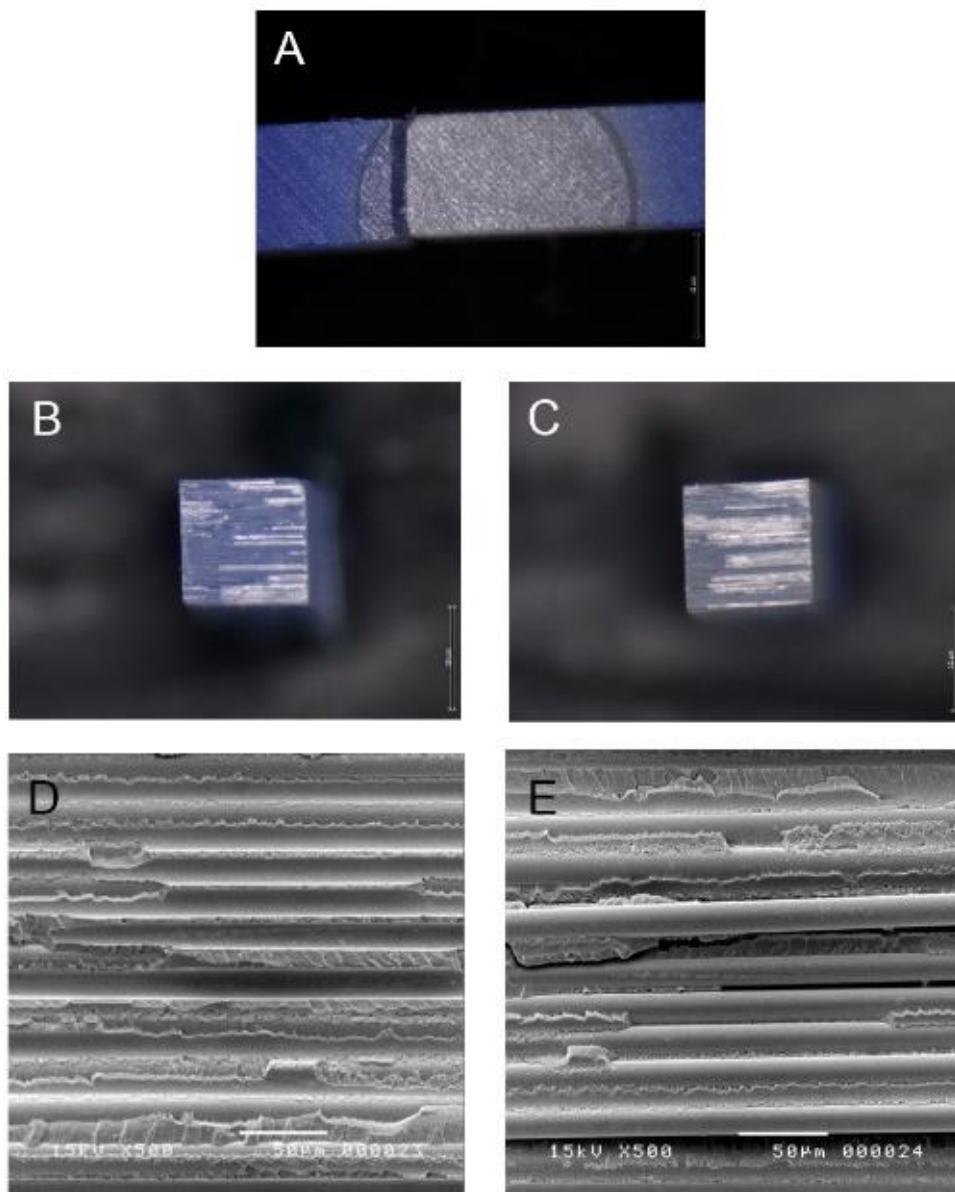
รูปที่ 73 ภาพถ่ายขึ้นทอดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 10 นาที ร่วมกับทาไซเลนและสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



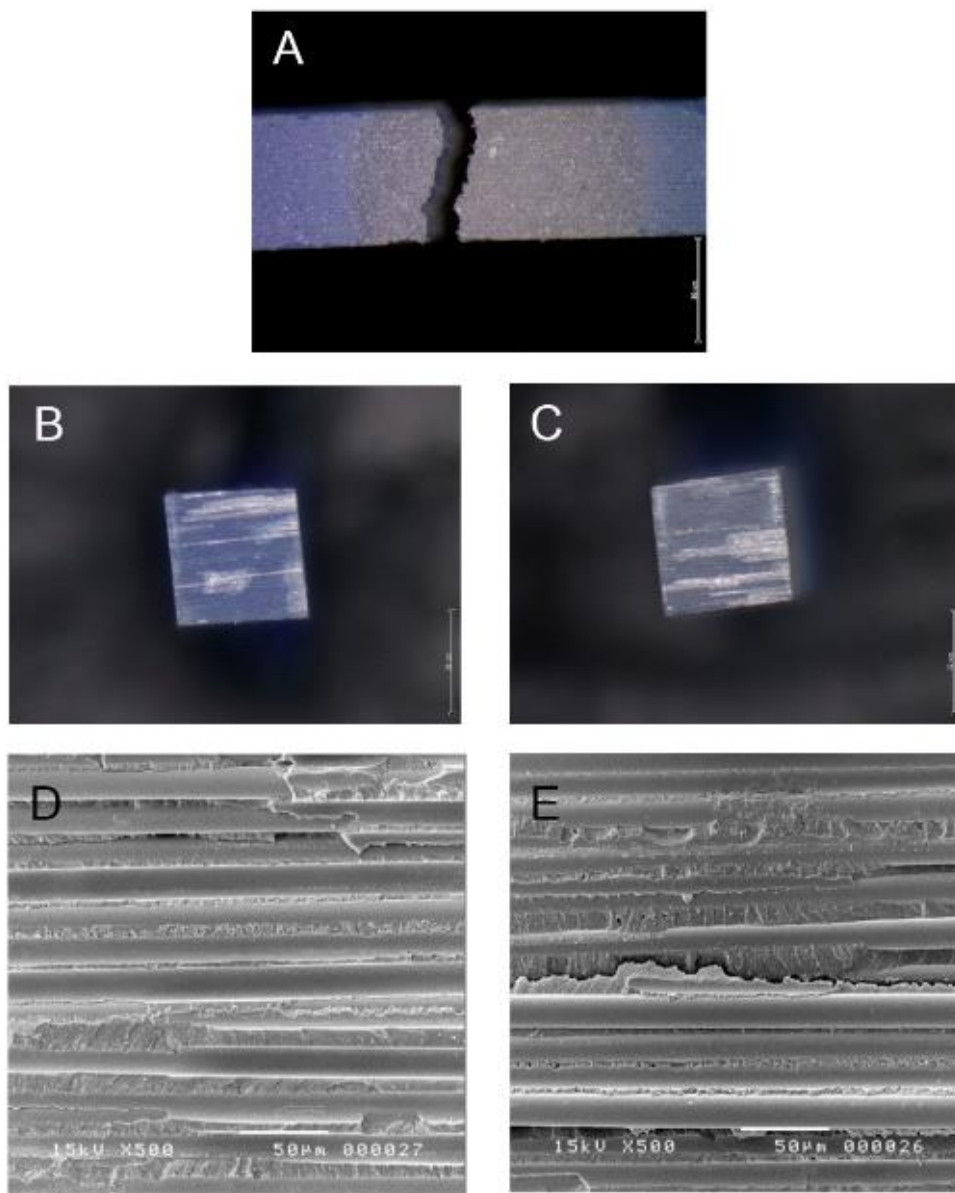
รูปที่ 74 ภาพถ่ายขึ้นทอดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไซเลน ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



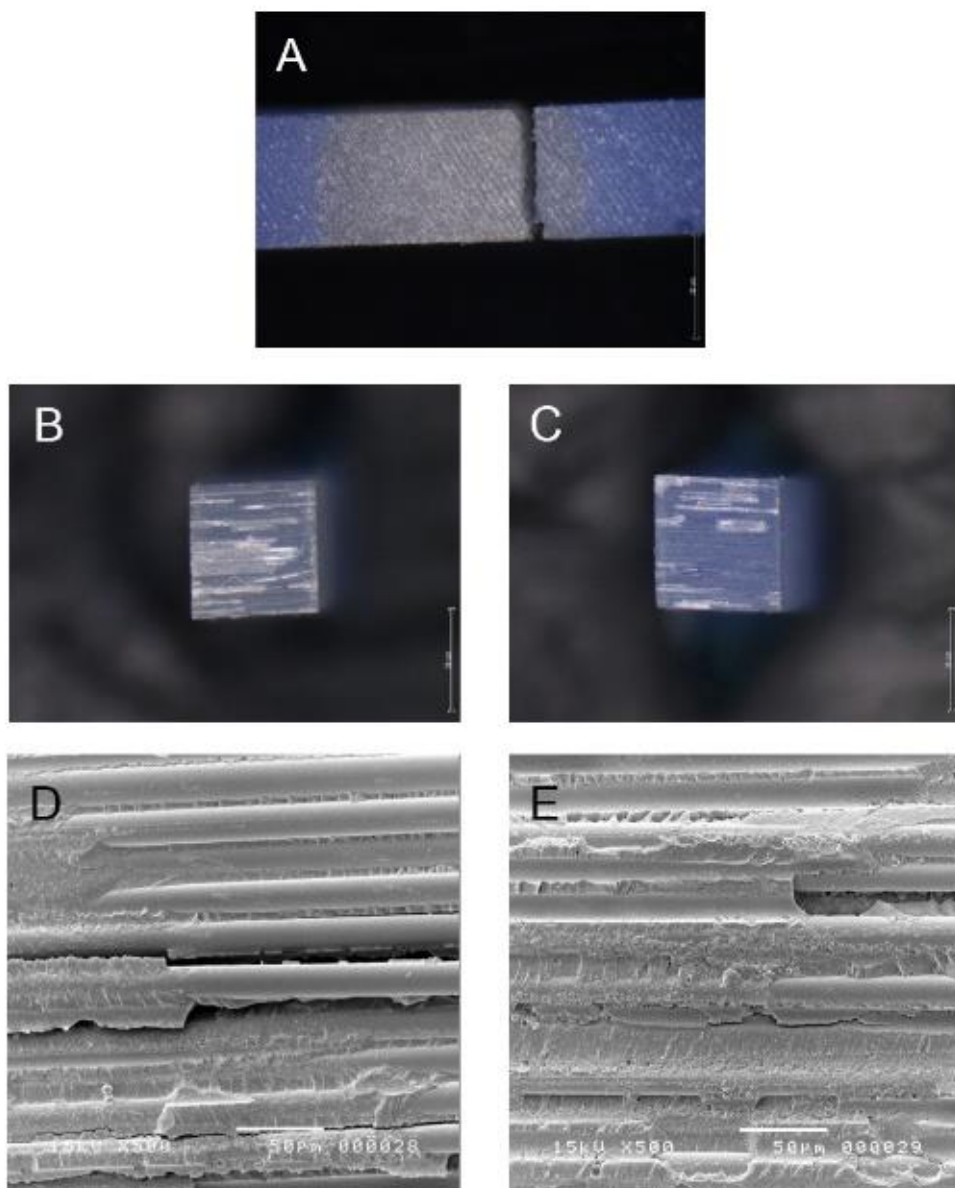
รูปที่ 75 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนดีดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลัมเหลว (A) และพื้นผิว ลัมผัสที่เกิดความลัมเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจาก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



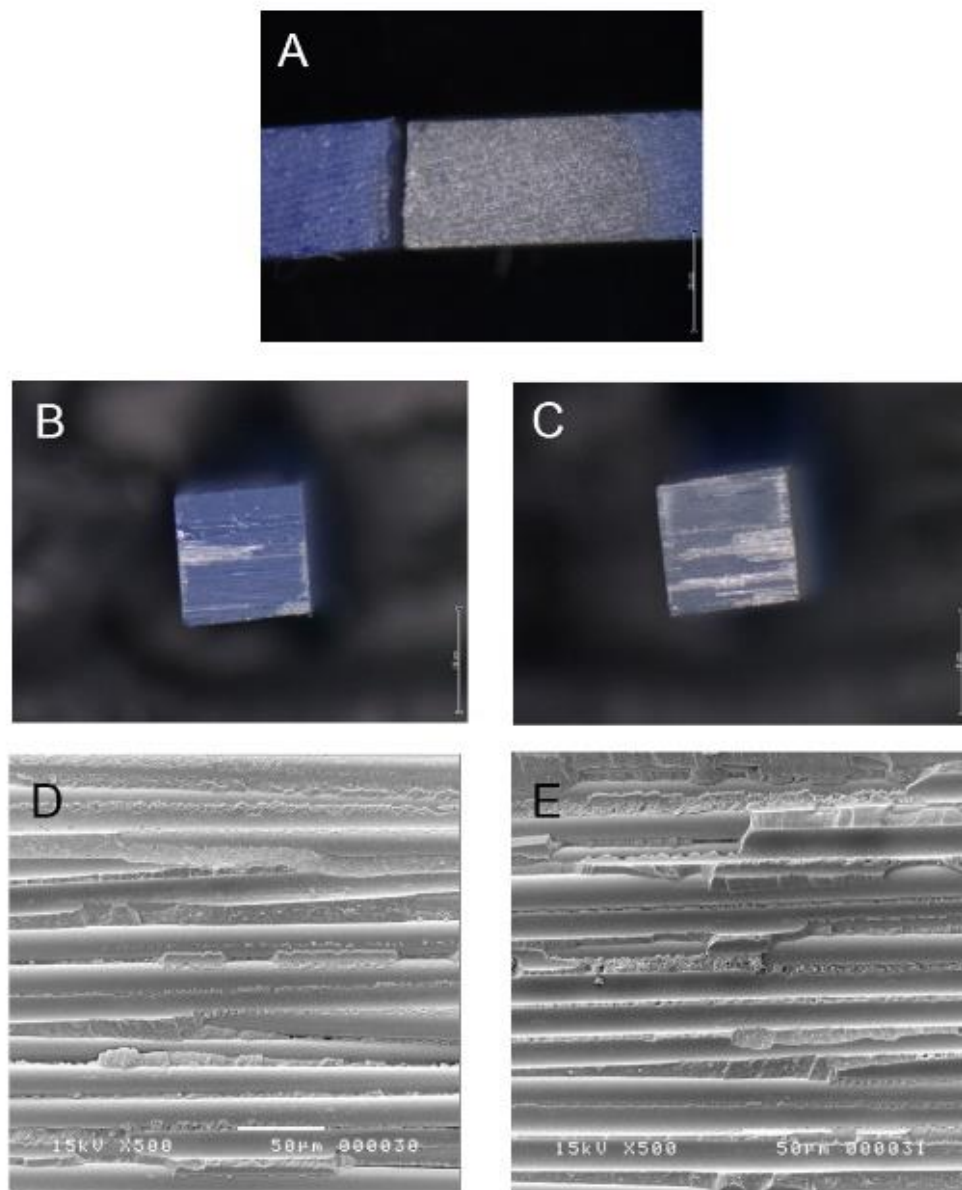
รูปที่ 76 ภาพถ่ายขึ้นททดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลัมเหลว (A) และ พื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลัมเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



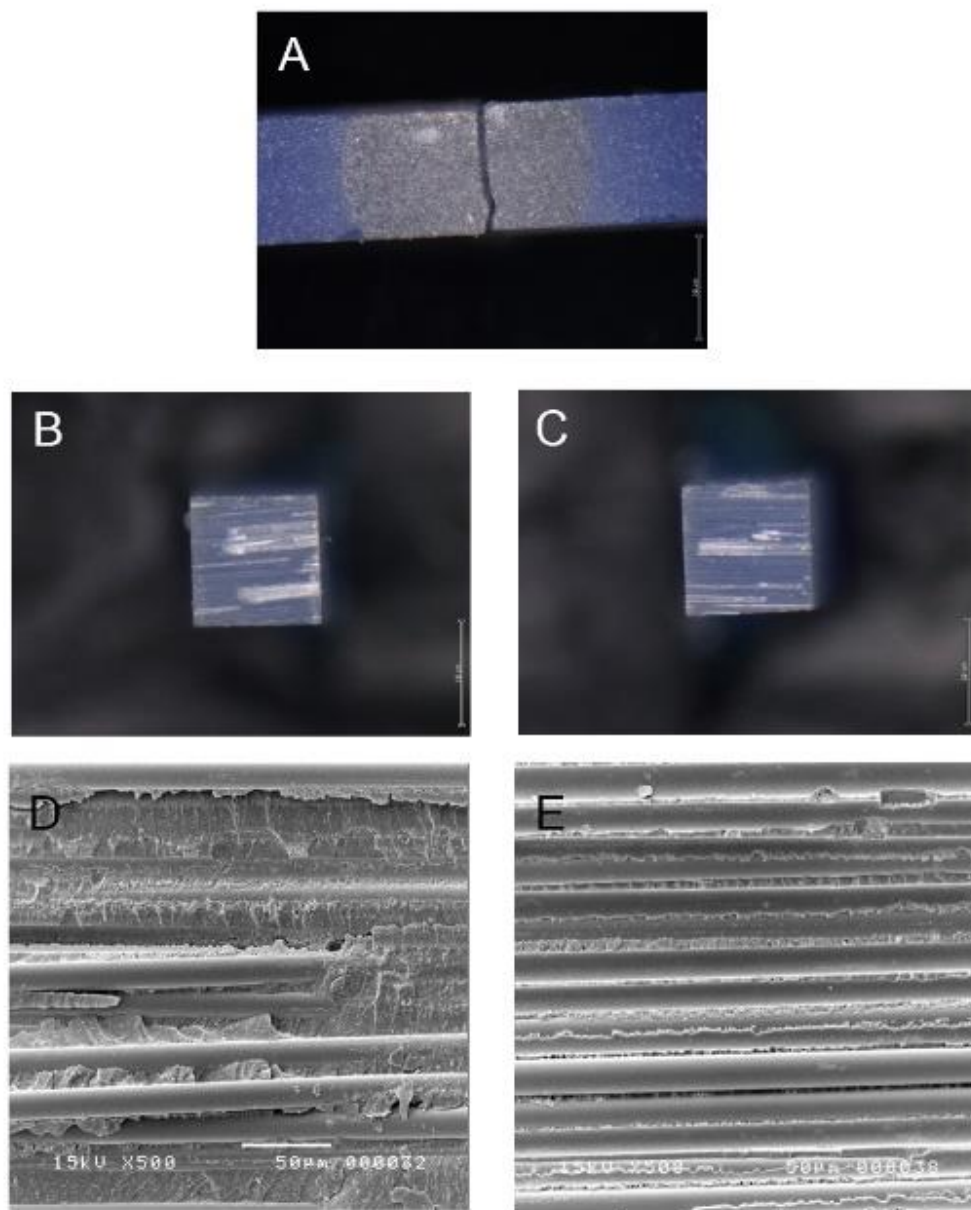
รูปที่ 77 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไซเลน ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลึมหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลึมหลวจากกล่องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



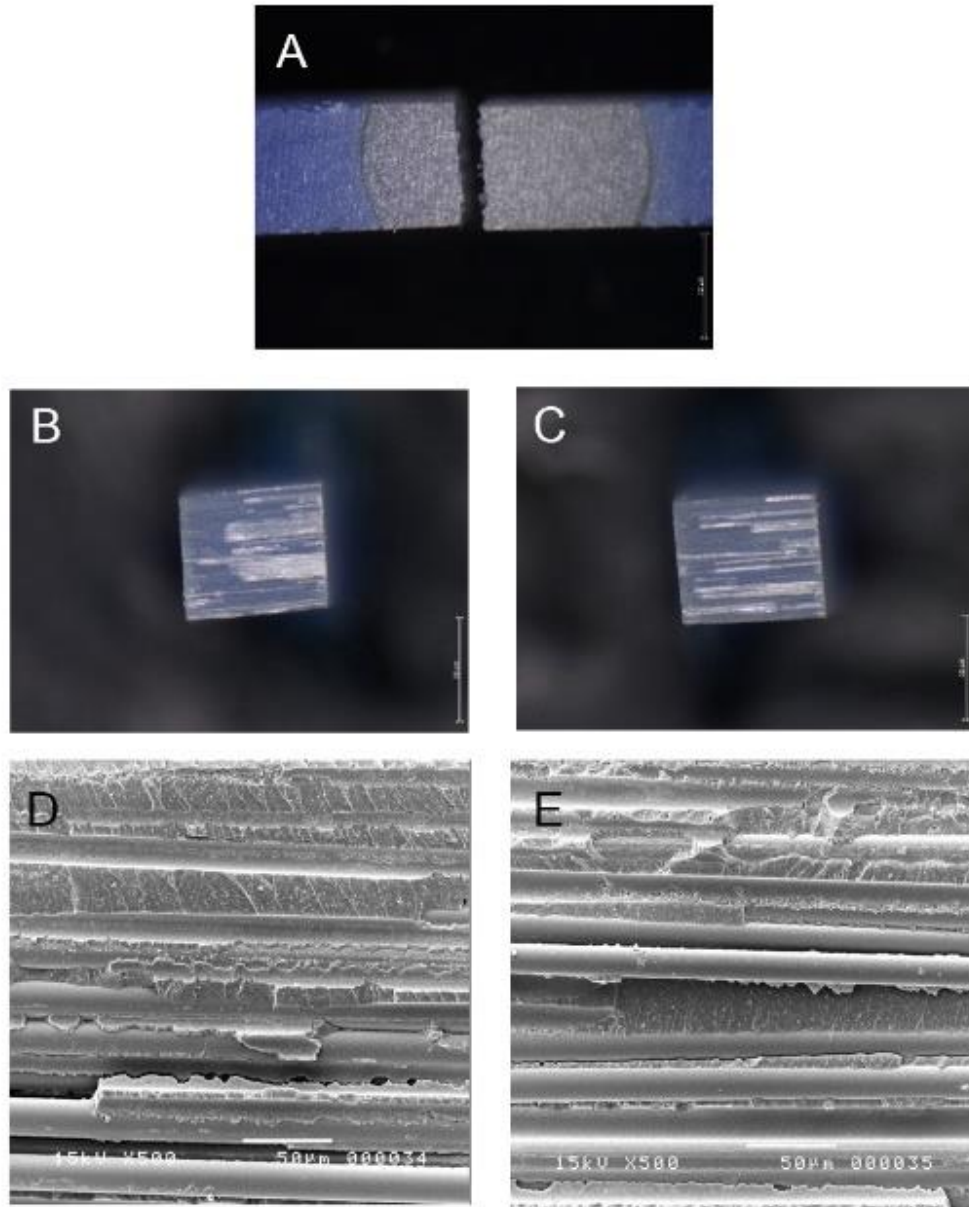
รูปที่ 78 ภาพถ่ายขึ้นทอดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลัมเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลัมเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



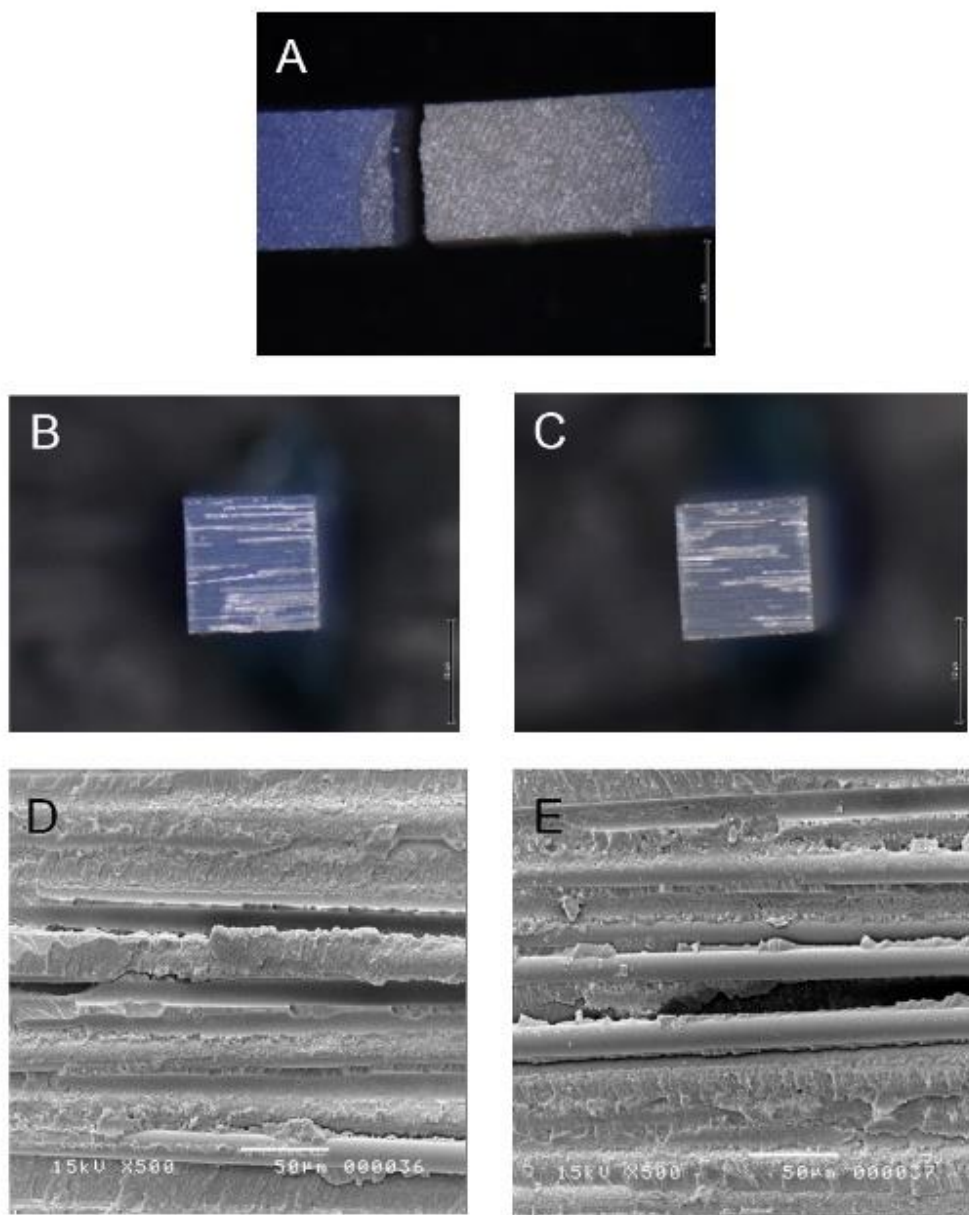
รูปที่ 79 ภาพถ่ายขึ้นทอดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลนและสารบอนด์ดิง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลึมหลว (A) และ พื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลึมหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 80 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาไฮเลน ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 81 ภาพถ่ายขึ้นทดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาสารบอนด์ดีง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นล้มเหลว (A) และพื้นผิวสัมผัสที่เกิดความล้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ 82 ภาพถ่ายขึ้นทอดสอบ กลุ่มสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 นาน 1 นาที ร่วมกับทาลูเลนและสารบอนด์ดีง ที่เกิดการแตกหักแบบเชื่อมแน่นลึ้มเหลว (A) และ พื้นผิวสัมผัสที่เกิดความลึ้มเหลวจากกล้องสเตอริโอไมโครสโคป (B,C) ที่กำลังขยาย 40 เท่า และ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (D,E) ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศรียา เสารยะ เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2527 สำเร็จ การศึกษาระดับทันตแพทยศาสตรบัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2552 หลังจากสำเร็จการศึกษาได้บรรจุเป็นพนักงานมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์ สังกัด ภาควิชาศัลยศาสตร์และเวชศาสตร์ช่องปาก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิ โรฒ เป็นระยะเวลา 6 เดือน จึงลาออก แล้วรับการบรรจุเป็นข้าราชการ ตำแหน่งทันตแพทย์ ปฏิบัติการ ฝ่ายทันตกรรม คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช เป็น ระยะเวลา 2 ปี 6 เดือน จึงลาราชการมาศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555

