

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน (Elipar@Trilight, 3M ESPE, Germany)
2. เครื่องพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ (miniblast, Israel)
3. ผงอะลูมิเนียมออกไซด์ ขนาดอนุภาค 50 ไมครอน
4. คอมพอสิตเรซินแบบไฮบริด ชนิดบ่มตัวด้วยแสง (Z250, 3M/ ESPE, St Paul, MN, USA)
5. สารไหล Monobond S (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein)
6. สารไหล Porcelain liner M (Sun Medical Co Ltd, Moryama, Japan)
7. เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย DT light post (RTD st. Egreve, Grenoble, France)
8. เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย FRC postec (Ivoclar Vivadent, Schaabm Liechtenstein)
9. เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย Exacto conical (Angelus, Londrina, Parana, Brazil)
10. เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย Easy post (Krugg, Milano, Italy)
11. เดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย Innotech (Innotech SLR, Robio Italy)
12. เครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อแข็ง (Leica รุ่น SP1600, Leica, Germany)
13. เครื่องวัดขนาดแบบดิจิทัล ชนิดความละเอียด 0.01 มม. (Mitutoyo, Japan)
14. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (JEOL รุ่น JSM-5410LV, JEOL, Japan)
15. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสแตอริโอพร้อม CCD, TV, VDO (Meiji รุ่น ML 9300, Meiji Techno Co, Ltd. Japan)
16. เครื่องทำความสะอาดด้วยคลื่นไฟฟ้า (ultrasonic cleaner รุ่น 5210 Branson, Germany)
17. กาวไซยาโนอะคริเลต
18. เครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิก (Instron รุ่น 8872, Instron UK.)
19. เครื่องคอมพิวเตอร์
20. โปรแกรม SPSS รุ่น 13 (SPSS Inc.; Chicago, IL, USA)

### ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดสอบผลของรูปแบบของสารไซเลนและชนิดของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยที่มีต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ โดยเลือกใช้สารไซเลน 2 รูปแบบ เดือยสำเร็จรูป 5 ผลิตภัณฑ์ และวัสดุเรซินคอมพอสิตแบบไฮบริดชนิดบ่มตัวด้วยแสงเพื่อเป็นตัวแทนของวัสดุเรซินคอมพอสิตที่ใช้สร้างแกนฟัน

ตารางที่ 1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง บริษัทผู้ผลิต และส่วนประกอบ

material	composition
DT Light post (RTD st. Egreve, Grenoble, France)	Translucent quartz fiber (60%) Epoxy resin (40%)
FRC postec (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	Glass fiber (61.5% wt) Silicon dioxide TEG-DEMA, UDMA
Easy post (Krug, Milano, Italy)	Zirconium-enriched glass fiber (60% wt) Epoxy resin (40% wt)
Exacto conical (Angelus, Londrina, Parana, Brazil)	Glass fiber (86% wt), Epoxy resin (8.5% wt) Stainless steel wire (5.5% wt)
Innopost Compaq (Innotech SLR, Robio Italy)	Glass fiber (60%wt) Epoxy resin (40% wt)
Monobond-S (Pre-activated silane) (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein)	3-MPS (1% wt) ethanol/water-based solvent acetic acid
Porcelain Liner M (2-component silane system) (Sun Medical Co Ltd, Moryama, Japan)	Liquid A: MMA (90%), 4-META (10%) Liquid B: MMA (90%), $\gamma$ -MPTS (10%)
Filtek Z250 (3M ESPE, USA)	bisphenol glycidyl methacrylate (Bis-GMA) bisphenol A polyethylene glycol dimethacrylate (Bis-EMA), UDMA, TEGDMA Zirconia/silica particle (0.01-3.5 $\mu$ m) 60% Vol

3-MPS: 3- methacryloxypropyltrimethoxysilane

$\gamma$ -MPTS: trimethoxysilyl propyl methacrylate

4-META: 4-Methacryloxyethyl trimellitate anhydride

MMA: Methyl methacrylate

## การเลือกวิธีทดสอบ

เพื่อศึกษาค่าแรงยึดบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยและเรซินคอมพอสิต ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับรูปแบบของสารไซเลนและชนิดของเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย โดยเลือกใช้สารไซเลน Monobond S เพื่อเป็นตัวแทนของสารไซเลนในกลุ่มสารไซเลนชนิดเดียวที่ไฮโดรไลซ์แล้วและเลือกใช้ Porcelain liner M เพื่อเป็นตัวแทนของสารไซเลนระบบแยกสองขวด และเลือกใช้เดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย 5 เครื่องหมายการค้า คือ DT light post เพื่อเป็นตัวแทนของเดือยสำเร็จรูปที่ใช้เส้นใยควอร์ซเป็นตัวเสริมความแข็งแรง ส่วนอีก 4 เครื่องหมายการค้า คือ FRC postec , Easy post , Exacto conical และ Innopost Compaq ถูกเลือกเพื่อเป็นตัวแทนของเดือยสำเร็จรูปที่ใช้เส้นใยแก้วเป็นตัวเสริมความแข็งแรง

ในการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการทดสอบค่าความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ (Microtensile bond strength test) เพื่อทดสอบค่าแรงยึดบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยกับวัสดุเรซินคอมพอสิตแบบไฮบริดชนิดบ่มตัวด้วยแสง โดยขั้นตอนการเตรียมชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบ และการคำนวณพื้นที่ผิวยึดติด ตลอดจนขั้นตอนการทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ประยุกต์และดัดแปลงจากงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ใกล้เคียงกัน <sup>4, 12, 20, 93, 97</sup>

Goraccii และคณะ ในปี 2007 <sup>102</sup> ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีทดสอบค่าแรงยึดระหว่างเดือยสำเร็จรูปกับเนื้อฟันและวัสดุเรซินคอมพอสิต พบว่าสภาวะแวดล้อมขณะทำการทดสอบแรงยึดบริเวณผิวสัมผัสด้วยวิธีวัดความแข็งแรงยึดเฉือนและดึง (Conventional shear and tensile test) เช่น แนวการวางตำแหน่งของหัวกดและชิ้นงานจะส่งผลให้เกิดลักษณะการกระจายของแรงภายในชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอ (stress non-uniformity) มีผลต่อค่าแรงที่วัดได้

เมื่อพิจารณาวิธีทดสอบแบบดึงและกด (pull out and push-out test) พบว่ากรณีที่ทดสอบโดยให้แรงกระทำต่อเดือยฟันทั้งขึ้นหรือให้แรงกระทำต่อชิ้นตัวอย่างที่หนาจะเกิดแรงที่ไม่เป็นระเบียบ (highly non-uniform stress) กระทำต่อผิวยึดติด (adhesive interface) ทำให้ค่าแรงยึดติดบริเวณผิวสัมผัสมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น แม้ว่าจะมีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการเตรียมชิ้นตัวอย่างให้บางลง แต่ Bitter และคณะ ในปี 2006 <sup>103</sup> กล่าวว่า การวัดค่าแรงยึดบริเวณผิวสัมผัสด้วยวิธีกด (push out test) ในตัวอย่างที่หนา 1 มิลลิเมตร ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าความแข็งแรงยึดเฉือน (shear strength) ระหว่างชิ้นตัวอย่างเท่านั้น และตำแหน่งของหัวกดจะมีผลต่อค่าแรงที่วัดได้

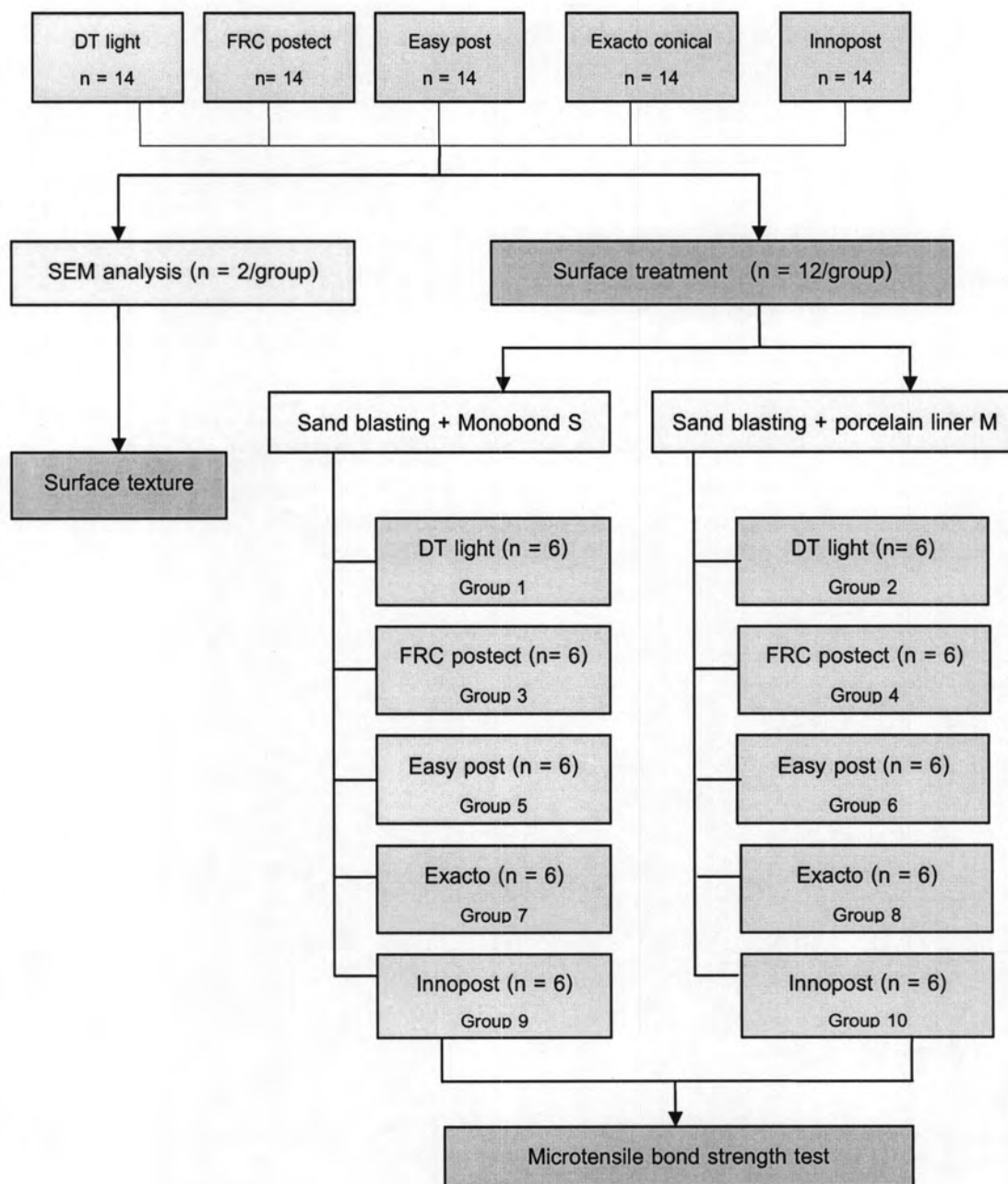
จากข้อจำกัดของวิธีการทดสอบการยึดติดบริเวณผิวสัมผัสที่กล่าวข้างต้น Goracci และคณะ ในปี 2007 <sup>102</sup> ได้สรุปว่า การทดสอบการยึดติดบริเวณผิวสัมผัสด้วยวิธีไมโครเทนไซล์เป็นวิธีที่สามารถวัดค่าแรงยึดติดบริเวณผิวสัมผัสได้ใกล้เคียงค่าจริงมากกว่า การที่ชิ้นตัวอย่างมีขนาดเล็กทำให้ผิวสัมผัสที่ใช้ทดสอบมีขนาดเล็ก โอกาสการเกิดตำหนิบริเวณผิวสัมผัสซึ่งมีผลต่อค่าแรงยึดติดบริเวณผิวสัมผัสก็จึงเกิดขึ้นได้

น้อยกว่า แม้ว่าการศึกษาของ Goracci และคณะ<sup>104</sup> และการศึกษาของ Sadek และคณะ<sup>9</sup> จะกล่าวว่า การแตกหักของชิ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบไมโครเทนไซล์ก่อนการทดสอบ (premature failure) เป็นปัญหาที่พบได้บ่อย แต่จากรายงานการศึกษาของ Valandro และคณะ ในปี 2006<sup>20</sup> พบว่าการรื้อตัดชิ้นตัวอย่างในกลุ่มที่เตรียมผิวเดียวด้วยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับสารไซเลนไม่พบการหักของชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการศึกษาของ Radovic และคณะ ในปี 2007<sup>97</sup>

ดังนั้นการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกวิธีไมโครเทนไซล์สำหรับวัดค่าแรงยึดบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดียยเรซินคอมพอสิตและวัสดุเรซินคอมพอสิตแบบไฮบริดชนิดบ่มตัวด้วยแสง โดยเตรียมผิวเดียยฟันสำเร็จรูปด้วยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ร่วมกับสารไซเลน และเตรียมตัวอย่างรูปแท่ง (Beam) เพื่อลดโอกาสการเกิดตำหนิบริเวณผิวสัมผัสและลดการแตกหักของชิ้นตัวอย่างก่อนการทดสอบ

### การแบ่งกลุ่มทดลอง

1. แยกเดียยสำเร็จรูปตามเครื่องหมายการค้า (จำนวนเครื่องหมายการค้าละ 14 แท่ง)
2. สุ่มแบ่งเดียยฟันสำเร็จรูปแต่ละเครื่องหมายการค้าออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจำนวน 2 แท่งสำหรับการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด และกลุ่มที่สอง จำนวน 12 แท่ง สำหรับสร้างชิ้นตัวอย่างแบบนอนทริมมิงเพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ระหว่างเดียยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและแกนเรซิน คอมพอสิต
3. สุ่มแบ่งเดียยฟันสำเร็จรูปสำหรับใช้สร้างชิ้นตัวอย่างจากแต่ละเครื่องหมายการค้าออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 6 แท่ง ตามรูปแบบของสารไซเลน (ดังแสดงในรูปที่6)



รูปที่ 6 สรุปขั้นตอนการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง



## การศึกษาลักษณะพื้นผิวเดี่ยวสำเร็จรูปด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

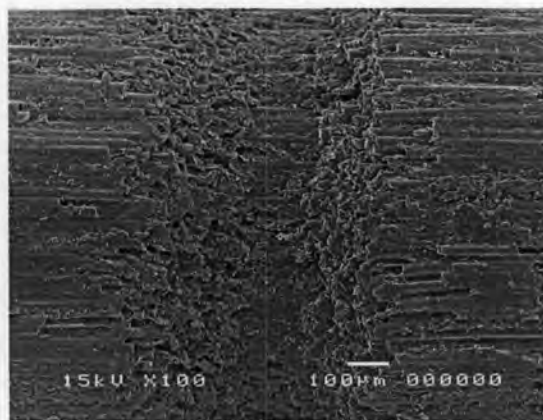
1. นำเดี่ยวสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยที่เตรียมไว้สำหรับการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดจากแต่ละเครื่องหมายการค้า มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ชนิดดิจิตอล
2. นำเดี่ยวพื้นที่แยกตามเครื่องหมายการค้าไปทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกร่วมกับน้ำปราศจากไอออน (deionized water) นาน 5 นาที หลังจากนั้นนำไปล้างด้วย 96% เอทานอล แอลกอฮอล์ แล้วเป่าแห้ง (gently air dry) ด้วยลมจากหัวเป่าลม (triple syringe)
3. นำเดี่ยวพื้นที่ผ่านการทำความสะอาดยึดกับแท่นโลหะ (metallic stub) แล้วทำเคลือบผิวด้วยทอง (gold-sputtered) เพื่อให้ชิ้นงานที่ต้องการศึกษามีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ แล้วนำไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด ที่ระดับกำลังขยาย 50 และ 500 เท่า โดยจะพิจารณาลักษณะพื้นผิวโดยรอบแล้วบันทึกภาพดิจิตอลของเดี่ยวแต่ละเครื่องหมายการค้า เพื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิว

## วิธีการเตรียมเดี่ยวสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตเสริมเส้นใยก่อนการทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์

ในปี 2006 Balbosh และ Kern<sup>101</sup> แนะนำให้ปรับสภาพผิวเดี่ยวพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย โดยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน นาน 5 วินาที ที่ความดัน 2 บาร์ ระยะห่างจากเดี่ยว 30 มิลลิเมตร โดยขณะพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ให้หมุนเดี่ยวพื้นไปด้วย จากงานวิจัยนี้ Balbosh และ Kern กล่าวว่า การเตรียมผิวเดี่ยวสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตด้วยวิธีดังกล่าวจะไม่ทำก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนผิวของเดี่ยวพื้น แต่จะช่วยเพิ่มการยึดติดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างเดี่ยวสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตกับเรซินซีเมนต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในปี 2003 ของ Sahafi และคณะ<sup>89</sup> จากการศึกษาของ Soares และคณะ ในปี 2008<sup>105</sup> ได้สรุปว่าการปรับสภาพผิวเดี่ยวพื้นสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใยด้วยวิธีการเป่าด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมโครเมตร ด้วยความดัน 2 บาร์ ที่ระยะห่างจากผิวเดี่ยวพื้น 10 มิลลิเมตร ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของเดี่ยวสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเตรียมสภาพผิวเดี่ยวพื้นสำเร็จรูปด้วยการพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์โดยปฏิบัติตามการศึกษาของ Balbosh และ Kern ในปี 2006

จากการศึกษาของ Grandini และคณะ ในปี 2005<sup>106</sup> เกี่ยวกับความต้านทานต่อความล้าและโครงสร้างของเดี่ยวสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใย พบว่า บริเวณเดี่ยวพื้นที่มีการเปลี่ยนรูปร่าง เช่น ส่วนคอด หรือบริเวณที่เรียวเล็กลง จะเป็นบริเวณที่โครงสร้างของเดี่ยวพื้นอาจอ่อนแอกว่าบริเวณอื่น ดังนั้นกรณีที่มีบริเวณฐานของเดี่ยวมีส่วนคอดหรือรอยหยัก เช่น กรณีเดี่ยวสำเร็จรูป innopost จะตัดส่วนดังกล่าวออกก่อน

นำไปติดบนแผ่นแก้ว และเมื่อพิจารณาภาพถ่าย SEM บริเวณดังกล่าวจะพบว่า เส้นใยบริเวณนี้ถูกตัดขาด เนื่องจากขั้นตอนการแต่งรูปร่างเพื่อให้เกิดรอยคอด ซึ่งลักษณะดังกล่าวอาจส่งผลต่อค่าแรงยึดติดบริเวณผิวสัมผัสและรูปแบบการแตกหักเมื่อทดสอบความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์



รูปที่ 7 แสดงเส้นใยบริเวณรอยคอดที่ถูกตัดขาดและรอยแยกระหว่างส่วนเส้นใยและเมทริกซ์ของเดือยสำเร็จรูป Innopost

เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเดือยสำเร็จรูปและวัสดุเรซินคอมพอสิต ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เฉพาะส่วนของเดือยพื้นที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกผิวเรียบเท่านั้น (อ้างอิงจาก Valandro และคณะ ในปี 2006<sup>97</sup>)

จากการศึกษาในห้องทดลองของ Debnath และคณะ ในปี 2003<sup>107</sup> พบว่า การทำไซเลนซ้ำหลายชั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซเลนในการทำหน้าที่ส่งเสริมการยึดติดระหว่างสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยสารไซเลนที่ทำซ้ำแต่ละชั้นจะเชื่อมต่อกันเอง เกิดเป็นชั้นของไซเลนที่มีโครงสร้างแบบ 3 มิติที่มีการเรียงตัวอย่างสุ่ม ลักษณะโครงสร้างแบบดังกล่าวจะทำให้เกิดการบดบังหมู่เมทาคริเลตของไซเลนแต่ละโมเลกุล ประสิทธิภาพในการทำหน้าที่ส่งเสริมการยึดติดจึงลดลง นอกจากนั้นชั้นของไซเลนที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น เมื่อได้รับแรงกระทำอาจเกิดรอยแตกภายในชั้นดังกล่าว (cohesive failure) ดังนั้นในการทดลองนี้ ผู้วิจัยจึงทำสารไซเลนเพียงชั้นเดียว และเตรียมสารไซเลนสำหรับปรับสภาพผิวเดือยพื้นที่สำเร็จรูปดังนี้

กรณีสารไซเลน Monobond S ซึ่งเป็นตัวแทนของสารไซเลนกลุ่มชนิดเดียวที่ไฮโดรไลซ์แล้ว ผู้ทำวิจัยจะหยดสารไซเลนลงในหลุมพลาสติกและใช้ฟู่กันสำหรับทาสารยึดติดเป็นตัวนำสารไซเลนไปทาบนผิวเดือยพื้นที่ และเพื่อป้องกันการระเหยของแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายอันอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของสารไซเลน ผู้วิจัยจึงเตรียมสารไซเลนใหม่ทุกครั้งสำหรับเดือยพื้นที่แต่ละแห่ง

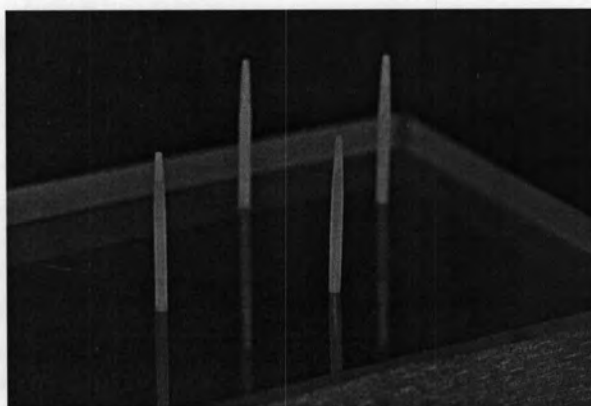
สำหรับไซเลน Porcelain liner M ซึ่งเป็นตัวแทนของสารไซเลนระบบแยกสองขวด ก่อนทาบนผิวเดือยฟันจะต้องผสมของเหลว A เข้ากับของเหลว B ในอัตราส่วน 1:1 ลงในหลอดพลาสติก แล้วใช้ฟองน้ำที่มาพร้อมในชุดวัสดุคนอย่างรวดเร็วให้ของเหลว A และของเหลว B เข้ากัน (เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตไม่ได้กำหนดเวลาในการผสมที่ชัดเจน ผู้ทำวิจัยจึงกำหนดให้ใช้ระยะเวลาผสมไม่เกิน 5 วินาทีในทุกๆ ตัวอย่าง) แล้วจึงใช้ปากคีบคีบฟองน้ำขึ้นที่ผสมไปป้ายบนผิวของเดือยฟัน และเพื่อป้องกันการระเหยของตัวทำละลายซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของสารไซเลน ผู้วิจัยจึงเตรียมสารไซเลนใหม่ทุกครั้งสำหรับเดือยฟันแต่ละแท่ง หลังจากทาสารไซเลนบนผิวเดือยฟันสำเร็จรูป ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องนาน 1 นาที ใช้ลมจากหัวเป่าลมที่ปราศจากน้ำมันเป่าให้แห้งอีกครั้ง แล้วจึงเติมวัสดุเรซินคอมพอสิต

### ขั้นตอนการสร้างขึ้นตัวอย่างสำหรับทดสอบ

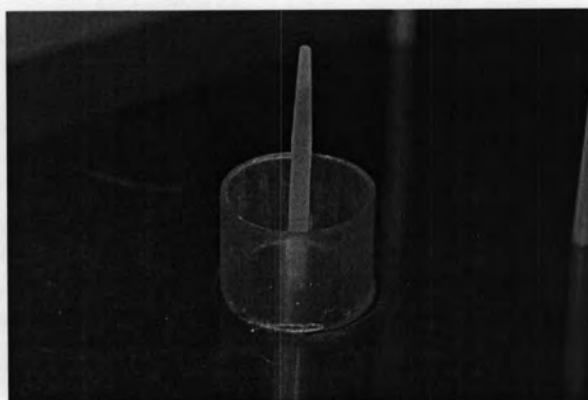
1. นำเดือยฟันกลุ่มที่เตรียมไว้สำหรับสร้างขึ้นตัวอย่างสำหรับการทดสอบไมโครเทนไซล์จากแต่ละผลิตภัณฑ์ (ผลิตภัณฑ์ละ 12 แท่ง) มาปรับสภาพผิวโดยการพ่นด้วยผงอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน นาน 5 วินาที ที่ความดัน 2 บาร์ ระยะห่างจากเดือย 30 มิลลิเมตร โดยขณะพ่นผงอะลูมิเนียมออกไซด์ให้หมุนเดือยฟันไปด้วย (อ้างอิงจากการศึกษาของ Balbosh และ Kern ; 2006 <sup>101</sup>)
2. สุ่มแบ่งเดือยฟันที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยผงอะลูมิเนียมจากแต่ละเครื่องหมายการค้าออกเป็นสองกลุ่ม กลุ่มละ 6 แท่ง กลุ่มแรกทาสารไซเลน Monobond S แล้วเป่าให้แห้งด้วยลมที่ปราศจากน้ำมันจากหัวเป่าลม (triple syringe) กลุ่มที่สองเตรียมผิวโดยทาด้วยสารไซเลน Porcelain liner M แล้วเป่าให้แห้งด้วยลมที่ปราศจากน้ำมันจากหัวเป่าลม เก็บเดือยสำเร็จรูปที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยสารไซเลนแล้วในภาชนะปิดที่สะอาดและแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง
3. ใช้คีมคีบเดือยฟันที่ผ่านการเตรียมผิวเรียบร้อยแล้วติดลงบนแผ่นแก้วด้วยกาวไซยาโนอะคริเลต จัดตำแหน่งเดือยสำเร็จรูปให้ตั้งฉากกับแนวระนาบของแผ่นแก้วโดยใช้เครื่องสำรวจความขนาน ช่วยกำหนดตำแหน่ง
4. นำท่อพลาสติกใส (Cylindrical plastic matrix) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. และสูงเท่ากับ ความสูงของส่วนขนานของเดือยแต่ละเครื่องหมายการค้า วางล้อมแท่งเดือยฟันที่ยึดติดกับแผ่นแก้ว ปรับตำแหน่งท่อพลาสติกเพื่อให้เดือยฟันให้อยู่บริเวณกึ่งกลางวงของท่อพลาสติก ยึดท่อพลาสติกใสติดกับแผ่นแก้วโดยใช้กาวไซยาโนอะคริเลต
5. ใช้เครื่องมืออะมัลกัมพลักเกอร์นำเรซินคอมพอสิตชนิดไฮบริด (Z250, 3M ESPE) อุดเป็นชั้นๆ ความหนาชั้นละ 1-2 มม. และค่อยๆ ดันเรซินคอมพอสิตให้แนบกับผิวเดือยฟันให้มากที่สุด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศในเนื้อวัสดุ



6. ใช้เครื่องฉายแสงชนิดแสงฮาโลเจน ที่มีความเข้มแสง  $350\text{mW/cm}^2$  ฉายลงบนวัสดุเรซิน คอมพอสิตแต่ละชั้นเป็นเวลา 40 วินาที เพื่อให้วัสดุแข็งตัว กำหนดให้ฉายแสงในทิศทางตามแนวเดือยฟันตั้งฉากกับผิวของเรซินคอมพอสิต ควบคุมจำนวนครั้งของการฉายแสงให้เท่ากันในเดือยฟันแต่ละกลุ่ม
7. เมื่อได้ความสูงตามที่ต้องการ แยกแท่งคอมโพสิตออกจากฐานแล้วฉายแสงเพิ่มบริเวณด้านที่สัมผัสกับฐาน 40 วินาที ก่อนแกะท่อพลาสติกใสที่ล้อมอยู่ออก



รูปที่ 8 แสดงการยัดแท่งเดือยสำเร็จรูปบนแผ่นแก้วด้วยกาวไซยาโนอะคริเลต



รูปที่ 9 แสดงการวางตำแหน่งท่อพลาสติกใสล้อมรอบเดือยสำเร็จรูป



8. นำชิ้นงานที่เตรียมได้ ไปยึดกับตัวจับชิ้นงานของเครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อแข็ง (hard tissue microtome) โดยใช้ขี้ผึ้งเหนียว (sticky wax) กำหนดแนวการตัดชิ้นงานให้พอดีและขนานกับผิวนอกสุดของเดือยเรซินคอมพอสิตชนิดเสริมเส้นใย ระหว่างการตัดชิ้นงานจะต้องมีน้ำจืดเพื่อลดความร้อนบริเวณรอยตัดตลอดเวลา เมื่อตัดชิ้นงานตามแนวที่กำหนดเรียบร้อยแล้ว จะได้แท่งชิ้นงานที่มีเดือยเรซินคอมพอสิตอยู่ตรงกลางตลอดแนวและมี เรซินคอมพอสิตชนิดไฮบริดอยู่บริเวณหัวและท้าย และจะมีความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 1 มิลลิเมตร นำแท่งชิ้นงานดังกล่าวมาตัดอีกครั้งตามแนวตั้งฉากกับผิวเดือยเรซินคอมพอสิต โดยให้มีความหนา 1 มิลลิเมตร

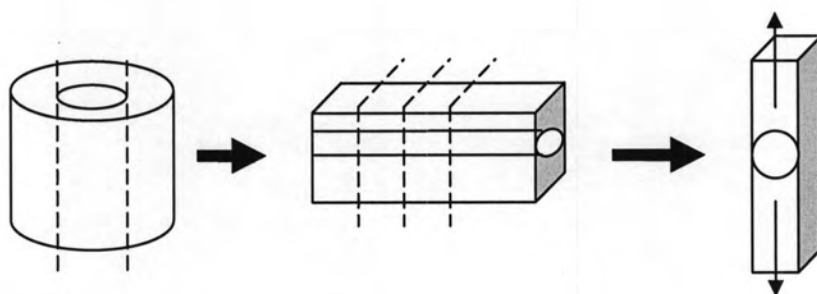


รูปที่ 13 ภาพเครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดแข็ง (Hard tissue microtome) Leica SP1600, Germany

9. นำแท่งชิ้นงานขนาดประมาณ  $1 \times 1 \times 10$  มิลลิเมตร ที่ได้จากเครื่องตัดชิ้นเนื้อเยื่อแข็งไปตรวจดูบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยสำเร็จรูปและเรซินคอมพอสิตด้วยกล้องสเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 35 เท่า เลือกเฉพาะชิ้นงานที่ไม่มีรอยแตก ร้าว ฟองอากาศหรือช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างเดือยและเรซินคอมพอสิต เลือกชิ้นงานที่สมบูรณ์มา 3 แท่งจากเดือยแต่ละอัน



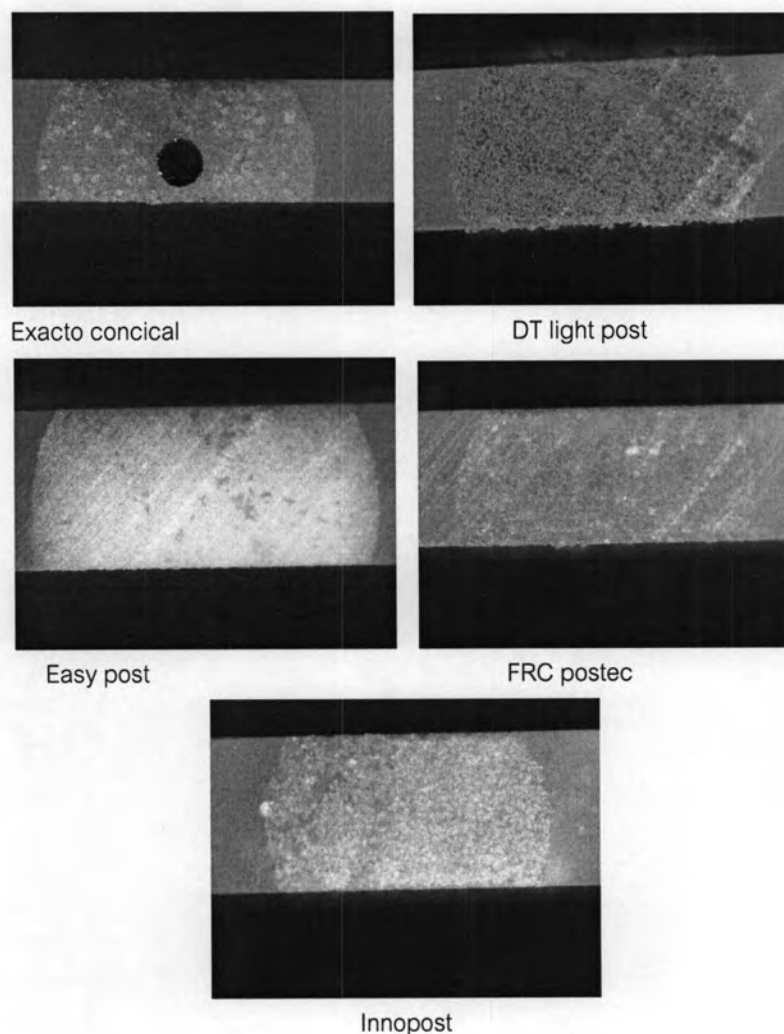
รูปที่ 14 แสดงกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคปพร้อมกล้องวิดีโอ



รูปที่ 15 แสดงการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ Microtensile bond strength



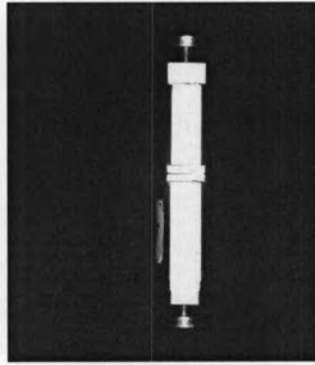
รูปที่ 16 แสดงชิ้นตัวอย่างแบบนอนทริมมิงสำหรับการทดสอบค่าความแข็งยึดไมโครเทนไซล์



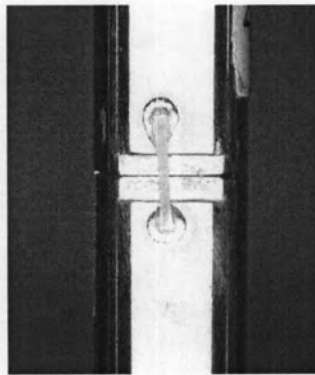
รูปที่ 17 แสดงลักษณะชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการตรวจบริเวณผิวรอยต่อระหว่างเดือยเรซินคอมพอสิตชนิด เสริมเส้นใยและเรซินคอมพอสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอไมโครสโคป ที่กำลังขยาย 35 เท่า

10. นำแท่งชิ้นงานชนิดนอนทริมมิงที่ผ่านการคัดเลือก (3 ชิ้นจากเดือยฟันแต่ละแท่ง) แยกตามรูปแบบของสารไซเลนและชนิดผลิตภัณฑ์เดือยสำเร็จรูป มาทดสอบค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์ โดยการยึดส่วนปลายทั้งสองข้างเข้ากับ free sliding component jig ของเครื่องอินสตรอนโดยใช้ กาวไซยาโนอะคริเลต รอให้กาวแข็งตัวเต็มที่ 5 นาที แล้วจึงนำไปทดสอบ





รูปที่ 18 แสดงเครื่องมือ free sliding component jig ของเครื่องอินสตรอน



รูปที่ 19 แสดงการยึดชิ้นตัวอย่างกับเครื่องมือ free sliding component jig  
ด้วยกาวไชยาโนอะคริเลต

11. ให้แรงดึงกระทำต่อชิ้นตัวอย่าง ที่ cross head speed 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งเกิดการแตกหักที่ชิ้นงาน บันทึกค่าแรงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก โดยมีหน่วยเป็น นิวตัน



รูปที่ 20 แสดงการแตกหักของชิ้นงานหลังให้แรงดึงด้วย  
เครื่องทดสอบสากลระบบไฮดรอลิกอินสตรอน

12. นำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบมาตรฐานควบคุมบริเวณรอยหัก เพื่อจำแนกชนิดของการแตกหัก โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย 35 เท่า จำแนกรูปแบบการแตกหักเป็น adhesive failure เมื่อเกิดการแตกระหว่างรอยต่อระหว่างเดือยและเรซิน คอมพอสิต cohesive failure เมื่อการแตกเกิดภายในชั้นของเรซินคอมพอสิตหรือเกิดการแตกในเนื้อของเดือย หรือ combination เมื่อมีการแตกร่วมกันระหว่าง adhesive และ cohesive failure

13. คำนวณค่าความแข็งแรงยึด (bond strength) โดยใช้สมการ  $\sigma(\text{MPa}) = F/A$

เมื่อ  $\sigma$  คือ ความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์

F คือ แรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก

A คือ พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและเรซินคอมพอสิต

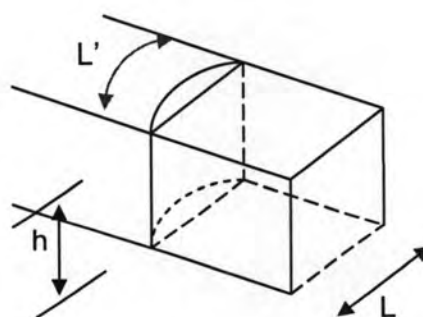
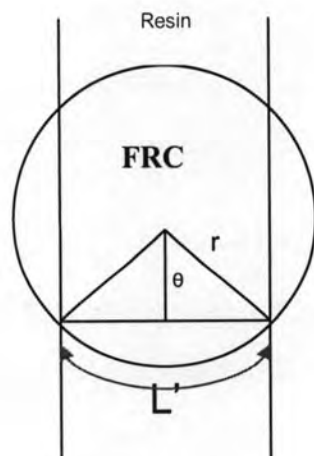
เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเดือยสำเร็จรูปเรซินคอมพอสิตและเรซินคอมพอสิตที่นำมาศึกษามีลักษณะเป็นทรงกระบอกจึงสามารถคำนวณพื้นที่ผิวสัมผัสได้จากสมการ

$$A = L' \times h$$

เมื่อ L' คือ ความยาวของแนวโค้ง (arch length) ของแท่งเดือยสำเร็จรูปในชิ้นงาน

h คือ ความหนาของชิ้นงาน

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



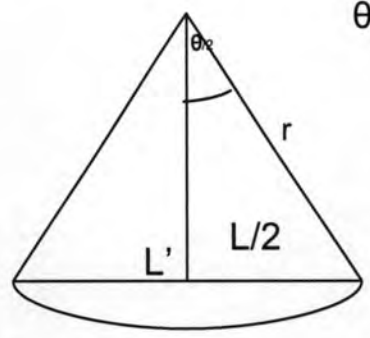
เมื่อพิจารณารูปสามเหลี่ยมมุมฉาก

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

$\sin \theta/2 = L/2r \dots\dots\dots (1)$

ค่ามุม  $\theta/2 = \arcsin L/2r$

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



จาก Concept of the angle in radian กรณีที่มุมมีค่าน้อยมากๆ สามารถประมาณได้ว่า ค่ามุม  $\theta$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $L'/r$  และเมื่อชิ้นงานมีขนาดเล็กมากๆ ระยะ  $L$  กับ  $L'$  มีขนาดใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงประมาณได้ว่า

$\theta = L'/r$

$L' = r\theta \dots\dots\dots (3)$

แทนค่าจาก (2) ใน (3) ดังนั้น

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

จากพื้นที่ผิวสัมผัส (A) =  $L' \times$  สูง

ดังนั้นพื้นที่ผิวสัมผัสของชิ้นงานเท่ากับ  $A = 2r \arcsin (L/2r) h$

(Valandro, Yoshiga และคณะ, 2006)<sup>20</sup>

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลค่าเฉลี่ยความแข็งแรงยึดไมโครเทนไซล์จากแต่ละกลุ่ม มาทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล และความแปรปรวนของข้อมูล แล้วทดสอบสมมติฐานการวิจัยโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (the 2-ways ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติทูกี (Tukey's test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่น 13.0 (SPSS Inc.; Chicago, IL, USA) ในการคำนวณค่าสถิติ