

ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยต่อ  
ความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน

นางสาว สิริรัตน์ อนันต์วิริยะพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF DIAMETER AND LENGTH OF FIBER POST ON FAILURE RESISTANCE  
OF ENDODONTICALLY TREATED TEETH RESTORED WITH POST AND CORE

Miss Sirirat Ananviriyaporn

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเดือย  
คอมโพสิตเสริมเส้นใยต่อความต้านทานการล้มเหลวใน  
การบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ได้รับการรักษา  
คลองรากฟัน

โดย

นางสาว สิริรัตน์ อนันต์วิริยะพร

สาขาวิชา

ทันตกรรมประดิษฐ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรภี ชาลิมิ

---

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ กนก สรเทศน์)

รองคณบดีฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

รักษาการแทนคณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สรรพพัชญ์ นามะโน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรภี ชาลิมิ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. นิยม อังระกานันต์สกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ทันตแพทย์หญิง ดร. สุกสุข ทองธรรมชาติ ถาวรอนสาว)

สิริรัตน์ อนันต์วิริยะพร: ผลของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเดือยคอมโพสิต เสริมเส้นใยต่อความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน (EFFECT OF DIAMETER AND LENGTH OF FIBER POST ON FAILURE RESISTANCE OF ENDODONTICALLY TREATED TEETH RESTORED WITH POST AND CORE)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ทพญ.ดร.ปรารมภ์ ซาลิมี่, 48 หน้า.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย เมื่อใส่เดือยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวต่างกันในคลองรากที่เตรียมไว้ในขนาดเดียวกัน โดยนำฟันตัดซี่กลางบนที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันจำนวน 40 ซี่ ตัดส่วนตัวฟันออกให้เหลือความยาวราก 13 มม. และแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ทุกกลุ่มทำการรักษารากฟันด้วยวิธีแลทเทอรอลคอนเดนเซชัน และทำการเตรียมช่องว่างสำหรับใส่เดือยฟันยาว 8 มม. ด้วยหัวเจาะสำหรับเดือยขนาดกลาง (เดือยเบอร์ 2) และทำการบูรณะด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ (D.T. light-post) โดยใช้เรซินซีเมนต์ (Panavia F 2.0) ในการยึด ร่วมกับการใช้เรซินคอมโพสิต (Tetric N ceram) ในการสร้างแกนฟัน โดยในกลุ่มที่ 1 เดือยฟันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวพอดีกับผนังคลองรากฟัน (เดือยเบอร์ 2) ในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 ใช้เดือยฟันขนาดเล็ก (เดือยเบอร์ 1) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าคลองรากฟัน โดยในกลุ่มที่ 3 ใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังคลองรากฟันก่อนการยึดเดือยฟัน ส่วนในกลุ่มที่ 4 ใช้เดือยฟันขนาดใหญ่ (เดือยเบอร์ 3) โดยเมื่อใส่จะมีความยาวสั้นกว่าความยาวของคลองรากฟันแต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับผนังคลองรากฟันส่วนต้น จากนั้นนำฟันที่เตรียมไว้ในแต่ละกลุ่มยึดลงบล็อกยึดฟันที่ทำจากท่อพีวีซีโดยใช้อะคริลิกเรซินที่บ่มตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนโดยวางชิ้นตัวอย่างทำมุม 90 องศา ระหว่างแนวแกนฟันกับหัวกดทดสอบของเครื่องทดสอบสากลด้วยความเร็วหัวกด 2 มม. ต่อ นาที บันทึกแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะของชิ้นตัวอย่าง ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะของชิ้นตัวอย่างและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มมีค่าดังนี้ คือ กลุ่มที่ 1 เท่ากับ  $108.33 \pm 11.59$  นิวตัน กลุ่มที่ 2 เท่ากับ  $79.08 \pm 12.15$  นิวตัน กลุ่มที่ 3 เท่ากับ  $119.61 \pm 13.03$  นิวตัน และกลุ่มที่ 4 เท่ากับ  $94.87 \pm 14.48$  นิวตัน ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวและวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติบิโนเมอร์โนพบว่า กลุ่มที่ 1 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 ส่วนในกลุ่มที่ 2 พบว่ามีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 โดยไม่พบการแตกของรากฟันในทุกกลุ่ม จึงสรุปได้ว่าการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟัน จะให้แรงต้านความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนไม่แตกต่างกับการใช้เดือยฟันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าหรือการใช้เดือยฟันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าร่วมกับการใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังคลองรากฟัน ส่วนการใช้เดือยฟันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าคลองรากฟันเพียงอย่างเดียวจะทำให้แรงต้านความล้มเหลวในการบูรณะต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ

ภาควิชา..... ทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา .....ทันตกรรมประดิษฐ์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา ..... 2551 .....

# # 4976124732: MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD: FAILURE RESISTANCE / FIBER POST / RESIN CEMENT.

SIRIRAT ANANVIRIYAPORN: EFFECT OF DIAMETER AND LENGTH OF FIBER POST ON FAILURE RESISTANCE OF ENDODONTICALLY TREATED TEETH RESTORED WITH POST AND CORE. THESIS PRINCIPAL ADVISOR: ASST.PROF.PRAROM SALIMEE, 48 pp.

The objective of this study was to investigate the failure resistance of root canal treatment (RCT) teeth restored with different diameters and lengths of fiber posts. Forty maxillary central incisors were divided into 4 groups. After root canal treatment, spaces for post were prepared with drill #2. All groups were restored with fiber post (D.T. light-post). The first group used the size that properly fit the canal (post #2). The second and the third group used the post with the same canal length but smaller diameter (post #1) but in third group used resin composite to reinforce the canal. The fourth group used the post that shorter than the canal length but bigger diameter that fit the cervical part of the canal (post #3). After cementing with resin cement (Panavia F 2.0), core build-up with resin composite was performed in each specimen. The teeth were embedded in self cure acrylic resin block. The samples were loaded on a universal testing machine with a crosshead speed of 2 mm/min on the palatal surfaces at 90° angle to the long axis of the tooth until failure occurred. Failure resistance of group 1, group 2, group 3, and group 4 were 108.33 ± 11.59 N, 79.08 ± 12.15 N, 119.61 ± 13.03 N, and 94.87 ± 14.48 N, respectively. ANOVA and Bonferroni test revealed that there was no significant difference of the failure resistance between group 1 and group 3 and group 4 (p > 0.05). But group 2 was significantly lower than group 1 and group 3 (p < 0.05). No root fractures occurred in any of the experimental groups. The present study concluded that root canal treatment teeth restored with fiber post that the diameter properly fit the cervical part of canal or used resin composite reinforced the canal space that produced the fiber post fit in the canal were as strong as those restored with the fiber post that the size properly fit in the canal. Restorations with fiber post that smaller diameter than the canal resulted failure resistance significantly decreased.

Department ... Prosthodontics                      Student's signature .....

Field of study... Prosthodontics                      Principal advisor's signature.....

Academic year.....2008.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปารมภ์ ซาลิมี่ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาสละเวลาให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และทำให้ขั้นตอนต่าง ๆ ในการดำเนินงานมีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพ และขอขอบพระคุณอาจารย์ ไพพรรณ พิทยานนท์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาทางด้านสถิติในการวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทแอคติออนที่เอื้อเฟื้อด้วยคอมพิวเตอร์เสริมเส้นใยควอตซ์เพื่อใช้ทดลองทำการวิจัยในเบื้องต้น และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านในศูนย์วิจัยทันตวัสดุศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัย คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เจ้าหน้าที่ในศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคน และผู้ที่มีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา ทำให้ผู้เขียนสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
คำถามการวิจัย.....	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
สมมติฐานการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	4
คำสำคัญ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
การออกแบบการวิจัย.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
ปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างเด็อยฟัน.....	6
องค์ประกอบของเด็อยคอมโพสิตเสริมเส้นใย.....	8
สมบัติทางห้องปฏิบัติการของเด็อยคอมโพสิตเสริมเส้นใย.....	10
ลักษณะทางกายภาพของเด็อยคอมโพสิตเสริมเส้นใย.....	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	15
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	15
วิธีการวิจัย.....	15
วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง.....	17
การคัดเลือกฟัน.....	17
การเตรียมคลองรากฟัน.....	18

	หน้า
การบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน.....	18
การลงบล็อกยึดฟัน.....	21
การทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกน.....	22
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล .....	22
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	23
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	28
อภิปรายวัตถุประสงค์อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	28
อภิปรายผลการทดลอง .....	30
สรุปผลการวิจัย .....	35
ข้อเสนอแนะ .....	35
รายการอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	45
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	48



## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชนิด.....	2
ตารางที่ 2	แรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของซี่น้ดัวอย่างไร แต่ละกลุ่ม.....	23
ตารางที่ 3	แสดงลักษณะพื้นผิวของเดือยฟันที่พบหลังการกดทดสอบในแต่ละกลุ่ม.....	26

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1	แสดงลักษณะคลองรากฟันในฟันถาวรบน ..... 3
ภาพที่ 2	แสดงองค์ประกอบของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย ..... 9
ภาพที่ 3	แสดงทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย ..... 10
ภาพที่ 4	แสดงรูปร่างเดือยฟัน FRC Postec (ก), TENAX Fiber White (ข) D.T. light-post (ค)..... 13
ภาพที่ 5	แสดงแผนอธิบายแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามความยาวและความ สอบของ TENAX Fiber White ..... 14
ภาพที่ 6	แสดงแผนอธิบายแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามความยาวและความสอบ ของ D.T. light-POST ..... 14
ภาพที่ 7	แสดงเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ (D.T. light-post) 3 ขนาด ที่ใช้ในการทดสอบ..... 16
ภาพที่ 8	แสดงลักษณะในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม..... 17
ภาพที่ 9	แสดงเรซินซีเมนต์ (ก) สารอีดีไพร์เมอร์ (ข) และสารไซเลน (ค) ..... 19
ภาพที่ 10	แสดงลักษณะแกนฟันที่สร้างจากเรซินคอมโพสิตและแม่แบบซิลิโคน..... 19
ภาพที่ 11	แสดงลักษณะการอุดเรซินคอมโพสิตภายในคลองรากฟันในการเตรียมขึ้น ตัวอย่างในกลุ่มที่ 3..... 20
ภาพที่ 12	แสดงการลงบล็อกยึดฟันโดยใช้เครื่องเซอร์เวย์ (surveyor)..... 21
ภาพที่ 13	แสดงขึ้นตัวอย่างที่พร้อมนำไปทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะ..... 21
ภาพที่ 14	แสดงการจำลองแนวการวางขึ้นงานขณะใช้หวักดทดสอบความต้านทาน การล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกน..... 22
ภาพที่ 15	แสดงแผนภูมิค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและ แกนของขึ้นตัวอย่าง ..... 24
ภาพที่ 16	แสดงลักษณะของขึ้นตัวอย่างก่อนและหลังการกดทดสอบ. .... 24
ภาพที่ 17	แสดงลักษณะการหลุดของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยออกจากคลองรากฟัน..... 25
ภาพที่ 18	แสดงลักษณะความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของขึ้นตัวอย่าง ทั้ง 4 กลุ่ม..... 25
ภาพที่ 19	ลักษณะผิวของเดือยฟันที่หลุดของขึ้นตัวอย่างภายหลังทดสอบ ..... 26
ภาพที่ 20	ลักษณะพื้นผิวภายในคลองรากฟันเมื่อผ่ารากฟันของขึ้นตัวอย่างภายหลังทดสอบ... 27

- ภาพที่ 21 แสดงลักษณะตำแหน่งของรากฟันภายในบดล็อกยึดฟันที่มีการสร้างเอ็นยึดปริทันต์จำลอง ซึ่งหลังการกดหัวทดสอบพบว่ารากฟันเคลื่อนออกจากบดล็อกยึดฟัน ทำให้ตำแหน่งในการกดเปลี่ยนไปจากเดิม..... 29
- ภาพที่ 22 แสดงลักษณะการกระจายของแรงเครียด (ก) และแรงเค้น (ข) ซึ่งจากรูปเป็นบริเวณที่มีสีแดง ซึ่งจะแสดงว่ามีการสะสมแรงเครียดและแรงเค้นมากที่สุด รองลงมาคือบริเวณที่มีสีแดงเข้ม เหลือง และเขียวตามลำดับ..... 31

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในพันธุกรรมชาติที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันแล้วมักพบว่า มีการสูญเสียเนื้อฟันในบริเวณตัวฟันมาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีฟันผุทำลายเนื้อฟันเป็นบริเวณกว้าง การมีวัสดุอุดขนาดใหญ่ การแตกหักของตัวฟันก่อนการรักษาคองรากฟันจากอุบัติเหตุ หรือเกิดจากการเตรียมเนื้อฟันเพื่อรักษาคองรากฟัน รวมทั้งความต้องการในด้านความสวยงามและการใช้งานภายหลังการรักษาคองรากฟันเพื่อป้องกันการแตกของฟัน ทำให้อาจมีความจำเป็นต้องทำครอบฟันร่วมกับการใช้เดือยฟันเพื่อช่วยในการยึดอยู่ของแกนฟันและครอบฟัน<sup>(1,2,3)</sup>

ความสำเร็จของการทำเดือยฟันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยคือ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำเดือยฟันและแกนฟัน รูปร่างของเดือยฟัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเดือยฟัน และชนิดของซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดเดือยฟันกับรากฟัน<sup>(4)</sup> ซึ่งสอดคล้องกับ Marwan Abou-Rass และคณะ<sup>(5)</sup> ที่กล่าวว่า ความล้มเหลวของเดือยฟันมีสาเหตุมาจากการออกแบบเดือยฟันที่ไม่เหมาะสม เดือยฟันมีการยึดติดไม่ดี การใช้วัสดุที่ใช้ในการทำเดือยฟันไม่เหมาะสม รวมถึงขั้นตอนในการเตรียมรากฟันเพื่อใส่เดือยฟันซึ่งอาจทำให้เกิดรากฟันแตกหรือทะลุได้

เดือยฟันที่ทำจากโลหะหล่อ (cast post) เป็นที่นิยมใช้มานาน แต่วิธีดังกล่าวใช้เวลาในการเตรียมชิ้นงานและอาจจะต้องสูญเสียเนื้อฟันบางส่วนเพื่อเตรียมทางในการใส่เดือยฟัน<sup>(6)</sup> ทำให้รากฟันไม่แข็งแรงและนำไปสู่การแตกของรากฟันได้ Torbjerner และคณะ<sup>(7)</sup> รายงานว่า พบความล้มเหลวในการใช้เดือยโลหะหล่อเพื่อบูรณะฟันร้อยละ 15 ในขณะที่การใช้เดือยสำเร็จรูปพบความล้มเหลวเพียงร้อยละ 8 ซึ่งการที่โลหะหล่อมีความแข็งแรงทำให้สามารถต้านทานต่อแรงกระทำทางด้านข้าง (lateral force) ได้โดยไม่มีกรบิดเสียรูป ทำให้มีการถ่ายทอดแรงทั้งหมดไปสู่เนื้อฟันข้างเคียงที่มีความแข็งแรงน้อยกว่า เกิดการสะสมของแรงที่มากกระทำ อาจทำให้เกิดการร้าวและแตกหักของรากฟันได้<sup>(8)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Fokkinga และคณะ<sup>(9)</sup> ที่พบว่าเดือยโลหะหล่อและเดือยสำเร็จรูปที่ทำจากโลหะจะทำให้เกิดการล้มเหลวของเดือยฟันที่ไม่น่าพอใจมากกว่าการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

จากการศึกษาที่ผ่านมาแนะนำว่าวัสดุที่นำมาทำเดือยฟันควรมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน เพื่อจะช่วยให้การกระจายแรงไปตามเดือยฟันและรากฟัน ซึ่งพบคุณสมบัติดังกล่าวในกรณีของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย (fiber reinforced composite post) และแกนฟันที่ทำจากเรซินคอมโพสิต (resin composite)<sup>(9)</sup> ต่างกับเดือยที่ทำจากโลหะที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นสูง ถือเป็นปัจจัยเสี่ยงที่จะเพิ่มอัตราการแตกของรากฟันได้<sup>(10)</sup> เดือยฟันที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันจะไม่ก่อให้เกิดการสะสมของแรงที่

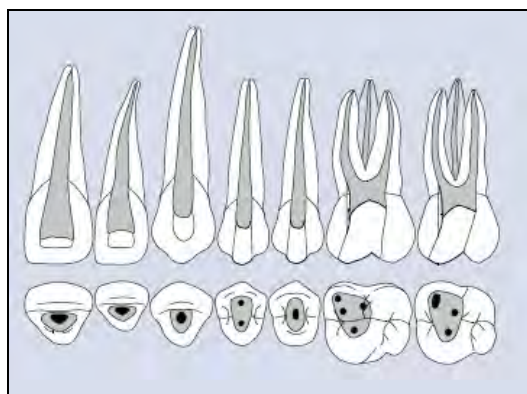
บริเวณรอยต่อระหว่างผิวเดือยฟันและรากฟัน (interface) ซึ่งเป็นบริเวณที่ควรระมัดระวังอย่างยิ่ง เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยสามารถยึดหยุ่นภายใต้แรงที่กระทำต่อตัวฟันและสามารถกระจายแรง จากเดือยฟันไปสู่รากฟันได้ ซึ่งหากนำวัสดุที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกันมาบูรณะ ร่วมกัน จะเกิดคุณสมบัติที่เรียกว่าโมโนบล็อก (mono-block) ขึ้น กล่าวคือหากนำเรซินซีเมนต์ (resin cement) เรซินคอมโพสิตและเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียง กันมาบูรณะฟันที่รักษาคคลองรากฟันจะทำให้เกิดเป็นโมโนบล็อก<sup>(11)</sup> ขึ้นระหว่างเนื้อฟัน แกนฟันและ เดือยฟันผ่านเรซินซีเมนต์ ทำให้เกิดการกระจายแรงไปตามความยาวของรากได้ ซึ่งแม้มีแรงที่มา กระทำมากก็ยังสามารถดูดซับแรงและกระจายแรงไปสู่เนื้อฟัน ทำให้สามารถป้องกันการเกิดราก แตกได้<sup>(12)</sup> โดยค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุต่าง ๆ มีค่าดังแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นของวัสดุแต่ละชนิด

วัสดุ	ค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (GPa)
เนื้อฟัน	18.6 <sup>(13)</sup>
เรซินซีเมนต์	6.8 - 10.8 <sup>(11)</sup>
เรซินคอมโพสิต	5.7 - 25 <sup>(14)</sup>
เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย	16 - 40 <sup>(15)</sup>

เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีความกลมกลืนในการสะท้อนแสงของครอบฟันชนิดเซรามิก (all ceramic crown) ทำให้เกิดความสวยงาม ซึ่งหากใช้เดือยฟันและแกนฟันที่เป็นโลหะในการ บูรณะฟันที่รักษารากฟันโดยเฉพาะบริเวณฟันหน้า อาจทำให้เห็นสีเทาของโลหะสะท้อนออกมาจาก ครอบฟันชนิดเซรามิกได้ เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยบางชนิดมีลักษณะโปร่งแสงเพื่อช่วยนำแสงไป ตามความยาวของเดือย ทำให้เพิ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ของเรซินซีเมนต์<sup>(16)</sup> ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ธรรมชาติของรูปร่างของคลองรากฟันมักมีลักษณะผายออกจากบริเวณปลายรากของคลอง รากฟันและมักมีภาพตัดขวางรูปร่างรี บริเวณที่กว้างที่สุดจะอยู่บริเวณรูเปิดคลองรากฟันส่วนต้น (root canal orifice) หรือต่ำกว่านั้นเพียงเล็กน้อย ส่วนบริเวณที่แคบที่สุดจะอยู่บริเวณปลายรากฟัน (apical foramen)<sup>(17)</sup> ซึ่งภายหลังการรักษาคคลองรากฟัน จะมีการเตรียมคลองรากฟันให้ผายออกใน ส่วนบริเวณรูเปิดคลองรากฟัน (flare preparation) โดย Kasahara และคณะ<sup>(18)</sup> ทำการศึกษาพบว่า การเตรียมคลองรากฟันในการรักษาคคลองรากฟันในฟันตัดซี่กลางบน (maxillary central incisor) ที่ เพียงพอนั้น ควรเตรียมให้มีลักษณะผายออกจากบริเวณรูเปิดคลองรากฟันส่วนต้นไปจนถึงปลายสุด ของคลองรากฟัน



ภาพที่ 1 แสดงลักษณะคลองรากฟันในฟันถาวรบน

(Kasahara และคณะ, 1990)

ซึ่งจากลักษณะของคลองรากฟันดังกล่าว ทำให้มีโอกาสที่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะไม่แนบสนิทกับคลองรากฟันพอดี สอดคล้องกับคำกล่าวของ Sirimai และคณะ<sup>(19)</sup> ที่กล่าวว่า ไม่มีระบบของเดือยฟันสำเร็จรูปใดที่จะแนบสนิทพอดีกับทุกซี่ฟันที่เลือกใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันตัดหน้าล่างที่มีซี่เล็กมีเนื้อฟันน้อยและมีคลองรากฟันที่แคบ หรือในบางซี่ที่มีขนาดคลองรากฟันใหญ่ อาจต้องใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตหรือเรซินซีเมนต์ปิดช่องว่างดังกล่าว ซึ่งทำให้ความหนาของชั้นซีเมนต์มากขึ้น ทำให้การยึดอยู่ของเดือยฟันจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดอยู่ของซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่และอาจมีผลต่อความแข็งแรงของเดือยฟัน

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความต้านทานการล้มเหลว (failure resistance) ของวิธีการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน ด้วยการใส่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยเมื่อใส่เดือยในลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวต่างกัน เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางให้ทันตแพทย์เลือกวิธีการบูรณะที่เหมาะสมต่อไป

### คำถามการวิจัย

การบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต่างกันและยึดเดือยด้วยเรซินซีเมนต์ ทำให้มีความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะแตกต่างกันหรือไม่

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ทดสอบและเปรียบเทียบความต้านทานการล้มเหลวของวิธีการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยการใส่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย เมื่อใส่เดือยในลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวต่างกัน
2. นำข้อสรุปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน ด้วยการใส่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยได้อย่างเหมาะสม

3. ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยทางด้านเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยต่อไป

### สมมติฐานการวิจัย

**สมมติฐานว่าง (1) :** การบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน ด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต่างกัน มีค่าความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะไม่แตกต่างกัน

**สมมติฐานแย้ง (1) :** การบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน ด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต่างกัน มีค่าความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะแตกต่างกัน

**สมมติฐานว่าง (2) :** การบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน ด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าคลองรากฟันร่วมกับการเสริมผนังคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิต มีค่าความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะไม่แตกต่างกับการบูรณะด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟัน

**สมมติฐานแย้ง (2) :** การบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน ด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าคลองรากฟันร่วมกับการเสริมผนังคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิต มีค่าความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะแตกต่างกับการบูรณะด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟัน

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ และนำผลการทดลองไปอ้างอิงเพื่อบอกแนวโน้มที่จะเกิดในทางคลินิก โดยทำการเปรียบเทียบความต้านทานการล้มเหลวของวิธีการบูรณะด้วยเดือยและแกนในพื้นที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม วิธีต่าง ๆ กัน เทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยพอดีตลอดความยาวของผนังคลองรากฟัน

### ข้อตกลงเบื้องต้น

การวิจัยดำเนินการโดยผู้ทำการวิจัย 1 คน และใช้อุปกรณ์เดียวกันตลอดกระบวนการวิจัย

### ข้อจำกัดของการวิจัย

1. การวิจัยนี้อาจพบความแปรปรวนจากสาเหตุต่าง ๆ โดยเฉพาะความแตกต่างกันของขนาดและรูปร่างรากฟัน ซึ่งไม่สามารถกำหนดให้มีขนาดและรูปร่างที่เท่ากันทุกกลุ่มตัวอย่างได้

2. การวิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยบางอย่างให้เหมือนกับสภาพในช่องปาก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณและทิศทางของแรงที่ใช้ทดสอบ

### คำสำคัญ

“Endodontically treated tooth”	ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน
“Fiber reinforced composite post”	เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย
“Failure resistance”	แรงที่ต้านทานต่อความล้มเหลวในการบูรณะฟัน ซึ่งอาจเป็นการแตก การหลุด หรือการเสียหายของวัสดุบูรณะฟันหรือรากฟัน
“Modulus of elasticity (E)”	มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น
“Post and core”	เดือยและแกน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงวิธีที่เหมาะสมในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย เมื่อใส่เดือยในลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต่างกัน ที่สามารถทำให้มีความต้านทานต่อการล้มเหลวในการบูรณะได้ดี
2. สามารถเลือกวิธีการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยไปประยุกต์ใช้ในฟันที่มีสภาพใกล้เคียงกับที่ทำการวิจัย
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อการเลือกใช้วัสดุบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยต่อไป

### การออกแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research)



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การบูรณะฟันโดยใช้เดือยฟันถือเป็นสิ่งจำเป็นในการบูรณะฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟัน และเหลือปริมาณเนื้อฟันในส่วนตัวฟันไม่เพียงพอ ซึ่งไม่สามารถต้านทานต่อแรงบดเคี้ยวและคงความสวยงามได้ แต่อย่างไรก็ตามก็มีการศึกษาที่พบว่าการรักษาโดยใช้เดือยฟันอาจทำให้เกิดผลแทรกซ้อนนำไปสู่ความล้มเหลวในการรักษาได้ถึงร้อยละ 10 ซึ่งสาเหตุสำคัญคือ การหลุดของเดือยฟัน การเกิดรากแตก การเกิดฟันผุเพิ่มและการเกิดโรคปริทันต์<sup>(20)</sup> ดังนั้นเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันมีความจำเป็นต้องได้รับการบูรณะด้วยการใช้เดือยฟันและครอบฟัน จึงควรพิจารณาถึงการออกแบบเดือยฟันที่เหมาะสมกับฟันแต่ละซี่ โดยปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างเดือยฟันมีดังนี้

#### 1. ความยาวของเดือยฟัน

Sorensen และ Martinoff<sup>(21)</sup> รายงานว่า การบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันโดยใช้เดือยฟันที่มีความยาวมากกว่าจะส่งผลให้เกิดความสำเร็จในการรักษามากกว่า โดยหากความยาวของเดือยฟันเท่ากับความยาวของตัวฟันทางคลินิก (clinical crown) จะพบความล้มเหลวในการรักษาเพียงร้อยละ 2.5 แต่หากความยาวของเดือยฟันมีเพียงหนึ่งในสี่ของความยาวของตัวฟันทางคลินิก จะพบความล้มเหลวในการรักษาถึงร้อยละ 25 ซึ่งสูงกว่าถึงสิบเท่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Fuss และคณะ<sup>(22)</sup> พบว่า สองในสามของเดือยฟันที่ทำให้เกิดการแตกของรากฟันมักเกิดจากเดือยฟันที่สั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเดือยฟันยาวเพียงบริเวณส่วนของคลองรากฟันส่วนต้นเท่านั้น (cervical third of root) ในขณะที่เดียวกันมีการทดลองทางห้องปฏิบัติการพบว่า การกระจายแรงจากเดือยฟันไปสู่รากฟันจะดีกว่าเมื่อเดือยฟันมีขนาดยาวมากกว่า<sup>(23,24)</sup> โดย Stockton<sup>(25)</sup> กล่าวว่า ความยาวของเดือยฟันมีผลโดยตรงต่อการยึดอยู่ (retention) หากความยาวของเดือยฟันยิ่งมากขึ้น การยึดอยู่ของเดือยฟันกับรากฟันก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

#### 2. ขนาดและลักษณะรูปร่างของเดือยฟัน

เดือยฟันควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่พอที่จะให้ความแข็งแรงและสามารถทนต่อแรงบดเคี้ยวและไม่เกิดการแตกหักหรือบิดงอของเดือยฟันขึ้น อย่างไรก็ตามขนาดของเดือยฟันจะถูกจำกัดด้วยขนาดและรูปร่างของรากฟัน โดย Goodacre<sup>(26)</sup> พบว่า เดือยฟันไม่ควรจะกว้างเกิน 1/3 ของความกว้างของรากฟันในทุกตำแหน่ง และปลายสุดของเดือยฟันควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1 มม. เดือยฟันที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการแตกหักของรากฟันมากกว่าเดือยฟันที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากเหลือผนังคลองรากฟันบางกว่า โดยการเพิ่มขนาดของเดือยฟันไม่ทำให้การยึดอยู่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะทำให้เสียเนื้อฟันมากขึ้นนำไปสู่การแตกของรากฟันได้<sup>(27)</sup> ส่วน Trabert และคณะ<sup>(28)</sup> พบว่าการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเดือยฟันจะยิ่งลดอัตราความต้านทานการแตกของราก

ส่วนรูปร่างของเดือยฟันมีการศึกษาพบว่า จะพบความสำเร็จในการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันด้วยการใช้เดือยฟันที่มีลักษณะขนานและมีเกลียวโดยรอบได้ ส่วนเดือยฟันที่มีลักษณะสอบ (taper) จะพบความล้มเหลวมากกว่าและมักจะเป็นความล้มเหลวที่ไม่สามารถบูรณะซ้ำได้หากเป็นเดือยฟันที่ทำจากโลหะหล่อและมีลักษณะสอบ<sup>(21)</sup> ซึ่งพบว่าเดือยที่มีลักษณะสอบจะทำให้เกิดการสะสมแรงเค้น (stress) มากที่บริเวณรากฟันส่วนต้นตรงบริเวณบ่า (coronal shoulder) มากกว่าที่บริเวณส่วนปลายรากของรากฟัน<sup>(27)</sup>

### 3. ปรากฏการณ์เฟอร์รูล (ferrule effect)

การบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันด้วยเดือยฟันจะเกิดการถ่ายทอดแรงในการบิดเคี้ยวจากเดือยฟันไปตามผนังคลองรากฟันซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการแตกของรากฟันได้ แต่หากสร้างครอบฟันให้มีขอบของครอบฟันอยู่ใต้ขอบของแกนฟันโดยรอบ โดยเรียกลักษณะเช่นนี้ว่าปรากฏการณ์เฟอร์รูล จะช่วยป้องกันการเกิดรากแตกได้<sup>(29)</sup> ซึ่งมีหลายการศึกษาที่พบว่าสามารถเพิ่มความต้านทานการแตกของฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้วโดยการใช้ปรากฏการณ์เฟอร์รูล<sup>(30,31)</sup> Isidor และคณะ<sup>(32)</sup> พบว่าเมื่อทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการถึงผลของความยาวของเดือยฟันและปรากฏการณ์เฟอร์รูลต่อการต้านทานแรงพลวัต (dynamic) ในฟันวีว โดยผลที่ได้พบว่าเดือยฟันที่มีความยาว 10 มม. และมีเนื้อฟันเหนือขอบของครอบฟัน 2.5 มม. ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความยาวของเดือยฟันและมีเนื้อฟันเหนือขอบของครอบฟันเหลือมากที่สุดในการทดลอง จะพบว่ามีความต้านทานต่อการแตกหักของเดือยฟันมากที่สุด

ปรากฏการณ์เฟอร์รูลจะช่วยป้องกันการแตกหรือหลุดของซีเมนต์ที่ใช้ยึดครอบฟัน โดยจากการศึกษาของ Libman และ Nicholls<sup>(33)</sup> พบว่าการมีขอบของครอบฟันต่ำกว่าขอบของแกนฟันอย่างน้อย 1.5 มม. จะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเกิดความล้า (fatigue failure) ของซีเมนต์ที่ใช้ในการยึดครอบฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Torbjorner และคณะ<sup>(7)</sup> พบว่าจากการศึกษาแบบย้อนหลังในทางคลินิก (retrospective study) โดยศึกษาถึงความสำเร็จและความล้มเหลวของฟันที่ผ่านการบูรณะโดยเดือยฟันและครอบฟันพบว่า จะเกิดอัตราการแตกหักของเดือยฟันสูงหากฟันซี่นั้นไม่พบปรากฏการณ์เฟอร์รูล และหากขอบของครอบฟันอยู่ในระดับเดียวกับขอบของแกนฟันพบว่า การยึดอยู่ของเดือยฟันและครอบฟันจะขึ้นอยู่กับความยาวของเดือยฟันเพียงอย่างเดียว ซึ่งมักพบว่าส่วนใหญ่จะเกิดการหลุดของเดือยฟันตามมา

ซึ่งการที่ฟันผ่านการรักษาคลองรากฟันแล้วทำให้ทันตแพทย์ขาดความระมัดระวังในการครอบฟัน เนื่องจากไม่ต้องกลัวว่าจะทำให้เกิดอันตรายต่อโพรงประสาทฟันและมักจะครอบฟันในปริมาณมากเพื่อความต้องการในความสวยงามของสีของครอบฟัน แต่อย่างไรก็ดีทันตแพทย์ควรระวังในการครอบฟันเพื่อให้งดเหลือเนื้อฟันเพื่อปรากฏการณ์เฟอร์รูล โดยส่วนใหญ่แล้วแนะนำให้เหลือเนื้อฟันอย่างน้อย 1.5 ถึง 2 มม. เนื้อขอบของส่วนที่เป็นขอบของครอบฟันโดยรอบซี่ฟันหรือ 360 องศา<sup>(34)</sup>

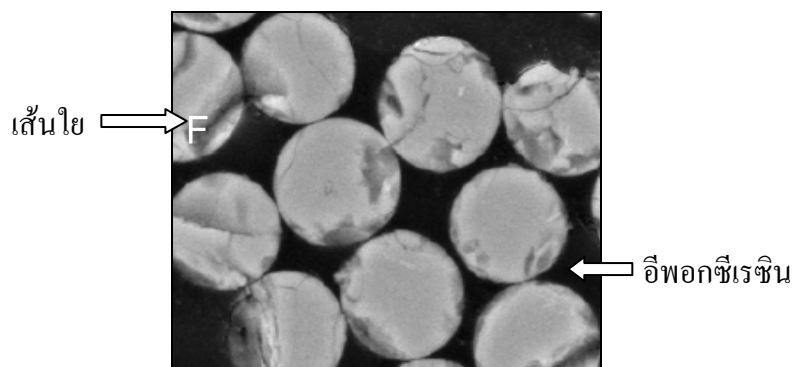
#### 4. การผนึกปลายราก (apical seal)

ภายหลังการเตรียมคลองรากฟันเพื่อรอใส่เดือยฟันนั้น ส่วนที่จะทำหน้าที่ป้องกันในส่วนของการผนึกปลายรากคือส่วนของกัตทาเพอร์ชา (gutta percha) ที่เหลืออยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเหลือส่วนของกัตทาเพอร์ชาน้อย 4 ถึง 5 มม.<sup>(35)</sup> ซึ่งความยาวของกัตทาเพอร์ชาดังกล่าวจะเป็นตัวจำกัดความยาวของเดือยฟัน ระยะเวลาในการใส่เดือยฟันภายหลังการเตรียมคลองรากฟันก็มีความสำคัญ โดยพบว่ายิ่งนานจะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดการรั่วซึมของบริเวณปลายรากได้<sup>(36)</sup>

นอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าวที่มีผลต่อความสำเร็จในการบูรณะฟันที่รักษาคลองรากฟันแล้ววัสดุที่ใช้ทำเดือยฟันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งในปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำเดือยฟันประเภทคอมโพสิตเสริมเส้นใยกำลังเป็นที่นิยม ทั้งนี้เนื่องจากมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ลดความเสี่ยงในการเกิดร้าวแตก และมีความกลมกลืนในการสะท้อนแสงของเดือยและครอบเซรามิก ทำให้เกิดความสวยงามภายหลังการบูรณะฟัน โดยในปี ค.ศ.1990 เริ่มมีการกล่าวถึงการใช้วัสดุชนิดอื่นที่ไม่ใช่โลหะในการทำเดือยฟัน โดยใช้วัสดุประเภทเส้นใยคาร์บอน (carbon-fiber) ในการเสริมความแข็งแรงแทน ซึ่งจากการศึกษาทางห้องปฏิบัติการพบว่า เดือยฟันประเภทนี้มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงฟันธรรมชาติ สามารถยืดหยุ่น (flexible) ขณะรับแรงและกระจายแรงไปสู่เนื้อฟันในรากฟันได้

#### องค์ประกอบของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

องค์ประกอบของเดือยฟันประเภทคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะประกอบด้วยส่วนของเส้นใย เช่น เส้นใยคาร์บอน หรือเส้นใยแก้วซิลิกา และล้อมรอบด้วยเมทริกซ์ (matrix) ของพอลิเมอร์เรซิน โดยมักเป็นประเภทอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) เดือยฟันประเภทคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดที่เป็นเส้นใยคาร์บอนจะมีสีดำ ทำให้ขาดคุณสมบัติในด้านความสวยงามในการบูรณะฟันร่วมกับครอบฟันชนิดเซรามิก ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาเป็นประเภทเส้นใยแก้วซิลิกาที่มีความโปร่งแสงและให้คุณสมบัติในด้านความสวยงามมากกว่า ซึ่งในปัจจุบันประกอบด้วยเส้นใยแก้ว (glass fiber) และเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber) จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ (physical properties) พบว่ามีความใกล้เคียงกับเดือยเส้นใยคาร์บอน โดยพบว่าเดือยฟันที่ทำจากเส้นใยควอตซ์มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นซึ่งใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติ<sup>(37)</sup>



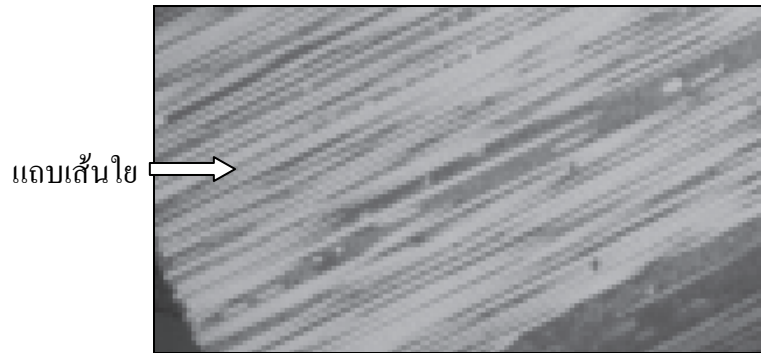
ภาพที่ 2 แสดงองค์ประกอบของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

(Grandini และคณะ, 2005)

สมบัติทางกลศาสตร์ (mechanical properties) ของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นใยและเมทริกซ์ (characteristics of fibers and matrix) ความแข็งแรงของพันธะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ (bond strength of interface) ลักษณะทางกายภาพของเส้นใย (geometry of reinforcement) เช่น ความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยและความหนาแน่นของเส้นใย<sup>(38)</sup> วิธีการเตรียมพื้นผิวของเส้นใยและขั้นตอนในกระบวนการทำ (fiber surface treatment and impregnation of fibers with resin) สมบัติในการดูดน้ำของเรซินเมทริกซ์ (water sorption of FRC matrix)<sup>(39)</sup> และสัดส่วนปริมาตรระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ (fiber volume fraction)<sup>(40)</sup>

เมื่อมีแรงกระทำที่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย แรงจะถ่ายทอดสู่ชั้นเมทริกซ์ซึ่งจะดูดซับแรงและสะสมแรงเค้นไปตามแนวรอยต่อ (interface area) ระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ เนื่องจากทั้งสองตัวมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดการสะสมแรงไปตามผิวตามความยาวของเส้นใยตลอดความยาวของเดือยฟัน ดังนั้นหากเดือยฟันมีความบกพร่องภายในโครงสร้าง เช่น การเกิดฟองอากาศ (bubbles) การเกิดรอยร้าว (cracks) หรือการช่องว่าง (void) เกิดขึ้นแทรกระหว่างชั้นเรซินเมทริกซ์กับเส้นใย ย่อมก่อให้เกิดความอ่อนแอขึ้นภายในโครงสร้างของเดือยฟันได้<sup>(41)</sup> ดังนั้นหากต้องการเพิ่มคุณสมบัติความแข็งตึง (stiffness) และต้องการเพิ่มค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย จะต้องเพิ่มสัดส่วนปริมาตรระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ และเพิ่มพื้นที่แนวรอยต่อระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ด้วย<sup>(42)</sup>

ทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยมีความสำคัญต่อความต้านทานต่อแรงที่มากกระทำ กล่าวคือ หากทิศทางของแรงที่กระทำขนานกับแนวการเรียงตัวของเส้นใย จะทำให้สามารถต้านทานต่อแรงที่มากกระทำได้ดี โดยจากการศึกษาพบว่าลักษณะการเรียงตัวของเส้นใยมีผลต่อการรับแรงของเดือยฟันคอมโพสิตเสริมเส้นใย<sup>(39)</sup> ซึ่งพบว่าเส้นใยในเดือยชนิดนี้จะเรียงไปในทิศทางเดียวกันและขนานกัน



ภาพที่ 3 แสดงทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย  
(Dyer และคณะ, 2004)

การนำส่วนของเส้นใยมาเรียงตัวฝังอยู่ในชั้นเรซินเมทริกซ์นั้น เรียกว่ากระบวนการพัลทรูชัน (pultrusion) ซึ่งจะต้องนำเส้นใยมาผ่านกระบวนการขึ้นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดกับเรซินเมทริกซ์ ซึ่งในกรณีที่เส้นใยเป็นชนิดเส้นใยแก้วหรือเส้นใยควอตซ์ จะต้องนำมาทำการเคลือบผิวด้วยสารไซเลน (silane coupling agent) ก่อน ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้เกิดพันธะเคมีขึ้นระหว่างเรซินเมทริกซ์และเส้นใย ทำให้เส้นใยมีความเสถียรมากขึ้น<sup>(43)</sup> แต่หากไม่ทำสารใดเพื่อการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำไปผ่านกระบวนการ เรซินเมทริกซ์จะเข้าไปล้อมรอบเส้นใยแทนที่ส่วนของชั้นฟิล์มของสารไซเลนที่จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ แต่การเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวไม่อาจเกิดกับเส้นใยทั้งหมดได้ ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างเรซินเมทริกซ์และเส้นใยได้ ในขณะเดียวกันหากตัวเรซินเมทริกซ์มีความหนืดต่ำจะส่งผลให้ชั้นเรซินเมทริกซ์ตกอยู่ที่บริเวณด้านล่างมากกว่า ไม่เกิดการกระจายตัวรอบ ๆ เส้นใย ส่งผลให้ความแข็งแรงในการยึดติดลดลงได้อีก<sup>(44)</sup> การผ่านกระบวนการเคลือบผิวเส้นใยด้วยสารไซเลนในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะทำให้เพิ่มความสามารถในการต้านทานการเกิดความล้า (fatigue) ขึ้นในตัวเดือยฟัน อีกทั้งยังทำให้เกิดการถ่ายทอดแรงจากในส่วนของชั้นเมทริกซ์ไปสู่ชั้นเส้นใยที่เสริมความแข็งแรงในตัวเดือยฟัน ทำให้เกิดการกระจายแรงไปทั่วเดือยฟัน

### สมบัติทางห้องปฏิบัติการของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

#### 1. ความแข็งตั้งและความแข็งแรงดัดขวาง (stiffness and flexural strength)

การบิดเบี้ยว (distortion) และการแตกหักของเดือยฟันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะฟันด้วยเดือยฟัน ทำให้เกิดความเสียหายในการใส่ครอบฟันตามมาหรืออาจทำให้เกิดการแตกของรากฟันรุนแรงจนไม่สามารถบูรณะแก้ไขได้อีก มีการศึกษาในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่เน้นศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพภายใต้การรับแรงพบว่า ยิ่งเดือยฟันมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นหรือมีความแข็งตั้งใกล้เคียงกับเนื้อฟันธรรมชาติมากเพียงใด ยิ่งมีผลดีในการบูรณะฟัน ทั้งนี้เนื่องจากจะทำให้เกิดการกระจายแรงไปตามความยาวของเดือยฟันไปสู่รากฟัน ลดอัตรา

เสี่ยงในการเกิดร้าวแตก<sup>(45)</sup> แต่บางการศึกษาพบว่าเมื่อทำการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางแบบสามจุด (three-point bending) ในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยคาร์บอนเปรียบเทียบกับเดือยฟันสำเร็จรูปที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Parapost, Whaledent International, NY, USA) พบว่าเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนมีความแข็งแรงดัดน้อยกว่า ทำให้เดือยฟันสำเร็จรูปที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม มีความเหมาะสมในการบูรณะฟันที่ต้องรับแรงในการบดเคี้ยวมากกว่า เนื่องจากสามารถคงรูปร่างและไม่เกิดการดัดงอของเดือยที่จะก่อให้เกิดการหลุดแตก (decementation) ของซีเมนต์<sup>(46)</sup>

ความล้มเหลวในการบูรณะฟันด้วยวัสดุคอมโพสิตมักมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของตัววัสดุเอง กล่าวคือ เกิดจากการแตกของชั้นเมทริกซ์ (matrix cracking) การแยกตัวขององค์ประกอบในวัสดุคอมโพสิต (delamination) การไม่ยึดติดกันขององค์ประกอบภายในวัสดุคอมโพสิต (interface debonding) การงอหรือหักของเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบ (fiber bending and breakage) และการเกิดจากหลายสาเหตุข้างต้นร่วมกัน<sup>(47)</sup>

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะเกิดขึ้นได้มากในกรณีที่มีการใช้ methacrylate resin ในชั้นเมทริกซ์ ซึ่งการดูดซับน้ำจะยิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาด แต่ในปัจจุบันได้มีวิวัฒนาการพัฒนาให้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของชั้นเมทริกซ์คือ สารอีพอกซีเรซิน<sup>(48)</sup> ซึ่งจะมีคุณสมบัติในการดูดน้ำแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อยกว่าจึงลดปัญหาดังกล่าวลงได้ แต่อย่างไรก็ดีการนำสารอีพอกซีเรซินมาเป็นองค์ประกอบร่วมกับเส้นใย เช่น เส้นใยคาร์บอน อาจทำให้เกิดการดูดซับน้ำได้มากขึ้นซึ่งอาจทำให้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อเก็บอยู่ในสภาวะชื้นได้<sup>(49)</sup> สอดคล้องกับการทดลองของ Grant และคณะ<sup>(50)</sup> ที่พบว่า หากนำเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนไปเก็บในสภาวะชื้น จะทำให้ค่าความทนแรงดัดขวาง (transverse tensile strength) ลดลงได้ถึง 17 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Torbjørner<sup>(49)</sup> ที่ทำการศึกษานำเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนไปเก็บในน้ำพบว่า การนำเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยแช่น้ำจะก่อให้เกิดกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) นำไปสู่กระบวนการเสื่อม (degradation) ในส่วนของชั้นเมทริกซ์ ทำให้ชั้นเมทริกซ์บวมน้ำและหากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้องจะทำให้เกิดการสะสมแรงเค้นภายในเดือยฟัน ทำให้เกิดการแยกตัวระหว่างเส้นใยและเรซินเมทริกซ์ และอาจก่อให้เกิดรอยแตกในชั้นเมทริกซ์ขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางลดลง

Mannocci และคณะ<sup>(47)</sup> ได้ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน เส้นใยควอตซ์ และเส้นใยซิลิกาที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวาง เมื่อนำไปแช่น้ำพบว่า เดือยในทุกกลุ่มทดลองที่นำไปแช่น้ำมีค่าความแข็งแรงดัดขวางลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บในสภาวะแห้ง ทำให้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีความสามารถในการดัดงอมากขึ้น (flexible)

เมื่อมีการถ่ายทอดแรงในการบดเคี้ยวลงสู่เดือยฟัน จะเกิดการถ่ายทอดแรงลงไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างผิวเดือยฟัน ซีเมนต์ที่ใช้ยึดและเนื้อฟัน (post-cement-dentine interface) มากขึ้น นำไปสู่การหลุดแตกของซีเมนต์ ทำให้เกิดการหลุดของเดือยและแกนฟัน ก่อให้เกิดความล้มเหลวในการรักษาได้ นอกจากนี้การนำเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมาผ่านกระบวนการเทอร์โมไซคลิง (thermal cycling) ก็จะทำให้มีค่าความแข็งแรงดัดขวางลดลงได้เช่นกัน<sup>(51)</sup> ปัจจุบันจึงกล่าวถึงความสำคัญและต้องระวังเพื่อป้องกันความล้มเหลวในการนำมาปฏิบัติในทางคลินิก

## 2. ความต้านทานการแตก (fracture resistance)

มีการศึกษาที่พบว่าความต้านทานการแตกของฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันมีค่าไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นการออกแบบเดือยฟันในรูปแบบใดหรือเป็นเดือยฟันชนิดใดก็ตาม หากมีเนื้อฟันที่มีลักษณะเป็นเฟอร์รูลโดยรอบครอบฟัน 2 มม.<sup>(31)</sup> อย่างไรก็ตามมีหลายการศึกษาที่รายงานว่า ค่าความต้านทานการแตกของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีค่าน้อยกว่าเดือยที่ทำจากโลหะ แต่ความล้มเหลวในการบูรณะโดยใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะสามารถบูรณะแก้ไขได้มากกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันที่ทำจากโลหะ ซึ่งมักจะทำให้เกิดร้าวแตกที่ไม่สามารถบูรณะซ้ำได้<sup>(52,53)</sup>

## 3. การยึดอยู่ (retention)

### 3.1 การยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันกับแกนฟัน (core retention)

ในการทดสอบคุณสมบัติด้านความสามารถในการยึดอยู่ ซึ่งจะแยกออกเป็นการยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันกับรากฟัน และการยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันกับแกนฟัน จากการศึกษาของ Purton และ Payne<sup>(54)</sup> ที่เปรียบเทียบการทดสอบค่าความทนแรงดึงของพันธะ (tensile bond strength) ของเดือยฟันกับแกนเรซินคอมโพสิต ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Parapost, Whaledent International, NY, USA) กับเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนพบว่า เดือยฟันที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมให้ค่าความทนแรงดึงของพันธะสูงกว่าเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน ทั้งนี้อาจเนื่องจากการที่พื้นผิวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนมีผิวเรียบ ไม่มีร่องที่จะเป็นตัวช่วยยึดแกนเรซินคอมโพสิตเหมือนเดือยฟันที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีเกลียวโดยรอบ (serrated) และที่บริเวณส่วนหัวของเดือยฟันที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมมีลักษณะแบนและกว้างออก ทำให้สามารถเพิ่มการยึดอยู่กับแกนฟันเรซินคอมโพสิตได้ดีกว่า จากการศึกษาดังกล่าวอาจสรุปได้ว่า ลักษณะรูปร่างของเดือยมีส่วนช่วยเพิ่มค่าความทนแรงดึงของพันธะได้ ซึ่งการยึดอยู่ทางกล (mechanical retention) ระหว่างเดือยฟันกับแกนฟันจะส่งเสริมการยึดอยู่ หากนำเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยประเภทเส้นใยคาร์บอนไปบากให้เป็นร่องโดยรอบเหมือนกัน ก็จะทำให้มีค่าไม่แตกต่างกันได้

### 3.2 การยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันกับรากฟัน (post retention in the root)

มีการศึกษาเปรียบเทียบการยึดอยู่ระหว่างเดือยฟันกับรากฟัน ระหว่างเดือยฟันสำเร็จรูปที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเทียบกับเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอน โดยใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึดพบว่า เดือยฟันที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมให้การยึดอยู่ที่สูงกว่า<sup>(46)</sup> แต่มีบางการศึกษาที่พบว่าค่าความแข็งแรงพันธะเฉือน (shear bond strength) ระหว่างเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยควอตซ์เปรียบเทียบกับเดือยฟันสำเร็จรูปที่ทำจากโลหะเหล็กกล้าไร้สนิมพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันหากใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึด<sup>(51)</sup>

#### ลักษณะทางกายภาพของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

ในปัจจุบันเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีการนำมาใช้ในการรักษาทางทันตกรรมภายในประเทศไทยหลายชนิด โดยเดือยฟันในแต่ละบริษัทผู้ผลิตมีการออกแบบที่แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ บางบริษัทออกแบบให้เดือยมีรูปร่างสอบในองศาที่แตกต่างกันในแต่ละขนาด และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กันในแต่ละเบอร์ของเดือยฟัน เพื่อให้มีรูปร่างและขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดคลองรากฟันในแต่ละซี่ ซึ่งมักจะมีลักษณะผายออกจากส่วนปลายรากภายหลังการรักษาคลองรากฟันแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณฟันตัดซึ่งกลางบนที่มักจะผายออกจากส่วนปลายรากฟันมากกว่าซี่อื่น ๆ ซึ่งเดือยที่มีลักษณะดังกล่าวเช่น D.T. light-post (Bisco, FRANCE) แต่บางบริษัทออกแบบให้เดือยมีลักษณะทรงกระบอก โดยมีความสอบจากส่วนปลายของเดือยฟันเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ซึ่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกันไปแต่ละเบอร์ เช่น TENAX Fiber White (Coltene Whaledent, USA.), FRC Postec (Ivoclar Vivadent, USA.) ซึ่งการที่เดือยฟันมีลักษณะแตกต่างกัน ทำให้มีความเหมาะสมในการบูรณะฟันในแต่ละซี่แตกต่างกันออกไป เช่น ในฟันตัดซึ่งกลางล่างที่มักจะมีคลองรากฟันขนาดเล็กและมีความผายของคลองรากฟันจากปลายรากน้อย ทำให้สามารถใช้เดือยที่มีขนาดเล็กและมีลักษณะทรงกระบอกได้ เป็นต้น



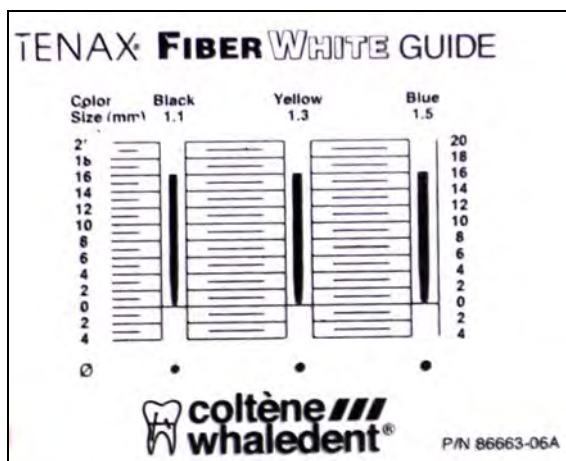
ก

ข

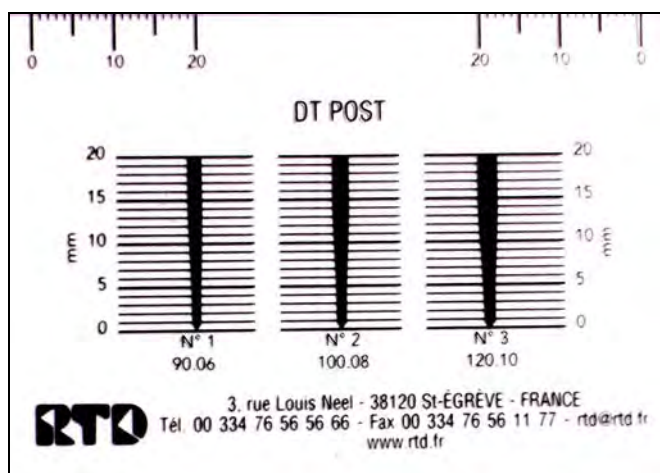
ค

ภาพที่ 4 แสดงรูปร่างเดือยฟัน FRC Postec (ก), TENAX Fiber White (ข), D.T. light-post (ค)





ภาพที่ 5 แสดงแผ่นอธิบายแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามความยาวและความสอบ  
ของ TENAX Fiber White



ภาพที่ 6 แสดงแผ่นอธิบายแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามความยาวและความสอบ  
ของ D.T. light-post

## บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

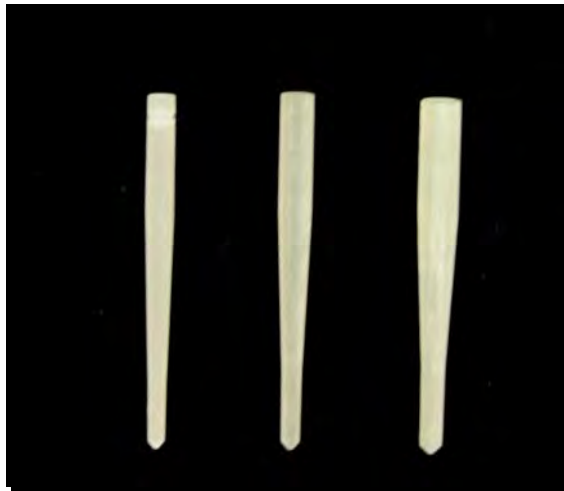
1. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย
  - 1.1 เรซินคอมโพสิต (Tetric N Ceram, Ivoclar Vivadent, USA.)
  - 1.2 เด็อยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ (D.T. light-post, Bisco, FRANCE)
  - 1.3 เรซินซีเมนต์และสารไซเลน (Panavia F 2.0 and silance coupling agent, Kuraray, Japan)
  - 1.4 อะคริลิกเรซินชนิดบ่มตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง (Formatray, Kurr, USA.)
  - 1.5 ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 22 มม.
  - 1.6 กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (Total Etch, Ivoclar Vivadent, USA.)
  - 1.7 สารยึดเนื้อฟัน (Excite, Ivoclar Vivadent, USA.)
  - 1.8 ซีเมนต์อุดคลองรากฟัน (root canal sealer, Chulalongkorn university, Thailand )
  - 1.9 กัดทาเพอร์ชาและกัดทาเพอร์ชาเสริม (gutta percha, Coltene Whaledent, USA.)
  - 1.10 น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 2.5 (sodium hypochloride, Chulalongkorn university, Thailand )
  - 1.11 วัสดุอุดชั่วคราว (Fermin, Detax, Germany)
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
  - 2.1 เครื่องกรอความเร็วสูง 330,000 รอบ/นาที (high speed airtor, 798 W&H, Australia)
  - 2.2 เครื่องฉายแสง (TransluxEC, Kulzer, Germany)

### วิธีการวิจัย

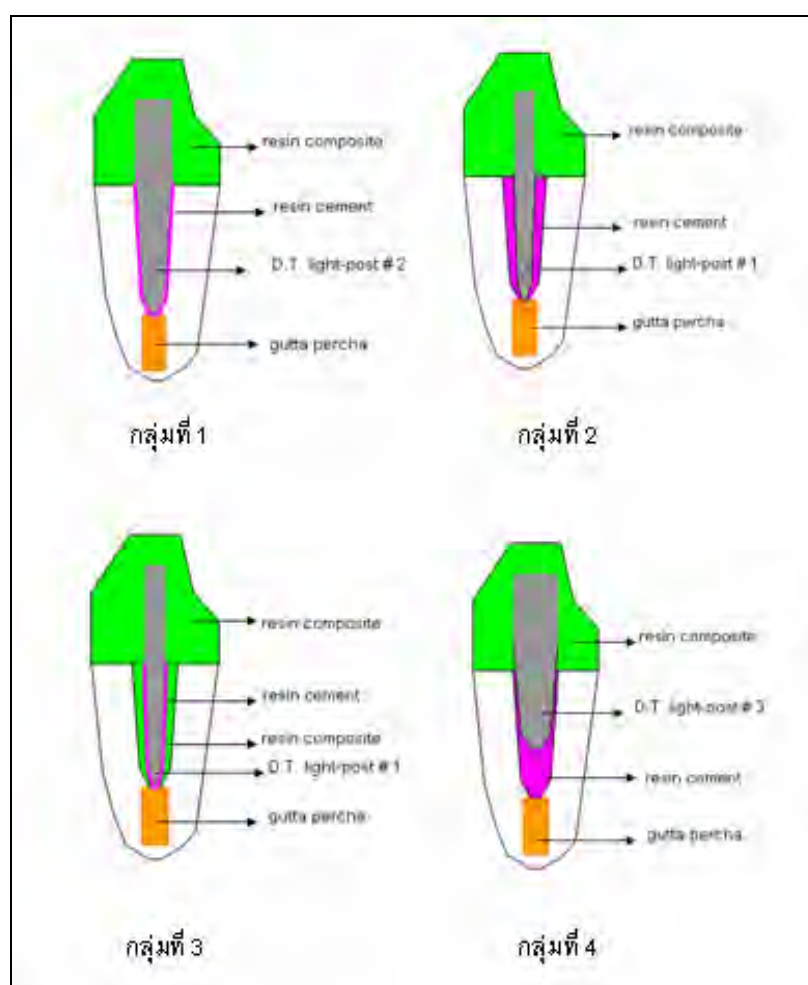
การวิจัยนี้เป็นการทดสอบหาความต้านทานการล้มเหลวของวิธีการบูรณะด้วยเด็อยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเด็อยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์โดยใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดร่วมกับการใช้เรซินคอมโพสิตในการสร้างแกนฟัน โดยพิจารณาปัจจัยในการวิเคราะห์คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวที่ต่างกันของเด็อย โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

- **กลุ่มที่ 1** คือ เด็อยฟันมีขนาดและความยาวพอดีกับผนังคลองรากฟัน

- **กลุ่มที่ 2** คือ เดือยฟันมีความยาวพอดีกับความยาวของคลองรากฟัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าผนังคลองรากฟัน
- **กลุ่มที่ 3** คือ เดือยฟันมีความยาวพอดีกับความยาวของคลองรากฟัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าผนังคลองรากฟันและใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังคลองรากก่อนการยึดเดือยฟัน
- **กลุ่มที่ 4** คือ เดือยฟันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าผนังคลองรากฟัน โดยเมื่อใส่จะมีความยาวสั้นกว่าความยาวของคลองรากฟัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับผนังคลองรากฟันส่วนต้น



ภาพที่ 7 แสดงเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ (D.T. light-post) 3 ขนาดที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 8 แสดงลักษณะในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม

## วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

### 1. การคัดเลือกฟัน

ใช้ฟันถอนของมนุษย์ซี่ฟันตัดซี่กลางบนจำนวน 40 ซี่ ฟันที่นำมาทำการวิจัยจะต้องไม่มีรอยผุหรือแตกบริเวณรากฟัน ไม่เคยผ่านการบูรณะฟันด้วยการใส่เดือยฟัน มีความยาว รูปร่าง ขนาด และความหนาของเนื้อฟันใกล้เคียงกันและมีคลองรากฟันตรง โดยมีความกว้างของฟันในแนวด้านแก้มถึงแนวด้านลิ้น (bucco-lingual plane) และแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลาง (mesio-distal plane) ต่างกันไม่เกิน 1 มม.<sup>(55)</sup> นำฟันที่ถูกคัดเลือกมาทำความสะอาดด้วยเครื่องขูดหินน้ำลาย เพื่อกำจัดเศษเนื้อเยื่อและเก็บฟันโดยแช่ในน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.9 จากนั้นทำการแบ่งฟันออกเป็น 4 กลุ่มตามที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยวิธีสุ่ม (random) ซึ่งจะทำการวัดความกว้างของฟันทั้งในแนวด้านแก้มถึงแนวด้านลิ้นและในแนวใกล้กลางถึงแนวไกลกลางและจัดเป็นกลุ่มฟันที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จากนั้นทำการสุ่มเลือกฟันในแต่ละกลุ่มความกว้างดังกล่าวเข้าสู่แต่ละกลุ่มตัวอย่างจำนวน 4 กลุ่ม กลุ่มละเท่า ๆ กัน ซึ่งแต่ละกลุ่มจะใช้ฟันจำนวน 10 ซี่

## 2. การเตรียมคลองรากฟัน

ทำการตัดส่วนตัวฟันออกด้วยหัวกรอกากเพชรรูปร่างสอบปลายมน (round end taper diamond bur) ขนาด 016 ต่อกับเครื่องกรอความเร็วสูง 330,000 รอบ/นาที (high speed airtor) ที่บริเวณเหนือรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟันทางด้านแก้ม (cemento-enamel junction) 1 มม. ให้ได้ผิวเรียบเสมอกันในแนวราบและตั้งฉากกับแนวแกนฟัน (long axis) และมีความยาวรากฟันเท่ากับ 13 มม. ทำการรักษาคคลองรากฟันโดยใช้เค-ไฟล์ (K-file) เบอร์ 15 ผ่านจากรูเปิดโพรงฟันถึงปลายรากฟัน นำระยะที่วัดได้ลดลง 1 มม. เพื่อใช้เป็นความยาวที่ใช้ขยายคลองรากฟัน (working length) ขยายคลองรากฟันจนถึงเบอร์ 45 แล้วทำการสเตปแบ็ก (step-back) ขึ้นมา 5 ขนาด ล้างด้วยน้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรต์เข้มข้นร้อยละ 2.5 เพื่อทำให้คลองรากฟันสะอาดและป้องกันการอุดตันของสิ่งสกปรกในคลองรากฟัน ระหว่างรักษารากฟันให้ใช้ผ้าก๊อชชุบน้ำหมาด ๆ หุ้มรอบรากฟันเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นของรากฟัน และล้างคลองรากฟันครั้งสุดท้ายด้วยน้ำกลั่น 10 มล. เมื่อขยายคลองรากฟันเสร็จแล้วขับคลองรากฟันให้แห้งด้วยแท่งกระดาษซับ (paper point) อุดคลองรากฟันด้วยกัตกทาเพอร์ชาโดยวิธีแลทเทอรอลคอนเดนเซชัน (lateral condensation) ร่วมกับแท่งกัตกทาเพอร์ชาเสริม (accessory gutta percha) โดยใช้ซีเมนต์อุดคลองรากฟัน หลังจากนั้นทำการถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบความยาวของกัตกทาเพอร์ชา ตัดกัตกทาเพอร์ชางานส่วนออกอย่างน้อย 3 มม. ด้วยอุปกรณ์ลนไฟให้ความร้อน (heated condensers) กดกัตกทาเพอร์ชาให้แน่นและปิดด้วยวัสดุอุดชั่วคราว และนำซีฟันไปแช่ในน้ำกลั่นเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 72 ชั่วโมง เพื่อให้ซีเมนต์อุดคลองรากฟันแข็งตัวเพียงพอ<sup>(56)</sup>

หลังจากนั้นทำการเตรียมช่องว่างสำหรับใส่เดือยฟันยาว 8 มม. ในฟันทุกกลุ่มด้วยหัวเจาะสำหรับเดือย (D.T. light-post) เบอร์ 2 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ส่วนปลายสุดของเดือยฟัน 1.0 มม. และที่ส่วนหัวของเดือยฟัน 1.8 มม.

## 3. การบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟัน

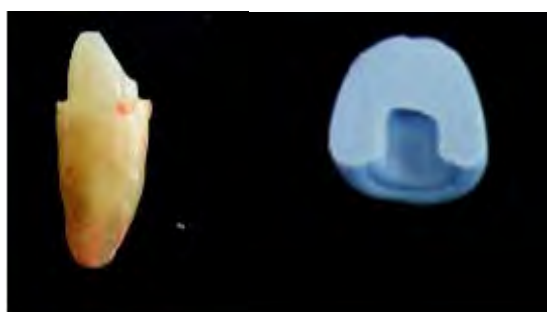
### กลุ่มที่ 1: ใช้เดือยฟันที่มีขนาดและความยาวพอดีกับคลองรากฟัน

ทำการลองเดือยเบอร์ 2 ให้แนบสนิทพอดีกับคลองรากฟัน จากนั้นทาสารไฮเลนตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำที่ผิวของเดือยฟันและทิ้งไว้ 5 วินาที และทำการยึดเดือยฟันในคลองรากฟันด้วยเรซินซีเมนต์ (Panavia F2.0) โดยทาสารอีดีไพรเมอร์ (ED primer) ให้ทั่วผิวคลองรากฟัน ทิ้งไว้ 30 วินาที เป่าลมเบา ๆ ผสมเรซินซีเมนต์และเคลือบซีเมนต์ที่ตัวเดือยฟันและค่อย ๆ หมุนเดือยฟันในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเข้าไปในคลองรากฟัน จากนั้นกำจัดซีเมนต์ส่วนเกินออกและทำการฉายแสงด้วยเครื่องฉายแสง (TransluxEC) เป็นเวลา 40 วินาที ในแนวตั้งบริเวณส่วนปลายของเดือยฟัน เพื่อให้ซีเมนต์แข็งตัวแล้วจึงเริ่มทำการสร้างแกนโดยใช้เรซินคอมโพสิต (Tetric N Ceram) เริ่มจาก

การใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 (Total Etch) กัดเนื้อฟันเป็นเวลา 15 วินาที ล้างน้ำ 30 วินาที เป่าลม 10 วินาที และทาสารยึดเนื้อฟัน (Excite) เป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที สร้างส่วนแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิต โดยใช้แม่แบบซิลิโคนเป็นแบบเพื่อให้ได้แกนฟันที่มีรูปร่างและขนาดเดียวกัน โดยมีความสูงของแกนฟัน 5 มม. ทำการก่อเรซินคอมโพสิตเป็นชั้น ๆ ให้แต่ละชั้นมีความหนาไม่เกิน 2 มม. ฉายแสงทีละชั้นโดยใช้เครื่องฉายแสงเป็นเวลา 40 วินาที



ภาพที่ 9 แสดงเรซินซีเมนต์ (ก) สารยึดดีไพรเมอร์ (ข) และสารไซเลน (ค)



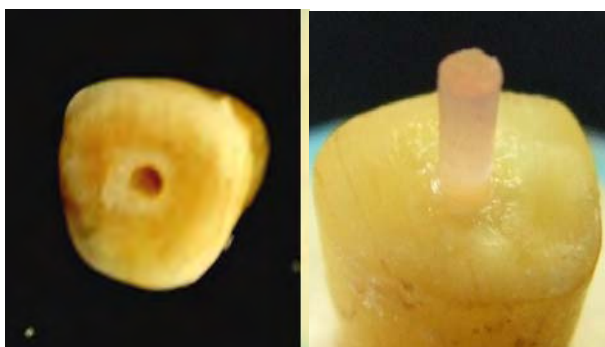
ภาพที่ 10 แสดงลักษณะแกนฟันที่สร้างจากเรซินคอมโพสิตและแม่แบบซิลิโคน

**กลุ่มที่ 2:** ใช้เดือยฟันที่มีความยาวพอดีกับคลองรากฟัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าผนังคลองรากฟัน

ทำการลองเดือยเบอร์ 1 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ส่วนปลายสุดของเดือยฟัน 0.9 มม. และที่ส่วนหัวของเดือยฟัน 1.5 มม. ลองในคลองรากฟันและทำการยึดเดือยฟันด้วยเรซินซีเมนต์ โดยทำการยึดเดือยฟันและสร้างแกนฟันด้วยขั้นตอนเดียวกับกลุ่มที่ 1

**กลุ่มที่ 3:** ใช้เดือยพันที่มีความยาวพอดีกับคลองรากฟัน แต่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าผนังคลองรากฟัน และใช้ เรซินคอมโพสิต ในการเสริมผนังคลองรากก่อนการยึดเดือยพัน

ทำการเสริมผนังคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิต โดยเริ่มจากการใช้กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 37 กัดผิวคลองรากฟันเป็นเวลา 15 วินาที ล้างด้วยน้ำเป็นเวลา 30 วินาที ตามด้วยเป่าลมเป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นจึงทาสารยึดเนื้อฟัน เป่าลมเป็นเวลา 5 วินาที แล้วฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ทำการอุดเสริมผนังคลองรากฟันโดยนำเรซินคอมโพสิตปาดให้แนบกับผนังคลองรากฟันโดยรอบ หลังจากนั้นนำเดือยเบอร์ 1 ที่ชุบน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้เดือยยึดติดกับเรซินคอมโพสิตใส่ลงในคลองรากฟัน โดยขณะใส่ให้หมุนเดือยในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อช่วยนำเรซินคอมโพสิตให้แนบไปกับผนังคลองรากฟันและแนบไปถึงบริเวณคลองรากฟันส่วนปลายราก ปาดเรซินคอมโพสิตด้านบนให้เรียบเสมอกับส่วนรากฟันบริเวณคอฟัน และฉายแสง 40 วินาที จากนั้นดึงเดือยที่ช่วยส่งผ่านแสงออกแล้วฉายแสงต่ออีก 40 วินาที จากนั้นทำการลองเดือยเบอร์ 1 ขึ้นใหม่ลงในคลองรากฟัน และทำการยึดเดือยพันด้วยเรซินซีเมนต์และสร้างแกนฟันด้วยขั้นตอนเดียวกับกลุ่มที่ 1



**ภาพที่ 11** แสดงลักษณะการอุดเรซินคอมโพสิตภายในคลองรากฟันในการเตรียมขึ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 3

**กลุ่มที่ 4:** ใช้เดือยพันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับผนังคลองรากฟันส่วนต้น เมื่อใส่จะมีความยาวสั้นกว่าความยาวของคลองรากฟัน

ทำการลองเดือยเบอร์ 3 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ส่วนปลายสุดของเดือยฟัน 1.2 มม. และที่ส่วนหัวของเดือยฟัน 2.2 มม. โดยจะใส่เดือยลงในคลองรากฟันได้ความยาว 4 มม. และทำการยึดเดือยพันด้วยเรซินซีเมนต์ โดยใช้เลนทูล (lentulo) เป็นตัวนำเรซินซีเมนต์ลงไปภายในคลองรากฟันส่วนปลายรากเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองอากาศขึ้นภายในเนื้อของเรซินซีเมนต์ ทำการยึดเดือยพันและสร้างแกนฟันด้วยขั้นตอนเดียวกับกลุ่มที่ 1

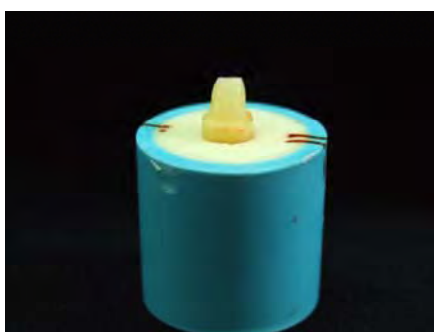
ภายหลังการเตรียมขึ้นตัวอย่างในทุกกลุ่มจะทำการถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบความยาวของเดือยฟันและเรซินคอมโพสิตที่อุดภายในคลองรากฟัน โดยจะต้องมีความยาวของเดือยฟันพอดีกับที่กำหนดไว้ในแต่ละกลุ่มและต้องไม่พบฟองอากาศในชั้นของเรซินคอมโพสิต หลังจากนั้นจะทำการกรอแกนฟันโดยรอบเพื่อให้มีลักษณะเหมือนแกนฟันที่พร้อมในการใส่ครอบฟันให้เหมือนในทางคลินิก โดยขอบทางด้านแก้มของแกนฟันมีความหนาประมาณ 1.2 มม. โดยให้มีลักษณะเป็นบ่า (shoulder margin) ส่วนทางด้านลิ้นของแกนฟันมีความหนาประมาณ 0.8 มม. โดยให้มีลักษณะเป็นรอยตัดเฉียงโค้ง (chamfer margin)

#### 4. การลงบล็อกยึดฟัน

นำรากฟันที่บูรณะด้วยเดือยและแกนเรียบร้อยแล้วมาลงบล็อกยึดฟัน โดยใช้ท่อพีวีซีซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก 22 มม. สูง 20 มม. เป็นบล็อกยึดและใช้อะคริลิกเรซินที่บ่มตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง (Formatray) จำลองแทนกระดูกเบ้าฟัน โดยให้ส่วนขอบของอะคริลิกเรซินด้านบนอยู่ต่ำกว่ารอยต่อระหว่างชั้นเคลือบฟันและเคลือบรากฟันประมาณ 2 มม. เพื่อใช้แทนตำแหน่งของไบโอโลจิกวิดท์ (biologic width)<sup>(57)</sup> เมื่ออะคริลิกเรซินเริ่มแข็งตัวให้นำไปแช่ในน้ำเพื่อลดความร้อนจากการบ่มตัวของอะคริลิกเรซินซึ่งอาจทำลายคุณสมบัติของเนื้อฟัน<sup>(55)</sup> เมื่อเตรียมฟันลงบล็อกยึดเรียบร้อยแล้วนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้เรซินซีเมนต์ที่ยึดแข็งตัวเต็มที่<sup>(58)</sup>



ภาพที่ 12 แสดงการลงบล็อกยึดฟันโดยใช้เครื่องเซอร์เวย์ (surveyor)

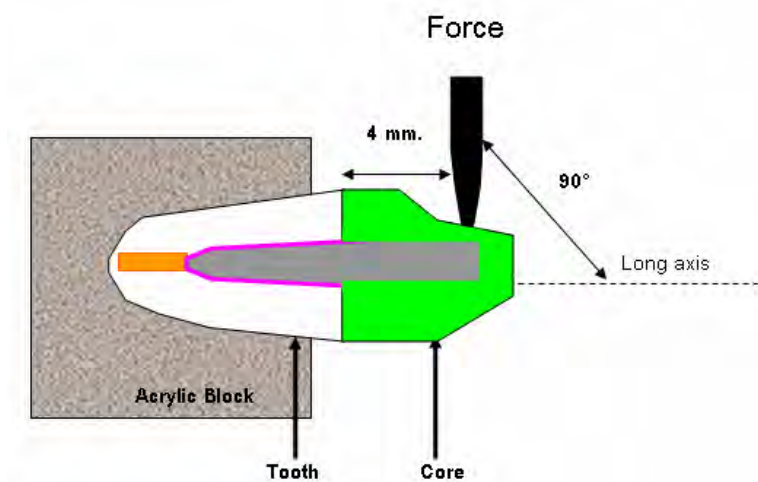


ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างที่พร้อมทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะ



## การทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกน

นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนด้วยเครื่องทดสอบสากล (Instron testing machine model 5566) โดยนำชิ้นตัวอย่างยึดเข้ากับเบ้ารองซึ่งทำมุม 90 องศา ระหว่างแนวแกนฟันกับหัวกดทดสอบ กดหัวทดสอบลงบนแกนฟันด้านลิ้นบริเวณตำแหน่งที่ห่างจากรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน 4 มม. และอยู่กลางแกนฟันในแนวใกล้กลางถึงแนวใกล้กลางซี่ฟัน<sup>(58)</sup> โดยใช้ความเร็วหัวกด (cross head speed) 2 มม. / นาที จนแกนฟันหรือเดือยฟันหรือรากฟันแตกหรือหลุด ซึ่งจะสังเกตได้จากการลดลงของแรงทันที บันทึกแรงที่ทำให้เกิดการแตกหรือหลุดของแกนฟันหรือเดือยฟันหรือรากฟันเป็นนิวตัน (Newton) ซึ่งแสดงออกถึงความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะและสังเกตรูปแบบการล้มเหลว (failure mode) ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 14 แสดงการจำลองแนวการวางชิ้นงานขณะใช้หัวกดทดสอบความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกน

## การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

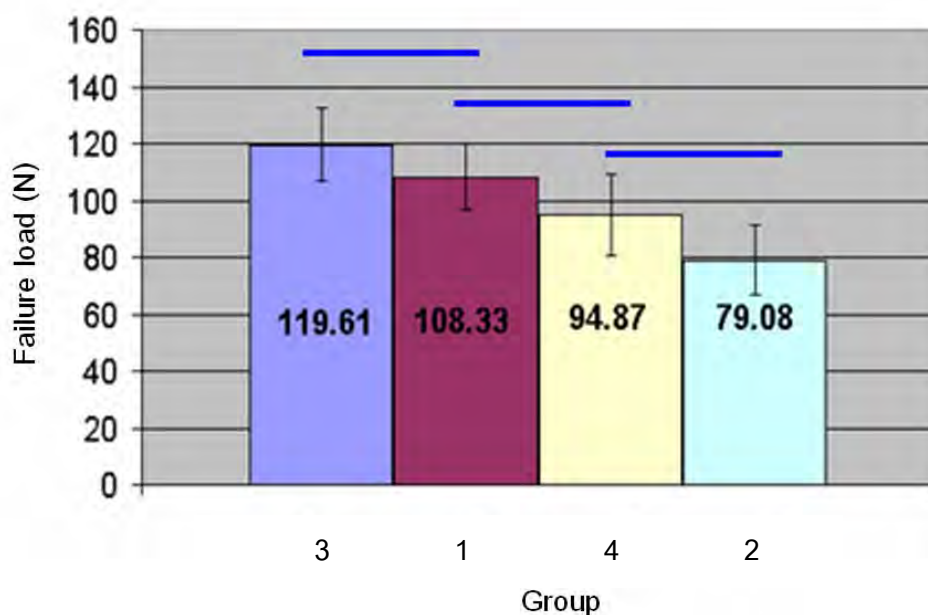
นำผลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกหรือหลุดของแกนฟันหรือเดือยฟันหรือรากฟันมาเปรียบเทียบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ( $\alpha = 0.05$ ) และวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างกลุ่มโดยการจับคู่ทีละกลุ่มรวมทั้งสังเกตรูปแบบการแตกหรือหลุดของชิ้นตัวอย่างที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่ม

## บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดสอบความต้านทานการล้มเหลวของวิธีการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้ รับการรักษาคลองรากฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยโดยใช้เรซินซีเมนต์เป็นตัวยึด ร่วมกับเรซิน คอมโพสิตในการสร้างแกนฟันทั้ง 4 กลุ่ม ผลการทดสอบพบว่าในกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ เกิดความล้มเหลวในการบูรณะของชิ้นตัวอย่างสูงที่สุด รองลงมาคือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 2 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 แรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของชิ้นตัวอย่างใน แต่ละกลุ่ม (นิวตัน)

ชิ้นตัวอย่าง	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4
1	93.74	63.92	102.93	80.26
2	97.54	68.30	104.20	82.04
3	100.25	69.04	109.85	82.39
4	103.07	74.84	114.86	82.68
5	104.79	77.28	117.46	84.21
6	106.99	77.52	121.40	94.90
7	109.46	79.90	122.16	102.74
8	114.92	81.78	122.33	109.99
9	119.85	94.20	139.22	112.56
10	132.71	104.03	141.73	116.97
ค่าเฉลี่ย	108.33	79.08	119.61	94.87
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.59	12.15	13.03	14.48



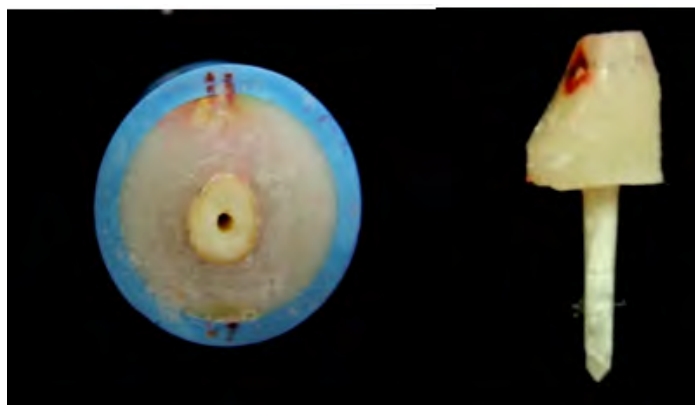
ภาพที่ 15 แสดงแผนภูมิค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของซี่นตัวอย่าง (หมายเหตุ — คือเส้นที่อยู่เหนือกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ)

เมื่อนำค่าแรงทั้งหมดในแต่ละกลุ่มไปทดสอบการกระจายตัวพบว่า ข้อมูลมีการกระจายเป็นปกติและเมื่อทดสอบความแปรปรวนด้วยการทดสอบแบบลีวิน (Levene's Test) พบว่า ข้อมูลทั้ง 4 กลุ่มมีค่าความแปรปรวนเท่ากันและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างน้อย 1 กลุ่ม และเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟอโรนนิ (Bonferroni multiple comparison) พบว่ากลุ่มที่ 1 มีค่าแรงที่ทำให้เกิดการความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เมื่อนำมาเทียบกับกลุ่มที่ 3 และกลุ่ม 4 ส่วนในกลุ่มที่ 2 พบว่ามีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับกลุ่ม 1 และกลุ่ม 3

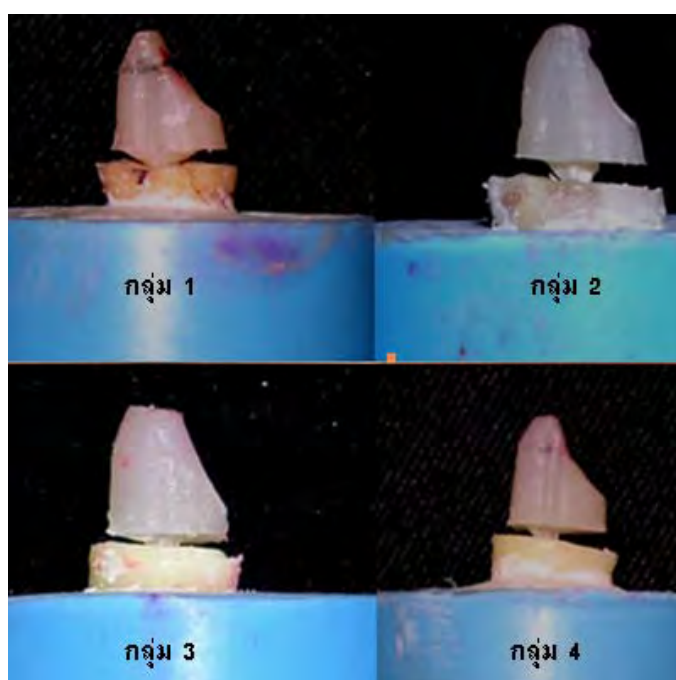


ภาพที่ 16 แสดงลักษณะของซี่นตัวอย่างก่อนและหลังการกดทดสอบ

รูปแบบความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของแต่ละกลุ่มพบว่า ทั้ง 4 กลุ่มมีลักษณะการแตกที่ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือมีการแตกและแยกตัวออกจากกันบริเวณรอยต่อระหว่างแนวแกนฟันกับส่วนรากฟัน ซึ่งมีความกว้างประมาณ 1 มม. และไม่มีอาการแตกหักของเดือยฟัน รอยแยกดังกล่าวเกิดจากการที่เดือยหลุดออกจากผนังคลองรากฟันซึ่งสามารถดึงเดือยให้หลุดออกได้



ภาพที่ 17 แสดงลักษณะการหลุดของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยออกจากคลองรากฟัน



ภาพที่ 18 แสดงลักษณะความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนของชิ้นตัวอย่างทั้ง 4 กลุ่ม

เมื่อตรวจดูลักษณะพื้นผิวของเดือยพื้นที่หลุดออกพบความลึมหลวงสามลักษณะคือ พบซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวเดือยพื้นที่ตลอดความยาวของเดือย พบซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวเดือยพื้นที่เฉพาะที่บริเวณคอพื้น และไม่พบซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวเดือยพื้นเลย อย่างไรก็ตามก็ไม่พบการแตกของรากฟันในทุกกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะพื้นผิวของเดือยพื้นที่พบหลังการกดทดสอบในแต่ละกลุ่ม

กลุ่ม	ลักษณะพื้นผิวของเดือยพื้นที่มีซีเมนต์ติดอยู่		
	ติดตลอดความยาวเดือย	ติดที่เดือยบริเวณคอพื้น	ไม่มีซีเมนต์ติดอยู่
1	8	2	
2		2	8
3		3	7
4	7		3



รูปที่ 19 ลักษณะผิวของเดือยพื้นที่หลุดของชิ้นตัวอย่างภายหลังทดสอบ

ซึ่งในกรณีของขึ้นตัวอย่างที่พบเรซินซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวตลอดความยาวเดียว เมื่อผ่ารากฟันออกจะพบว่ามีเรซินซีเมนต์ติดที่ผนังคลองรากฟันน้อยมาก ส่วนในกรณีของขึ้นตัวอย่างที่พบเรซินซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวบริเวณคอฟันของเดียว ซึ่งเมื่อผ่ารากฟันออกจะพบว่ามีเรซินซีเมนต์ติดที่ผนังคลองรากฟันส่วนปลายราก และในกรณีของขึ้นตัวอย่างที่ไม่พบเรซินซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวตลอดความยาวเดียว เมื่อผ่ารากฟันออกจะพบเรซินซีเมนต์ติดตลอดผนังคลองรากฟัน จึงสรุปได้ว่าเป็นลักษณะการล้มเหลวชนิดแอดฮีซีฟ (adhesive failure)



รูปที่ 20 ลักษณะพื้นผิวภายในคลองรากฟันเมื่อผ่ารากฟันของขึ้นตัวอย่างภายหลังทดสอบ

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

อภิปรายวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ทดสอบแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนในฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันด้วยการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย ในลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวต่างกันร่วมกับการใช้เรซินคอมโพสิตในการสร้างแกนฟัน ซึ่งการทดลองในครั้งนี้เลือกฟันถอนของมนุษย์ที่ฟันตัดซี่กลางบนมาสร้างเป็นขึ้นตัวอย่าง เนื่องจากส่วนใหญ่มีคลองรากฟันตรงและมีขนาดใหญ่ มีความหลากหลายของรูปแบบคลองรากฟันน้อย<sup>(59)</sup> ทำให้ลดความแปรปรวนในขึ้นตัวอย่างลงได้ ในการทดลองนี้เลือกใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยชนิดเส้นใยควอตซ์ในการทดสอบ เนื่องจากเส้นใยควอตซ์มีลักษณะโปร่งแสงสามารถช่วยนำแสงไปตามความยาวของเดือยทำให้เพิ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) ของเรซินซีเมนต์ในกรณีที่แสงไม่สามารถเข้าไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ได้โดยตรง โดยเฉพาะที่บริเวณคลองรากฟันส่วนปลายราก<sup>(43)</sup>

เรซินซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Panavia F 2.0 ที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นเท่ากับ 9.2 กิกะพาสคาล<sup>(11)</sup> มีหลายการศึกษาสนับสนุนว่า Panavia F 2.0 มีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานในการแตกได้ในกรณีที่บูรณะร่วมกับการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย<sup>(60-62)</sup> ซึ่งแม้ว่าเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะมีความโปร่งแสง แต่ก็ยังมีขีดจำกัดในการนำแสงไปกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ในคลองรากฟันซึ่งแสงส่องเข้าไม่ถึง<sup>(63)</sup> ดังนั้นการใช้เรซินซีเมนต์ที่มีสมบัติในการแข็งตัวที่อาศัยแสงกระตุ้นและสามารถแข็งตัวต่อเนื่องไปได้ (dual cure) จะทำให้เกิดความมั่นใจในการแข็งตัวของซีเมนต์ว่าสามารถเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ได้ ซึ่งแม้ว่าในการทดลองนี้ใช้ซีเมนต์สำหรับอุดคลองรากฟันที่มียูจีนอล (eugenol) เป็นองค์ประกอบก็ตาม เนื่องจากมีการศึกษาที่พบว่าในขั้นตอนการเตรียมช่องว่างเพื่อใส่เดือยฟันที่มีการใช้หัวเจาะเพื่อกำจัดเนื้อฟันบางส่วนออก หรือการใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 37 ในการเตรียมคลองรากฟันเพื่อเสริมผนังคลองรากฟันจะสามารถกำจัดยูจีนอลที่สะสมในเนื้อฟันออกได้ ทำให้ไม่มีผลต่อความแข็งแรงของพันธะของเรซินซีเมนต์<sup>(64)</sup>

โดยก่อนที่จะทำการยึดเดือยฟันด้วยเรซินซีเมนต์ จะใช้สารไฮเลนตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำคือผสม CLEARFIL SE BOND Primer ร่วมกับ CLEARFIL PORCELAIN BOND Activator และทาที่ผิวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยก่อนเป็นเวลา 5 วินาที สาร MPD (10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate) ใน CLEARFIL SE BOND Primer จะเข้าไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาในสาร CLEARFIL PORCELAIN BOND Activator เพื่อทำให้เกิดความสามารถในการไหลแม่ไปบนพื้นผิว (wettability) และส่งเสริมการเกิดพันธะเคมี<sup>(65)</sup> เชื่อมระหว่างเรซินซีเมนต์กับพอร์ซเลน (porcelain) หรือผิวขององค์ประกอบคอมโพสิตที่แข็งตัวแล้ว (cured composite surfaces) เพื่อทำ

ให้การยึดติดของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์ดีขึ้น ซึ่งมีหลายการศึกษาแนะนำให้ใช้สารไซเลนทาที่เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยก่อนทำการยึดติดระหว่างเดือยวัสดุคอมโพสิตเพื่อส่งเสริมให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น<sup>(66,67)</sup>

ในส่วนของแกนฟันซึ่งจากการทดลองนี้ใช้เรซินคอมโพสิตคือ Tetric N-Ceram ที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นเท่ากับ 10.8 กิกะพาสคาล เนื่องจากการศึกษาของ Almeida-Goncalves และคณะ<sup>(68)</sup> ที่ทำการเปรียบเทียบวัสดุเรซินคอมโพสิตหลายชนิดคือ Filtek Supreme composite resin (3M ESPE, St. Paul, Minn), Z100 (3M ESPE, St. Paul, Minn), Renew (Bisco, FRANCE) และ Tetric N Ceram (Ivoclar Vivadent, U.S.A) ซึ่งเมื่อนำมาบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันและมีผนังคลองรากฟันส่วนต้นบางพบว่า การใช้ Tetric N-Ceram ในการเสริมผนังคลองรากฟันร่วมกับการใส่เดือยฟัน จะทำให้มีความต้านทานการแตกของชิ้นตัวอย่างมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเรซินคอมโพสิตชนิดอื่น ๆ

เมื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างเรียบร้อยแล้วนำมาลงบล็อกยึดฟันโดยใช้อะคริลิกเรซินที่ปมตัวได้ที่อุณหภูมิห้องจำลองแทนกระดูกเบ้าฟัน เนื่องจากอะคริลิกเรซินมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นใกล้เคียงกับกระดูกของมนุษย์<sup>(69)</sup> ทำให้เมื่อนำชิ้นตัวอย่างไปกดทดสอบการกระจายแรงจะได้ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ไม่ได้สร้างส่วนเอ็นยึดปริทันต์จำลองในชิ้นตัวอย่างเนื่องจากการวางชิ้นตัวอย่างทำมุม 90 องศากับแนวแรงที่กด ทำให้เมื่อมีแรงกดลงบนแกนฟันมากขึ้นเอ็นยึดปริทันต์จำลองไม่สามารถยึดให้รากฟันอยู่ตำแหน่งเดิมได้ รากฟันจึงเคลื่อนที่หลุดออกมาจากเบ้าฟันอะคริลิก ทำให้ตำแหน่งในการกดชิ้นตัวอย่างจึงเปลี่ยนไปอาจทำให้ผลของแรงที่ได้คลาดเคลื่อน ดังรูป



ภาพที่ 21 แสดงลักษณะตำแหน่งของรากฟันในบล็อกยึดฟันที่มีเอ็นยึดปริทันต์จำลอง ซึ่งหลังการกดหัวทดสอบพบว่ารากฟันเคลื่อนออกจากบล็อกยึดฟัน ทำให้ตำแหน่งในการกดเปลี่ยนไปจากเดิม



การวางขึ้นตัวอย่างทำมุม 90 องศากับแนวแรงที่เกิดเนื่องจากต้องการจำลองลักษณะแนวแรงที่เกิดจากการกระแทกจากอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับพื้นหน้าบนที่มักจะเป็นแนวแรงในลักษณะนี้ ซึ่งเป็นแนวแรงที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อฟันมากที่สุด<sup>(70)</sup> โดยความเร็วหัวกดที่ใช้ 2 มม. ต่อนาทีนั้น เนื่องจากแรงที่ได้รับอาจมีลักษณะคล้ายแรงกระแทก ซึ่งพบว่าในหลาย ๆ การทดลองซึ่งการศึกษาแรงต้านทานการแตกของการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันใช้ความเร็วระดับนี้<sup>(20, 31, 71)</sup>

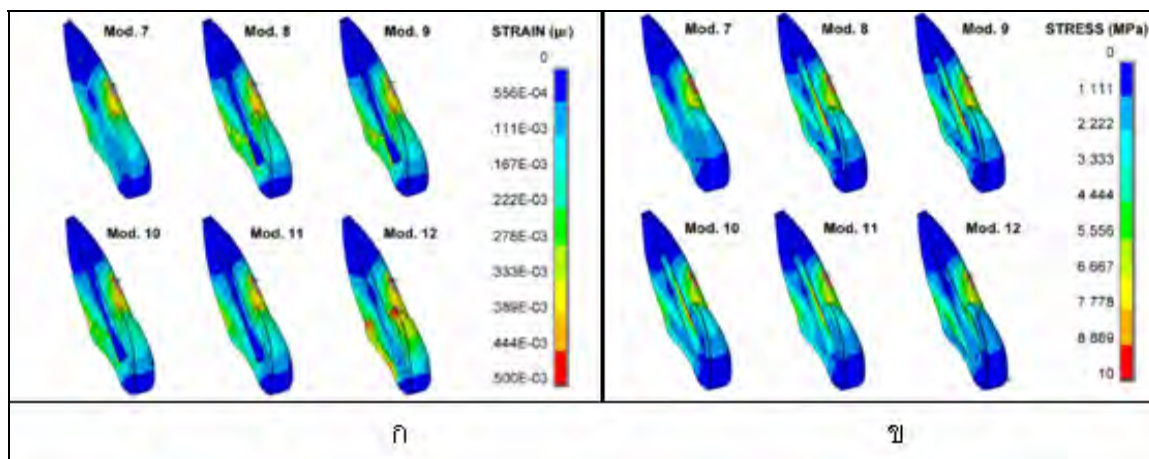
ในทุกขั้นตอนของการเตรียมขึ้นตัวอย่างจะทำด้วยวิธีการที่ป้องกันการสูญเสียความชื้นของรากฟัน ซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานแรงที่กระทำ โดยจะทำการเก็บรักษาฟันทั้งก่อนและในระหว่างการเตรียมขึ้นตัวอย่างที่ผู้ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 ซึ่งเป็นสภาพของร่างกายคนปกติ เพื่อให้แรงที่ทดสอบได้ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด

### อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดสอบพบว่ากลุ่มที่ 1 มีความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่ม 3 และกลุ่ม 4 ซึ่งอาจเนื่องมาจากในกลุ่มที่ 1 ใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟัน ส่วนในกลุ่มที่ 3 ใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าคลองรากฟันที่เตรียมไว้แต่ทำการเสริมผนังคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิต ซึ่งสามารถยึดติดกับฟันได้ดีและมีความอดุลล์ของสภาพยึดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้ช่องว่างที่เตรียมใส่เดือยฟันมีขนาดเล็กลงพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเดือยฟันที่ใช้ ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านทานการแตกของรากฟันได้<sup>(71)</sup> ส่วนในกลุ่มที่ 4 ใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพอดีกับผนังคลองรากฟันส่วนต้น ซึ่งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่พอดีกับคลองรากฟันบริเวณคอฟัน ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีการสะสมแรงเค้น (stress) ที่มากกระทำที่บริเวณเนื้อฟันมากที่สุด<sup>(72)</sup> จึงน่าจะทำให้กลุ่มที่ 4 สามารถต้านทานแรงได้ดีเช่นเดียวกัน

จากการศึกษาของ Sorrentino และคณะ<sup>(13)</sup> ที่ศึกษาการเกิดแรงเครียดและแรงเค้นของเนื้อฟันที่ได้การรักษาคลองรากฟันและบูรณะด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับเรซินคอมโพสิตในการสร้างแกนฟัน โดยใช้เรซินซีเมนต์ในการยึดเดือยฟันกับผิวคลองรากฟัน และทำการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) ระบบ 3 มิติ พบว่าขณะได้รับแรงกระทำต่อตัวฟันด้านเพดานปากเป็นมุม 60 องศา จะพบการสะสมของแรงเครียดมากที่บริเวณรอยต่อระหว่างแกนฟันกับรากฟันและที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างเดือยฟันและชั้นซีเมนต์ที่บริเวณคอฟันด้วย ซึ่งการสะสมแรงเครียดมากที่บริเวณคอฟันนี้จะทำให้เกิดการผิดรูป (deformation) ที่ขอบของวัสดุที่เป็นแกนฟันบริเวณด้านเพดานปาก ทำให้เกิดการแตกของวัสดุบูรณะฟันหรือเกิดการร้าวของเรซินซีเมนต์ นอกจากนี้ยังพบการสะสมแรงเค้นมากที่บริเวณคอฟันเช่นกัน โดยเฉพาะที่บริเวณผิวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย

ทางด้านแก้ม ที่บริเวณแนวรอยต่อระหว่างเดือยฟันและชั้นซีเมนต์ที่บริเวณคอฟัน



**ภาพที่ 22** แสดงลักษณะการกระจายของแรงเครียด (ก) และแรงเค้น (ข) ซึ่งจากรูปเป็นบริเวณที่มีสีแดง ซึ่งจะแสดงว่ามีการสะสมแรงเครียดและแรงเค้นมากที่สุด รองลงมาคือบริเวณที่มีสีส้ม เหลือง และเขียวตามลำดับ (Sorrentino และคณะ, 2007)

สอดคล้องกับการทดลองนี้ที่พบว่าลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างขณะทำการกดด้วยหัวกดทดสอบ จะเกิดการแตกออกของชิ้นตัวอย่างเริ่มจากบริเวณแนวรอยต่อระหว่างแกนฟันและรากฟัน ด้านเพดานปากแล้วจึงแตกออกจากกันโดยรอบแนวรอยต่อ ซึ่งหากเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีขนาดพอดีกับคลองรากฟันที่บริเวณคอฟันนี้จะทำให้มีความหนาของซีเมนต์น้อย ทำให้เกิดการกระจายแรงจากเดือยฟันไปสู่รากฟันได้ ซึ่งหากวัสดุบูรณะฟันมีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกันและนำมาบูรณะร่วมกันจะเกิดคุณสมบัติที่เรียกว่าโมโนบล็อก<sup>(73)</sup> ขึ้นระหว่างเนื้อฟัน แกนฟัน และเดือยฟันผ่านเรซินซีเมนต์ จะทำให้เกิดการกระจายแรงไปตามรากฟันได้ดี ซึ่งแม้มีแรงที่มากระทำมากเดือยฟันก็ยังสามารถดูดซับแรงและกระจายแรงไปสู่รากฟันได้<sup>(12)</sup> ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ตัวอย่างในกลุ่มที่ 1 กลุ่มที่ 3 และกลุ่มที่ 4 มีค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนในกลุ่มที่ 2 พบว่ามีค่าเฉลี่ยแรงในการทดสอบต่ำที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ Moosavi และคณะ<sup>(74)</sup> ที่ศึกษาความต้านทานการแตกของการบูรณะฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยในฟันที่มีผนังคลองรากฟันบาง โดยเปรียบเทียบระหว่างการเสริมผนังคลองรากฟันด้วยวัสดุต่าง ๆ กัน ประกอบด้วย เรซินคอมโพสิต เรโฟร์พิน (Reforpin) ซึ่งเป็นเดือยเส้นใยแก้วสำหรับอุดเสริม (glass fiber accessory post) และเรซินซีเมนต์ ซึ่งพบว่าการใช้เรซินซีเมนต์ในการเสริมผนังคลองรากฟันจะทำให้มีความต้านทานในการแตกน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้น

ใยที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟันหรือการใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังคลองรากฟัน เนื่องจากเรซินซีเมนต์มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นที่น้อยกว่าเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน ทำให้มีความสามารถในการรับแรงได้น้อยกว่า<sup>(75)</sup> เมื่อมีแรงมากกระทำจะเกิดการสะสมแรงเค้นมากที่บริเวณซีเมนต์นี้<sup>(50)</sup> สอดคล้องกับการศึกษาของ Assif<sup>(76)</sup> ที่พบว่า หากมีพื้นที่ของชั้นซีเมนต์ที่มีความหนาเกิน 500 ไมโครเมตร จะยิ่งทำให้ชั้นนี้เกิดความอ่อนแอไม่สามารถต้านทานการแตกได้ การใช้เรซินคอมโพสิตทดแทนการใช้เรซินซีเมนต์ จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะลดความเสี่ยงในการบูรณะฟัน

จากการทดลองนี้พบว่าในกลุ่มที่ 3 มีค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนมากที่สุดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ 1 ซึ่งความแข็งแรงของกลุ่มที่ 3 น่าจะมาจากการใช้ระบบแอดฮีซีฟ (adhesive system) ที่อยู่ในกลุ่มสารบอนด์ระบบโททอลเอทช์ (total etch bonding system) ในการยึดเรซินคอมโพสิตกับเนื้อฟันในขั้นตอนการเสริมผนังคลองรากฟัน แล้วจึงยึดเดือยกับเรซินคอมโพสิตด้วยเรซินซีเมนต์ด้วยสารบอนด์ระบบเซลฟ์เอทช์ (self etch bonding system) แต่ในกลุ่มที่ 1 ใช้เพียงเรซินซีเมนต์ในระบบเซลฟ์เอทช์ในการยึดเดือยฟันกับเนื้อฟัน ซึ่งสอดคล้องกับหลายการศึกษาที่พบว่าการใช้ระบบแอดฮีซีฟในการยึดเนื้อฟันในระบบโททอลเอทช์จะให้ความทนแรงดึงของพันธะสูงกว่าระบบเซลฟ์เอทช์<sup>(77,78)</sup> นอกจากนี้การใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังโดยรอบคลองรากฟัน ซึ่งในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาการเกิดโพลิเมอร์อาจทำให้เกิดการหดตัว (polymerization shrinkage) ของวัสดุเกิดการดึงผนังคลองรากฟันเข้าหากันทำให้สามารถเพิ่มความต้านทานการแตกของรากฟันได้ ส่วนในกลุ่มที่ 4 พบว่ามีค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 ซึ่งอาจเนื่องมาจากการใช้เดือยฟันที่มีความยาวสั้นกว่าทำให้เกิดการสะสมแรงเค้นที่เนื้อฟันมากกว่าโดยจะสะสมมากที่บริเวณปลายสุดของเดือยฟันด้านปลายราก<sup>(79)</sup> ซึ่งจากการทดลองเดือยฟันในกลุ่มที่ 4 จะมีความยาวเพียง 4 มม. ส่วนที่เหลือคือชั้นเรซินซีเมนต์ที่อยู่ในคลองรากฟัน ซึ่งถือเป็นจุดอ่อนในโครงสร้างของการบูรณะฟันด้วยวิธีนี้ เมื่อมีแรงมากกระทำจะเกิดการสะสมแรงเค้นมากที่บริเวณชั้นซีเมนต์นี้<sup>(50)</sup> ซึ่งไม่สามารถต้านทานแรงที่มากกระทำได้ดีเท่ากับเรซินคอมโพสิตและเนื้อฟัน การกระจายแรงไปสู่เนื้อฟันจึงเกิดขึ้นแค่เพียงตามความยาวของเดือยฟันที่สั้นกว่าคลองรากฟัน จึงน่าจะทำให้ในกลุ่มนี้มีค่าเฉลี่ยแรงต่ำกว่ากลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 3 นอกจากนี้การบูรณะด้วยเดือยฟันที่มีความยาวสั้นกว่าความยาวของคลองรากฟันย่อมมีผลต่อความแข็งแรงของพันธะในการยึดอยู่กับคลองรากฟัน ซึ่งการยึดอยู่ของเดือยฟันย่อมขึ้นอยู่กับพื้นที่แนวรอยต่อระหว่างผิวเดือยฟันกับซีเมนต์ที่ใช้ยึดติดกับผนังคลองรากฟัน (root/cement interface) หากพื้นที่ในการยึดอยู่น้อยลงย่อมทำให้ความแข็งแรงของพันธะลดลงด้วยเช่นกัน<sup>(79)</sup> อย่างไรก็ตามความต้านทานการล้มเหลวในการบูรณะฟันของทั้งสามกลุ่มก็แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

การแตกของชิ้นตัวอย่างทุกกลุ่มมีลักษณะคล้ายกันคือ พบรอยแยกระหว่างแกนฟันเรซินคอมโพสิตกับรากฟันที่บริเวณคอฟันซึ่งสามารถดึงเดือยหลุดออกจากรากฟันได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากบริเวณคอฟันเป็นบริเวณที่มีการสะสมแรงเครียดและแรงเค้นมาก เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยซึ่งมีความยืดหยุ่นจึงสามารถดูดซับแรงไว้ภายในตัวเอง<sup>(12)</sup> ทำให้เกิดการแตกแยกชั้นระหว่างแกนฟันเรซินคอมโพสิตกับรากฟันที่บริเวณคอฟัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Mannocci<sup>(47)</sup> ที่พบว่าเส้นใยในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยสามารถโค้งงอได้หากมีแรงที่มากกระทำปริมาณมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดรอยแตกขนาดเล็ก (microcrack) ของแกนฟันหรือเรซินซีเมนต์ที่ยึดติดอยู่กับเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่บริเวณคอฟัน คล้ายกับการศึกษาของ Morgano และคณะ<sup>(80)</sup> ที่พบว่า เมื่อมีแรงมากกระทำ จะทำให้เกิดการขยับเคลื่อนที่ (micro-movement) ของแกนฟัน ซึ่งจะส่งผลต่อการเชื่อมผนึกของเรซินซีเมนต์ ทำให้เกิดการทำลายการเชื่อมติดของเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันได้ และจากการศึกษาของ Pegoretti และคณะ<sup>(72)</sup> ที่ศึกษาโดยการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า การบูรณะฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยแม้จะทำให้เกิดการสะสมแรงเค้นที่บริเวณเนื้อฟันภายในรากฟันน้อยกว่าการบูรณะฟันด้วยเดือยที่ทำจากโลหะ แต่ก็สามารถทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะได้หากมีแรงกระทำมาก ซึ่งความล้มเหลวดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ภายในตัวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีการดูดซับแรงไว้ภายใน ทำให้เกิดการโค้งงอของเดือยฟันและทำให้เกิดการร้าวของชั้นเรซินซีเมนต์ ทำลายการยึดติดกันระหว่างเดือยฟันกับเรซินซีเมนต์ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการหลุดของเดือยฟันได้ ซึ่งมีหลายการศึกษาพบว่าสาเหตุหลักของการล้มเหลวในการบูรณะฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยคือความล้มเหลวในการยึดติดระหว่างเนื้อฟันกับชั้นซีเมนต์ที่ใช้ยึด (debonding of adhesive system) ทำให้เกิดการหลุดของเดือยฟัน<sup>(81-85)</sup>

จากการทดลองเมื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเดือยฟันที่หลุดออกพบว่าส่วนใหญ่มีเรซินซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวของเดือยฟันตลอดความยาวของเดือยในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 4 อาจเนื่องจากเดือยฟันมีขนาดที่พอดีกับคลองรากฟันทำให้มีพื้นที่ของซีเมนต์น้อย เรซินซีเมนต์จึงสามารถยึดติดอยู่กับที่ผิวของเดือยฟันได้ ส่วนในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีซีเมนต์ติดอยู่ที่ผิวเดือยฟันเนื่องจากในกลุ่มที่ 2 มีพื้นที่ของซีเมนต์มากทำให้เรซินซีเมนต์ส่วนใหญ่เกาะอยู่ที่ผิวของคลองรากฟัน ส่วนในกลุ่มที่ 3 เรซินซีเมนต์อาจยึดติดกับเรซินคอมโพสิตได้ดีกว่าเดือยฟันทำให้ไม่ติดออกมากับผิวของเดือย

การใช้สารไซเลนในการปรับปรุงการยึดอยู่ของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์ยังเป็นประเด็นที่ยังไม่สามารถให้ข้อสรุปได้ เนื่องจากมีการศึกษาที่พบว่าการใช้สารไซเลนทาที่ผิวของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดของเรซินซีเมนต์ได้<sup>(86)</sup> และเมื่อ Sahafi และคณะ<sup>(87)</sup> ทำการศึกษาพบว่าแม้ใช้สารไซเลนร่วมกับการเป่าทราย (sandblasted) เปรียบเทียบความแข็งแรงในการยึดอยู่ของเรซินซีเมนต์กับเดือยคอมโพสิตเสริมเส้น

ใยเทียบกับกลุ่มที่ทำการเป่าทรายอย่างเดียวยพบว่า มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้มีการศึกษาที่พบว่า สารอีพอกซีเรซินที่เป็นองค์ประกอบในชั้นเมทริกซ์ในเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยมีลักษณะเส้นใยร่างแหอย่างหนาแน่น (highly cross-linked polymers) ซึ่งไม่มีกลุ่มฟังก์ชัน (functional groups) ที่จะทำปฏิกิริยากับสารไฮเลน ดังนั้นการใช้สารไฮเลนเพื่อปรับปรุงการยึดอยู่ของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยกับเรซินซีเมนต์จึงยังเป็นข้อสงสัย<sup>(48, 66)</sup>

ปัจจุบันมีความพยายามในการปรับปรุงคุณภาพของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย โดยการใช้ semi-interpenetrating polymer network (semi-IPN) เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของชั้นเมทริกซ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดอยู่แทน แต่ในการทดลองนี้ใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยควอตซ์ชนิด D.T. Light-post ที่ไม่มี semi-IPN เป็นองค์ประกอบดังนั้นการทาสารไฮเลนที่ผิวของเดือยฟัน อาจเป็นเพียงการเพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ไปบนพื้นผิว (wettability) ของเดือยฟัน ทำให้เพิ่มความสามารถในการเกาะตัวของเรซินซีเมนต์ที่ผิวของเดือยฟัน เพิ่มประสิทธิภาพในการเกิดพันธะ van der Waals ของวัสดุทั้งสองชนิด ทำให้เกิดการยึดติดทางกายภาพ (physical adhesion) ที่ดีขึ้นเท่านั้น<sup>(68)</sup> อย่างไรก็ตามก็ยังมีการศึกษาที่สนับสนุนว่าการทาสารไฮเลนที่ผิวเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยจะช่วยเพิ่มค่าความทนแรงดึงของพันธะต่อเรซินคอมโพสิต<sup>(66,67)</sup>

จากการทดลองไม่พบการแตกของรากฟันในทุกกลุ่มตัวอย่างซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Moosavi และคณะ<sup>(74)</sup> ที่ไม่พบการแตกของรากฟันหากทำการบูรณะฟันด้วยเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยร่วมกับเรซินซีเมนต์ โดย Valandro และคณะ<sup>(88)</sup> กล่าวว่า การกระจายแรงที่มากระทำต่อฟันที่ทำการบูรณะด้วยเดือยฟันไปสู่รากฟันนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเดือยฟัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าจุดที่สำคัญและถือเป็นจุดวิกฤตคือที่บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและซีเมนต์ที่ใช้ยึดเดือยฟัน (dentine-cement interface) ที่จะพบการสะสมแรงเค้นมากที่บริเวณนี้ ซึ่งวัสดุบูรณะฟันที่มีค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่นต่ำที่สุดจะทำหน้าที่เป็นจุดทำลายแรง (force breaker) หรือดูดซับแรง (shock absorber) ทำให้ลดการถ่ายทอดแรงโดยตรงไปสู่ชั้นเนื้อฟัน ลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการแตกของรากฟันได้ แม้ว่าอาจจะทำให้เกิดการแตกหักหรือเกิดการร้าวของชั้นซีเมนต์ที่ทำให้เดือยฟันเกิดการหลุด ซึ่ง Fokkinga<sup>(89)</sup> ได้กล่าวว่าเป็นความล้มเหลวในการบูรณะฟันที่ดีว่าการเกิดการแตกของรากฟัน เนื่องจากอาจให้การบูรณะซ้ำใหม่ได้

## สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า

1. การใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟันจะให้แรงต้านทานความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนไม่แตกต่างกับการใช้เดือยฟันที่มีขนาดใหญ่กว่า หรือการใช้เดือยฟันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าร่วมกับการใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังคลองรากฟัน
2. การใช้เดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าคลองรากฟัน ยึดและปิดช่องว่างด้วยเรซินซีเมนต์ จะมีแรงต้านทานความล้มเหลวในการบูรณะด้วยเดือยและแกนต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ
3. ในกรณีที่คลองรากฟันมีขนาดไม่พอดีกับขนาดของเดือยฟัน การเลือกขนาดของเดือยควรให้ความสำคัญกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่พอดีกับคลองรากฟันบริเวณส่วนต้นมากกว่าความยาวของเดือยที่พอดีกับคลองรากฟัน

ในการเลือกขนาดเดือยฟันควรให้มีความพอดีทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว แต่หากมีข้อจำกัดทางคลินิก ควรเลือกเดือยให้มีความพอดีกับคลองรากฟันส่วนต้น หรือใช้เรซินคอมโพสิตในการเสริมผนังคลองรากฟันร่วมกับการใช้เดือยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าจะช่วยให้ได้การบูรณะฟันที่ดีกว่า

## ข้อเสนอแนะ

1. เพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ควรทำการศึกษาโดยทำการควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้เหมือนกับสภาวะภายในช่องปาก และควรทำการศึกษา ร่วมกับการติดตามผลการรักษาในผู้ป่วยในระยะยาวด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการหาวิธีการบูรณะฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันที่เหมาะสมที่สุดต่อไป
2. ควรมีการวิจัยต่อเนื่องด้านวิเคราะห์ทาง 3 D Finite element เพื่อศึกษาถึงลักษณะการกระจายและการสะสมของแรงทั้งแรงเค้นและแรงเคี้ยว โดยใช่วิธีการบูรณะฟันตามการทดลองนี้เป็นต้นแบบ เพื่อจะได้ทราบถึงบริเวณที่จะเป็นจุดอ่อนและอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการรักษาได้
3. ควรมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุที่จะช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างเรซินซีเมนต์และเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย และควรมีการพัฒนาปรับปรุงองค์ประกอบของเดือยคอมโพสิตเสริมเส้นใย เพื่อส่งเสริมให้มีการความแข็งแรงในการยึดอยู่ที่ดีขึ้น นำไปสู่ความสำเร็จในการบูรณะฟันได้

## รายการอ้างอิง

- (1) Milot, P.; and Stein, R. S. Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. J Prosthet Dent. 68(3) (September 1992): 428-35.
- (2) Bateman, G.; Ricketts, D. N.; and Saunders, W. P. Fibre-based post systems: a review. Br Dent J. 195(1) (July 2003): 43-8.
- (3) Sedgley, C. M.; and Messer, H. H. Are endodontically treated teeth more brittle? J Endod. 18(7) (July 1992): 332-5.
- (4) Malferrari, S.; Monaco, C.; and Scotti R. Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. Int J Prosthodont. 16(1) (January - February 2003): 39-44.
- (5) Abou-Rass, M.; Jann, J. M.; Jobe, D., and Tsutsui, F. Preparation of space for posting: effect on thickness of canal walls and incidence of perforation in molars. J Am Dent Assoc. 104(6) (June 1982): 834-7.
- (6) Guzy, G.E.; and Nicholls, J. I. In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. J Prosthet Dent. 42(1) (July 1979): 39-44.
- (7) Torbjörner, A.; Karlsson, S.; and Odman, P. A. Survival rate and failure characteristics for two post designs. J Prosthet Dent. 73(5) (May 1995): 439-44.
- (8) Albuquerque, Rde, C.; Polleto, L. T.; Fontana, R. H.; and Cimini, C. A. Stress analysis of an upper central incisor restored with different posts. J Oral Rehabil. 30(9) (September 2003): 936-43.
- (9) Fokkinga, W. A.; Kreulen, C. M.; Vallittu, P. K.; and Creugers, N. H. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. Int J Prosthodont. 17(4) (July-August 2004): 476-82.
- (10) Pierrisnard, L.; Bohin, F.; Renault, P.; and Barquins, M. Corono-radicular reconstruction of pulpless teeth: a mechanical study using finite element analysis. J Prosthet Dent. 88(4) (October 2002): 442-8.

- (11) Freedman, G. Bonded post-endodontic rehabilitation. Dent Today. 15(5) (May 1996): 50-3.
- (12) Newman, M. P.; Yaman, P.; Dennison, J.; Rafter, M.; and Billy, E. Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. J Prosthet Dent. 89(4) (April 2003): 360-7.
- (13) Sorrentino, R.; Aversa, R.; Ferro, V.; Auriemma, T.; Zarone, F.; Ferrari, M.; and Apicella, A. Three-dimensional finite element analysis of strain and stress distributions in endodontically treated maxillary central incisors restored with different post, core and crown materials. Dent Mater. 23(8) (August 2007): 983-93.
- (14) Braem, M.; Lambrechts, P.; Van, Doren, V.; Vanherle, G. The impact of composite structure on its elastic response. J Dent Res. 65(5) (May 1986): 648-53.
- (15) Asmussen, E.; Peutzfeldt, A.; Heitmann, T. Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. J Dent. 27(4) (May 1999): 275-8.
- (16) Patyk, A. J.; and Friedrich, M. Translucency of glass-fiber-reinforced root canal posts. Int Poster J Dent Oral Med 7(4) (2005): poster 294.
- (17) Carrotte, P. Endodontics: part 4. Morphology of the root canal system. Br Dent J. 197(7) (October 2004): 379-83.
- (18) Kasahara, E.; Yasuda, E.; and Yamamoto, A.; and Anzai, M. Root canal system of the maxillary central incisor. J Endod. 16(4) (April 1990): 158-61.
- (19) Sirimai, S.; Riis, D. N.; and Morgano, S. M. 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. 81(3) (Mar 1999): 262-9.
- (20) Goodacre, C. J.; Bernal, G.; Rungcharassaeng, K.; and Kan, J. Y. Clinical complications in fixed prosthodontics. J Prosthet Dent. 90(1) (July 2003): 31-41.
- (21) Sorensen, J. A.; and Martinoff JT. Clinically significant factors in dowel design. J Prosthet Dent 52(1) (July 1984): 28-35.



- (22) Fuss, Z.; Lustig, J.; Katz, A.; and Tamse, A. An evaluation of endodontically treated vertical root fractured teeth: impact of operative procedures. J Endod. 27(1) (January 2001): 46-8.
- (23) Holmes, D. C.; Diaz-Arnold, A. M.; and Leary, J. M. Influence of post dimension on stress distribution in dentin. J Prosthet Dent. 75(2) (February 1996): 140-7.
- (24) Yang, H. S.; Lang, L. A.; Molina, A.; and Felton DA. The effects of dowel design and load direction on dowel-and-core restorations. J Prosthet Dent. 85(6) (June 2001): 558-67.
- (25) Stockton, L. W. Factors affecting retention of post systems: a literature review. J Prosthet Dent. 81(4) (April 1999): 380-5.
- (26) Goodacre, C. J.; and Spolnik, K. J. The prosthodontic management of endodontically treated teeth: a literature review. Part III. Tooth preparation considerations. J Prosthodont. 4(2) (June 1995): 122-8.
- (27) Fernandes, A. S.; and Dessai GS. Factors affecting the fracture resistance of post- core reconstructed teeth: a review. Int J Prosthodont. 14(4) (July-August 2001): 355-63.
- (28) Trabert, K. C.; Caput, A. A.; and Abou-Rass, M. Tooth fracture--a comparison of endodontic and restorative treatments. J Endod. 4(11) (November 1978): 341-5.
- (29) Morgano, S. M. Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts. J Prosthet Dent. 75(4) (April 1996): 375-80.
- (30) Hemmings, K. W.; King, P. A.; and Setchell, D. J. Resistance to torsional forces of various post and core designs. J Prosthet Dent. 66(3) (September 1991): 325-9.
- (31) Assif, D.; Bitenski, A.; Pilo, R.; and Oren, E. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. J Prosthet Dent. 69(1) (January 1993): 36-40.
- (32) Isidor, F.; Brøndum, K.; and Ravnholt, G. The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with

- prefabricated titanium posts. Int J Prosthodont. 12(1) (January-February 1999): 78-82.
- (33) Libman, W. J.; and Nicholls, J. I. Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns. Int J Prosthodont. 8(2) (Mar-April 1995): 155-61.
- (34) Morgano, S. M.; and Brackett, S. E. Foundation restorations in fixed prosthodontics: current knowledge and future needs. J Prosthet Dent. 82(6) (December 1999): 643-57.
- (35) Mattison, G. D.; Delivanis, P. D.; Thacker, RW, Jr.; and Hassell, K. J. Effect of post preparation on the apical seal. J Prosthet Dent. 51(6) (June 1984): 785-9.
- (36) Fox, K.; and Gutteridge, D. L. An in vitro study of coronal microleakage in root-canal-treated teeth restored by the post and core technique. Int Endod J. 30(6) (November 1997): 361-8.
- (37) Akkayan, B.; and Gülmez, T. Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. J Prosthet Dent. 87(4) (April 2002): 431-7.
- (38) Grandini, S.; Goracci, C.; Monticelli, F.; Tay, F. R.; and Ferrari, M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. Dent Mater. 21(2) (February 2005): 75-82.
- (39) Dyer, S. R.; Lassila, L. V.; Jokinen, M.; and Vallittu, P. K. Effect of fiber position and orientation on fracture load of fiber-reinforced composite. Dent Mater. 20(10) (December 2004): 947-55.
- (40) Duvaut, G.; Terrel, G.; Lene, F.; and Verijkeno, V. E. Optimization of fiber reinforced composites. Composite Structures 48(1) (January 2000): 83-89.
- (41) Grandini, S.; Goracci, C.; Monticelli, F.; Tay, F. R.; and Ferrari, M. Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. Dent Mater. 21(2) (February 2005): 75-82.

- (42) Seefeld, F.; Wenz, H. J.; Ludwig, K.; and Kern, M. Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. Dent Mater. 23(3) (Mar 2007): 265-71.
- (43) Monticelli, F. A study into the application of fiber posts and composite core materials for restoring endodontically treated teeth. Doctoral dissertation, University of Siena and University of Granada, 2005.
- (44) Kishi, H.; Hayashi, M.; Higashi, T.; and Odagiri, N. Resin compositions for fiber-reinforced composite materials and processes for producing the same, prepregs, fiber-reinforced composite materials, and honeycomb structures. US Patent (2000): 1-27.
- (45) Isidor, F.; Odman, P.; and Brøndum, K. Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts. Int J Prosthodont. 9(2) (Mar-April 1996): 131-6.
- (46) Purton, D. G.; and Love, R. M. Rigidity and retention of carbon fibre versus stainless steel root canal posts. Int Endod J. 29(4) (July 1996): 262-5.
- (47) Mannocci, F.; Sherriff, M.; and Watson, T. F. Three-point bending test of fiber posts. J Endod. 27(12) (December 2001): 758-61.
- (48) Perdigão, J.; Gomes, G.; and Lee, I. K. The effect of silane on the bond strengths of fiber posts. Dent Mater. 22(8) (August 2006): 752-8.
- (49) Torbjörner, A.; Karlsson, S.; Syverud, M.; and Hensten-Pettersen, A. Carbon fiber reinforced root canal posts. Mechanical and cytotoxic properties. Eur J Oral Sci. 104(5-6) (October-December 1996): 605-11.
- (50) Grant, T. S., and Bradley, W. L. In-situ observations in SEM of degradation of graphite/epoxy composite materials due to seawater immersion. J Compos Mater. 29 (1995): 852-67.
- (51) Drummond, J. L. In vitro evaluation of endodontic posts. Am J Dent. 13 (May 2000): 5B-8B.
- (52) Martínez-Insua, A.; da Silva, L.; Rilo, B.; and Santana, U. Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. J Prosthet Dent. 80(5) (November 1998): 527-32.

- (53) Dean, J. P.; Jeansonne, B. G.; and Sarkar, N. In vitro evaluation of a carbon fiber post. J Endod. 24(12) (December 1998): 807-10.
- (54) Purton, D. G.; and Payne, J. A. Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. Quintessence Int. 27(2) (February 1996): 93-7.
- (55) McDonald, A. V.; King, P. A.; and Setchell, D. J. In vitro study to compare impact fracture resistance of intact root-treated teeth. Int Endod J. 23(6) (November 1990): 304-12.
- (56) Goncalves, L. A.; Vansan, L. P.; Paulino, S. M.; and Sousa, Neto, M. D. Fracture resistance of weakened roots restored with a transilluminating post and adhesive restorative materials. J Prosthet Dent. 96(5) (November 2006): 339-44.
- (57) Sorensen, J. A.; Engelman, M. J. Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent. 64(4) (October 1990): 419-24.
- (58) Cormier, C. J.; Burns, D. R.; and Moon, P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic and conventional post systems at various stages of restoration. J Prosthodont. 10(1) (Mar 2001): 26-36.
- (59) Cohen, S.; and Burns, R. C. Pathway of the pulp. 7<sup>th</sup> ed. St. Louis : C.V. Mosby, 2000: 150-202.
- (60) Bitter, K.; Meyer-Lückel, H.; Priehn, K.; Martus, P.; and Kielbassa, A. M. Bond strengths of resin cements to fiber-reinforced composite posts. Am J Dent. 19(3) (June 2006): 138-42.
- (61) Naumann, M.; Preuss, A.; and Frankenberger, R. Load capability of excessively flared teeth restored with fiber-reinforced composite posts and all-ceramic crowns. Oper Dent. 31(6) (November-December 2006): 699-704.
- (62) De, Munck, J.; Vargas, M.; Van, Landuyt, K.; Hikita, K.; Lambrechts, P.; Van, Meerbeek, B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. Dent Mater. 20(10) (December 2004): 963-71.

- (63) Ferrari, M.; Vichi, A.; and Grandini, S. Efficacy of different adhesive techniques on bonding to root canal walls: an SEM investigation. Dent Mater. 17(5) (September 2001): 422-9.
- (64) Emmanuel, C.; Pashley, David, h.; Loushine, Robert, J.; Norman, Weller, R.; Frank, Kimbrough, W. Effects of Eugenol on Resin Bond Strengths to Root Canal Dentin. J Endod. 27(6) (June 2001): 411-414.
- (65) Plueddemann, E. P. Silane coupling agents. New york: Plenum Press; 1991: 1-27.
- (66) Goracci, C.; Raffaelli, O.; Monticelli, F.; Balleri, B.; Bertelli, E.; and Ferrari, M. The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. Dent Mater. 21(5) (May 2005): 437-44.
- (67) Aksornmuang, J.; Foxton, R. M.; Nakajima, M.; and Tagami, J. Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fiber posts. J Dent. 32(6) (August 2004): 443-50.
- (68) Goncalves, L. A.; Vansan, L. P.; Paulino, S. M.; Sousa, Neto, M. D. Fracture resistance of weakened roots restored with a transilluminating post and adhesive restorative materials. J Prosthet Dent. 96(5) (November 2006): 339-44.
- (69) King, P. A.; and Setchell, D. J. An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. J Oral Rehabil. 17(6) (November 1990): 599-609.
- (70) Cormier, C. J.; Burns, D. R.; Moon, P. In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration. J Prosthodont. 10(1) (Mar 2001): 26-36.
- (71) Saupe, W. A.; Gluskin, A. H.; and Radke, RA, Jr. A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and cores and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised roots. Quintessence Int. 27(7) (July 1996): 483-91.

- (72) Pegoretti, A.; Fambri, L.; Zappini, G.; and Bianchetti, M. Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. Biomaterials. 23(13) (July 2002): 2667-82.
- (73) Boschian, Pest, L.; Cavalli, G.; Bertani, P.; and Gagliani, M. Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. Dent Mater. 18(8) (December 2002): 596-602.
- (74) Moosavi, H.; Maleknejad, F.; and Kimyai, S. Fracture resistance of endodontically-treated teeth restored using three root-reinforcement methods. J Contemp Dent Pract. 9(1) (January 2008): 30-7.
- (75) Mezzomo, E.; Massa, F.; and Libera, S. D. Fracture resistance of teeth restored with two different post-and-core designs cemented with two different cements: an in vitro study. Part I. Quintessence Int. 34(4) (April 2003): 301-6.
- (76) Assif, D.; and Gorfil, C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. J Prosthet Dent. 71(6) (June 1994): 565-7.
- (77) Yesilyurt, C.; Bulucu, B. Bond strength of total-etch and self-etch dentin adhesive systems on peripheral and central dentinal tissue: a microtensile bond strength test. J Contemp Dent Pract. 7(2) (May 2006): 26-36.
- (78) Mak, Y. F.; Lai, S. C.; Cheung, G. S.; Chan, A. W.; Tay, F. R.; Pashley, D. H. Micro-tensile bond testing of resin cements to dentin and an indirect resin composite. Dent Mater. 18(8) (December 2002): 609-21.
- (79) Asmussen, E.; Peutzfeldt, A.; and Sahafi, A. Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth. J Prosthet Dent. 94(4) (October 2005): 321-9.
- (80) Morgano, S. M.; Rodrigues, A. H.; and Sabrosa, C. E. Restoration of endodontically treated teeth. Dent Clin North Am. 48(2) (April 2004): 397-416.
- (81) Ferrari, M.; Vichi, A.; and García-Godoy, F. Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. Am J Dent. 13(Spec No) (May 2000): 15B-18B.

- (82) Ferrari, M.; Vichi, A.; Mannocci, F.; and Mason, P. N. Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. Am J Dent. 13(Spec No) (May 2000): 9B-13B.
- (83) Glazer, B. Restoration of endodontically treated teeth with carbon fibre posts--a prospective study. J Can Dent Assoc. 66(11) (December 2000): 613-8.
- (84) Ukon, S.; Moroi, H.; Okimoto, K.; Fujita, M.; Ishikawa, M.; Terada, Y.; and Satoh, H. Influence of different elastic moduli of dowel and core on stress distribution in root. Dent Mater J. 19(1) (Mar 2000): 50-64.
- (85) Fredriksson, M.; Astbäck, J.; Pamenius, M.; and Arvidson, K. A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. J Prosthet Dent. 80(2) (August 1998): 151-7.
- (86) Sahafi, A.; Peutzfeldt, A.; Asmussen, E.; and Gotfredsen, K. Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber, and zirconia. J Adhes Dent. 5(2) (Summer 2003): 153-62.
- (87) Sahafi, A.; Peutzfeldt, A.; Asmussen, E.; and Gotfredsen, K. Retention and failure morphology of prefabricated posts. Int J Prosthodont. 17(3) (May-June 2004): 307-12.
- (88) Valandro, L. F.; Yoshiga, S.; de Melo, R. M, Galhano, G. A.; Mallmann, A.; Marinho, C. P.; and Bottino, M. A. Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: effect of post surface conditioning. J Adhes Dent. 8(2) (April 2006): 105-11.
- (89) Fokkinga, W. A.; Kreulen, C. M.; Vallittu, P. K.; Creugers, N. H. A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. Int J Prosthodont. 17(4) (July-August 2004): 476-82.

ภาคผนวก



**ตาราง ก** ค่าแรง (นิวตัน) ที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบุงรณะด้วยเดือยและแกนของชิ้นตัวอย่างในแต่ละกลุ่มจำแนกตามขนาดความกว้างของรากฟัน

Diameter (mm x mm)	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
5 x 6	100.25	63.92	104.2	82.39
5 x 6	106.99	69.04	139.22	112.56
6 x 6	93.74	68.3	102.93	82.04
6 x 6	97.54	74.84	114.86	82.68
6 x 6	109.46	77.52	117.46	84.21
6 x 6	132.71	94.2	122.33	94.9
6 x 7	103.07	77.28	109.85	80.26
6 x 7	104.79	79.9	121.4	102.74
6 x 7	114.92	81.78	122.16	109.99
6 x 7	119.85	104.03	141.73	116.97

**ตาราง ข** การวิเคราะห์ความเหมือนของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) ด้วยการใช้การทดสอบแบบลีวีเน่ (Levene's Test) ของข้อมูลค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบุงรณะในชิ้นตัวอย่างในกลุ่มต่างๆ

**Test of Homogeneity of Variances**

FORCE

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.621	3	36	.606

**ตาราง ค** การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะในหินตัวอย่างในกลุ่มต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One way ANOVA)

## ANOVA

FORCE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	9171.082	3	3057.027	18.481	.000
Within Groups	5954.965	36	165.416		
Total	15126.047	39			

**ตาราง ง** การทดสอบข้อมูลค่าเฉลี่ยแรงที่ทำให้เกิดความล้มเหลวในการบูรณะในกลุ่มต่างๆ ด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบบอนเฟอโรน (Bonferroni multiple comparison)

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: FORCE

Bonferroni

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	29.2510 (*)	5.75179	.000	13.1922	45.3098
	3	-11.2820	5.75179	.346	-27.3408	4.7768
	4	13.4580	5.75179	.150	-2.6008	29.5168
2	1	-29.2510 (*)	5.75179	.000	-45.3098	-13.1922
	3	-40.5330 (*)	5.75179	.000	-56.5918	-24.4742
	4	-15.7930	5.75179	.056	-31.8518	.2658
3	1	11.2820	5.75179	.346	-4.7768	27.3408
	2	40.5330 (*)	5.75179	.000	24.4742	56.5918
	4	24.7400 (*)	5.75179	.001	8.6812	40.7988
4	1	-13.4580	5.75179	.150	-29.5168	2.6008
	2	15.7930	5.75179	.056	-.2658	31.8518
	3	-24.7400 (*)	5.75179	.001	-40.7988	-8.6812

(\*) The mean difference is significant at the .05 level.

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสิริรัตน์ อนันตวิริยะพร เกิดที่กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2520 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีพ.ศ. 2548 และเข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ ประจำคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระหว่าง พ.ศ. 2548 - 2549 ปัจจุบันได้ลาศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย