

การกระจายความเค้นในคลองรากฟันรูปอักษรซีเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ ด้วย ระเบียบวิธี
ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

พฤษภาคม 2559

การกระจายความเค้นในคลองรากฟันรูปอักษรซีเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ ด้วย ระเบียบวิธี
ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ



ปริญญาานิพนธ์
ของ
ณัฐฐา ภิญโญโสภณ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

พฤษภาคม 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การกระจายความเค้นในคลองรากฟันรูปอักษรซีเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ ด้วย ระเบียบวิธี
ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ



บทคัดย่อ
ของ
นัฏฐา ภิญญไญโสภณ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก

พฤษภาคม 2559

ณัฐฐา ภิญญโสภณ. (2559). การกระจายความเค้นในคลองรากฟันรูปอักษรซีเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (ทันตกรรมคลินิก). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. จารุมา ศักดิ์ดี, นาวาอากาศตรี ดร. เทียนสิริ เหลืองวิไล.

ทำการศึกษาในฟันกรามล่างซี่ที่ 2 ที่ถูกถอนของมนุษย์ศึกษาโครงสร้างและรายละเอียดภายในด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตรสร้างแบบจำลอง 3 มิติจำนวน 10 แบบจำลอง คือ ฟันปกติ ฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต ฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนหน้าตัดกลมจำนวน 1 และ 2 อัน ฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วหน้าตัดกลมจำนวน 1 และ 2 อัน ฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมจำนวน 1 และ 2 อัน ฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีจำนวน 1 และ 2 อัน นำแบบจำลองที่ได้มาวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (ANSYS) ทำการศึกษาโดยการให้แรงขนาด 45 นิวตัน บริเวณด้านบดเคี้ยว ด้วยหัวกดรูปร่างทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

ชนิดของการบูรณะมีผลต่อการกระจายความเค้น การบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตทำให้เกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณสูง รวมถึงชนิดของเส้นใยของเดือยฟัน โดยเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์มีการสะสมของความเค้นใกล้เคียงกันและเป็นปริมาณน้อยกว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยหน้าตัดกลมมีการสะสมความเค้นน้อยกว่าเดือยฟันหน้าตัดวงรี และการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยจำนวน 2 อัน มีการสะสมความเค้นน้อยกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยจำนวน 1 อัน ดังนั้นการบูรณะฟันที่มีคลองรากฟันรูปอักษรซีด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมจำนวน 2 อัน มีปริมาณการสะสมของความเค้นต่ำกว่าการบูรณะแบบอื่นๆ ซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการเกิดการแตกหักของฟัน

STRESS DISTRIBUTION IN C-SHAPED ROOT CANALS WITH VARIOUS RESTORATIONS:
3D FINITE ELEMENT ANALYSIS



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Science in Clinical Dentistry
at Srinakharinwirot University

May 2016

Nutta Pinyosopon. (2016). *Stress Distribution in C-shaped Root Canals with Various Restorations: 3D Finite Element Analysis*. Master thesis, M.S. (Dentistry). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Jaruma Sakdee. D.D.S., D.M.Sc. Co-advisor Committee: SqnlDr.Thiansiri Luangwilai. B.Sc., Ph.D

Extracted permanent mandibular second molar was evaluated by micro-computed tomography. Ten 3-dimensional FEA models were created and adapted by using computer software (ANSYS): original tooth, tooth restored with resin composite, tooth restored with 1 and 2 carbon fiber posts, tooth restored with 1 and 2 glass fiber posts, tooth restored with 1 and 2 quartz fiber posts, tooth restored with 1 and 2 oval fiber posts. A 45-N load was applied using a 6-mm diameter of sphere on the occlusal surface.

The stress distribution pattern was affected by the type of restoration. A tooth restored with resin composite showed a high stress concentration. Stress concentration of a tooth restored with a glass fiber post was similar to a tooth restored with a quartz fiber post and lower than that of a tooth restored with a carbon fiber post. Stress concentration of teeth restored with circular fiber posts was lower than that of those restored with oval fiber posts. Stress concentration of teeth restored with 2-fiber posts was lower than that of those restored with 1-fiber post. In conclusion, restoration of C-shaped root canal teeth with two glass fiber posts or two quartz fiber posts showed low stress concentrations which could reduce the risk of tooth fracture.

ประกาศคุณูปการ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ทพญ.ดร. จารุมา ศักดิ์ดี และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม น.ต. ดร. เทียนสิริ เหลืองวิไล เป็นอย่างยิ่งที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางในการทำวิจัย อีกทั้งยังมีเมตตา ความเอาใจใส่ ให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปากเปล่าทุกท่าน อันได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ศักดิ์ เหล่าศรีสิน รองศาสตราจารย์ ดร. วีระ เลิศจิราการ อาจารย์ ทพญ.ดร. จารุมา ศักดิ์ดี นาวาอากาศตรี ดร. เทียนสิริ เหลืองวิไล ที่ช่วยตรวจทาน ให้คำแนะนำ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความถูกต้องและมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้ซึ่งให้การสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้าเสมอมา เป็นกำลังสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำการวิจัยได้สำเร็จลุล่วง

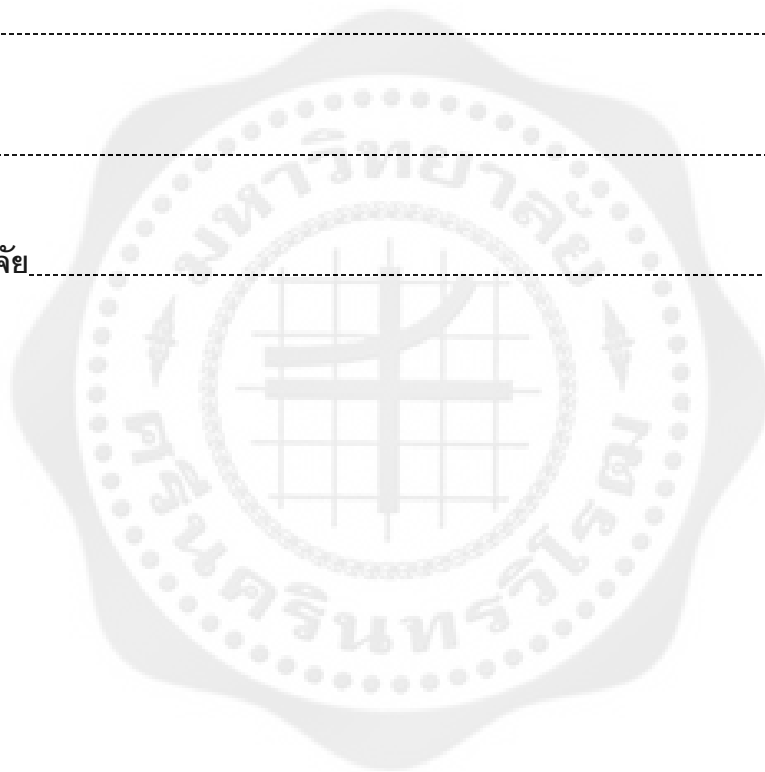
ณัฐฐา ภิญโญโสภณ

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
กรอบแนวคิดการวิจัย.....	4
สมมติฐานการวิจัย.....	4
2 บทนำ.....	5
คลองรากฟันที่มีการตัดขวางเป็นรูปอักษรซี.....	5
เดือยฟัน.....	8
แกนฟันเรซินคอมโพสิต.....	11
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	11
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	17
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	17
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	20
การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	21
4 ผลการวิจัย.....	23
ผลของชนิดของวัสดุบูรณะ.....	23
ผลของจำนวนของเดือยฟัน.....	30
ผลของรูปร่างของเดือยฟันหน้าตัดกลมและเดือยฟันหน้าตัดวงรี.....	30

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	32
อภิปรายผล.....	32
สรุปผลการวิจัย.....	36
ข้อเสนอแนะ.....	37
บรรณานุกรม.....	38
อภิธานศัพท์.....	43
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	44



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ค่าของวัสดุที่มีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก.....	21
2 ค่าของวัสดุที่มีสมบัติเป็นออร์โททรอปิก.....	22



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 การจำแนกตามลักษณะรูปร่างทางภาพตัดขวาง.....	6
2 แสดงการวัดมุมแบบ C2 โดยมุม β มากกว่า 60 องศา.....	6
3 แสดงการวัดมุมแบบ C3 โดยมุม β น้อยกว่า 60 องศา.....	7
4 แสดงการจำแนกตามภาพถ่ายรังสี.....	7
5 แบบจำลองฟันปกติและฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต.....	18
6 แบบจำลองฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยหน้าตัดกลมจำนวน 1 และ 2 อัน..	18
7 แบบจำลองฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยหน้าตัดวงรีจำนวน 1 และ 2 อัน..	19
8 แสดงตำแหน่งทิศทางของแรงที่กดลงบนบริเวณด้านบดเคี้ยว.....	20
9 ความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ.....	23
10 ภาพตัดตามแนวยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางแสดงการกระจายความเค้นหลัก สูงสุดเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ.....	25
11 ภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ.....	26
12 ความเค้นผลรวมเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ.....	27
13 ภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางแสดงการกระจายความเค้นผลรวม เมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ.....	28
14 ภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นผลรวมเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ.....	29
15 ความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลม และหน้าตัดวงรี.....	31

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การรักษาคลองรากฟันเป็นการทำให้เกิดสภาวะที่สนับสนุนให้เกิดการหายของเนื้อเยื่อรอบปลายรากฟัน ประกอบด้วยการทำคลองรากฟันให้ปราศจากเชื้อและการอุดคลองรากฟันให้เกิดความแนบสนิท ภายหลังจากการรักษาคลองรากฟันต้องมีการบูรณะฟันที่เหมาะสม เพื่อให้ฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันกลับมาทำหน้าที่ในการบดเคี้ยวได้ตามปกติ ซึ่งปัจจัยทางด้านการบูรณะฟัน ภายหลังจากการรักษาคลองรากฟันถือเป็นปัจจัยสำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง หากมีการบูรณะที่ไม่เหมาะสมสามารถส่งผลให้เกิดความล้มเหลวในการรักษาคลองรากฟันหรือเกิดการแตกหักของฟันได้ โดยได้มีการศึกษาพบว่า การบูรณะฟันภายหลังจากการรักษาคลองรากฟันมีผลต่อความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟัน จากการศึกษาของ Ray และ Trope⁽¹⁾ ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพของวัสดุอุดคลองรากฟัน คุณภาพของการบูรณะส่วนของตัวฟันและการไม่มีรอยโรครอบปลายรากฟัน โดยพิจารณาจากภาพถ่ายรังสีรอบปลายรากฟัน พบว่าฟันที่ได้รับการบูรณะส่วนของตัวฟันที่ดีมีปริมาณของฟันที่ไม่มีรอยโรครอบปลายรากฟันอยู่ที่ 80% มีปริมาณมากกว่ากรณีของฟันที่มีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ดี ซึ่งมีปริมาณของฟันที่ไม่มีรอยโรครอบปลายรากฟันอยู่ที่ 75.7% และเมื่อพิจารณาทั้งสองปัจจัยร่วมกัน พบว่ากรณีที่มีการบูรณะฟันที่ดีร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ดีมีโอกาสพบฟันที่ไม่มีรอยโรครอบปลายรากฟัน 91.4% ในทางกลับกันกรณีที่มีการบูรณะฟันที่ไม่ดีร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ไม่ดีมีโอกาสพบฟันที่ไม่มีรอยโรครอบปลายรากฟันเพียง 18.1% และในกรณีที่มีการบูรณะฟันที่ดีแต่มีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ไม่ดีมีโอกาสพบฟันที่ไม่มีรอยโรครอบปลายรากฟัน 67.6% จากการศึกษานี้จะเห็นว่าการบูรณะส่วนของตัวฟันที่ดีมีความสำคัญต่อความสำเร็จในการรักษาคลองรากฟัน เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Siqueira และ คณะ⁽²⁾ พบว่าฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันมีอัตราความสำเร็จในการรักษาโดยรวมอยู่ที่ 49.7% ซึ่งในกรณีที่มีการบูรณะฟันที่ดีร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ดีจะมีอัตราความสำเร็จในการรักษาอยู่ที่ 71% กรณีที่มีการบูรณะฟันที่ไม่ดีร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ดีมีอัตราความสำเร็จในการรักษาอยู่ที่ 65% กรณีที่ตัวฟันไม่ได้รับการบูรณะถาวรร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ดีมีอัตราความสำเร็จในการรักษาอยู่ที่ 48% กรณีที่มีการบูรณะฟันที่ดีร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ไม่ดีมีอัตราความสำเร็จในการรักษาอยู่ที่ 38% กรณีที่มีการบูรณะฟันที่ไม่ดีร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ไม่ดีมีอัตราความสำเร็จในการรักษาอยู่ที่ 25% และกรณีที่ตัวฟันไม่ได้รับการบูรณะถาวรร่วมกับการมีวัสดุอุดคลองรากฟันที่ไม่ดีจะมีอัตราความสำเร็จในการรักษาอยู่ที่ 18% อีกทั้งการบูรณะฟันที่เหมาะสมยังส่งผลถึงการคงอยู่ของฟันภายในช่องปาก ดังจะเห็นได้จากการศึกษาของ Vire⁽³⁾ พบว่าการบูรณะที่เหมาะสมส่งผลต่อการคงอยู่ของฟัน ฟันที่รับการบูรณะโดยการทำครอบฟันมีระยะเวลาการคงอยู่ในช่องปากที่นานกว่าฟันที่

ไม่ได้รับการบูรณะโดยการทำครอบฟัน โดยฟันที่ถูกลดทอนภายหลังจากการรักษาคลองรากฟันจำนวน 59.4% เกิดจากความล้มเหลวในการบูรณะฟันเกิดการแตกหักของฟัน จะเห็นได้ว่าการบูรณะฟันภายหลังจากการรักษาคลองรากฟันถือเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันมักจะมีการสูญเสียเนื้อฟันในส่วนตัวฟันไปค่อนข้างมาก เนื่องจากการมีรอยผุขนาดใหญ่การแตกหักของฟัน รวมถึงวัสดุอุดเดิมที่มีอยู่และกระบวนการในการกรอเปิดเพื่อเข้าไปรักษาคลองรากฟัน⁽⁴⁾ การบูรณะฟันจึงจำเป็นต้องมีการใส่เดือยฟันและสร้างแกนฟันเพื่อให้ครอบฟันสามารถยึดติดได้

ในปัจจุบันมีเดือยฟันให้เลือกใช้หลายชนิด โดยเดือยฟันเสริมเส้นใย (fiber-reinforced posts) เป็นชนิดที่ได้รับความนิยม ซึ่งจะประกอบไปด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน(carbon fiber post) เดือยฟันเส้นใยแก้ว (glass fiber post) และเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ (quartz fiber post) มีข้อดี คือ มีความอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟันและเมื่อใช้ร่วมกับเรซินซีเมนต์ พบว่าเกิดการกระจายความเค้นภายในรากฟันได้ดีทำให้การเกิดการแตกหักของรากฟันลดลง⁽⁵⁾ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเดือยฟันไฟเบอร์ที่มีรูปร่างหน้าตัดวงรี (oval fiber post) ซึ่งจะช่วยลดการกรอเตรียมคลองรากฟันในการใส่เดือยฟันในคลองรากฟันที่มีรูปร่างหน้าตัดวงรีและช่วยลดความหนาของชั้นเรซินซีเมนต์⁽⁶⁾ โดยการมีพื้นที่สัมผัสที่มากจะมีการกระจายความเค้นที่ดีกว่า เนื่องจากพื้นที่สัมผัสของเดือยฟันกับผนังคลองรากฟันมีผลต่อการกระจายความเค้น อีกทั้งได้มีการศึกษาพบว่าการใช้เดือยฟันเส้นใยแก้วร่วมกับเดือยฟันเสริม (accessory post) ในคลองรากฟันที่มีขนาดใหญ่จะช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงพันธะในการยึดติด (bond strength)⁽⁷⁾ นอกจากนี้ชนิดและรูปร่างของเดือยฟันที่ส่งผลต่อการกระจายความเค้นภายในรากฟัน มีการศึกษาพบว่าลักษณะรูปร่างภายนอกของรากฟัน ลักษณะรูปร่างภายในคลองรากฟันและความหนาของเนื้อฟัน สามารถส่งผลต่อตำแหน่งและทิศทางการเกิดการแตกของรากฟันได้ โดยความโค้งของคลองรากฟันจะมีผลต่อการสะสมของความเค้นมากกว่าลักษณะรูปร่างภายนอกของรากฟัน และบริเวณตำแหน่งที่มีความหนาของเนื้อฟันลดลงจะเกิดการสะสมของความเค้นตั้งในปริมาณที่มากขึ้น⁽⁸⁾

ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการศึกษาถึงการกระจายความเค้นในฟันที่ผ่านการรักษาคลองรากฟันเมื่อได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยมีการกระจายความเค้นได้ดีกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันโลหะเหวี่ยง และมีหลายการศึกษาพบว่าการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตมีการกระจายความเค้นที่ใกล้เคียงกันกับการบูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใย^(9,10) ซึ่งฟันที่มีลักษณะคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซีจะมีลักษณะของคลองรากฟันที่ซับซ้อนและมีเนื้อฟันในบางตำแหน่งที่ค่อนข้างบาง จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ เพื่อศึกษาถึงรูปแบบของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซี เมื่อมีการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตและการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปที่มีชนิดและจำนวนของเดือยฟันที่ต่างกัน โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อศึกษาถึงรูปแบบของการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซี เมื่อบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยคาร์บอน เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยแก้ว เดือยฟันสำเร็จรูปชนิดเสริมเส้นใยควอตซ์และเดือยฟันสำเร็จรูปหน้าตัดวงรีด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

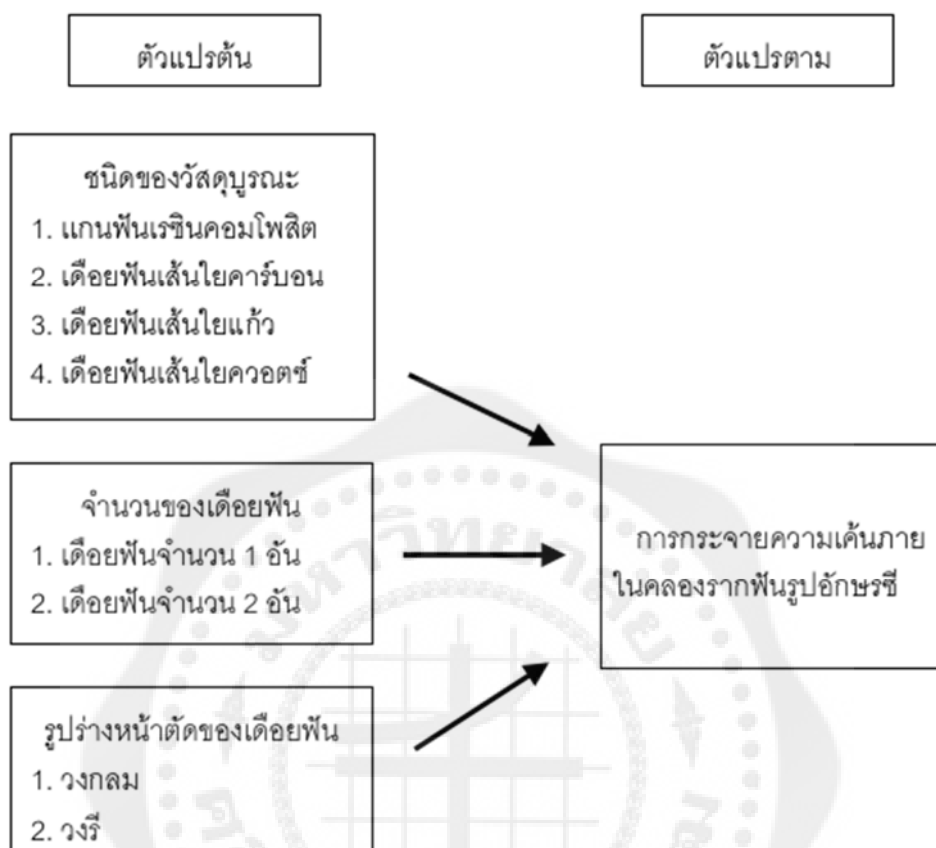
ความสำคัญของการวิจัย

ฟันที่มีคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีที่จำเป็นต้องรับการรักษาคคลองรากฟันและมีการสูญเสียเนื้อฟันเป็นจำนวนมาก ทำให้ภายหลังจากการรักษาคคลองรากฟันจำเป็นต้องทำการบูรณะฟันด้วยครอบฟันร่วมกับเดือยฟัน ซึ่งการที่มีระบบคลองรากฟันที่ซับซ้อนรวมถึงลักษณะภาพตัดขวางที่ไม่เป็นรูปวงกลม ทำให้มีผลต่อการพิจารณาเลือกชนิดของเดือยฟันว่าจะใช้เดือยฟันชนิดใดและใส่ในตำแหน่งใดของคลองรากฟัน เพื่อป้องกันการแตกหักของฟันที่อาจเกิดขึ้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายความเค้นในฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีเมื่อได้รับการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ซึ่งมีรูปร่างและจำนวนที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกการบูรณะที่เหมาะสม

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยโดยการสังเกตเชิงพรรณนา (Observational Descriptive Study) ทำการศึกษาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

กรอบแนวคิดในการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

- สมมติฐานหลัก : รูปแบบการบุรณะไม่มีผลต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟัน
- สมมติฐานรอง : รูปแบบการบุรณะมีผลต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟัน

บทที่ 2

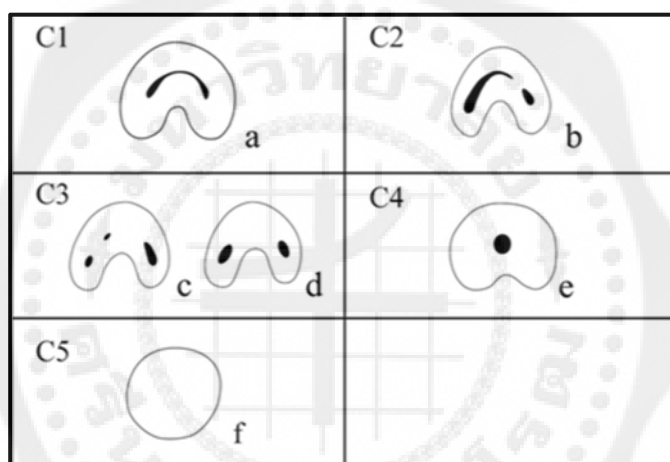
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซี

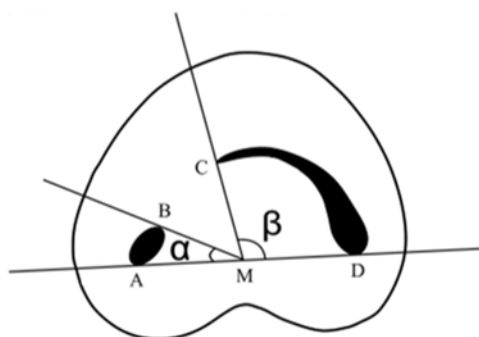
ลักษณะรูปร่างของคลองรากฟันสามารถส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของการรักษาคลองรากฟันได้ โดยเฉพาะคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีจะมีลักษณะที่ซับซ้อน ส่งผลให้ยากแก่การทำ ความสะอาดได้อย่างทั่วถึงรวมถึงการอุดคลองรากฟันให้แน่นเต็มทั้งสามมิติ ได้มีการกล่าวถึงคลองราก ฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีเป็นครั้งแรกโดย Cooke และ Cox⁽¹¹⁾ ให้คำอธิบายไว้ว่าเมื่อพิจารณา จากภาพตัดขวางคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีมีลักษณะของรูเปิดคลองรากฟัน (canal orifice) เป็นคลองรากฟันเดี่ยวที่โค้งต่อเนื่องเป็นส่วนโค้งมากกว่าหรือเท่ากับ 180 องศา โดยจะพบจาก ขอบมุมฟันด้านใกล้กลางด้านลิ้นต่อเนื่องไปทางด้านแก้มและไปสิ้นสุดที่ด้านใกล้กลางของโพรงฟัน (pulp chamber) นอกจากนี้ยังได้มีความพยายามในการจัดจำแนกชนิดของคลองรากฟันที่มี ภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซี เพื่อช่วยในการสื่อสารและการวางแผนการรักษาที่เหมาะสม เช่น Melton และคณะ⁽¹²⁾ ได้ทำการจำแนกตามลักษณะรูปร่างทางภาพตัดขวางออกเป็น 3 แบบ คือ แบบที่ 1 continuous C-shaped canal มีลักษณะโค้งต่อเนื่องจนถึงส่วนของปลายราก (ภาพประกอบ 1 : C1) แบบที่ 2 semicolon shaped canal มีรูเปิดคลองรากฟันแยกออกมาจากส่วนของคลองรากฟันรูปตัวซี 1 คลองรากฟัน (ภาพประกอบ 1 : C2) แบบที่ 3 separate canals มีลักษณะของรูเปิดคลองรากฟันที่ แยกออกจากกันเป็นจำนวน 2 คลองรากฟันหรือมากกว่า (ภาพประกอบ 1 : C3) จะสังเกตเห็นได้ว่า แบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีการจำแนกจากกันที่ไม่ชัดเจนจึงได้มีความพยายามในการจำแนกชนิดของ คลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีให้มีความชัดเจนมากขึ้น

จากการศึกษาของ Fan และคณะ⁽¹³⁾ ทำการจำแนกจากลักษณะทางกายวิภาคของ ภาพตัดขวาง โดยทำการปรับปรุงจากการจำแนกของ Melton และคณะ⁽¹²⁾ ออกได้เป็น 5 แบบ คือ แบบที่ 1 มีลักษณะโค้งต่อเนื่องเป็นรูปอักษรซีโดยไม่มีการแยกคลองรากฟัน (ภาพประกอบ 1 : C1) แบบที่ 2 มีลักษณะเป็น semicolon เกิดจากการขาดความต่อเนื่องของการรวมคลองรากฟันเป็นอักษรซี (ภาพประกอบ 1 : C2) โดยจะมีมุม α หรือ β มากกว่า 60 องศา (ภาพประกอบ 2) แบบที่ 3 มีลักษณะ 2 หรือ 3 คลองรากฟันแยกออกจากกัน (ภาพประกอบ 1 : C3) โดยจะมีมุม α หรือ β น้อยกว่า 60 องศา (ภาพประกอบ 3) แบบที่ 4 มีคลองรากฟันที่มีลักษณะเป็นวงกลมหรือวงรีเพียง 1 คลองรากฟัน (ภาพประกอบ 1 : C4) แบบที่ 5 ไม่มีรูคลองรากฟัน มักพบบริเวณที่อยู่ใกล้กับปลายรากฟัน (ภาพประกอบ 1 : C5) และในปีเดียวกัน Fan และคณะ⁽¹⁴⁾ ทำการศึกษาเพิ่มเติมและจำแนกจาก

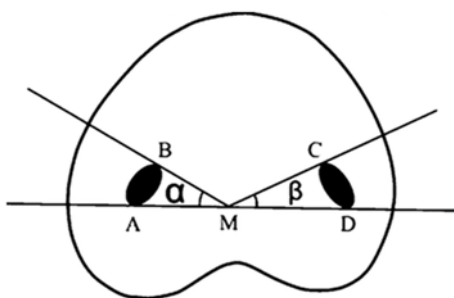
ภาพถ่ายรังสีออกได้เป็น 3 แบบ คือ แบบที่ 1 รากฟันมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยหรือรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะไม่ชัดเจนมีเส้นเงาโปร่งรังสีในแนวตามยาวแบ่งรากฟันเป็นส่วนใกล้กลางและส่วนไกลกลาง และไปรวมกันที่จุดหนึ่งก่อนที่จะออกสู่รูเปิดปลายรากฟัน (ภาพประกอบ 4 : a) แบบที่ 2 รากฟันมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยหรือรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะไม่ชัดเจนมีเส้นเงาโปร่งรังสีในแนวตามยาวแบ่งรากฟันเป็นส่วนใกล้กลางและส่วนไกลกลาง โดยคลองรากฟันด้านใกล้กลางและไกลกลางแยกออกจากกันจนถึงบริเวณปลายรากฟัน (ภาพประกอบ 4 : b) แบบที่ 3 รากฟันมีลักษณะเป็นรูปทรงกรวยหรือรูปทรงสี่เหลี่ยมที่มีลักษณะไม่ชัดเจนมีเส้นเงาโปร่งรังสีในแนวตามยาวแบ่งรากฟันเป็นส่วนใกล้กลางและส่วนไกลกลาง ซึ่งจะมีคลองรากหนึ่งที่จะมีเงาโปร่งรังสีโค้งเข้าไปซ้อนทับกับเส้นเงาโปร่งรังสีของคลองรากฟันบริเวณปลายรากฟัน (ภาพประกอบ 4 : c)



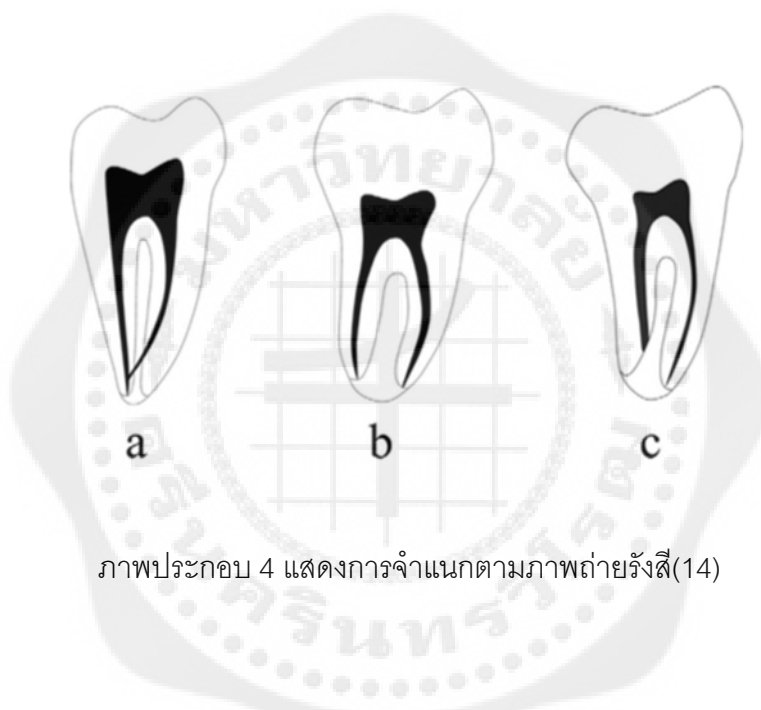
ภาพประกอบ 1 การจำแนกตามลักษณะรูปร่างทางภาพตัดขวาง⁽¹³⁾



ภาพประกอบ 2 แสดงการวัดมุมแบบ C2 โดยมุม β มากกว่า 60 องศา⁽¹³⁾



ภาพประกอบ 3 แสดงการวัดมุมแบบ C3 โดยมุม β น้อยกว่า 60 องศา⁽¹³⁾



ภาพประกอบ 4 แสดงการจำแนกตามภาพถ่ายรังสี⁽¹⁴⁾

อุบัติการณ์ในการพบฟันที่มีภาพตัดขวางคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซีพบได้ 2.7% - 8% โดยมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเชื้อชาติ พบได้มากในประชากรชาวเอเชีย สามารถพบได้ในฟันกรามล่างซี่ที่ 1 ฟันกรามบนฟันกรามน้อยล่างซี่ที่ 1 ฟันตัดหน้าบนซี่ 1 และพบมากที่สุดอยู่ในฟันกรามล่างซี่ที่ 2⁽¹⁵⁾ จากการศึกษาของ Gulabivala และคณะในปี 2001⁽¹⁶⁾ ทำการศึกษาในประชากรพม่า พบว่ามีอุบัติการณ์ของฟันที่มีภาพตัดขวางคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซีในฟันกรามล่างซี่ที่ 2 อยู่ที่ 22.4% และในปี 2002 Gulabivala และคณะ⁽¹⁷⁾ ได้ทำการศึกษาในประชากรไทย พบว่ามีอุบัติการณ์ของฟันที่มีภาพตัดขวางคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซีในฟันกรามล่างซี่ที่ 2 อยู่ที่ 10% และในฟันกรามล่างซี่ที่ 3 อยู่ที่ 11% และได้มีการศึกษาในประชากรจีนโดย Zheng และคณะ⁽¹⁸⁾ พบว่ามีอุบัติการณ์ของฟันที่มีภาพตัดขวางคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซีในฟันกรามล่างซี่ที่ 2 อยู่ที่ 38.6% ไม่ขึ้นกับปัจจัยทางด้าน

เพศ อายุและตำแหน่งของฟัน (ด้านซ้าย/ด้านขวา) โดยส่วนใหญ่จะพบว่าฟันที่มีภาพตัดขวางคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซีทั้งสองข้างในขากรรไกรคิดเป็น 81.3% และพบว่ารูเปิดคลองรากฟันส่วนใหญ่มีลักษณะภาพตัดขวางเป็นแบบ continuous C-shaped canal คิดเป็น 73% รองลงมา คือ มีลักษณะเป็น semicolon shaped canal คิดเป็น 18% และ separate canals คิดเป็น 9% และได้มีการศึกษาถึงลักษณะของคลองรากฟันเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายรังสี ทำการศึกษาด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro Computed Tomography หรือ Micro CT Scan) พบว่าแบบที่ 1 สามารถพบได้มากที่สุดคิดเป็น 40% รองลงมา คือ แบบที่ 2 และ 3 ซึ่งสามารถพบได้ในปริมาณที่เท่ากันแบบละ 30%⁽¹⁹⁾ เมื่อพิจารณาการจำแนกลักษณะของคลองรากฟันจากภาพตัดขวางร่วมกับภาพถ่ายรังสี พบว่ารากฟันในส่วนต้น (coronal third) มีลักษณะของคลองรากฟันแบบ continuous C-shaped canal ร่วมกับการมีลักษณะทางภาพถ่ายรังสีเป็นแบบที่ 1 ได้มากที่สุด⁽¹⁴⁾ และได้มีการศึกษาถึงลักษณะรูปร่างฟันที่มีภาพตัดขวางคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซี โดย Chai และ Thong⁽²⁰⁾ พบว่าผนังของคลองรากฟันบริเวณที่บางที่สุดจะมีความหนาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.58 ± 0.21 มิลลิเมตรที่บริเวณด้านลิ้นและ 0.96 ± 0.26 มิลลิเมตรที่บริเวณด้านแก้ม ดังนั้นในการทำความเข้าใจความสะอาดขยายคลองรากฟันบริเวณส่วนโค้งของตัวอักษรซีไม่ควรขยายให้มีขนาดใหญ่กว่าไฟล์ขนาด 25 เพื่อป้องกันการเกิดรูทะลุของคลองรากฟัน ส่วนคลองรากฟันไกลกลางและคลองรากฟันด้านแก้มไกลกลางสามารถทำการขยายได้ตามปกติ และกรณีที่ต้องบูรณะด้วยการใส่เดือยฟันแนะนำให้ใส่เดือยฟันที่คลองรากฟันไกลกลาง⁽¹⁵⁾

เดือยฟัน

เมื่อรักษาคลองรากฟันแล้วต้องพิจารณาบูรณะฟันให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากการทำหน้าที่ของฟันและปริมาณเนื้อฟันที่เหลืออยู่ ในกรณีที่มีการสูญเสียโครงสร้างฟันมากทำให้ผลต่อการยึดติดของครอบฟัน จำเป็นต้องใช้เดือยฟันร่วมกับครอบฟัน

โดยทั่วไปสามารถจำแนกเดือยฟันออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เดือยฟันโลหะเหวี่ยงและเดือยฟันสำเร็จรูป เดือยฟันโลหะเหวี่ยงจำเป็นต้องมีการพิมพ์ปากเพื่อลอกเลียนลักษณะภายในคลองรากฟันและผ่านขั้นตอนของการทำเดือยฟันในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะเป็นการเหวี่ยงโลหะ เหมาะสำหรับฟันที่มีการสูญเสียเนื้อฟันเป็นจำนวนมาก แต่จะมีข้อด้อยในเรื่องของความสวยงาม เนื่องจากเป็นโลหะทำให้แสงส่องผ่านไม่ได้และอาจจะแสดงสีโลหะทำให้ฟันมีสีคล้ำได้ รวมถึงคุณสมบัติของค่ามอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ที่แตกต่างกันระหว่างโลหะกับเนื้อฟัน ส่งผลให้เกิดการแตกหักของเดือยฟันและรากฟัน และสามารถเกิดการกัดกร่อนได้เมื่อสัมผัสกับโลหะชนิดกัน⁽²¹⁾ ส่วนกรณีของเดือยฟันสำเร็จรูปมีข้อดีในด้านของความสวยงามมีความต้านทานต่อการเกิดการกัดกร่อน

สามารถรีร้อยได้เมื่อเกิดความล้มเหลวในการบูรณะ สามารถยึดติดกับเนื้อฟันได้และมีความอดุสของสภาพยึดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นภายในตัวฟันได้ดี ช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน (fracture resistant) และช่วยลดการแตกหักของรากฟัน⁽²²⁾ แต่ระบบนี้จะมีข้อด้อยเนื่องจากเดือยฟันสำเร็จรูปไม่สามารถทำให้เกิดความแนบสนิทตามรูปร่างของคลองรากฟันได้ ในกรณีที่ใช้ในรากฟันที่มีขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีการใช้ซีเมนต์ (cement) ยึดติดเป็นจำนวนมาก ซึ่งซีเมนต์มีค่าความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่แตกต่างกับเนื้อฟันและเดือยฟัน อีกทั้งซีเมนต์มักจะมีการหดตัวจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization shrinkage) และการที่ชั้นของซีเมนต์มีความหนาจะเกิดการหดตัวจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันที่มากขึ้น^(7, 23) ส่งผลให้เกิดรั้วซีเมนต์บริเวณรอยต่อและเกิดความล้มเหลวในการบูรณะได้ โดยอาจพบการเกิดรอยร้าวหรือเกิดการรั้วซีเมนต์ของเชื้อแบคทีเรียเข้าไปภายในคลองรากฟัน อีกทั้งความล้มเหลวของการใช้เดือยฟันเสริมเส้นใยมักจะเป็นการหลุดออกของเดือยฟันและครอบฟันมากกว่าที่จะเกิดการแตกของรากฟัน ซึ่งมักจะเกิดในกรณีที่บูรณะด้วยเดือยฟันโลหะหยาบ นอกจากนั้นยังได้มีการศึกษาถึงผลของขนาดของเดือยฟันเสริมเส้นใย โดยการศึกษาของ Newman และคณะ⁽²²⁾ พบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของไฟเบอร์ต่อเรซินจะมีลักษณะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน ดังนั้นการใช้เดือยฟันที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟันจะลดปริมาณของซีเมนต์และช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Latempa และคณะ⁽⁷⁾ ว่าการใช้เดือยฟันที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟันจะช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันและการใช้เดือยฟันที่มีขนาดเล็กกว่าคลองรากฟันร่วมกับเดือยฟันเสริมจะช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงพันธะในการยึดติดแต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน

ในกรณีที่โครงสร้างเนื้อฟันในส่วนของรากฟันเหลืออยู่น้อยได้มีการแนะนำให้ใช้เดือยฟันเส้นใยคาร์บอนหรือเดือยฟันเส้นใยแก้ว เนื่องจากมีค่าความยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นภายในรากฟันได้ดี ลดการเกิดการแตกหักของรากฟัน⁽²⁴⁾ จากการศึกษาของ Fredriksson และคณะ⁽²¹⁾ ทำการศึกษาในผู้ป่วยที่ได้รับการบูรณะฟันด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนเป็นระยะเวลา 2-3 ปี โดยทำการตรวจทางคลินิกและภาพรังสี พบว่าฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีลักษณะเหมือนกันกับฟันในกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นฟันที่เดียวกันหรือฟันที่มีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกันในชากรรไกรฝังตรงข้าม มีสภาพเหงือกเป็นปกติ ไม่มีการแตกหรือหลุดออกของเดือยฟันไม่พบการแตกของรากฟัน จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนให้ผล การรักษาที่ดี สามารถนำมาใช้ในการบูรณะฟันได้ แต่จะมีข้อด้อยในเรื่องของความสวยงาม

จากการศึกษาของ ซินาลัย ปิยะชน และคณะ⁽²⁵⁾ ทำการศึกษาการกระจายความเค้นในคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีเมื่อได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันสำเร็จรูปไทเทเนียม เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ทดสอบภายใต้แรง 100 นิวตัน ใน 5 ทิศทาง พบว่าความเค้นเกิดขึ้นที่เดือยฟันเส้นใยแก้ว เดือยฟันโลหะไทเทเนียมและเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 586, 616 และ 652 เมกกะปาสคาล ตามลำดับ ส่วนความเค้นที่เกิดภายในชั้นเนื้อฟันบริเวณปลายรากของทุกกลุ่มใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-90 เมกกะปาสคาล ค่าของความเค้นในชั้นเนื้อฟันบริเวณปลายรากของกลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วเท่ากับ 50 เมกกะปาสคาล ซึ่งน้อยกว่า ที่พบในกลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยฟันโลหะไทเทเนียมและเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน จากการศึกษานี้จะ เห็นได้ว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วมีความเค้นสะสมในวัสดุเดือยฟันเป็นปริมาณน้อยกว่าเดือยฟันโลหะไทเทเนียมและเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน

เดือยฟันที่มีลักษณะของหน้าตัดเป็นรูปวงรีจัดเป็นเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นซิลิกา มีข้อดีในด้านของความสวยงาม เนื่องจากคลองรากฟันส่วนใหญ่มักจะมีรูปร่างเป็นวงรี ทำให้เดือยฟันที่ลักษณะของหน้าตัดเป็นรูปวงรีมีขนาดที่พอดีกับคลองรากฟันช่วยลดความหนาของชั้นซีเมนต์และลดการกรอแต่งคลองรากฟันด้วยหัวกรอ ในการเตรียมช่องว่างในคลองรากฟันจะใช้หัวอัลตราโซนิคส์ (ultrasonic tip) ที่มีขนาดพอดีกับเดือยฟันในการแต่งคลองรากฟัน^(6, 26) จากการศึกษาของ Coniglio และคณะ⁽²⁷⁾ พบว่าค่าความแข็งแรงพันธะผลึกออกของเดือยฟันที่มีหน้าตัดกลมและเดือยฟันที่มีหน้าตัดวงรีมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และได้มีการศึกษาถึงการกระจายความเค้นโดยการศึกษาของ Er และคณะ⁽⁶⁾ พบว่ารูปร่างของเดือยฟันมีผลต่อการกระจายความเค้นที่บริเวณระหว่างเดือยฟันและเนื้อฟัน โดยเดือยฟันหน้าตัดวงรีเกิดการกระจาย ความเค้นดีกว่า ขณะที่เดือยฟันหน้าตัดกลมเกิดการสะสมของความเค้น (stress) ที่บริเวณระหว่างเดือยฟันและเนื้อฟันเป็นปริมาณสูงกว่าเดือยฟันหน้าตัดวงรี ทำให้เดือยฟันหน้าตัดกลมมีความเสี่ยงที่จะเกิดการหลุดของเดือยฟันในลักษณะของการแตกหักระหว่างชั้นเรซินซีเมนต์กับเนื้อฟัน (adhesive failure) และการแตกหักในเนื้อเรซินซีเมนต์ (cohesive failure) สูงกว่าเดือยฟันหน้าตัดวงรี ส่วนในแง่ของความต้านทานต่อการแตกหักของฟันได้มีการศึกษาของ Uzun และคณะ⁽²⁸⁾ พบว่าค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟันเมื่อทำการบูรณะด้วยเดือยฟันหน้าตัดกลมและเดือยฟันหน้าตัดวงรีมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากชนิดและรูปร่างของเดือยฟันที่ส่งผลต่อการกระจายความเค้นภายในรากฟัน จากการศึกษาของ Lertchirakarn และคณะ⁽⁸⁾ พบว่าลักษณะรูปร่างภายนอกของรากฟัน ลักษณะรูปร่างภายในคลองรากฟันและความหนาของเนื้อฟัน สามารถส่งผลต่อตำแหน่งและทิศทางการเกิดการแตกของรากฟันได้ โดยความโค้งของคลองรากฟันจะมีผลต่อการสะสมของความเค้นมากกว่าลักษณะรูปร่างภายนอกของรากฟัน และบริเวณตำแหน่งที่มีความหนาของเนื้อฟันลดลงจะเกิดการสะสมของความเค้นดิ่งในปริมาณที่มากขึ้น ดังนั้นบริเวณที่คลองรากฟันมีความโค้งและเนื้อฟันบางจะเป็นตำแหน่งที่เกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณมาก ถือเป็นตำแหน่งที่มีความเสี่ยงในการเกิดการแตกของรากฟันได้

แกนฟันเรซินคอมโพสิต

เนื่องจากวัสดุเรซินคอมโพสิตมีค่ามอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นภายในตัวฟันได้ดีเมื่อมีการรับแรง จึงได้เกิดความพยายามที่จะเพิ่มความแข็งแรงให้กับรากฟันโดยการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตใส่ในคลองรากฟัน ได้มีการศึกษาพบว่าการบูรณะฟันโดยการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตใส่ในคลองรากฟันจะเกิดการกระจายความเค้นภายในรากฟันใกล้เคียงกับฟันที่ได้รับการบูรณะโดยการใช้เดือยฟันเสริมเส้นใย^(9, 10) และได้มีการศึกษาพบว่าการบูรณะฟันโดยการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตใส่ในคลองรากฟันสามารถช่วยเพิ่มค่าต้านทานต่อการแตกหักได้ โดยการศึกษาของ Wilkinson และคณะ⁽²⁹⁾ พบว่าฟันที่ได้รับการบูรณะโดยการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตเข้าไปในส่วนของคลองรากฟันและใช้เป็นส่วนวัสดุบูรณะในส่วนของรูเปิดเข้าสู่คลองรากฟันมีค่าต้านทานต่อการแตกหักมากกว่าการอุดคลองรากฟันด้วยวัสดุอุดกัตตาเปออร์ซาร่วมกับการใช้วัสดุเรซินคอมโพสิตเป็นส่วนวัสดุบูรณะในส่วนของรูเปิดเข้าสู่คลองรากฟันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามวัสดุเรซินคอมโพสิตจะมีการหดตัวจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจึงได้มีคำแนะนำให้เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติในการบ่มร่วม (dual-cured) และให้ใส่วัสดุเป็นชั้นๆ เพื่อให้เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชันอย่างสมบูรณ์และลดการหดตัวของวัสดุที่สามารถเกิดขึ้นได้⁽¹⁰⁾

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุสามารถทำได้หลายวิธี โดย Al-Omiri และคณะ⁽³⁰⁾ ได้ทำการศึกษารวบรวมวิธีการที่ใช้ทดสอบการกระจายแรงและความต้านทานการแตกหักของฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟัน โดยยังไม่มีวิธีการใดที่สามารถจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นภายในช่องปากได้ทั้งหมด วิธีการทดสอบที่ได้รับความนิยมประกอบไปด้วย 3 วิธี คือ

1. การทดสอบทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory experimental) เป็นการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลนิยมนำมาใช้ในการทดสอบแรงที่ทำให้เกิดการแตกหัก โดยจะทำการศึกษาในพันธอน พันที่นิยมนำมาใช้ศึกษา ได้แก่ พันหน้าและพันธกรามน้อย แรงที่ใช้ในการทดสอบอาจจะเป็นแรงคงที่ที่มีการกำหนดมุมในการใส่แรงหรือการใช้แรงซ้ำไปซ้ำมา (cyclic loading) ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกับแรงที่เกิดจากการบิดเคี้ยวภายในช่องปาก ซึ่งจะมีลักษณะของแรงหลายทิศทาง

2. การวิเคราะห์ด้วยโฟโตอิลาสติก (Photoelastic analysis) เป็นการศึกษาถึงผลของการบวมระด้วยเดือยฟันและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการกระจายความเค้นภายใน โฟโตอิลาสติกเป็นคุณสมบัติความโปร่งแสงของวัสดุที่จะแสดงรูปแบบของสีเมื่อได้รับแรงกระทำภายใต้แสงโพลาไรส์ (polarized light) ซึ่งการวิเคราะห์สร้างแบบจำลองในลักษณะ 3 มิติไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจากการสร้างแบบจำลองทำยากและมีราคาแพง อีกทั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติโฟโตอิลาสติกมีลักษณะที่แตกต่างกับโครงสร้างฟันและการสร้างแบบจำลองให้ประกอบไปด้วยวัสดุหลายชนิดทำได้ยาก

3. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis/FEA, Finite element method/FEM) ใช้ในการทดสอบกระจายของความเค้นที่เกิดขึ้นภายใน มีการสร้างแบบจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์สามารถกำหนดค่าของวัสดุแต่ละชนิดและลักษณะของแรง แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถจำลองสถานการณ์ที่เกิดขึ้นทางคลินิกได้ทั้งหมด

ความล้มเหลวในการบวมระด้วยเดือยฟันมักจะเกิดการแตกหรือหลุดออกของเดือยฟันสาเหตุมักจะเกิดจากความล้มเหลวในการยึดติดโดยเฉพาะในส่วนปลายของเดือยฟัน การเกิดช่องว่างภายในระหว่างพื้นผิวของเดือยฟันและผนังคลองรากฟัน การรั่วซึมและการหดตัวจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งสาเหตุเหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพความสามารถทันตแพทย์ ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการศึกษาถึงคุณสมบัติของวัสดุแต่เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีปัจจัยของทันตแพทย์ผู้ทำการรักษามาเกี่ยวข้อง จึงถือเป็นวิธีการทดสอบที่สามารถนำมาใช้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุและการกระจายแรงที่เกิดขึ้นภายในวัสดุได้อย่างน่าเชื่อถือ⁽⁶⁾

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์ และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองโครงสร้างของวัตถุ และแบ่งสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นส่วนย่อยเล็กๆ เรียกว่า เอลิเมนต์ (element) ซึ่งมักจะอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยม บริเวณจุดตัดของเส้นกรอบเอลิเมนต์ เรียกว่า จุดต่อ (Node) และจะต้องมีการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ (Young's modul) เช่น ค่ามอดูลัสของยัง (parameters) และค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's ratio) จากนั้นจะทำการสร้างฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบ (อุณหภูมิ ความเค้น ความเร็ว) ที่จุดต่อเหล่านั้นพร้อมๆกัน โดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์แทนที่จะแก้สมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งต้องใช้เวลามากกว่าจะหาคำตอบได้ครบทุกจุด⁽⁶⁾ ในกรณีวัสดุมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก (isotropic) คือ วัสดุไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับแรงจะสามารถ

กำหนดค่ามอดูลัสของยังและค่าอัตราส่วนของปัวซองของวัสดุได้เลย แต่ในกรณีที่วัสดุมีสมบัติเป็นออร์โธโทรปิก(orthotropic) คือ วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับแรง ทำให้วัสดุมีสมบัติที่แตกต่างกันเมื่อได้รับแรงจากทิศทางที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องใส่ค่ามอดูลัสของยัง ค่าอัตราส่วนของปัวซอง และค่ามอดูลัสของแรงเฉือน (shear modulus) ของแนวแกน X Y และ Z⁽¹⁰⁾ นอกจากนี้ค่าที่จำเพาะของวัสดุแต่ละชนิดแล้วจำเป็นต้องมีการจำลองลักษณะรูปร่างให้เหมือนกับวัสดุที่ต้องการทดสอบ โดยต้องกำหนดค่าและใส่ข้อมูลต่างๆเข้าไปในโปรแกรม ซึ่งหากกำหนดค่าและรูปร่างได้ไม่เหมือนกับวัสดุที่ต้องการทดสอบจะมีผลทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจำลองลักษณะของวัสดุให้เหมือนจริงมากที่สุด

ในการทำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอน คือ⁽³¹⁾

1. กระบวนการขั้นต้น (Pre-processor) คือ การสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมากบนรูปร่างลักษณะของแบบจำลองที่กำหนด โดยแบบจำลองจะต้องกำหนดลักษณะให้เหมือนกับลักษณะของสิ่งที่ต้องการศึกษาให้มากที่สุด เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในการทำที่ค่อนข้างนาน โดยเฉพาะกรณีทีรูปร่างของแบบจำลองมีความซับซ้อน ผู้สร้างแบบจำลองต้องมีประสบการณ์ในการใช้ซอฟต์แวร์จึงจะสามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เริ่มตั้งแต่การสร้างจุดเส้นตรง เส้นโค้งรวมทั้งลักษณะของพื้นผิว โดยข้อมูลของจุด เส้นตรง เส้นโค้ง และพื้นผิวจะถูกเก็บในรูปแบบของสมการทางเลขาคณิตในหน่วยความจำในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะต้องมีการกำหนดชนิดของเอลิเมนต์ จำนวนของเอลิเมนต์ ขนาดของเอลิเมนต์และตำแหน่งของจุดต่อ⁽³²⁾ รายละเอียดเหล่านี้ปกติจะไม่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ยกเว้นต้องการให้แสดงเพื่อการตรวจสอบหลังจากการสร้างแบบจำลองเสร็จสิ้นลง ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต อันประกอบไปด้วยการกำหนดค่าให้กับบางจุดต่อเงื่อนไขของขอบเขตเหล่านี้จำเป็นต้องเหมือนหรือใกล้เคียงกับของจริงให้มากที่สุด จึงจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยการสร้างแบบจำลองสามารถจำลองภาพได้จากการนำภาพถ่ายดิจิทัลมาเข้าโปรแกรมเพื่อสร้างภาพขึ้น เช่น โปรแกรมอิมเมจเจ (Image J software)⁽¹⁰⁾

2. กระบวนการวิเคราะห์ (Analysis) คือ กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆของรูปแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดในขั้นตอนแรกถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมจะสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหาที่ต้องการศึกษาสำหรับทุกเอลิเมนต์ก่อนที่จะนำมาประกอบกันเป็นระบบสมการรวมขนาดใหญ่ โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนเอลิเมนต์ทั้งหมด หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear Partial Differential Equations) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้เพียงครั้งเดียว ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณไม่มาก แต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นไม่ได้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (Nonlinear) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำหลายรอบ ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้น โดยเฉพาะกรณีทีแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ประกอบด้วยเอลิเมนต์เป็นจำนวนมาก

3. กระบวนการขั้นท้าย (Post-processor) คือ การแสดงผลที่ได้จากกระบวนการวิเคราะห์ ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์จะประกอบด้วยตัวเลขเป็นจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก (Computer Graphic) เป็นตัวช่วยในการแสดงผล โดยเฉพาะกราฟิกส์⁽³¹⁾ เพื่อแสดงตัวเลขจำนวนมากเหล่านี้ออกมาบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน ซึ่งรูปแบบของการแสดงผลนั้นมีหลายชนิด เช่น การแสดงด้วยแถบเส้น สี (Fringe Plot) การแสดงด้วยเส้นชั้นสี (Contour Lines) การแสดงด้วยเวกเตอร์ (Vector Plot) เป็นต้น ทั้งบนรูปทรงเดิมหรือรูปทรงที่เสียรูปไปแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงอย่างรวดเร็ว ทำให้เข้าใจในปัญหานั้นได้อย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น ช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาและช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีข้อดีว่าการศึกษาทางห้องปฏิบัติการอื่นๆ เนื่องจากสามารถกำหนดความซับซ้อนของระบบคลองรากฟันสามารถเปลี่ยนแปลงค่าของวัสดุ สามารถกำหนดความหนาของรากฟันและปัจจัยต่างๆที่ต้องการควบคุมและสามารถทำซ้ำได้ อย่างไรก็ตามสมบัติของวัสดุ แรงที่ใช้ในการทดสอบและแบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่สามารถแสดงถึงลักษณะที่เกิดขึ้นจริงทางคลินิกได้ทั้งหมด ถือเป็นข้อด้อยของวิธีการศึกษานี้⁽³⁰⁾

การศึกษาทางทันตกรรมหลายการศึกษาที่นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาทำการทดสอบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในฟันเมื่อทำการบูรณะด้วยเดือยฟันชนิดต่างๆ กัน โดยจะมีการศึกษาทั้งในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ อย่างเช่นการศึกษาของ Brito-Júnior และคณะ⁽¹⁰⁾ ทำการศึกษาการกระจายความเค้นในฟันที่มีการจำลองให้มีลักษณะของปลายรากเปิด โดยการสร้างแบบจำลอง 2 มิติจากภาพถ่ายดิจิตอลในแนวตัดขวางแนวแกม-ลันแล้วนำมาเข้าโปรแกรมอิมเมจเจเพื่อสร้างภาพ นำภาพที่ได้วิเคราะห์การกระจายความเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยให้แรง 100 นิวตัน ในทิศทางทำมุม 45 องศากับแนวแกนฟัน กำหนดให้วัสดุทุกชนิดในแบบจำลองมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก ยกเว้นเดือยฟันเสริมเส้นใยมีสมบัติเป็นออร์โททรอปิก ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วยวัสดุอุดกัตตาเปอร์ชาเกิดการสะสมของความเค้นที่บริเวณเนื้อฟันในส่วนต้นและส่วนกลางของรากฟันและที่บริเวณผิวรากฟันด้านลิ้นเกิดการสะสมของความเค้นดึง (tensile stress) เป็นปริมาณมาก ส่วนกลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วยเรซินคอมโพสิตและกลุ่มที่บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยมีค่าการกระจายความเค้นที่ใกล้เคียงกัน โดยจะเกิดการสะสมของความเค้นที่บริเวณคอฟันแต่เป็นปริมาณที่ต่ำกว่ากลุ่มที่อุดคลองรากฟันด้วยวัสดุอุดกัตตาเปอร์ชา

ปัจจุบันได้มีความพยายามการศึกษาในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อให้ได้ลักษณะที่ใกล้เคียงกับฟันมากที่สุด อย่างเช่นการศึกษาของ Chatvanitkul และ Lertchirakarn⁽⁹⁾ นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ทำการศึกษารกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันกรามน้อยที่มีลักษณะของรากฟันที่โค้งที่ระดับ 15 30 และ 45 องศา โดยมีการจำลองให้ฟันฝังอยู่ในกระดูกที่ระดับต่ำกว่าบริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (cemento-enamel junction) เป็นระยะ 2 มิลลิเมตรและมีเอ็นยึดปริทันต์ที่

มีความหนา 200 ไมโครเมตร แบ่งการศึกษาออกเป็น 5 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ฟันปกติไม่ได้รับการรักษา คลองรากฟันเป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 2-5 เป็นฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟันมีวัสดุอุดคลองรากฟัน เป็นกัตตาเปอร์ซาลออยู่ที่บริเวณปลายราก 4-5 มิลลิเมตรและได้รับการบูรณะที่แตกต่างกัน กลุ่มที่ 2 บูรณะด้วยวัสดุอุดเรซินคอมโพสิต กลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้อง (porcelain fused to metal crown) ร่วมกับแกนฟันเรซินคอมโพสิต กลุ่มที่ 4 บูรณะด้วยครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องร่วมกับเดือยฟันเส้นใยแก้วและแกนฟันเรซินคอมโพสิต กลุ่มที่ 5 บูรณะด้วยครอบฟันโลหะเคลือบกระเบื้องร่วมกับเดือยฟันและแกนฟันหล่อโลหะ สร้างแบบจำลองโดยการนำฟันกรามน้อยล่างที่ 2 มีรากตรงและเป็นฟันถอนมาสแกนลักษณะพื้นผิวภายนอก (structured light optical scanner) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ปรับแต่งให้รากฟันโค้งตามที่ยอกแบบไว้ ซึ่งการศึกษานี้ไม่ได้คำนึงถึงผลของเคลือบรากฟันเนื่องจากเป็นชั้นที่บางและมีความอดุลล์ของสภาพยึดหยุ่นที่ใกล้เคียงกับเนื้อฟัน กำหนดให้วัสดุทุกชนิดในแบบจำลองมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิกยกเว้นเดือยฟันเส้นใยแก้ว ให้แรงในทิศทางทำมุม 60 องศากับแนวแกนฟันที่บริเวณสันสามเหลี่ยมของปุ่มฟันด้านแก้มด้วยแรง 50 นิวตัน พบว่าเมื่อรากฟันมีความโค้งมากขึ้นจะทำให้เกิดการสะสมของความเค้นที่มากขึ้นในรากฟันส่วนต้นที่บริเวณตำแหน่งโค้งเว้าของรากฟันการบูรณะด้วยวิธีต่าง ๆ มีการกระจายและการสะสมของความเค้นที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีของการบูรณะด้วยเดือยฟันและแกนฟันหล่อโลหะเกิดการกระจายของความเค้นและการสะสมของความเค้นที่แตกต่างจากการบูรณะด้วยวิธีอื่น โดยจะเกิดความเค้นดิ่งสูงที่บริเวณส่วนของปลายเดือยฟัน และจากการศึกษาของ Bessone และ Fernandez⁽³³⁾ นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาใช้ทำการศึกษการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันซี่บนเมื่อทำการบูรณะด้วยเดือยฟันไทเทเนียม เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ ใส่แรงที่มีทิศทางทำมุม 45 องศา กับแกนฟัน ผลการศึกษาพบว่าเกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณมากภายในเดือยฟันไทเทเนียม รองลงมา คือ เดือยฟันเส้นใยควอตซ์และเดือยฟันเส้นใยแก้วมีการสะสมของความเค้นภายในเดือยฟันน้อยที่สุด โดยการกระจายความเค้นภายในฟันที่บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วมีค่าใกล้เคียงกับฟันปกติ จะเห็นได้ว่าชนิดของเดือยฟันสามารถส่งผลถึงการกระจายความเค้น และได้มีการศึกษาถึงผลของจำนวนของเดือยฟัน โดยการศึกษาของ Maceri และคณะ⁽³⁴⁾ สร้างแบบจำลอง 3 มิติของฟันกรามน้อยล่าง เพื่อศึกษาการกระจายความเค้นเมื่อได้รับการบูรณะด้วยเดือยโลหะเหวี่ยง เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนจำนวน 1 2 และ 3 เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งเป็นฟันปกติ ผลการศึกษาพบว่าการบูรณะด้วยเดือยโลหะเหวี่ยงมีการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณมากที่บริเวณรอยต่อของเดือยฟันและเนื้อฟัน ขณะที่การบูรณะด้วยเดือยฟันหลายอันจะมีรูปแบบการกระจายความเค้นที่ใกล้เคียงกับฟันปกติและช่วยลดการสะสมของความเค้นที่บริเวณเนื้อฟัน ซึ่งจะช่วยลดการแตกหักของรากฟัน แต่พบว่าเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนหลายอันจะมีการสะสมของความเค้นที่บริเวณรอยต่อที่มากกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนอันเดียว ซึ่งเดือยฟันเส้นใยแก้วจะเกิดการสะสมของความเค้นที่บริเวณรอยต่อได้น้อยกว่า

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาถึงผลของลักษณะรูปร่างของเดือยฟัน โดยการศึกษาของ Er และคณะ⁽⁶⁾ ทำการศึกษาถึงผลของลักษณะรูปร่างของเดือยฟันต่อการกระจายความเค้นในฟันกรามน้อยล่างโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยในแบบจำลองประกอบไปด้วยครอบฟันกระเบื้อง (porcelain crown) เนื้อฟัน แกนฟันเรซินคอมโพสิต ชั้นซีเมนต์ระหว่างครอบฟันและแกนฟัน ชั้นซีเมนต์ระหว่างเนื้อฟันและเดือยฟัน กระดูกเนื้อแน่น (cortical bone) กระดูกเนื้อโปร่ง (spongy bone) วัสดุอุดคลองรากฟันกัตตาเปอร์ชา เดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีหน้าตัดวงรีและกลมซึ่งเป็นเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ โดยเดือยฟันเสริมเส้นใยที่มีหน้าตัดวงรีและกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่บริเวณปลายเดือยฟัน 1.1 มิลลิเมตร กำหนดให้ชั้นซีเมนต์ระหว่างครอบฟันและแกนฟันและชั้นซีเมนต์ระหว่างเนื้อฟันและเดือยฟันมีความหนา 200 ไมโครเมตร ให้แรง 300 นิวตันในทิศทางทำมุม 45 องศาับระนาบการบดเคี้ยวไปทางด้านแก้ม ในการศึกษาไม่ได้คำนึงถึงผลของเอ็นยึดบริทันต์ เนื่องจากเป็นชั้นที่บางและทำให้เกิดการเสีรูปร่างของเอลิเมนต์ได้ และกำหนดให้วัสดุทุกชนิดในแบบจำลองมีสมบัติเป็นไอโซโทรปิกและทำการศึกษาในรูปแบบเชิงเส้น ผลการศึกษาพบว่าเกิดการสะสมของความเค้นที่รากฟันในส่วนต้นบริเวณเนื้อฟันที่อยู่ใกล้กับเดือยฟันของเดือยฟันที่มีหน้าตัดกลมมากกว่าเดือยฟันที่มีหน้าตัดวงรี

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

นำฟันกรามล่างซี่ที่ 2 ที่ถูกถอนของมนุษย์ศึกษาโครงสร้างและรายละเอียดภายในด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร (Micro Computed Tomography หรือ Micro CT Scan) ด้วยเครื่องสกายสแกน (SkyScan1173) ซึ่งจะสามารถจำลองข้อมูลออกมาเป็นภาพ 3 มิติ โดยจะทำการคัดเลือกฟันที่มีลักษณะภาพตัดขวางบริเวณรากฟันส่วนต้นเป็นคลองรากฟันโค้งต่อเนื่องเป็นรูปอักษรซี โดยไม่มีการแยกคลองรากฟันและมีลักษณะของคลองรากฟันเมื่อพิจารณาจากภาพถ่ายรังสีเป็นแบบที่ 1 โดยจะมีการแยกของคลองรากฟันที่บริเวณกึ่งกลางของรากฟัน ซึ่งเป็นลักษณะที่สามารถพบได้บ่อย⁽¹⁴⁾

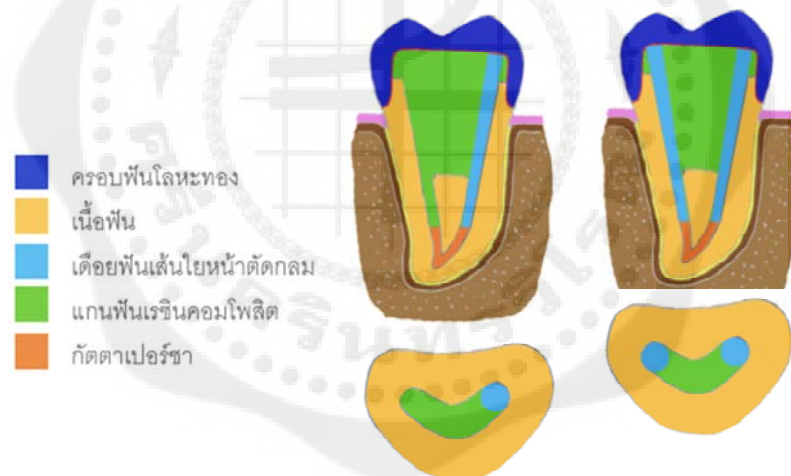
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

นำภาพ 3 มิติที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระดับไมโครเมตร โดยเลือกสกุลของภาพที่ได้ให้เป็นเอสทีแอล (STL) และนำไปเข้าโปรแกรมโซลิดเวิร์คส์ (SolidWorks, 2016: English) เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยฟันจะฝังอยู่ในกระดูกเนื้อแน่นและกระดูกเนื้อโปร่งที่ระดับต่ำกว่าบริเวณรอยต่อระหว่างเคลือบฟันกับเคลือบรากฟัน (cementoenamel junction) เป็นระยะทาง 2 มิลลิเมตรและมีเส้นยึดปริทันต์ที่มีความหนา 200 ไมโครเมตร(9) ส่วนประกอบของแบบจำลองฟันจะประกอบไปด้วยฟันที่ได้รับการรักษาคลองรากฟัน โดยได้รับการขยายคลองรากฟันด้วย Protaper Universal ขนาด F2 และมีวัสดุอุดคลองรากฟันกัตตาเปอร์ฮาอูอยู่ที่บริเวณปลายราก 4 มิลลิเมตร และประกอบด้วยแบบจำลอง 10 แบบ (ภาพประกอบ 5-7) คือ

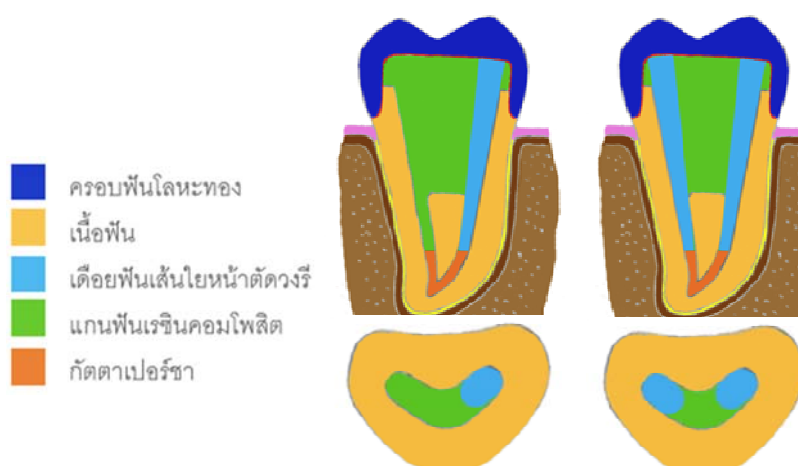
- | | | |
|-----------|---|-------------|
| แบบที่ 1 | ฟันปกติ | |
| แบบที่ 2 | บูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต | |
| แบบที่ 3 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนหน้าตัดกลม | จำนวน 1 อัน |
| แบบที่ 4 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนหน้าตัดกลม | จำนวน 2 อัน |
| แบบที่ 5 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วหน้าตัดกลม | จำนวน 1 อัน |
| แบบที่ 6 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วหน้าตัดกลม | จำนวน 2 อัน |
| แบบที่ 7 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลม | จำนวน 1 อัน |
| แบบที่ 8 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลม | จำนวน 2 อัน |
| แบบที่ 9 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยรูปร่างหน้าตัดวงรี | จำนวน 1 อัน |
| แบบที่ 10 | บูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยรูปร่างหน้าตัดวงรี | จำนวน 2 อัน |



ภาพประกอบ 5 ภาพวาดแสดงภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันที่มีคลองรากฟันรูปอักษรซี โดยภาพซ้าย คือ ฟันปกติ และภาพขวา คือ ฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต



ภาพประกอบ 6 ภาพวาดแสดงภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันที่มีคลองรากฟันรูปอักษรซีเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน เดือยฟันเส้นใยแก้ว เดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมจำนวน 1 อัน (ภาพซ้าย) และ 2อัน (ภาพขวา)



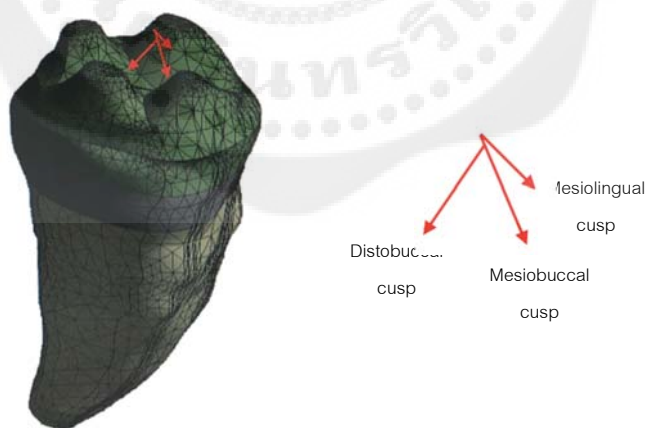
ภาพประกอบ 7 ภาพวาดแสดงภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันที่มีคลองรากฟันรูปอักษรซีเมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันไฟเบอร์หน้าตัดวงรีจำนวน 1 อัน (ภาพซ้าย) และ 2 อัน (ภาพขวา)

เดือยฟันเส้นใยคาร์บอน เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนปลายอยู่ที่ 0.6 มิลลิเมตร เป็นรูปทรงกรวยมีความผาย 6% และเดือยฟันเส้นใยรูปร่างหน้าตัดวงรี (ELLIPSON™ POST,RTD/Satelec, Merigcac, France) ซึ่งมีชนิดของเส้นใยเป็นเส้นใยควอตซ์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนปลาย 0.6 มิลลิเมตร มีความกว้างและความหนา 1.8 และ 1.1 มิลลิเมตร ตามลำดับใช้พานาเวียร์ (PANAVIA™, Kuraray, Japan) เป็นเรซินซีเมนต์ในการยึดติดเดือยฟัน โดยมีการยึดติดอย่างสมบูรณ์ระหว่างเรซินซีเมนต์กับเดือยฟันและเนื้อฟันบูรณะในส่วนตัวฟันด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตและครอบฟันโลหะทอง (Gold crown) กำหนดให้ชั้นสวาร์ยึดติดระหว่างแกนฟันและครอบฟัน (Variolink® II+Heliobond, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) มีความหนา 200 ไมโครเมตร⁽⁶⁾ นำแบบจำลองที่ได้มาวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (ANSYS ver 17; ANSYS Inc., Canonsburg, PA, USA) โดยมีการกำหนดค่ามอดูลัสของยังและค่าอัตราส่วนของปัวซองของวัสดุที่มีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก (ตาราง 1) และค่ามอดูลัสของยัง ค่าอัตราส่วนของปัวซองและค่ามอดูลัสของแรงเฉือนของวัสดุที่มีสมบัติเป็นออร์โททรอปิก (ตาราง 2) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการทดสอบคอนเวอร์เจนซ์ (Convergence test) โดยให้มีค่าไม่เกิน 6%⁽³⁵⁾ เอลิเมนต์ที่ใช้มีรูปร่างเป็นปริมาตรฐานสามเหลี่ยม (tetrahedral) แต่ละแบบจำลองมีจำนวนของเอลิเมนต์ที่แตกต่างกัน โดยมีจำนวนมากที่สุดอยู่ที่ 956,111 เอลิเมนต์และมีจำนวนจุดต่อมากที่สุด 1,400,913 จุด และใช้แอดวานซ์ฟังก์ชันเคิร์ฟเวเจอร์ (advanced function curvature) มุม 30 องศา ทำการศึกษาโดยการให้แรงขนาด 45 นิวตัน บริเวณด้านบดเคี้ยวด้วยหัวกดรูปร่างทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรใน

ทิศทางการหมุน 45 องศา กับพื้นเอียง (inclined plane) ของปุ่มฟันใกล้กลางใกล้แก้ม พื้นเอียงของปุ่มฟันใกล้กลางใกล้แก้มและพื้นเอียงของปุ่มฟันใกล้กลางใกล้ลิ้น⁽³⁶⁾ ดังแสดงในภาพประกอบ 8 และกำหนดให้กระดูกที่อยู่ล้อมรอบรากฟันมีตำแหน่งที่คงที่ ทำการศึกษาเปรียบเทียบ เพื่อบ่งชี้การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อบดเคี้ยวด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันทั้ง 3 ชนิด จำนวน 1 และ 2 ชั้น โดยเปรียบเทียบผลของการบดเคี้ยวแบบต่างๆ ออกเป็น 3 ส่วน คือ

- เปรียบเทียบผลของชนิดของการบดเคี้ยวต่อการกระจายความเค้น ได้แก่ การบดเคี้ยวด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต และการบดเคี้ยวด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมจำนวน 1 และ 2 ชั้น
- เปรียบเทียบผลของจำนวนของเดือยฟันต่อการกระจายความเค้น ได้แก่ การบดเคี้ยวด้วยเดือยฟันเส้นใยชนิดต่างๆจำนวน 1 และ 2 ชั้น
- เปรียบเทียบผลของรูปร่างของเดือยฟันต่อการกระจายความเค้น ได้แก่ เดือยฟันหน้าตัดกลมและเดือยฟันหน้าตัดวงรีเมื่อบดเคี้ยวด้วยเดือยฟันจำนวน 1 และ 2 ชั้น

ประเมินรูปแบบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นและแสดงผลในภาพหน้าตัดตามแนวยาวในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางและภาพตัดขวาง เพื่อแสดงปริมาณความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเนื้อฟันและวัสดุบดเคี้ยว



ภาพประกอบ 8 แสดงตำแหน่งทิศทางของแรงที่กดลงบนบริเวณด้านบดเคี้ยว

การเก็บรวบรวมข้อมูล

แสดงข้อมูลการกระจายความเค้นโดยใช้คอมพิวเตอร์กราฟิกเป็นตัวช่วยในการแสดงผล โดยใช้กราฟฟิกส์แสดงถึงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในฟัน

การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นภายในพื้น โดยอธิบายผลการศึกษาที่ได้ในเชิงพรรณนา

ตาราง 1 แสดงค่ามอดูลัสของยังและค่าอัตราส่วนของปัวซองของวัสดุที่มีสมบัติเป็นไอโซโทรปิก

วัสดุ	ค่ามอดูลัสของยัง(GPa)	ค่าอัตราส่วนของปัวซอง	ที่มา
เคลือบพื้น	84.1	0.33	(9)
เนื้อพื้น	18.6	0.31	(9, 34)
กระดุกเนื้อแน่น	13.7	0.3	(6, 9)
กระดุกเนื้อโปร่ง	1.37	0.3	(6, 9)
เอ็นยึดปริทันต์	0.0689	0.45	(9)
ครอบพื้นโลหะทอง	70	0.3	(37)
สารยึดติดระหว่างแกนพื้นและครอบพื้น	7.6	0.3	(34)
เรซินซีเมนต์ในการยึดติดเดือยพื้น	18.6	0.28	(37)
กัตตาเปอร์ช่า	0.00069	0.45	(6, 34)
แกนพื้นเรซินคอมโพสิต	16.6	0.24	(9)

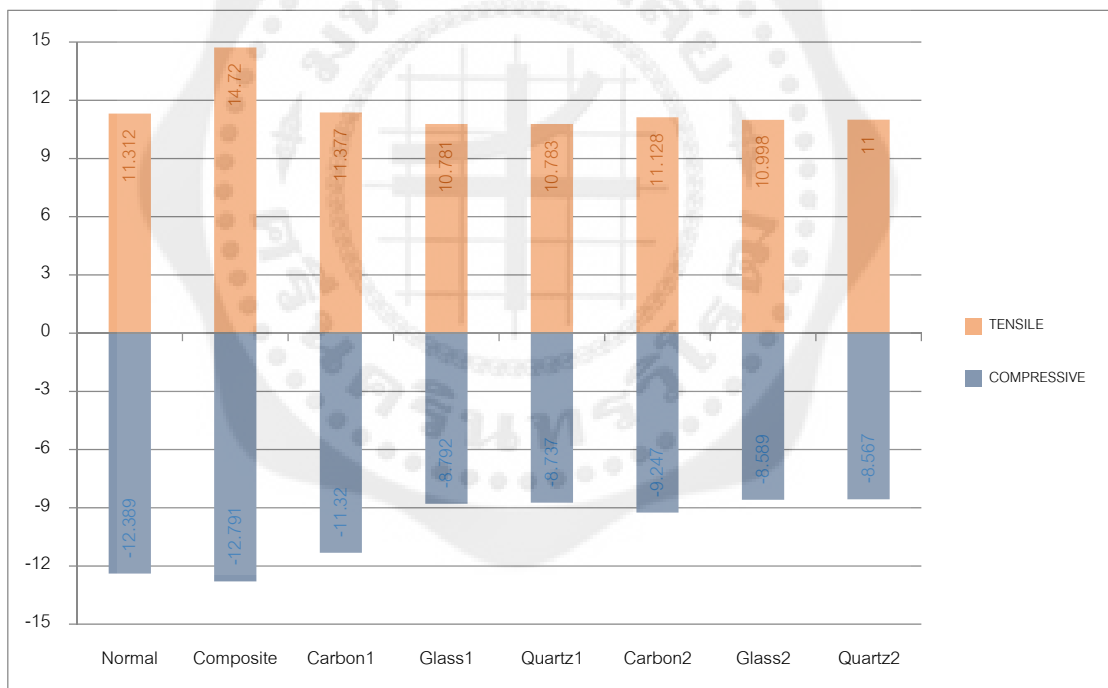
ตาราง 2 แสดงค่ามอดูลัสของยัง (E) ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (V) และค่ามอดูลัสของแรงเฉือน (G) ของวัสดุที่มีสมบัติเป็นออร์โททรอปิก^(33, 37)

คุณสมบัติ	เดือยพันเส้นใยคาร์บอน	เดือยพันเส้นใยแก้ว	เดือยพันเส้นใยควอตซ์
Ex (GPa)	118	37	48.2
Ey (GPa)	7.20	9.5	8.2
Ez (GPa)	7.20	9.5	8.2
Vxy	0.27	0.27	0.32
Vxz	0.34	0.34	0.4
Vyz	0.27	0.27	0.32
Gxy (GPa)	2.80	3.10	3.0
Gxz (GPa)	2.70	3.50	1.3
Gyz (GPa)	2.80	3.10	3.0

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลของชนิดของวัสดุบุรณะ

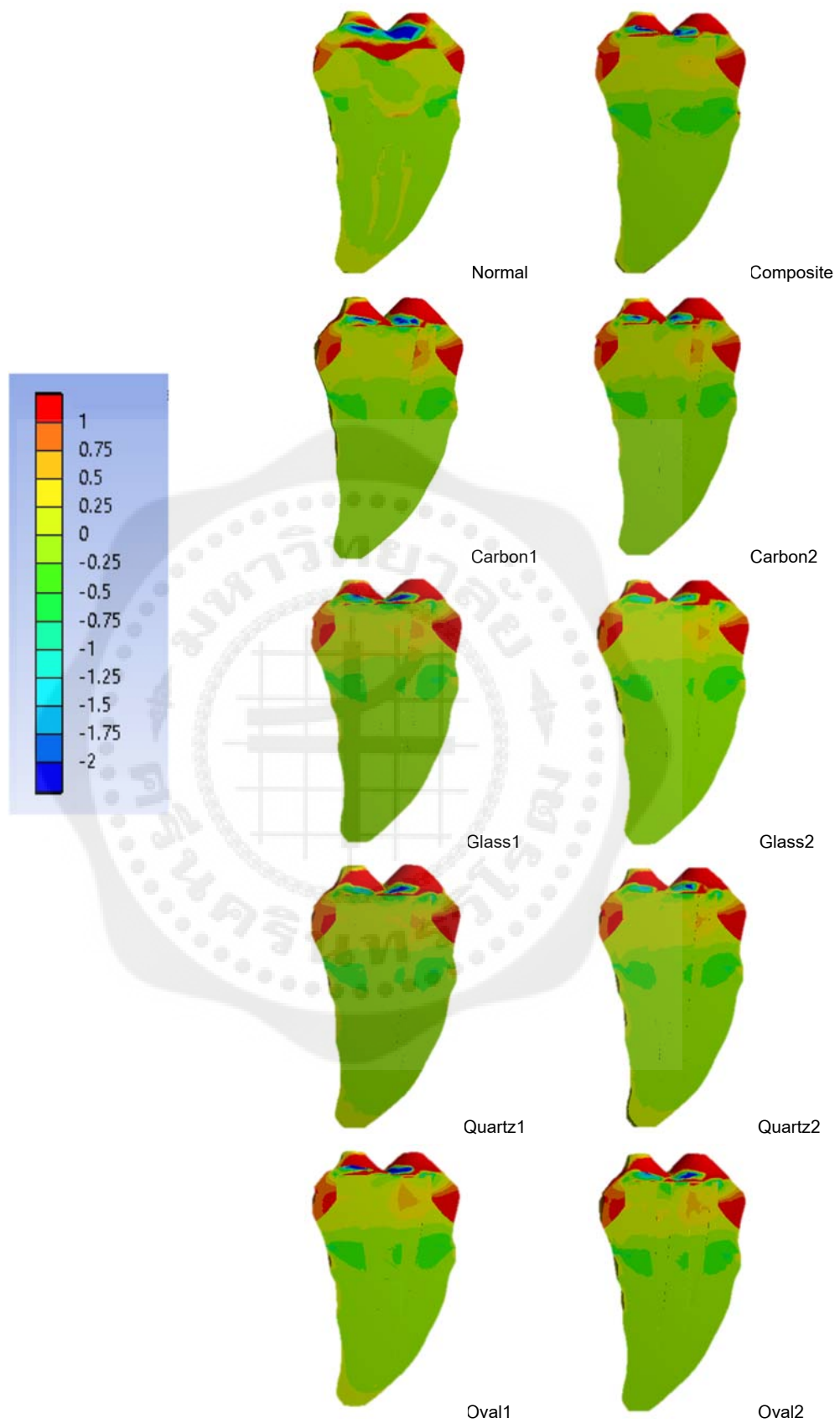
เมื่อพิจารณาความเค้นหลักสูงสุด(Maximum principal stress) (ภาพประกอบ 9) พบว่าชนิดของการ บูรณะมีผลต่อปริมาณความเค้นหลักสูงสุด การบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตมีปริมาณความเค้นหลักสูงสุดมากที่สุด ส่วนผลของชนิดของเส้นใยจะเห็นได้อย่างชัดเจนในการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยจำนวน 1 อัน โดยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีปริมาณความเค้นหลักสูงสุดเป็นปริมาณที่มากกว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ ซึ่งเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์มีปริมาณการสะสมของความเค้นหลักสูงสุดใกล้เคียงกัน



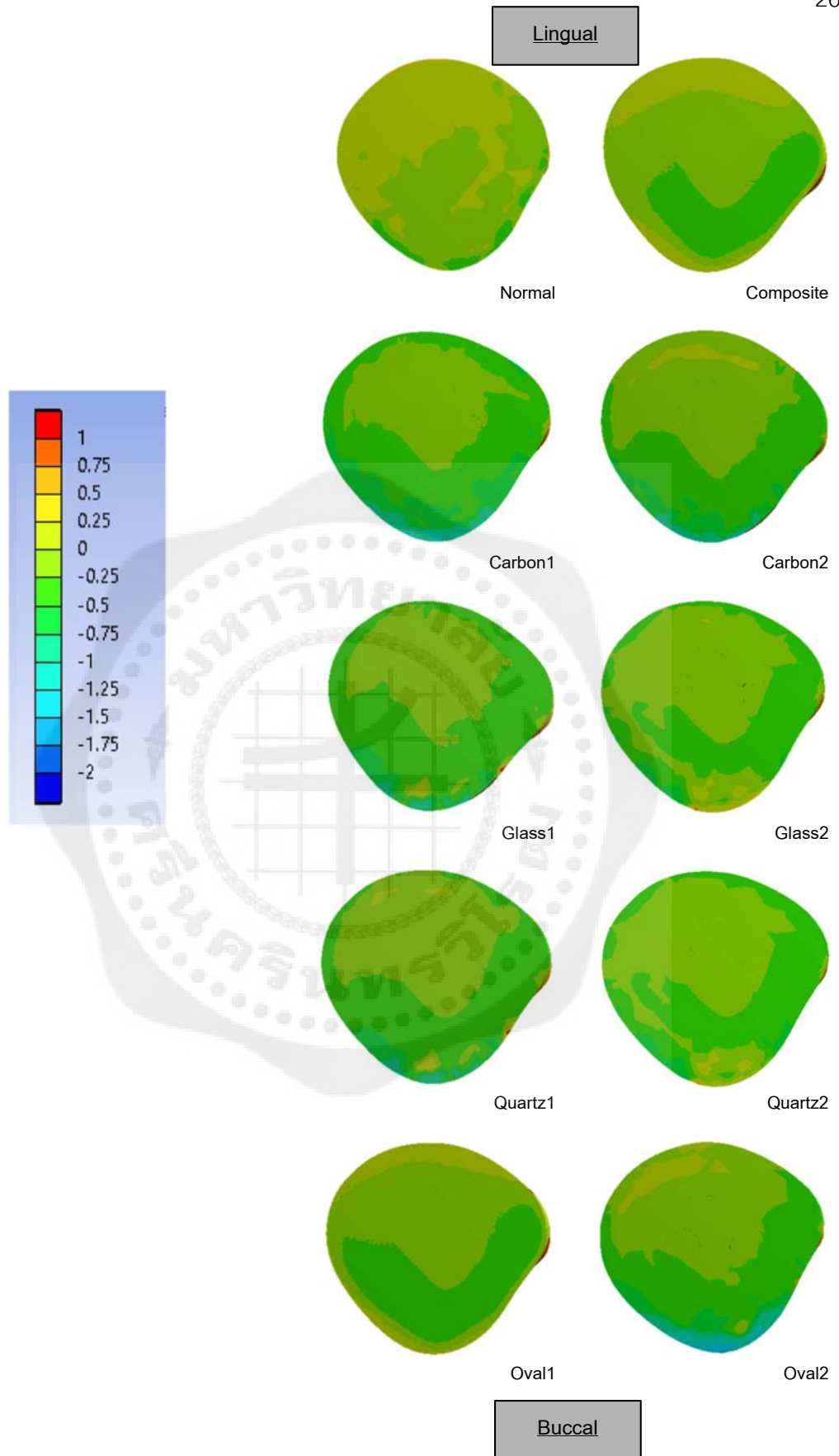
ภาพประกอบ 9 ความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ

จากภาพตัดตามแนวยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางแสดงรูปแบบการกระจายของความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ (ภาพประกอบ 10) พบว่าการบูรณะแบบต่างๆมีรูปแบบการกระจาย ความเค้นที่คล้ายคลึงกัน โดยการบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิตเกิดการสะสมของความเค้นอัดในรากฟันบริเวณใกล้คอฟันเป็นปริมาณที่มากกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยชนิดต่างๆ ส่วนรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมของความเค้นหลักสูงสุดภายในเดือยฟัน พบว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีปริมาณความเค้นดิ่งที่เกิดขึ้นภายในเดือยฟันเป็นปริมาณมากที่สุด เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีปริมาณความเค้นดิ่งที่เกิดขึ้นภายในเดือยฟันใกล้เคียงกันและมีปริมาณน้อยที่สุด และจากภาพตัดขวางแสดงรูปแบบการกระจายของความเค้นหลักสูงสุด (ภาพประกอบ 11) การบูรณะแบบต่างๆมีรูปแบบการกระจายความเค้นหลักสูงสุดคล้ายคลึงกัน คือ มีความเค้นอัดภายในรากฟันบริเวณคอฟันด้านแก้มมากกว่าบริเวณอื่นๆ และมีระดับความเค้นอัดลดลงในบริเวณกึ่งกลางรากฟัน จากนั้นไล่ระดับเป็นความเค้นดิ่งบริเวณรากฟันด้านลิ้น โดยการบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิตมีความเค้นดิ่งกระจายเป็นบริเวณกว้างทางด้านลิ้นมากกว่าการบูรณะแบบอื่น ส่วนการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแบบต่างๆ พบว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีปริมาณความเค้นอัดทางด้านแก้มน้อยกว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรี โดยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีมีการสะสมความเค้นอัดทางด้านแก้มมากกว่าเดือยฟันชนิดอื่น

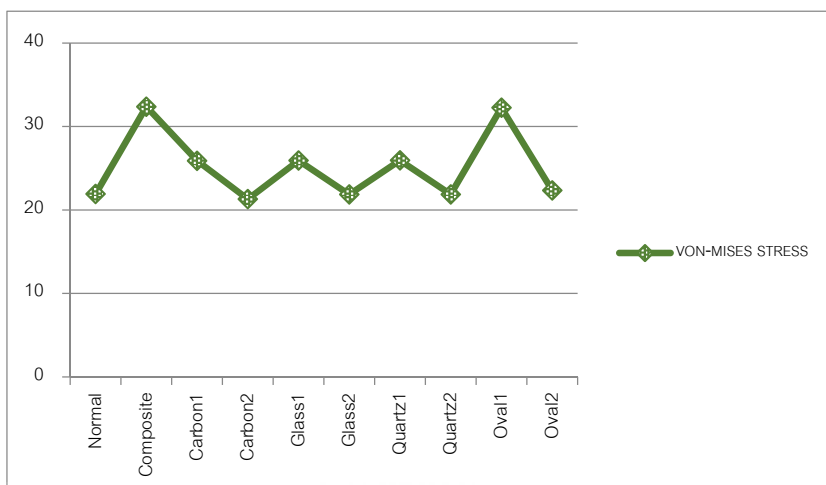
เมื่อพิจารณาถึงความเค้นผสมรวม (von-Mises stress) (ภาพประกอบ 12) พบว่าการบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิตเกิดการสะสมของความเค้นผสมรวมเป็นปริมาณที่มากที่สุด ส่วนผลของชนิดของเส้นใยสามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการบูรณะด้วยเดือยฟันจำนวน 1 อัน โดยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีมีปริมาณความเค้นผสมรวมเป็นปริมาณมากที่สุด ส่วนเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน เดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีค่าใกล้เคียงกัน



ภาพประกอบ 10 ภาพตัดตามแนวยาวใน แนวใกล้กลางไกลกลางแสดงการ กระจายความเค้นหลัก สูงสุด เมื่อมี การบูรณะแบบต่างๆ

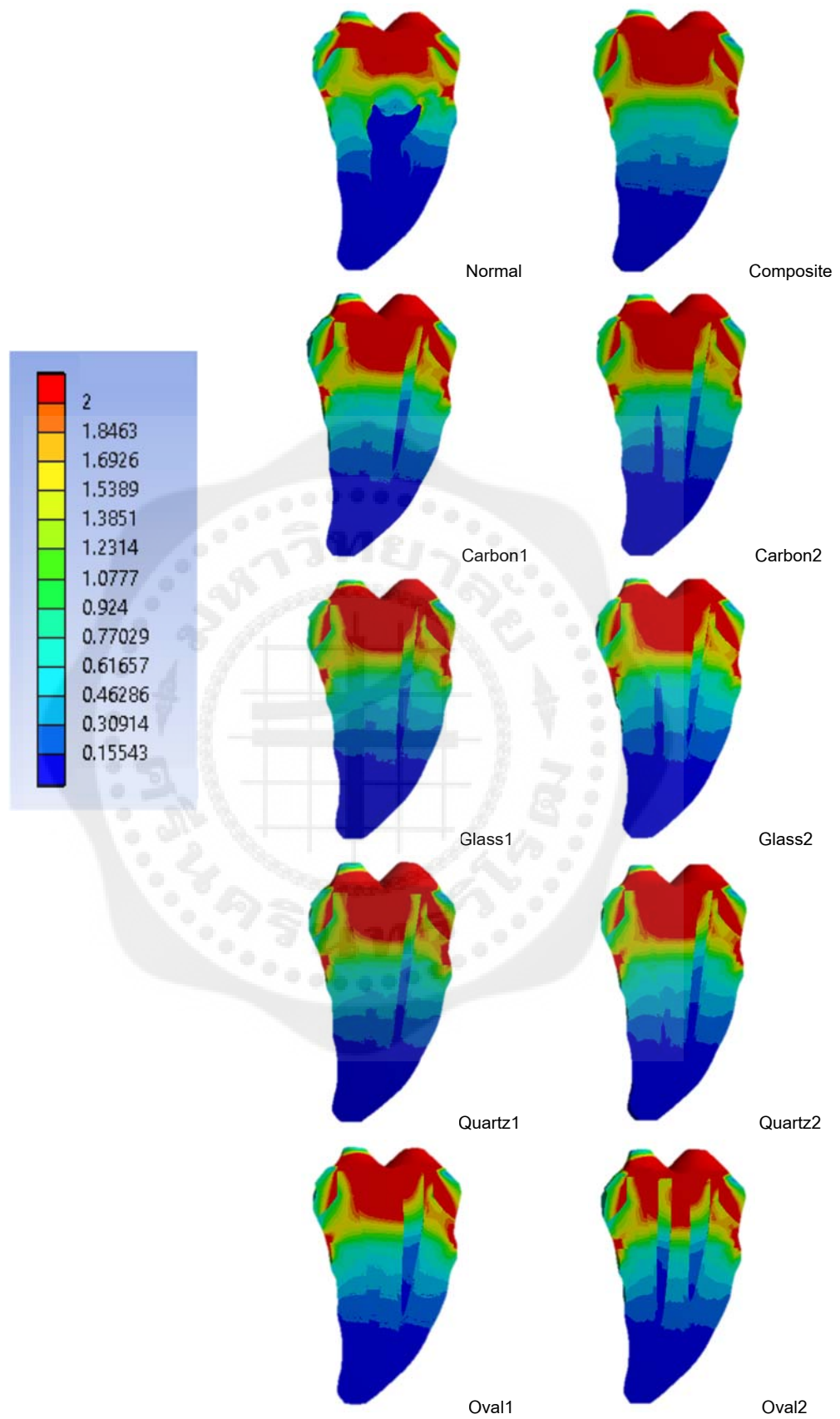


ภาพประกอบ 11 ภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ

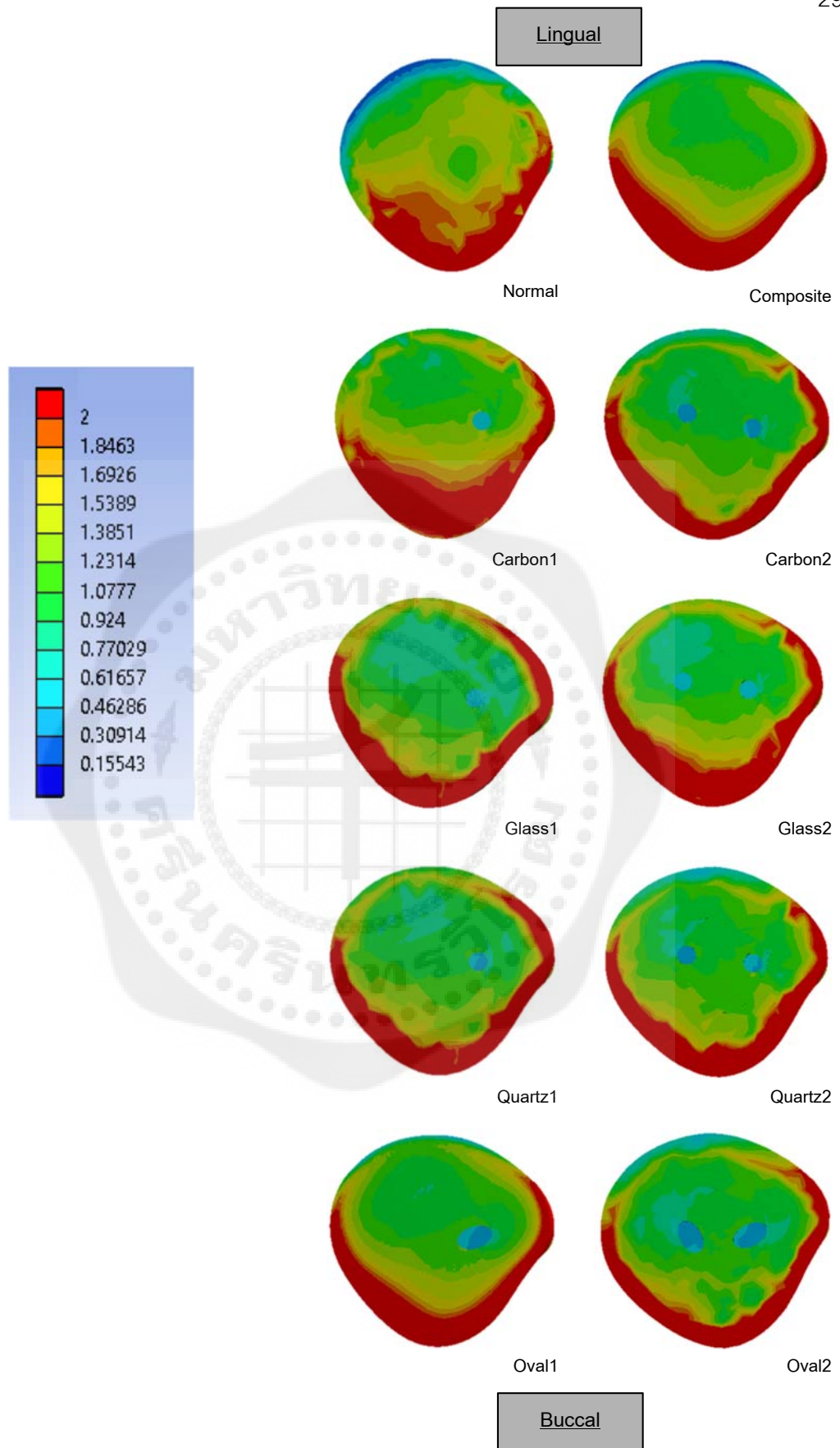


ภาพประกอบ 12 ความเค้นผสมรวมเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ

จากภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางแสดงการกระจายความเค้นผสมรวม (ภาพประกอบ 13) เมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆมีรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมของความเค้นผสมรวมที่ไม่แตกต่างกัน ส่วนภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นผสมรวม (ภาพประกอบ 14) พบว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนจำนวน 1 อัน มีรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นผสมรวมในรากฟันบริเวณคอฟันเป็นปริมาณมากที่สุด การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนจำนวน 2 อัน และการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ทั้ง 1 อัน และ 2 อัน มีรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นผสมรวมภายในรากฟันเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกัน และ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณความเค้นผสมรวมที่สะสมภายในเดือยฟัน เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใย จำนวน 1 อัน พบว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีปริมาณความเค้นผสมรวมที่ สะสมภายในเดือยฟันเป็นปริมาณมากกว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ แต่เมื่อบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใย จำนวน 2 อัน พบว่าปริมาณความเค้นผสมรวมที่สะสมภายในเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนลดลง แต่การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วจำนวน 2 อัน มีปริมาณความเค้นผสมรวมสะสมภายในเดือยฟันมากที่สุด



ภาพประกอบ 13 ภาพตัดตามยาวในแนวใกล้ กลางไกลกลางแสดงการกระจายความเค้นผสมรวม เมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ



ภาพประกอบ 14 ภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นผสมรวมเมื่อมีการบูรณะแบบต่างๆ

ผลของจำนวนของเตื่อยพัน

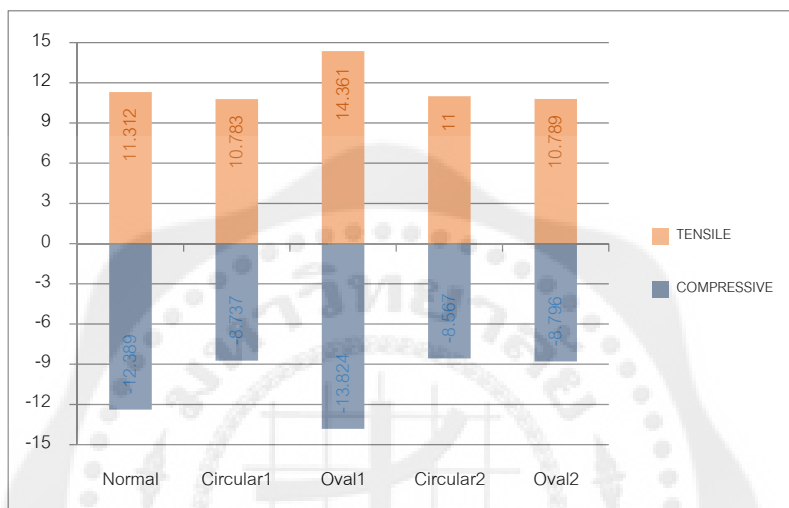
เมื่อพิจารณาถึงผลของจำนวนของเตื่อยพันต่อการกระจายความเค้น พบว่าความเค้นหลักสูงสุด (ภาพประกอบ 9) ของเตื่อยพันเส้นใยแก้วและเตื่อยพันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมเมื่อมีการบุงนระเป็น จำนวน 1 และ 2 อัน มีปริมาณความเค้นหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกัน ขณะที่เตื่อยพันเส้นใย คาร์บอนและเตื่อยพันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีเมื่อมีการบุงนระจำนวน 2 อัน มีความเค้นดึงและความเค้นอัดลดลงจากการบุงนระจำนวน 1 อัน และเมื่อพิจารณารูปแบบการกระจายความเค้นหลักสูงสุด จากภาพตัดตามแนวยาวในแนวใกล้กลางไกลกลาง (ภาพประกอบ 10) พบว่าปริมาณความเค้นดึงที่สะสมอยู่ภายในเตื่อยพันมีปริมาณลดลงเมื่อมีการบุงนระเป็นจำนวน 2 อัน และเมื่อพิจารณาจากภาพตัดขวาง (ภาพประกอบ 11) พบว่าเตื่อยพันเส้นใยชนิดต่างๆ มีปริมาณของความเค้นหลักสูงสุดลดลงเมื่อมีการบุงนระเป็นจำนวน 2 อัน

เมื่อพิจารณาถึงความเค้นผลรวม (ภาพประกอบ 12) เมื่อมีการบุงนระด้วยเตื่อยพันเส้นใยชนิดต่างๆ พบว่าจำนวนของเตื่อยพันมีผลต่อปริมาณความเค้นผลรวมที่เกิดขึ้นภายในรากฟัน โดยการบุงนระ ด้วยเตื่อยพันจำนวน 2 อัน ความเค้นผลรวมที่เกิดขึ้นภายในรากฟันมีปริมาณน้อยกว่าการบุงนระ ด้วยเตื่อยพันจำนวน 1 อัน จากภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางแสดงรูปแบบการกระจาย ความเค้นผลรวม (ภาพประกอบ 13) พบว่าการบุงนระด้วยเตื่อยพันเส้นใยชนิดต่างๆ มีรูปแบบการกระจาย ความเค้นผลรวมที่ใกล้เคียงกัน และจากภาพตัดขวางแสดงรูปแบบการกระจายความเค้นผลรวม (ภาพประกอบ 14) พบว่ามีลักษณะที่สอดคล้องกับค่าความเค้นผลรวม (ภาพประกอบ 12) โดยจำนวนของเตื่อยพันมีผลต่อรูปแบบกระจายความเค้นผลรวม เมื่อบุงนระด้วยเตื่อยพันเส้นใยชนิดต่างๆ เป็นจำนวน 2 อัน มีปริมาณความเค้นผลรวมที่สะสมภายในรากฟันบริเวณคอฟันด้านแก้มลดลง

ผลของรูปร่างของเตื่อยพันหน้าตัดกลมและเตื่อยพันหน้าตัดวงรี

เมื่อพิจารณาจากความเค้นหลักสูงสุด (ภาพประกอบ 15) กรณีที่มีการบุงนระด้วยเตื่อยพันจำนวน 1 อัน พบว่าเตื่อยพันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีปริมาณการสะสมความเค้นดึงและความเค้นอัดเป็น ปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับเตื่อยพันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรี คิดเป็น 24.91% และ 36.79% ตามลำดับ ส่วนกรณีที่มีการบุงนระด้วยเตื่อยพันจำนวน 2 อัน พบว่าเตื่อยพันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมและหน้าตัดวงรีมีการสะสมความเค้นหลักสูงสุดเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกัน จากภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางแสดงการกระจายความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบุงนระแบบต่างๆ (ภาพประกอบ 10) พบว่าการบุงนระด้วยเตื่อยพันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีปริมาณการสะสมความ

เค้นดึงภายในเดือยฟันและความเค้นอัดบริเวณด้านบดเคี้ยวน้อยกว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรี และจากภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นหลักสูงสุด (ภาพประกอบ 11) พบว่าภายในรากฟันบริเวณคอฟันด้านแก้มมีรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมของความเค้นหลักสูงสุดที่แตกต่างกัน โดยเมื่อบรูณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมเกิดความเค้นดึงเป็นปริมาณที่มากกว่าและเกิดความเค้นอัดเป็นปริมาณที่น้อยกว่าการบรูณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรี



ภาพประกอบ 15 ความเค้นหลักสูงสุดเมื่อมีการบรูณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมและหน้าตัดวงรี

จากภาพตัดตามยาวในแนวใกล้กลางไกลกลางและภาพตัดขวางแสดงการกระจายความเค้นผสมรวม (ภาพประกอบ 13, 14) พบว่าการบรูณะด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีมีลักษณะรูปแบบการกระจายความเค้นผสมรวมในเนื้อฟันที่ใกล้เคียงกัน

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปลผลการวิจัย และ ข้อเสนอแนะ

อภิปรายผล

การศึกษานี้ทำการศึกษาในพื้นที่กลางซี่ที่ 2 ที่มีภาพตัดขวางของคลองรากฟันเป็นรูปอักษรซี โดยมีการควบคุมปัจจัยทางด้านรูปร่างของคลองรากฟันและลักษณะภายนอกของฟันในแบบจำลองที่ได้รับการบูรณะแบบต่างๆ ให้เหมือนกัน รวมถึงขนาดและรูปร่างของเดือยฟันเส้นใยหน้าตัดกลมชนิดต่างๆ ให้มีลักษณะที่เหมือนกัน เพื่อศึกษาถึงปัจจัยของวัสดุบูรณะ ทำการศึกษาโดยให้แรงทางด้านบดเคี้ยวด้วยหัวกดรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ให้แรงขนาด 45 นิวตัน เนื่องจากการสบฟันในฟันหลังตามปกติมีจุดสบมากกว่า 1 จุด จึงทำการจำลองหัวกดรูปทรงกลมให้เป็นเสมือนปุ่มฟันของฟันคู่สบและทำการศึกษาถึงความเค้นหลักสูงสุดและความเค้นผสมรวมเนื่อง จากความเค้นหลักสูงสุดจะมีการแสดงถึงความเค้นอัดและความเค้นดึงที่เกิดขึ้นสูงสุดภายในโครง สร้างที่ทำการศึกษา ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติด้านทานต่อความเค้นอัดและความเค้นดึงแตกต่างกันไป ทำให้สามารถคาดการณ์ได้ว่าบริเวณใดมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักจากความเค้นอัดหรือความเค้นดึงส่วนความเค้นผสมรวมเป็นการบอกถึงภาพรวมของความเค้นทั้งหมดที่เกิดขึ้นผ่านภายในโครงสร้างที่ทำการศึกษา ซึ่งบริเวณที่เกิดการสะสมของความเค้นผสมรวมมากที่สุดมีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกหักได้^(10,34)

จากการศึกษานี้พบว่าเกิดการสะสมของความเค้นอัดเป็นปริมาณมากภายในรากฟันบริเวณคอฟันทางด้านแก้ม ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะเริ่มต้นในการแตกของฟัน คาดว่าเกิดจากการที่ตำแหน่งและทิศทางของแรงที่กดลงที่ด้านบดเคี้ยวอยู่ทางด้านแก้ม 2 ตำแหน่งและด้านลิ้น 1 ตำแหน่งทำให้เกิดแรงกดทางด้านแก้มเป็นปริมาณที่มากกว่า ทำให้เกิดเป็นความเค้นอัดทางด้านแก้มและความเค้นดึงทางด้านลิ้น ประกอบกับการที่มีตำแหน่งของกระดูกอยู่ล้อมรอบรากฟันและเป็นตำแหน่งที่คงที่ ทำให้บริเวณของสันกระดูกเข้าฟันเป็นเสมือนจุดหมุนเมื่อมีแรงมากระทำ ทำให้เกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณมากบริเวณคอฟัน ซึ่งได้มีการศึกษาของ Sugaya และคณะ⁽³⁸⁾ ในกรณีของฟันที่ผ่านการรักษาคคลองรากฟันและได้รับการบูรณะโดยการใส่เดือยฟันมักจะเกิดการหลุดออกของเดือยฟันร่วมกับการแตกของฟัน โดยตำแหน่งที่เกิดการแตกของฟันเริ่มจากบริเวณคอฟันมากกว่าบริเวณปลายรากฟัน ซึ่งการแตกของฟันที่เริ่มจากบริเวณคอฟันมักจะเป็นการแตกในแนวแก้ม-ลิ้น อีกทั้งยังได้มีการศึกษาของ Lertchirakarn และคณะ⁽⁸⁾ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแตกของรากฟันประกอบด้วย ลักษณะรูปร่างของคลองรากฟัน ลักษณะภายนอกของรากฟันความหนาของเนื้อฟันและความโค้งของคลองรากฟัน

กรณีที่มีการบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิต Brito-Júnior และคณะ⁽¹⁰⁾ พบว่าการบูรณะฟันปลายรากเปิดที่มีการอุดปิดปลายรากฟันด้วยวัสดุเอ็มทีเอ (MTA) และบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิตให้ผลการกระจายความเค้นหลักสูงสุดและความเค้นผลรวมที่ใกล้เคียงกับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้ว ส่วนการศึกษาของ Chatvanitkul และ Lertchirakarn⁽⁹⁾ ทำการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์ในฟันกรามน้อย พบว่าการบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิตให้ผลการกระจายความเค้นหลักสูงสุดดีกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้ว แต่จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าการบูรณะด้วยแกนพื้นเรซินคอมโพสิตเกิดการสะสมความเค้นหลักสูงสุดและความเค้นผลรวมเป็นปริมาณมากที่สุด สามารถอธิบายได้ว่าวัสดุเรซินคอมโพสิตมีค่ามอดูลัสของยังที่น้อยกว่าเนื้อฟัน ส่งผลให้วัสดุมีความยืดหยุ่นที่มากกว่าเนื้อฟัน เมื่อบูรณะอยู่ภายในคลองรากฟันที่มีขนาดใหญ่และมีความโค้งเว้าของผนังคลองรากฟัน มีความหนาของผนังคลองรากฟันในตำแหน่งต่างๆ ที่แตกต่างกันมากกว่ารากฟันซี่อื่น ทำให้มีความไม่สม่ำเสมอของความยืดหยุ่นของเนื้อฟันที่จะรองรับการกระจายความเค้นที่จะเกิดขึ้น อาจมีผลให้มีการสะสมของความเค้นดึงในปริมาณที่มากขึ้นในบริเวณที่ผนังคลองรากฟันบางและคลองรากฟันโค้ง⁽⁸⁾ ดังนั้นบริเวณที่คลองรากฟันมีความโค้งและเนื้อฟันบางจะเป็นตำแหน่งที่เกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณมาก ถือเป็นตำแหน่งที่มีความเสี่ยงในการเกิดการแตกของรากฟันได้

กรณีที่มีการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยชนิดต่างๆ จำนวน 1 อัน พบว่าชนิดของเส้นใยมีผลต่อรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้น โดยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีการสะสมของความเค้นหลักสูงสุดและความเค้นผลรวมเป็นปริมาณที่มากกว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ สอดคล้องกับการศึกษาของ ซินาลัย ปิยะชน และคณะ⁽²⁵⁾ ศึกษาการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ในแบบจำลองคลองรากฟันรูปอักษรซี พบว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วมีการสะสมความเค้นผลรวมที่ปลายของเดือยฟันและชั้นเนื้อฟันบริเวณปลายรากฟันน้อยกว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนและเดือยฟันไทเทเนียม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Lanza และคณะ⁽³⁷⁾ และการศึกษาของ Maceri และคณะ⁽³⁴⁾ ซึ่งทั้งสองการศึกษาพบว่าฟันที่ได้รับการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วมีค่าความเค้นผลรวมเป็นปริมาณที่น้อยกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน เนื่องจากเดือยฟันเส้นใยแก้วมีค่ามอดูลัสของยังที่น้อยกว่านั่นคือเดือยฟันเส้นใยแก้วมีความยืดหยุ่นที่มากกว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน ทำให้เกิดการกระจายความเค้นได้ดีกว่า ส่วนเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์พบว่ามีปริมาณการสะสมของความเค้นที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงรูปแบบการกระจายความเค้น พบว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วมีการกระจายความเค้นที่ระดับต่ำกว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ โดยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์จะเกิดความเค้นอัดบริเวณเนื้อฟันในส่วนของคอฟันด้านแก้มเป็นปริมาณที่มากกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Bessone และ Fernandez⁽³³⁾ พบว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วมีการกระจายและการสะสมความเค้นได้ดีกว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์

ลักษณะรูปร่างของเดือยฟันที่ใช้ในการบูรณะมีผลต่อรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นหลักสูงสุดและความเค้นผลรวม โดยการศึกษาของ Er และคณะ⁽⁶⁾ ในฟันที่มีรูปร่างหน้าตัดคลองรากฟันเป็นวงรี พบว่าเดือยฟันที่มีรูปร่างหน้าตัดวงรีมีรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นผลรวมในปริมาณที่ต่ำกว่าเดือยฟันที่มีรูปร่างหน้าตัดกลม เนื่องจากเดือยฟันหน้าตัดวงรีจะมีขนาดที่พอดีกับคลองรากฟัน ซึ่งได้มีการศึกษาก่อนหน้านี้⁽⁷⁾ พบว่าการใช้เดือยฟันที่มีขนาดพอดีกับคลองรากฟันจะช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน แต่ในการศึกษานี้ กรณีที่มีการบูรณะด้วยเดือยฟันจำนวน 1 อัน พบว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีการสะสมความเค้นดึงและความเค้นอัดเป็นปริมาณที่น้อยกว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรี และเมื่อมีการบูรณะด้วยเดือยฟันจำนวน 2 อัน พบว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมและหน้าตัดวงรีมีรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน โดยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีจะเกิดการสะสมของความเค้นอัดในเนื้อฟันบริเวณคอฟันด้านแก้มเป็นปริมาณที่มากกว่าเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลม คาดว่าเกิดจากการที่เดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีสัดส่วนของพื้นที่สัมผัสกับผนังคลองรากฟันต่อพื้นที่ที่ไม่สัมผัสมากกว่าเดือยฟันเส้นใยหน้าตัดวงรี

นอกจากนี้ยังพบว่าจำนวนของเดือยฟันที่ใช้ในการบูรณะส่งผลต่อการกระจายและการสะสมของความเค้น โดยในเดือยฟันเส้นใยชนิดต่างๆ เมื่อมีการบูรณะจำนวน 2 อัน ปริมาณความเค้นที่เกิดขึ้นมีระดับลดลงจากการบูรณะจำนวน 1 อัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Maceri และคณะ⁽³⁴⁾ พบว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันหลายอันจะมีลักษณะการกระจายความเค้นที่ใกล้เคียงกับฟันปกติและช่วยลดการสะสมของความเค้นที่บริเวณเนื้อฟัน ซึ่งจะช่วยลดโอกาสในการเกิดการแตกหักของรากฟัน ซึ่งได้มีการศึกษาของ Newman และคณะ⁽²²⁾ พบความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของไฟเบอร์ต่อเรซินจะมีลักษณะแปรผันตรงกับค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน ดังนั้นการใช้เดือยฟัน จำนวน 2 อัน ทำให้ปริมาณของไฟเบอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อการแตกหักของฟัน

เมื่อพิจารณาถึงความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเดือยฟัน พบว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนเกิดความเค้นอัดเป็นปริมาณมากที่สุด รองลงมา คือ เดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรี ส่วนเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมมีปริมาณของความเค้นสะสมภายในเดือยฟันเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันและมีปริมาณน้อยที่สุด เนื่องจากเดือยฟันเส้นใยคาร์บอนมีความอดุลล์ของยังมากที่สุด ตามด้วยเดือยฟันเส้นใยควอตซ์ และเดือยฟันเส้นใยแก้วมีความอดุลล์ของยังน้อยที่สุด (ตาราง 2) ซึ่งการที่วัสดุมีความอดุลล์ของยังสูงทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นน้อย เกิดการกระจายความเค้นได้ไม่ดี ส่งผลให้มีความเค้นสะสมภายในเป็นปริมาณมาก แต่เมื่อพิจารณาค่าความเค้นผลรวมพบว่าเดือยฟันเส้นใยแก้วเกิดการสะสมของความเค้นผลรวมภายในเดือยฟันมากที่สุด คาดว่าเกิดจากการที่เดือยฟันเส้นใยแก้วมีความยืดหยุ่นที่มากกว่าทำให้เกิดการกระจายของความเค้นในทิศทางต่างๆ ส่งผลให้ค่าความเค้นผลรวมมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตถึงคุณสมบัติการกระจายความเค้นในแนวแกนต่างๆ ของวัสดุที่นำมาใช้ในการบูรณะ

จากการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต เดือยฟันเส้นใยคาร์บอน จำนวน 1 อัน และเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีจำนวน 1 อัน เกิดการสะสมของความเค้นดึงเป็นปริมาณมากกว่าการบูรณะแบบอื่นๆ และจากภาพตัดตามแนวยาวในแนวใกล้กลางไกลกลาง (ภาพประกอบ 9) มีการสะสมของความเค้นดึงเป็นปริมาณมากบริเวณคอฟฟันและภายในเดือยฟัน ซึ่งการที่เกิดการสะสมความเค้นดึงเป็นปริมาณมากทำให้มีความเสี่ยงที่จะเกิดการแตกหักของฟันและวัสดุบูรณะได้เนื่องจากได้มีการศึกษาพบว่าเคลือบฟัน เนื้อฟัน และวัสดุทางทันตกรรมบางชนิด อย่างเช่น วัสดุเรซินคอมโพสิต สามารถทนต่อความเค้นดึงก่อนที่จะเกิดการแตกหักได้เป็นปริมาณที่ต่ำกว่าความเค้นอัด^(10,39) ดังนั้นการบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิต เดือยฟันเส้นใยคาร์บอน จำนวน 1 อัน และเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดวงรีจำนวน 1 อัน มีความเสี่ยงในการเกิดการแตกหักได้มากกว่าการบูรณะแบบอื่นๆ

นอกจากนี้ยังพบว่าการบูรณะแบบต่างๆภายหลังจากการรักษาคลองรากฟันเกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณมากที่บริเวณคอฟฟัน โดยจะเกิดเป็นความเค้นอัดทางด้านแก้มซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีแรงกดเป็นปริมาณมากและความเค้นดึงทางด้านลิ้นซึ่งมีแรงกดเป็นปริมาณที่น้อย ดังนั้นในการบูรณะฟันให้กับผู้ป่วยควรทำการตรวจสอบตำแหน่งในการสบฟันให้มีความสมดุลทางด้านแก้มและด้านลิ้น รวมถึงความยาวของเดือยฟันที่ใส่ในคลองรากฟันต้องมีการพิจารณาร่วมกับตำแหน่งของสันกระดูกเบ้าฟัน เนื่องจากตำแหน่งของสันกระดูกเบ้าฟันถือเป็นจุดหมุนเมื่อมีการรับแรง เพื่อให้เกิดความสมดุลของแรงที่จะกระทำกับฟัน ช่วยลดปริมาณของความเค้นอัดและความเค้นดึงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการสึกของเนื้อฟันหรือการแตกของฟันบริเวณคอฟฟัน แต่อย่างไรก็ตามหากเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวถือเป็นความเสียหายที่มีความรุนแรงไม่มากและยังสามารถให้การบูรณะฟันขึ้นใหม่ได้

อย่างไรก็ตามการศึกษาโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการศึกษาถึงรูปแบบการกระจาย และปริมาณการสะสมความเค้น โดยการกำหนดให้วัสดุภายในคลองรากฟันเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์และทุกผิวสัมผัสของวัสดุมีการยึดติดกันอย่างสมบูรณ์ แต่ในทางคลินิกกระบวนการใช้สารยึดติดภายในคลองรากฟันอาจจะเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ เนื่องจากรูปร่างที่ซับซ้อนของผนังคลองรากฟันที่จะเป็นผิวยึดติด ความยากในการควบคุมความชื้นและการใช้แสงในการกระตุ้นให้เกิดกระบวนการแข็งตัว⁽¹⁰⁾ รวมถึงการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและส่วนประกอบต่างๆของฟันเป็นไอโซโทรปิก ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเส้นตรงและเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ในความเป็นจริงวัสดุและส่วนประกอบต่างๆของฟันไม่ได้มีคุณสมบัติเป็นเส้นตรงและเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด และลักษณะของแรงบิดเคี้ยวที่กระทำต่อฟันนั้นจะมีความซับซ้อนหลายทิศทาง ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ อาจมีความคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์จริงทางคลินิกได้ และยังสามารถควบคุมกำหนดลักษณะรูปร่างของ

เดือยฟัน ซึ่งในทางคลินิกหากมีการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยต่างๆ ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน การศึกษานี้ การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นอาจจะมีความแตกต่างกันไปจากการศึกษานี้ เนื่องจาก ลักษณะรูปร่างของเดือยฟันมีผลต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น อีกทั้งในการศึกษานี้เป็นการศึกษาในฟันกรามล่างซี่ที่ 2 ที่มีภาพตัดขวางบริเวณรากฟันส่วนต้นเป็นคลองรากฟันโค้งต่อเนื่อง เป็นรูปอักษรซี มีการแยกของคลองรากฟันที่บริเวณกึ่งกลางของรากฟัน ซึ่งลักษณะของคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูป อักษรซีมีได้หลากหลายรูปแบบ ดังนั้นลักษณะรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นที่ได้จากการศึกษานี้ เป็นผลลัพธ์ของฟันที่มีลักษณะรูปร่างคลองรากฟันตามที่กำหนดเท่านั้น ดังนั้นควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตถึงรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นในคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีในรูปแบบอื่นๆ

จากการศึกษานี้ในกรณีของฟันกรามล่างซี่ที่ 2 ที่มีภาพตัดขวางของคลองรากฟันส่วนต้นโค้งต่อเนื่องเป็นรูปอักษรซีโดยไม่มีการแยกคลองรากฟันและมีลักษณะของคลองรากฟันเป็นแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาจากภาพรังสี คือ คลองรากฟันแยกที่บริเวณกึ่งกลางของรากฟัน พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้น ประกอบด้วย

- ชนิดของการบูรณะ การบูรณะด้วยแกนฟันเรซินคอมโพสิตทำให้เกิดการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณสูง ทำให้เสี่ยงต่อการแตกหักของฟันได้ รวมถึงชนิดของเส้นใยของเดือยฟันโดยเดือยฟันเส้นใยแก้วและเดือยฟันเส้นใยควอตซ์มีการสะสมของความเค้นเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันและเป็นปริมาณน้อยกว่าเดือยฟันเส้นใยคาร์บอน

- ลักษณะรูปร่างหน้าตัดของเดือยฟัน เดือยฟันเส้นใยหน้าตัดกลมมีการสะสมความเค้นเป็น ปริมาณน้อยกว่าเดือยฟันหน้าตัดวงรี ซึ่งเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่อมีการบูรณะ เป็นจำนวน 1 อัน

- จำนวนของเดือยฟันเส้นใย การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยจำนวน 2 อัน มีปริมาณความเค้น ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยจำนวน 1 อัน

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้เป็นการศึกษาโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นการศึกษา รูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นควรศึกษาทางห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ กรณีของฟันกรามล่างซี่ที่ 2 ที่มีภาพตัดขวางของคลองรากฟันส่วนต้นโค้งต่อเนื่องเป็นรูปอักษรซีโดยไม่มีการแยกคลองรากฟัน และมีลักษณะของคลองรากฟันเป็นแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาจากภาพรังสี พบว่าการบูรณะที่เหมาะสม คือ การบูรณะด้วยเดือยฟันเส้นใยแก้วหรือเดือยฟันเส้นใยควอตซ์หน้าตัดกลมจำนวน 2 อันมีปริมาณการสะสมของความเค้นต่ำกว่าการบูรณะแบบอื่นๆ มีความเป็นไปได้ว่าสามารถจะช่วยลดโอกาสการแตกหักของฟัน

ข้อเสนอแนะ

พื้นที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีสามารถพบได้หลากหลายรูปแบบ การศึกษานี้เป็นเพียงการจำลองพื้นที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีเพียงรูปแบบหนึ่งเท่านั้น ควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงรูปแบบการกระจายและปริมาณการสะสมความเค้นในคลองรากพื้นที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีในรูปแบบอื่นๆ อีกทั้งการศึกษาโดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นการจำลองสถานการณ์ที่ไม่สามารถเลียนแบบสถานการณ์จริงทางคลินิกได้ทั้งหมด ควรที่จะมีการศึกษาโดยการทดสอบการให้แรงบนฟันธรรมชาติในห้องปฏิบัติการและทางคลินิกเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต เพื่อหาแนวทางในการบูรณะพื้นที่มีภาพตัดขวางเป็นรูปอักษรซีได้อย่างเหมาะสม





บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

1. Ray HA and Trope M. Periapical Status of Endodontically Treated Teeth in Relation to the Technical Quality of Root Filling and the Coronal Restoration. *Int Endod J.* 1995;28:12-18.
2. Siqueira JF, Rôças IN, Alves FRF, and Campos LC. Periradicular Status Related to the Quality of Coronal Restorations and Root Canal Fillings in a Brazilian Population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;100:369-374.
3. Vire DE. Failure of Endodontically Treated Teeth: Classification and Evaluation. *J Endod.* 1991;17:338-342.
4. Assif D and Gorfil C. Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent.* 1994;71:565-567.
5. Schwartz RS and Robbins JW. Post Placement and Restoration of Endodontically Treated Teeth: A Literature Review. *J Endod.* 2004;30:289-301.
6. Er O, Kilic K, Esim E, Aslan T, Kilinc HI and Yildirim S. Stress Distribution of Oval and Circular Fiber Posts in Amandibular Premolar : A Three-Dimensional Finite Element Analysis. *J Adv Prosthodont.* 2013;5:434-439.
7. Latempa AMA, Almeida SA, Nunes NF, da Silva EM, Guimarães JGA, and Poskus LT. Techniques for Restoring Enlarged Canals: An Evaluation of Fracture Resistance and Bond Strength. *Int Endod J.* 2015;48:28-36.
8. Lertchirakarn V, Palamara JEA, and Messer HH. Patterns of Vertical Root Fracture: Factors Affecting Stress Distribution in the Root Canal. *J Endod.* 2003;29:523-528.
9. Chatvanitkul C and Lertchirakarn V. Stress Distribution with Different Restorations in Teeth with Curved Roots: A Finite Element Analysis Study. *J Endod.* 2010 (36):115-118.
10. Brito-Júnior M, Pereira RD, Verissimo C, Soares CJ, Fariae-Silva AL, Camilo CC, and Sousa-Neto MD. Fracture resistance and stress distribution of simulated immature teeth after apexification with mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2014;47:958-966.

11. Cooke HG and Cox FL. C-shaped Canal Configurations in Mandibular Molars. *J Am Dent.* 1979;99:836-839.
12. Melton DC, Krell KV, and Fuller MW. Anatomical and Histological Features of C-shaped Canals in Mandibular Second Molars. *J Endod.* 1991;17:384-388.
13. Fan B, Cheung GSP, Fan M, Gutmann JL, and Bian Z. C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars : Part I - Anatomical Features. *J Endod.* 2004;12:899-903.
14. Fan B, Cheung GS, Fan M, Gutmann JL, and Fan W. C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars: Part II–Radiographic Features. *J Endod.* 2004;30:904-908.
15. Jafarzadeh H and Wu YN. The C-shaped Root Canal Configuration: A Review. *J Endod.* 2007;33:517-523.
16. Gulabivala K, Aung TH, Alavi A, and Ng YL. Root and canal morphology of Burmese mandibular molars. *Int Endod J.* 2001;34:359-370.
17. Gulabivala K, Opananon A, Ng YL, and Alavi A. Root and canal morphology of Thai mandibular molars. *Int Endod J.* 2002;35:56-62.
18. Zheng Q, Zhang L, Zhou X, Wang Q, wang Y, Tang L, Song F, and Huang D. C-shaped Root Canal System in Mandibular Second Molars in a Chinese Population Evaluated by Cone-beam Computed Tomography. *Int Endod J.* 2011;44:857-862.
19. Fan W, Fan B, Gutmann JL, and Fan M. Identification of a C-shaped Canal System in Mandibular Second Molars—Part III: Anatomic Features Revealed by Digital Subtraction Radiography. *J Endod.* 2008;34:1187–1190.
20. Chai WL and Thong YL. Cross-sectional morphology and minimum canal wall widths in C-shaped roots of mandibular molars. *J Endod.* 2004;30:509-512.
21. 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.* 1998;80:151-157.

22. Newman MP, Yaman P, Dennison J, Rafter M, and Billy E. Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth Restored with Composite Posts. *J Prosthet Dent.* 2003;89.
23. D’Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, and D’Amario M The Effect of Resin Cement Film Thickness on the Pullout Strength of a Fiber-reinforced Post System. *J Prosthet Dent.* 2007;98:193-198.
24. Faria ACL, Rodrigues RCS, Antunes RPA, Mattos MGC, and Ribeiro RF. Endodontically Treated Teeth: Characteristics and Considerations to Restore Them. *J Prosthodont Res.* 2011;55:69-74.
25. ชินาลัย ปิยะชน ศรินธร หรรษภิญโญ และ ปฐวี คงขุนเทียน. การประเมินค่าการกระจายแรง ด้วยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ในคลองรากฟันที่มีภาพตัดขวางรูปอักษรซี ซึ่งบูรณะด้วยระบบเดือยฟันสำเร็จรูปต่างชนิดกัน. *ศรึนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยศรึนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 1-2 เมษายน 2556.* 209-219.
26. Coniglio I, Garcia-Godoy F, Magni E, Carvalho CA, and Ferrari M Resin Cement Thickness in Oval-shaped Canals: Oval vs Circular Fiber Posts in Combination With Different Tips/drills for Post Space Preparation. *Am J Dent.* 2009;22:290–294.
27. Coniglio I, Magni E, Cantoro A, Goracci C, and Ferrari M. Push-out Bond Strength of Circular and Oval-shaped Fiber Posts. *Clin Oral Invest.* 2011;15:667-672.
28. Uzun I, Arslan H, Doganay E, Güler B, Keskin C, and Çapar ID. Fracture Resistance of Endodontically Treated Roots with Oval Canals Restored with Oval and Circular Posts. *J Endod.* 2015;41:539–543.
29. Wilkinson KL, Beeson TJ, and Kirkpatrick TC. Fracture Resistance of Simulated Immature Teeth Filled with Resilon, Gutta-Percha, or Composite. *J Endod.* 2007;33:480-483.
30. AL-Omiri MK, Mahmoud AA, Rayyan MR, and Abu-Hammad O. Fracture resistance of teeth restored with post-retained restorations: an overview. *J Endod.* 2010;36:1439-1449.
31. Roylance D. Finite Element Analysis. Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139. 2001:1-16.

32. Barkanov E. Introduction to the finite element method. Institute of Materials and Structures Faculty of Civil Engineering Riga Technical University. 2001:1-70.
33. Bessone L and Fernandez BE Jr. Evaluation of different post systems: finite element method. *Int J Odontostomat.* 2010;4:229-236.
34. Maceri F, Martignoni M, and Vairo G. Mechanical Behaviour of Endodontic Restorations with Multiple Prefabricated Posts: A Finite-element Approach. *J Biomech.* 2007;40:2386–2398.
35. Lazari PC, de Oliveira RCN, Anchieta RB, de Almeida EO, Freitas Junior AC, Kina S, and Rocha EP. Stress distribution on dentin-cement-post interface varying root canal and glass fiber post diameters. A three-dimensional finite element analysis based on micro-CT data. *J Appl Oral Sci.* 2013;21:511-517.
36. Soares PV, Santos-Filho PCF, Queiroz EC, Araújo TC, Campos RE, Araújo CA, and Soares CJ. Fracture Resistance and Stress Distribution in Endodontically Treated Maxillary Premolars Restored with Composite Resin. *J Prosthodont.* 2008;17:114-119.
37. Lanza A, Aversa R, Rengo S, Apicella D, and Apicella A. 3D FEA of Cemented Steel, Glass and Carbon Posts in a Maxillary Incisor. *Dent Mater.* 2005;21:709-715.
38. Sugaya T, Nakatsuka M, Inoue K, Tanaka S, Miyaji H, Sakagami R, and Kawamami M. Comparison of Fracture Sites and Post Lengths in Longitudinal Root Fractures. *J Endod.* 2015;41:159-163.
39. Zelic K, Vukicevic A, Jovicic G, Aleksandrovic S, Filipovic N, and Djuric M. Mechanical weakening of devitalized teeth: three-dimensional Finite Element Analysis and prediction of tooth fracture. *Int Endod J.* 2015;48:850-863.

อภิธานศัพท์

ความเค้นอัด (Compressive stress)	เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง
ความเค้นดึง (Tensile stress)	เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน
ความเค้นหลักสูงสุด (Maximum principal stress)	ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำ โดยพิจารณาเพียงแนวแกนเดียว ซึ่งเป็นแนวแกนที่มีค่ามากที่สุด
ความเค้นผลสมรวม (Von-mises stress)	ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากกระทำ โดยพิจารณาทั้ง 3 แกน รวมกัน

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	ณัฐฐา ภิญโญโสภณ
วันเดือนปีเกิด	13 มีนาคม 2530
สถานที่เกิด	อำเภอพญาไท จังหวัดกรุงเทพฯ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	50/226 หมู่ 14 หมู่บ้านศศิธร แขวงหนองแขม เขตหนองแขม จังหวัดกรุงเทพฯ 10160
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2548	มัธยมศึกษา จากโรงเรียนเบญจมราชาลัย ในพระบรมราชูปถัมภ์ อำเภอพระนคร จังหวัดกรุงเทพฯ
พ.ศ. 2554	ทันตแพทยศาสตรบัณฑิต คณะทันตแพทยศาสตร์ จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2559	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาทันตกรรมคลินิก จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ