

**การวิเคราะห์เปรียบเทียบความเค้นของฟันรักษาราก ที่มีขนาดคลองรากฟันกว้าง
เมื่อใช้เดือยฟันเสริมเส้นใยจำนวนต่างๆ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์**
**COMPARATIVE STUDY OF STRESS ANALYSIS OF ENDODONTICALLY TREATED
TEETH WITH FLARED ROOT CANAL, RESTORED WITH DIFFERENT NUMBER
OF FIBER POSTS BY FINITE ELEMENT METHOD**

นิชาพัฒน์ วราเสฏฐ์รัตน์¹ ศุภชัย สินทาวร^{2*} อุษณีย์ บึงไพบูลย์³
Nichaphat Warasetrattana¹, Suppachai Sinthaworn^{2}, Usanee Puengpaiboon³*

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

¹Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering,
Srinakharinwirot University.

²หน่วยวิจัยด้านนวัตกรรมที่ยั่งยืนในกรอบวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²Research Unit in Sustainable Innovation in Civil and Environmental Engineering,
Srinakharinwirot University.

³ภาควิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

³Department of General Dentistry, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University.

*Corresponding author, e-mail: suppachai@g.swu.ac.th

Received: December 18, 2017; Revised: May 10, 2018; Accepted: June 4, 2018

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษารูปแบบการกระจายความเค้นดิ่งที่เกิดขึ้นภายในคลองรากฟัน โดยตัวอย่างในการศึกษาเป็นฟันกรามน้อยล่างซี่ที่หนึ่ง และขึ้นรูปเป็นแบบจำลองโดยเริ่มจาก ภาพโครงสร้างโดยการถ่ายภาพรังสีโคนบีมคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี จากนั้นทำเป็นแบบจำลอง ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (โปรแกรม SolidWorks) โดยแบ่งรูปแบบการบูรณะเป็น 3 กรณี คือ แบบจำลองที่ 1 บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตก่อนแกนฟัน (Multicore Flow) เท่านั้น แบบจำลองที่ 2 บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใย 3 จำนวน 1 อัน ร่วมกับเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3, Multicore Flow) และแบบจำลองที่ 3 บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยเบอร์ 3 จำนวน 1 อัน เบอร์ 0 จำนวน 2 อัน ร่วมกับการก่อนแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3 & no. 0, Multicore Flow) การวิเคราะห์ความเค้นในแบบจำลอง ทำโดยให้แรงกระทำ 1000 นิวตัน ในมุมเอียงขนาด 45 องศา บนปุ่มยอดฟันด้านแก้มของครอบฟันในทุกรูปแบบการบูรณะ

ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองทั้งสามกลุ่มเกิดความเค้นดิ่งสูงสุดในเนื้อฟันบริเวณส่วนกึ่งกลาง รากฟัน สำหรับการเปรียบเทียบความเค้นในแต่ละรูปแบบการบูรณะ พบว่า แบบจำลองที่ 2 มีความเค้นดิ่ง น้อยที่สุด ในขณะที่แบบจำลองที่ 1 ความเค้นดิ่งมากที่สุด จากผลการวิเคราะห์ความเค้นทำให้พบว่า บริเวณที่มีความเค้นดิ่งสูงสุดตรงกับตำแหน่งการแตกหักในการทดสอบด้วยตัวอย่างฟันจริง อีกทั้งระดับ ความเค้นดิ่งที่น้อยกว่าของแบบจำลองที่ 2 ตีความหมายได้ว่าเป็นรูปแบบที่จะแตกหักด้วยแรงที่มากที่สุด โดยมีค่าอัตราส่วนกำลังวัสดุต่อความเค้นดิ่งมากกว่า เกือบ 2 เท่าของแบบจำลองที่ 1

คำสำคัญ: ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การรักษารากฟัน ความเค้นดิ่ง เดือยฟันเสริมเส้นใย เรซินคอมโพสิต

Abstract

Stress distribution in flared root canal with various restoration are investigated by 3D finite element analysis (SolidWorks). Human first mandibular single-root premolars was scanned by cone beam computed tomography to obtain the three dimension in order to create the model. The finite element model of premolar teeth are divided into 3 groups; group 1 was restored with a resin composite core material (Multicore Flow), group 2 was restored with a single fiber post and resin composite core (FRC Postec Plus no. 3, Multicore flow), and group 3 was restored with 3 fiber posts and resin composite core (1 FRC Postec Plus no. 3 and 2 fiber posts no. 0, Multicore flow). All models were loaded by the force 1000 newton at 45 degree to horizontal axis.

The analysis result of all tooth models showed the highest pricipal tensile stress concentrations in middle of the root. In addition, group 2 shows the lowest pricipal tensile stress while group 1 has the highest pricipal tensile stress. The fracture area in the real experimental is represented by the highest of the stress concentrations area in finite element analysis. Therefore, the lowest level of the pricipal tensile stress in group 2 means the strongest fracture resistance to compressive load. Moreover, factor of safety (FOS) of group 2 is more than group 1 almost 2 times.

Keywords: Finite Element Analysis, Endodontically Treated Tooth, Tensile Strength, Fiber Post, Composite Resin

บทนำ

ฟันที่ผ่านการรักษารากฟันที่มีคลองรากที่ผายออกมาก ผนังคลองรากฟันบาง เป็นฟันที่มีความเสี่ยงต่อการแตกหักสูงกว่าฟันที่ผ่านการรักษารากฟันทั่วไป วิธีการบูรณะอาจทำได้โดยการบูรณะด้วยการก่อกันด้วยเรซินคอมโพสิตทั้งหมด หรือการใช้เส้นใยแก้วสำเร็จรูปร่วมกับเรซินคอมโพสิต หรือการใช้เดือยฟันเสริมเส้นใยร่วมกับการก่อกันด้วยเรซินคอมโพสิต มาใช้เพื่อเสริมความแข็งแรงของผนังเนื้อฟัน อย่างไรก็ตามวิธีการบูรณะฟันในแบบต่างๆ อาจให้ความแข็งแรง และค่าใช้จ่ายในการรักษาไม่เท่ากัน

ในปี พ.ศ. 2558 อุษณีย์ ปิงไพบูลย์ และคณะ [1] ได้ทดสอบแบบจำลองด้วยรูปแบบการบูรณะเป็น 3 กรณี คือ แบบจำลองที่ 1 บูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตก่อกันฟัน (Multicore Flow)

เท่านั้น แบบจำลองที่ 2 บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใย 3 จำนวน 1 อัน ร่วมกับเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3, Multicore Flow) และแบบจำลองที่ 3 บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยเบอร์ 3 จำนวน 1 อัน เบอร์ 0 จำนวน 2 อัน ร่วมกับการก่อกันฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3 & no. 0, Multicore Flow) แล้วให้แรงกดบนแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบพบว่า ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้เกิดการแตกในกลุ่มที่ 1 มีค่าเท่ากับ 361.80 ± 93.16 นิวตัน กลุ่มที่ 2 มีค่า 559.46 ± 155.12 นิวตัน และกลุ่มที่ 3 มีค่า 468.48 ± 155.17 นิวตัน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติวิเคราะห์พบว่าทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) อีกทั้งไม่สามารถเปรียบเทียบเป็นความเค้นได้เนื่องจากไม่ได้วัด

และคำนวณขนาดรอกพันไว้ ทั้งนี้งานวิจัยทางทันตกรรมส่วนใหญ่มักจะเปรียบเทียบเป็นค่าแรงที่ทำให้แตกหัก โดยไม่ได้คำนวณเป็นความเค้น

อย่างไรก็ตามการสรุปความแตกต่างจากข้อมูลทางสถิติยังคงอาจมี ข้อจำกัดตามลำดับนัยสำคัญที่นักวิจัยเลือกใช้ อีกทั้งการให้แรงกดยังไม่สามารถระบุการกระจายความเค้นหรือพฤติกรรมของชิ้นตัวอย่างได้ละเอียดเนื่องด้วยขนาดของตัวอย่าง และความจำกัดของเครื่องมือวัดในขณะทดสอบ ในขณะที่วิธีการวิเคราะห์ แรงภายใน หรือการวิบัติ ของโครงสร้างและวัสดุ ในงานทางวิศวกรรมศาสตร์ นิยมใช้การวิเคราะห์ด้วยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงตัวเลข มาใช้ในจำลองพฤติกรรมต่างๆ ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน โดยสามารถประมาณค่า ความเค้น ความเครียด แรงภายใน ฯลฯ [2] ดังนั้นระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์ความเค้น การวิบัติ ของโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยสามารถปรับให้เข้ากับการใช้งานทางทันตกรรมได้อย่างเหมาะสม ดังงานวิจัยในอดีต เช่น การหาความเค้น และการประมาณค่าความแข็งแรงของเนื้อฟัน [3-4]

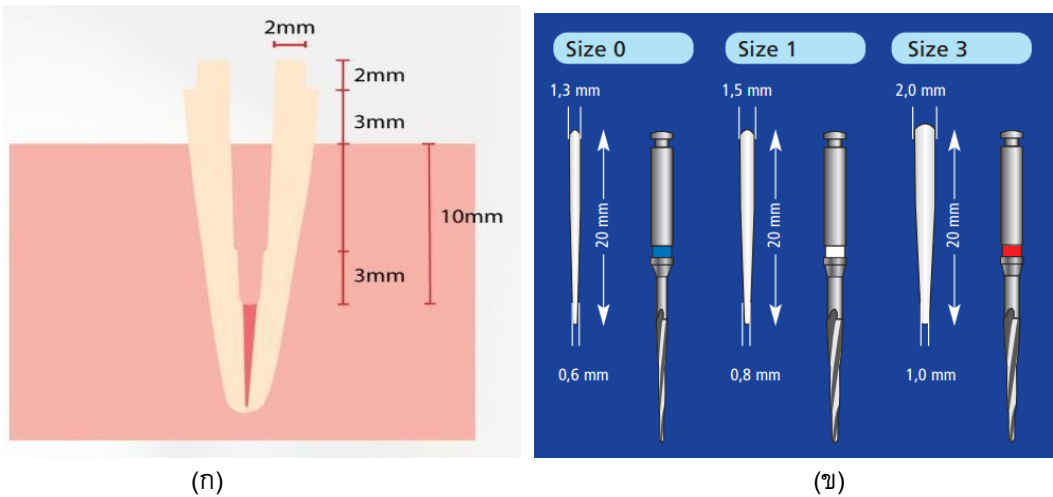
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์การกระจายความเค้น (Stress Distribution) และหาบริเวณที่เกิดค่าความเค้นตึงสูงสุด (Maximum Principal Tensile Stress) ทำการเปรียบเทียบแรงกระทำต่อฟัน ที่มีขนาดและทิศทางของแรงกระทำเท่ากัน ในแบบจำลองรอกพันด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

และวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบแนวโน้มบริเวณที่เกิดการแตกหักของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และลำดับการแตกหัก กับค่าจริงจากการทดสอบในงานวิจัยของอุษณีย์ ปิงไพบุลย์ และคณะ [1]

วิธีดำเนินการวิจัย

1. จำลองฟันกรามน้อยล่างซี่ที่ 1 จากภาพรังสีโคนบีม โทโมกราฟี ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) ด้วยโปรแกรมโซลิดเวิร์ค (SolidWorks) ซึ่งใช้ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยแบ่งรูปแบบของแบบจำลองออกเป็น 3 ลักษณะการบูรณะ (การรักษา รากฟัน) จากสมมติฐานของการทดสอบว่า จำนวนของแกนฟันมีผลต่อการต้านทานการแตกหักของฟันที่บูรณะ [1] ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมบูรณะด้วยเรซินคอมโพสิตก่อกแกนฟัน (Multicore Flow) กลุ่มที่ 2 บูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใย 3 จำนวน 1 อัน ร่วมกับการก่อกแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3, Multicore Flow) และกลุ่มที่ 3 บูรณะด้วยเดือยฟันไฟเบอร์เบอร์ 3 จำนวน 1 อัน เบอร์ 0 จำนวน 2 อัน ร่วมกับการก่อกแกนฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3 & no. 0, Multicore Flow) โดยรูปร่างของเดือยฟันแสดงในภาพที่ 1 (ข) และรูปลักษณะการบูรณะแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 1 (ก) แบบจำลองเนื้อฟัน [1] (ข) FRC Posted Plus เบอร์และขนาดต่างๆ

ที่มา: <http://www.ivoclarvivadent.cz/zoolu-website/media/document/1134/FRC+Postec+Plus>

2. กำหนดสมบัติทางกลของส่วนประกอบ รากฟันเป็นแบบไอโซทรอปิกและมีความยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Isotropic Elastic) การยึดติดของผิวสัมผัสทั้งหมดเป็นแบบยึดติดแน่น (Bonded) โดยค่าโมดูลัสสภาพยืดหยุ่น (Young's Modulus, E) ค่าอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's Ratio) ของแต่ละวัสดุแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกล ส่วนประกอบแบบจำลองรากฟัน

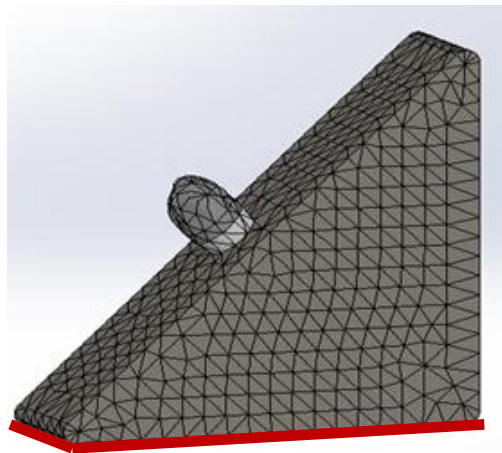
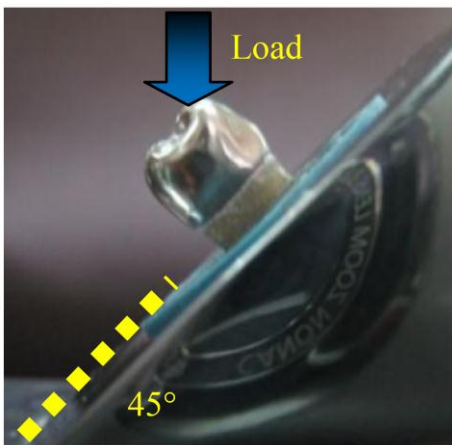
วัสดุ	โมดูลัสยืดหยุ่น (MPa)	อัตราส่วนปัวซอง	เอกสารอ้างอิง
เนื้อฟัน (Dentin)	18,600	0.31	Reinhardt; et al. (1984) [5]
กัตตาเปอร์ชา (Gutta Percha)	0.69	0.45	Asmussen; et al. (1999) [6]
เรซินคอมโฟลิต (Multicore Flow)	16,600	0.24	Rees and Jagger. (2003) [7]
โลหะผสมครอบฟัน (Metal Crown)	96,600	0.35	Asmussen; et al. (1999) [6]
เดือยฟันเสริมเส้นใย (FRC)	21,600	0.30	Tay and Pashley. (2007) [8]
อีพ็อกซี เรซิน (Resin Block)	20,000	0.30	Engineeringtoolbox.com [9]



ภาพที่ 2 ลักษณะการบูรณะรากฟัน [1]

3. ให้แรงกระทำ 1000 นิวตัน โดยทำมุม 45 องศา บนปุ่มยอดฟันข้างแก้ม [1, 10] โดยให้แรงเท่ากันทั้งสามแบบจำลอง และกำหนดฐานรองรับของรากฟันเป็นยึดแน่นบริเวณฐานของเรซิน (Fixed Geometry) พื้นที่ใต้ฐานแนวเส้นสีแดงขนาด 65x20 มม. ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยแบบจำลองมีขนาดต่างๆ โดยประมาณดังนี้ ความยาวส่วนรากฟัน 22 มม. ความยาวของโครงโลหะครอบฟัน 7.2 มม. เส้นผ่าศูนย์กลาง

ตัวฟัน 9 มม. ความยาวฐานยึด (อ็พอกซีเรซิน) 65 มม. ความกว้างฐานยึด (อ็พอกซีเรซิน) 20 มม. แบบจำลองนี้เลือกใช้เอลิเมนต์ชนิดสามมิติทรงสี่หน้าสิบจุดต่อ (10-Node Tetrahedrons) [11] โดยมีจำนวนจุดต่อในช่วง 17,200 ถึง 30,678 จุดต่อ และได้ทำการทดสอบการลู่เข้าของผลการวิเคราะห์จากขนาดของเอลิเมนต์ต่างๆ แล้ว



ภาพที่ 3 ลักษณะการให้แรง และแบบจำลองฟันพร้อมฐานเรซิน [4]

4. ทำการวิเคราะห์ค่าความเค้น โดยกำหนดให้แสดงเป็นค่าความเค้นดึง (Principal Tensile Stress) เนื่องจากให้สมมติฐานของฟันเป็นวัสดุเปราะ

และสังเกตบริเวณที่เกิดค่าความเค้นมากที่สุด จากนั้นเปรียบเทียบกับกำลังวัสดุ และบริเวณการแตกหักทดสอบการรับแรงจริง

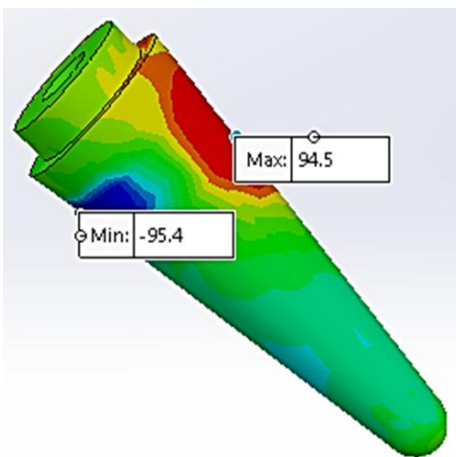
5. เปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดในแต่ละกรณี เพื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงสูงสุดที่เกิดการแตกหักจากการทดสอบของทั้งสามกรณี เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการกระจายความเค้นและความสามารถในการรับแรงก่อนการวิบัติ

ผลการวิจัย

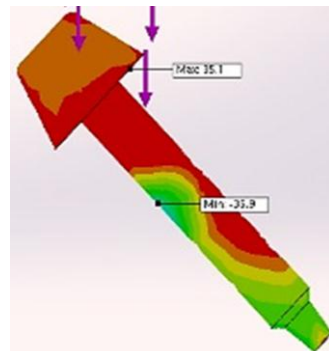
ผลการวิเคราะห์การกระจายความเค้นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ แสดงผลเป็นภาพการกระจายความเค้นด้วยสีที่แตกต่างกันเป็นตัวแทนค่าความเค้นดึงโดยดูสัญลักษณ์แถบสีในการทดลองนี้ได้กำหนดค่าความเค้นดึงจากค่ามากไปน้อยแทนด้วยสี แดง ส้ม เหลือง เขียว ฟ้า น้ำเงิน ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ความเค้นของกลุ่มที่ 1 สำหรับแบบจำลองที่ 1 บูรณะ ด้วยเรซินคอมโพสิต ก่อแกนฟัน (Multicore Flow) เท่านั้น แสดงผล

การกระจายความเค้นดึงในภาพที่ 4 โดยขึ้นส่วนที่แสดงในภาพที่ 4ก คือ ขึ้นส่วนที่เป็นเนื้อฟัน และ 4ข คือ ขึ้นส่วนของเรซินคอมโพสิตที่เป็นแกนอยู่ในช่องที่เจาะไว้ภายในตัวฟันที่ทำการบูรณะการกระจายความเค้นจากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าด้านบน (สีแดง) เป็นด้านที่มีความเค้นดึงขณะที่ด้านล่าง (สีน้ำเงิน) เป็นด้านที่มีความเค้นอัดเป็นหลัก จากสมมติฐานที่ให้เนื้อฟันเป็นวัสดุเปราะ การวิเคราะห์นี้สังเกตพบบริเวณการวิบัติจากบริเวณที่ความเค้นดึงสูงที่สุด (Principal Tension Stress) [12] ที่เป็นบริเวณใกล้คอฟัน (Cervical) 1/3 ของความยาวรากฟันโดยวัดความยาวจากรอยต่อระหว่างเคลือบรากฟันและเคลือบฟัน (CEJ) ถึงปลายรากฟัน โดยมีความเค้นประมาณ 94.5 MPa ในขณะที่ขึ้นส่วนของเรซินคอมโพสิตมีความเค้นสูงสุดประมาณ 35.1 MPa (บริเวณสีแดงในภาพที่ 4ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 การกระจายความเค้นดึงของการบูรณะแบบที่ 1 (ก) เนื้อฟัน (ข) เรซินคอมโพสิต

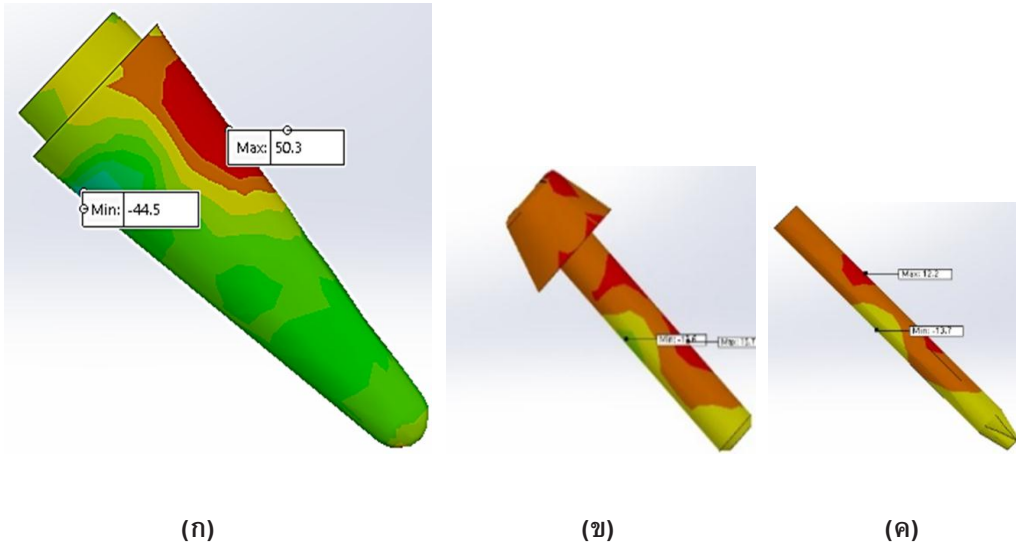
*สีในภาพทั้งสอง สเกลไม่เท่ากัน

ผลการวิเคราะห์ความเค้นของกลุ่มที่ 2
แบบจำลองที่ 2 ซึ่งจำลองการบูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใย 3 จำนวน 1 อัน ร่วมกับเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3, Multicore Flow) การกระจายความเค้นแสดงในภาพที่ 5 รูปแบบการกระจายความเค้นในส่วนของเนื้อฟันเหมือนกับกับการบูรณะแบบที่ 1 คือ มีความเค้นตั้งอยู่ด้านบนและมีความเค้นอัดอยู่ด้านล่าง โดยมีความเค้นตั้งสูงที่สุด บริเวณเดียวกับรูปแบบการบูรณะแบบที่ 1 สำหรับค่าความเค้นตั้งสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 50.3 MPa ในขณะที่ค่าความเค้นตั้งสูงที่สุดของเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันเสริมเส้นใย เท่ากับ 15.7 MPa และ 12.2 MPa ตามลำดับ

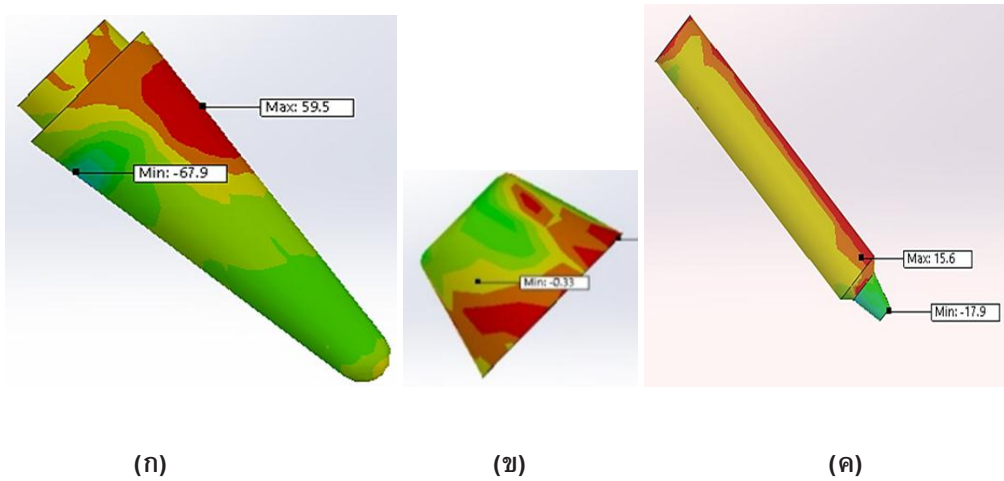
ผลการวิเคราะห์ความเค้นของกลุ่มที่ 3
สำหรับแบบจำลองสุดท้าย เป็นแบบจำลองแทนการบูรณะด้วยเดือยฟันเสริมเส้นใยเบอร์ 3 จำนวน 1 อัน เบอร์ 0 จำนวน 2 อัน ร่วมกับการก่อกันฟันด้วยเรซินคอมโพสิต (FRC Postec Plus no. 3 & no. 0, Multicore Flow) รูปแบบการกระจายความเค้นในส่วนของเนื้อฟันเหมือนกับ การบูรณะแบบที่ 1 และ 2 ดังแสดงการกระจายความเค้นแสดงในภาพที่ 6 โดยมีความเค้นตั้งอยู่ด้านบนและมีความเค้นอัดอยู่ด้านล่าง โดยมีความเค้นตั้งสูงที่สุด อยู่บริเวณเดียวกับรูปแบบการบูรณะแบบที่ 1 และ 2 สำหรับค่าความเค้นตั้งสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 59.5 MPa ในขณะที่ค่าความเค้นตั้งสูงที่สุดของเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันเสริมเส้นใย เท่ากับ 22.4 MPa และ 15.6 MPa ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์บริเวณการแตกหัก
จากลักษณะการกระจายความเค้นและขนาดความเค้นเนื่องด้วยในแบบจำลอง มีวัสดุต่างชนิดกันรวม 3 ชนิด ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์ว่าวัสดุใดมีความเสี่ยงต่อการวิบัติ จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติการรับแรงของวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้ ซึ่งอาจเป็นค่าความเค้นที่จุดวิบัติของวัสดุนั้นๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้

ใช้ค่าความเค้นที่จุดวิบัติด้วยแรงดึง (Ultimate Tensile Strength) โดยมีค่าตามวัสดุดังนี้ 1. เนื้อฟัน ใช้ค่าเท่ากับ 33.9 MPa [13] 2. เรซินคอมโพสิต ใช้ค่าเท่ากับ 47 MPa [14] และ 3. เดือยฟันเสริมเส้นใยคาร์บอน ใช้ค่า 1600 MPa [15] ตารางสรุปความเค้นสูงสุดในแต่ละวัสดุแสดงในตารางที่ 2 และอัตราส่วนกำลังต่อวัสดุความเค้นตั้ง (FOS) แสดงในตารางที่ 3 จากข้อมูลอัตราส่วนแสดงให้เห็นว่า เนื้อฟันเป็นเพียงวัสดุเดียวที่มีความเสี่ยงต่อการแตกหัก ในขณะที่เรซินคอมโพสิตและเดือยฟันเสริมเส้นใย ยังมีความเค้นที่เกิดขึ้นห่างกับความเค้นที่จุดวิบัติอยู่มาก ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ยืนยันได้ว่าการแตกหักควรเกิดบริเวณที่เป็นเนื้อฟันและเป็นบริเวณช่วงใกล้คอฟัน 1/3 ของความยาวรากฟัน สอดคล้องกับผลการทดสอบของอุษณีย์ ปิงไพบูลย์ และคณะ [1]



ภาพที่ 5 การกระจายความเค้นดึงของของการบูรณะแบบที่ 2 (ก) เนื้อฟัน (ข) เรซินคอมโพสิต (ค) เดือยฟันเสริมเส้นใย
*สีในภาพทั้งสาม สเกลไม่เท่ากัน



ภาพที่ 6 การกระจายความเค้นดึงของของการบูรณะแบบที่ 3 (ก) เนื้อฟัน (ข) เรซินคอมโพสิต (ค) เดือยฟันเสริมเส้นใย
*สีในภาพทั้งสาม สเกลไม่เท่ากัน

ตารางที่ 2 ตำแหน่งและค่าความเค้นดึงสูงสุด ของแบบจำลองรากฟัน

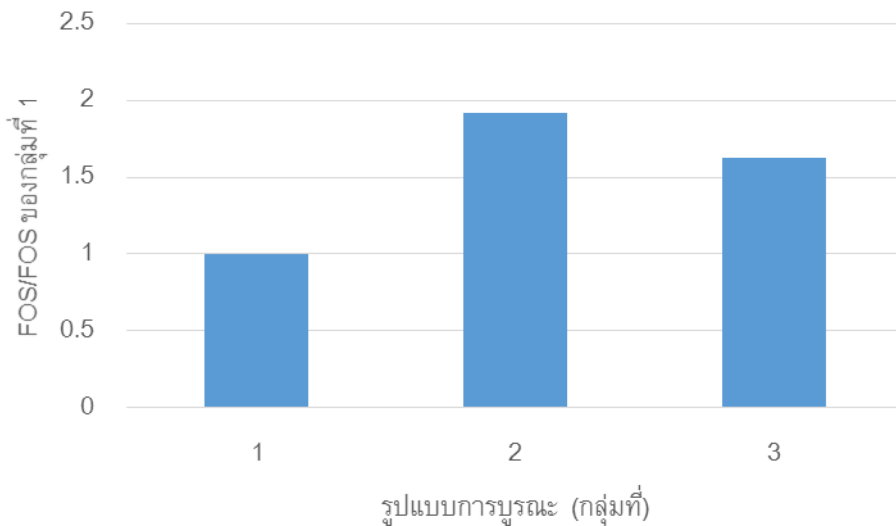
แบบจำลอง/กลุ่ม	ตำแหน่งและค่าความเค้นดึงสูงสุด (Principle Stress 1, P1)					
	เนื้อฟัน		เรซินคอมโพสิต		เดือยฟัน	
	ความเค้น (MPa)	ตำแหน่ง	ความเค้น (MPa)	ตำแหน่ง	ความเค้น (MPa)	ตำแหน่ง
กลุ่มที่ 1	94.5	ส่วนใกล้คอฟัน	35.1	ส่วนใกล้คอฟัน	-	-
กลุ่มที่ 2	50.3	ส่วนใกล้คอฟัน	15.7	ส่วนกลางรากฟัน	12.2	ส่วนกลางรากฟัน
กลุ่มที่ 3	59.5	ส่วนใกล้คอฟัน	22.4	ส่วนใกล้คอฟัน	15.6	ส่วนปลายรากฟัน

ตารางที่ 3 อัตราส่วนกำลังวัสดุต่อความเค้นดึง (FOS) ของส่วนต่างๆ ของแบบจำลองรากฟัน

แบบจำลอง/กลุ่ม	ค่าความเค้นดึงสูงสุด (Principle Stress 1, P1) และ อัตราส่วนกำลังวัสดุต่อความเค้นดึง					
	เนื้อฟัน		เรซินคอมโพสิต		เดือยฟันเสริมเส้นใย	
	ความเค้น (MPa)	FOS	ความเค้น (MPa)	FOS	ความเค้น (MPa)	FOS
กลุ่มที่ 1	94.5	0.35	35.1	1.34	-	-
กลุ่มที่ 2	50.3	0.67	15.7	2.99	12.2	131.15
กลุ่มที่ 3	59.5	0.57	22.4	2.10	15.6	102.56

ผลการวิเคราะห์ลำดับความสามารถในการรับแรง จากค่า FOS ในตารางที่ 3 พิจารณาควบคู่กับลักษณะการกระจายความเค้นและขนาดความเค้น จะได้การกระจายแรงที่ทำให้เกิดความเค้นน้อยที่สุด คือ รูปแบบการบูรณะที่ 2 ซึ่งหมายความว่ารูปแบบนี้ มีความแข็งแรงมากที่สุด (วิบัติด้วยแรงมากที่สุด) ในขณะที่รูปแบบที่มีการบูรณะแบบที่ 1 มีการกระจายแรงทำให้เกิดความเค้นมากที่สุด (วิบัติด้วยแรงน้อยที่สุด) คือ มีความแข็งแรงน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์อิลิเมนต์ได้ผลวิเคราะห์ที่แสดงบริเวณการแตกหัก และลำดับความแข็งแรงของรูปแบบการบูรณะ สอดคล้องกับรูปภาพการแตกหักของชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบของ

อูษณีย์ ปิงไพบุลย์ และคณะ [1] ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า หากพิจารณาในส่วนการแตกหักที่เกิดขึ้นในลำดับแรกบริเวณเนื้อฟัน ดังแสดงการเปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อฟันในรูปแบบการบูรณะต่างๆ เทียบกับการบูรณะในแบบกลุ่มที่ 1 ในภาพที่ 7 พบว่ากลุ่มที่ 2 และ 3 มีค่าความแข็งแรงมากกว่ากลุ่มที่ 1 ประมาณ 1.9 เท่า และ 1.6 เท่าตามลำดับ



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของเนื้อฟันในรูปแบบการบูรณะต่างๆ เทียบกับการบูรณะในแบบกลุ่มที่ 1

สรุปและอภิปรายผล

จากการกระจายแรงพบว่าในทุกรูปแบบการบูรณะ ความเค้นสูงสุดเกิดบริเวณผิวนอกของเนื้อฟัน ตำแหน่งใกล้คอฟัน 1/3 ของความยาวรากฟัน และจากอัตราส่วนกำลังต่อวัสดุความเค้นดึง (FOS) แสดงให้เห็นว่า จะเกิดการวิบัติที่เนื้อฟันก่อนที่จะเกิดกับเรซินคอมโพสิตและเดือยฟันเสริมเส้นใย ซึ่งอยู่ด้านในของแบบจำลอง

การกระจายแรงที่ทำให้เกิดความเค้นน้อยที่สุด (วิบัติด้วยแรงมากที่สุด) คือ รูปแบบการบูรณะที่ 2 ในขณะที่รูปแบบที่มีการบูรณะแบบที่ 1 มีการกระจายแรงทำให้เกิดความเค้นมากที่สุด (วิบัติด้วยแรงน้อยที่สุด) จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์ ได้ผลวิเคราะห์ที่แสดง

บริเวณการแตกหัก และลำดับความแข็งแรงของรูปแบบการบูรณะ สอดคล้องกับการทดสอบของอุษณีย์ ปิงไพบูลย์ และคณะ [1]

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์นี้ใช้คุณสมบัติวัสดุแบบเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous) โดยไม่มีตำหนิ (Defect) ใดๆ และการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (Linear Elastic) ข้อมูลที่ได้จึงใช้ได้ในส่วนของการเปรียบเทียบการกระจายแรงในแต่ละรูปแบบการบูรณะ และบริเวณที่จะเกิดความเค้นสูงสุดได้ในช่วงแรกของการรับแรงได้ หากต้องการการเสียรูปที่เสมือนจริงมากขึ้นอาจต้องใช้การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear) ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Usanee Puengpaiboon, Pavinee Padipatvuthikul Didron; and Nisakorn Vetviriyakul. (2015). Comparison of Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth with Flared Root Canal, Restored with Different Number. *Srinakharinwirot University Journal of Science and Technology*. 7(13): 76-87.
- [2] Pramote Dechaumphai. (2007). *Finite Element Method in Engineering*. 4th ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

- [3] D. B. Burr. (2016, September). The Use of Finite Element Analysis to Estimate the Changing Strength of Bone Following Treatment for Osteoporosis. *Osteoporosis International*. 27(9): 2651-2654.
- [4] S. Sinthaworn, U. Puengpaiboon, N. Warasetrattana; and S. Wanapaisarn. (2018). *Estimation of Ultimate Tensile Strength of Dentin Using Finite Element Analysis from Endodontically Treated Tooth*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 303 (2018). 012008. doi:10.1088/1757-899X/303/1/012008.
- [5] Reinhardt RA, Pao YC, Krejci RF. (1984). Periodontal Ligament Stresses in The Initiation of Occlusal Traumatism. *J Periodntal Res*. 19: 238-246.
- [6] Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T. (1999). Stiffness, Elastic Limit, and Strength of Newer Types of Endodontic Posts. *J Dent*. 27: 275-278.
- [7] Rees JS, Jagger DC. (2003). Abrasion Lesion Formation in Maxillary Incisor, Canine and Premolar: A Finite Element Study. *Eur J Oral Sci*. 111:149-154.
- [8] Tay FR, Pashley DH. (2007, April). Monoblocks in Root Canals - A Hypothetical or A Tangible Goal. *J Endod*. 33(4): 391-398.
- [9] Engineering ToolBox. (2008). *Polymers - Physical Properties*. June 17, 2019, from https://www.engineeringtoolbox.com/polymer-properties-d_1222.html
- [10] Siriporn Arunpraditkul, Siranee Saengsanon; and Wilasinee Pakviwat. (2009). Fracture Resistance of Endodontically Treated Teeth: Three Walls versus Four Walls of Remaining Coronal Tooth Structure. *Journal of Prosthodontics*. 18(2009): 49-53.
- [11] O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor; and David Fox. (2014). *The Finite Element Method for Solid and Structural Mechanics*. Seventh Edition. Oxford: Elsevier.
- [12] Chaosuan Kanchanomai. (2009). *Failure of Engineering Materials*. Bangkok: Thammasat Press.
- [13] Marcelo Giannini, Carlos José Soares, Ricardo Marins de Carvalho. (2004). Ultimate Tensile Strength of Tooth Structures. *Dental Materials*. 20: 322-329.
- [14] Lu H, Lee YK, Oguri M, Powers JM. (2006). Properties of a Dental Resin Composite with a Spherical Inorganic Filler. *Oper Dent*. 31(6): 734-740.
- [15] Siriporn Arunpraditkul. (2002). *The Effect of Various Methods for Post and Core Restoration on Stress Distribution in Flared Root Canal : The Finite Element Method*. Thesis, M.Sc. (Prosthodontics). Bangkok: Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University.