

การวิเคราะห์การปรับปรุงโครงสร้างฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริด
แบบ 3 รากฟันเทียมโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

THE ANALYSIS OF MODIFIED HYBRID DENTURE STRUCTURE
WITH 3 IMPLANTS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

เชิดพันธุ์ วิทยารามณ์^{1*} และ ชาคริต ตั้งศิริมงคล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10300

โทร 02-218-6622 โทรสาร 02-252-2889 อีเมล chirdpun@hotmail.com

Chirdpun Vitooraporn^{1*} and Chacrit Tangsiramongkol¹

¹Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering Chulalongkorn University Patumwan, Bangkok 10330

Tel: 0-2218-6622 Fax: 0-2252-2889 E-mail: chirdpun@hotmail.com

บทคัดย่อ : การวิเคราะห์การกระจายความเค้นในฟันปลอมไฮบริดบนกระดูกขากรรไกรล่างโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อลดจำนวนรากฟันเทียมที่รองรับฟันปลอมไฮบริดจากจำนวน 5 ตัวให้เหลือเพียง 3 ตัว พบว่าการลดจำนวนรากฟันเทียมทำให้ค่าความเค้นสูงสุดที่ตำแหน่งของรากฟันเทียมตัวหลังสุดนั้นมีค่าสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้นบนรากฟันเทียมแต่ละตัว [1, 2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมาหาแนวทางในการแก้ปัญหา โดยการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่โครงสร้างฟันปลอม ได้แก่ การเพิ่มขนาดของหลักยึดรากฟันเทียม หรือเสริมบารองรับให้แก่หลักยึดรากฟันเทียม ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่าสามารถลดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนคอหลักยึดได้ แต่ไม่สามารถลดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียมได้ ทำให้อาจเกิดปัญหาการละลายของกระดูกรอบรากฟันเทียม ขณะที่การแก้ปัญหาโดยการลดโมเมนต์ดัดที่ส่งสู่รากฟันเทียมตัวหลังสุด เช่น การใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอยแทนโครงโลหะไททาเนียมอัลลอยเพื่อให้มีความแข็งแรงมากขึ้น พบว่าสามารถช่วยแก้ปัญหาการกระจายความเค้นบนโครงโลหะได้อย่างมาก แต่ช่วยแก้ปัญหาการกระจายความเค้นที่กระดูกรอบรากฟันเทียมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การออกแบบโครงสร้างฟันปลอมใหม่โดยใช้จุดเชื่อมต่อแบบจุดหมุนบนหลักยึดรากฟันเทียมแทนการใช้จุดตรึงปลายเพื่อให้เกิดการถ่ายทอดแรงในแนวแกนรากฟันเทียมลงสู่รากฟันเทียมเท่านั้น พบว่าสามารถช่วยลดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียมได้ต่ำกว่าค่าความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมเมื่อใช้ฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียม

occurred in the implant at the rear end is higher than that when using five implants. This is resulted from higher bending moment occurred on each implant [1, 2]. Therefore it is the aim of this research to investigate those results in order to modify the hybrid denture structure to withstand those higher stresses. Enhancing the strength on the hybrid denture by increasing the size of abutment or adding the chamfer at the neck of abutment could reduce the stresses on the neck of abutment but could not reduce the stress distribution at the cortical and spongy bone around the implants. This could cause the problem on bone resorption around the implants. Reducing the bending moment on the implant at the rear end by using other materials with higher strength such as cobalt instead of titanium could effectively reduce the stress on the frame and abutment but little could be done on reducing the stress on the cortical and spongy bone around the implants. Redesigning the hybrid denture structure using roller support on abutment instead of using the fixed support in order to receive only the axial force could reduce the stress at the cortical and spongy bone around the implants to the value that is lower than the maximum stress at the cortical and spongy bone around the implants when using hybrid denture with 5 implants.

Abstract: Results from the stress analysis on the reduction of the hybrid denture's implants from five implants to three implants using the finite element method reveals that the maximum stress

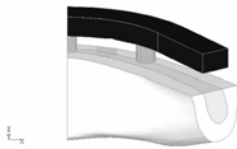
1. บทนำ

ชาคริต (2545) [1] ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเค้นที่เกิดขึ้นในฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริดที่ฝังรากฟันเทียมจำนวน 5 ตัว

และ 3 ตัว โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งของรากฟันเทียมตัวหลังสุดมีค่าสูงขึ้นเมื่อลดจำนวนรากฟันเทียมลงเหลือ 3 ตัว โดยมีสาเหตุมาจากการที่รากฟันเทียมแต่ละตัวต้องรับโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมาแก้ปัญหาโดยการเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างฟันปลอม เช่น การเพิ่มขนาดของหลักยึดรากฟันเทียม หรือการเสริมบารองรับให้แก่หลักยึดรากฟันเทียม การเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำโครงโลหะให้มีความแข็งแรงขึ้น และการออกแบบโครงสร้างฟันปลอมถ่ายทอดแรงในแนวแกนรากฟันเทียมลงสู่รากฟันเทียมเท่านั้น โดยใช้รายละเอียดของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของฟันปลอมไฮบริดในขากรรไกรล่างที่เสนอโดยชาคริต (2545) [1] มาเปลี่ยนแปลงรูปร่างและเงื่อนไขใหม่ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของแนวทางดังกล่าว

2. แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ฟันปลอมไฮบริดในขากรรไกรล่าง

แบบจำลองที่เสนอโดยชาคริต 2545 [1] ได้นำภาพสามมิติที่ใช้คอมพิวเตอร์สร้างขึ้นจากภาพที่ได้จากการทำ CT scan มาดัดกระดูกขากรรไกรล่างส่วนที่อยู่เลยระยะปลายสุดของฟันปลอมไปทางด้านท้ายออก เพื่อใช้เป็นแบบจำลองส่วนที่เป็นกระดูกขากรรไกรล่าง เนื่องจากกระดูกขากรรไกรล่างและชุดฟันปลอมไฮบริดในแบบจำลองมีความสมมาตรซ้ายขวา ดังนั้นจึงสร้างแบบจำลองครึ่งขวาเพียงครึ่งเดียว (รูปที่ 1) สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้น โดยมีหน้าตัดที่แบ่งครึ่งขากรรไกรเป็นหน้าตัดสมมาตร



รูปที่ 1 รูปร่างลักษณะครึ่งส่วนด้านขวาของแบบจำลองฟันปลอมไฮบริดฝังรากฟันเทียม 3 ตัวในกระดูกขากรรไกรล่าง

ในรูปที่ 1 ส่วนบนสุด (สีดำทึบ) จะเป็นโครงโลหะ ได้โครงโลหะคือหลักยึด สีขาวคือกระดูกทึบ ภายในกระดูกทึบคือกระดูกโปร่ง รากฟันเทียมจะฝังอยู่ในกระดูกขากรรไกรล่างใต้หลักยึดรากฟันเทียม รูปที่ 2 แสดงรูปร่างของรากฟันเทียมที่ยังไม่ได้รับการดัดแปลงซึ่งจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกสูง 10 มม. มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.75 มม. แต่ละตัวจะอยู่ห่างจากกัน 22 มม. วัดจากจุดศูนย์กลางรากฟันเทียมตัวหนึ่งไปยังรากฟันเทียมอีกตัวหนึ่ง พร้อมทั้งกำหนดให้รากฟันเทียมตัวหลังสุด (ตัวเต็มในรูป) เป็นรากฟันเทียมตัวที่ 1 รากฟันเทียมตัวหน้าสุดเป็นรากฟันเทียมตัวที่ 2



รูปที่ 2 การเรียงตัวของรากฟันเทียม

โครงสร้างฟันปลอมที่อยู่เหนือกระดูกจะประกอบไปด้วยโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียม โดยโครงโลหะจำลองให้มีรูปร่างเป็นคาน

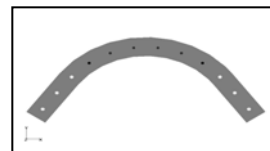
โค้งรูปเกือกม้ามีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความกว้าง 6 มม. หนา 4 มม. และมีส่วนยื่นด้านท้ายยาว 20 มม. ทั้งด้านซ้ายและขวา ส่วนหลักยึดรากฟันเทียมเป็นทรงกระบอกมีหน้าตัดเท่ากับรากฟันเทียมแต่มีความสูง 4 มม. ดังรูปที่ 3



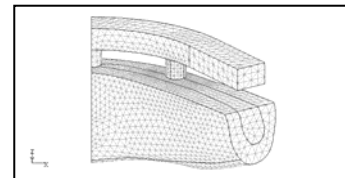
รูปที่ 3 ลักษณะของโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียม

ส่วนที่เป็นรากฟันเทียม โครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมทำจากโลหะไททาเนียมอัลลอย (Ti-6%Al-7%Nb) โดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 105 GPa มีอัตราส่วนของบิวของเท่ากับ 0.35 และมีความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 830 MPa และความเค้นเฉือนที่จุดครากเท่ากับ 415 MPa ส่วนที่เป็นกระดูกทึบมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 13.7 GPa อัตราส่วนบิวของเท่ากับ 0.3 และในกระดูกโปร่งมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 1.37 GPa อัตราส่วนบิวของเท่ากับ 0.3 ส่วนค่าความแข็งแรงของกระดูกทึบได้จากการทดสอบแรงดึงมีค่าเท่ากับ 133 MPa จากการทดสอบแรงกดเท่ากับ 193 MPa และจากการทดสอบแรงเฉือนเท่ากับ 68 MPa แรงบดเคี้ยวจะเป็นแรงในแนวตั้งกระทำบนจุดสบฟันซึ่งมีอยู่ 12 จุด กระจายอยู่ด้านบนของโครงโลหะด้วยระยะห่างที่คงที่ โดยมีจุดสบฟันหน้า 4 จุด จุดสบฟันเขี้ยว 2 จุด จุดสบฟันหลัง 6 จุด ดังรูปที่ 4 ลักษณะการบดเคี้ยวจะมี 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 แรงบดเคี้ยวแบบกระจายทั่วปาก จะมีแรงบดเคี้ยวกระทำกับแต่ละจุดสบฟันหน้าเท่ากับ 155 N จุดสบฟันเขี้ยวเท่ากับ 175 N และจุดสบฟันกรามเท่ากับ 195 N กำหนดเป็นชุดแรง 155-175-195 N
กรณีที่ 2 แรงบดเคี้ยวเฉพาะบริเวณฟันกรามด้านขวา จะมีแรงบดเคี้ยวกระทำกับแต่ละจุดสบฟันกรามด้านขวามีค่าเท่ากับ 190 N



รูปที่ 4 ตำแหน่งจุดสบฟันบนโครงโลหะ



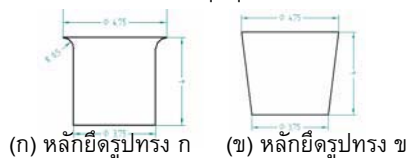
รูปที่ 5 การแบ่งเอลิเมนต์ในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริดฝังรากฟันเทียม 3 ตัวบนกระดูกขากรรไกรล่าง

กำหนดให้มีจุดรองรับแบบครึ่งรูปปลายที่ปลายแบบจำลองกระดูกขากรรไกรล่าง และแบบจำลองนั้นมีความสมมาตรซ้ายขวาที่หน้าตัดสมมาตร ซึ่งจะให้ผลจากการคำนวณตรงกับผลการตรวจสอบทางคลินิก เอลิเมนต์ที่ใช้เป็นทรงสี่หน้า 10 จุดต่อ โดยที่ขนาดของเอลิเมนต์ใหญ่เล็กไม่เท่ากัน โดยบริเวณที่ไม่ได้รับความสนใจในการศึกษานี้ซึ่งได้แก่บริเวณจุดที่กำหนดให้มีแรงบดเคี้ยวและจุดที่กำหนดให้เป็นจุดรองรับ

ของโครงสร้างนั้นจะใช้เอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ (ประมาณ 1.5 มม.) ส่วนของกระดูกอบรอกพันเทียมที่มีความเค้นสูงซึ่งเป็นจุดที่มีความสำคัญต่อการศึกษานี้จะกำหนดให้เอลิเมนต์มีขนาดเล็ก (ประมาณ 0.7 มม.)

3. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหลักยึดรากฟันเทียม

รูปร่างของหลักยึดรากฟันเทียมที่เปลี่ยนแปลงใหม่จะมีลักษณะและขนาดดังแสดงในรูปที่ 6 โดยหลักยึดรูปทรง ก มีการเสริมปารองรับให้แก่หลักยึดเพื่อลดความเค้นขมูมนุ่มที่เกิดขึ้น ในขณะที่หลักยึดรูปทรง ข มีการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของหลักยึดรากฟันเทียมเฉพาะบริเวณคอหลักยึดเพื่อลดค่าความเค้นที่มีค่าสูงบริเวณคอรากฟันเทียมลง และลดขนาดลงจนเท่ากับหน้าตัดของรากฟันเทียมเพื่อไม่ให้เกิดมุมใด ๆ บนหลักยึดอันจะทำให้เกิดความเค้นขมูมนุ่มขึ้น



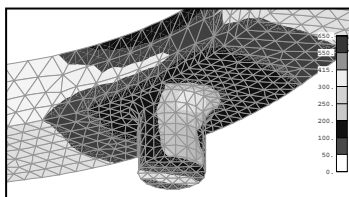
รูปที่ 6 แสดงลักษณะและขนาดของหลักยึดรูปทรง ก และ ข

4. การวิเคราะห์ฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมเมื่อใช้หลักยึดรูปทรง ก

4.1 การกระจายความเค้น เมื่อมีแรงกดเคี้ยวกระจายทั่วปาก โดยกำหนดชุดแรงกดเคี้ยว 155-175-195 N (กรณีที่ 1)

4.1.1 การกระจายความเค้นบนโครงสร้างฟันปลอม

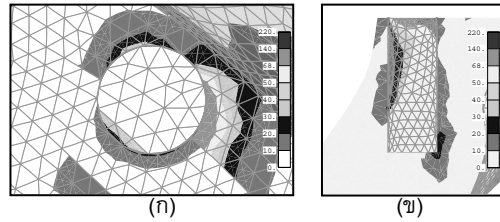
ค่าความเค้นเค้นที่มีค่าสูงสุดในโครงสร้างฟันปลอมนั้นอยู่บริเวณคอหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมบนส่วนที่เป็นปารองรับโดยค่าความเค้นเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้เท่ากับ 382 MPa



รูปที่ 7 การกระจายความเค้นเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ก เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 155-175-195 N

4.1.2 การกระจายความเค้นบนกระดูกอบรอกฟันเทียม

ค่าความเค้นเค้นเค้นในบริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 1 จะมีค่าสูงที่สุดในกระดูกอบรอกฟันเทียม โดยมีค่าความเค้นเค้นเค้นสูงสุดเท่ากับ 144 MPa ในขณะที่ค่าความเค้นเค้นเค้นในบริเวณเดียวกันจะมีค่าสูงที่สุดในกระดูกอบรอกฟันเทียม โดยมีค่าความเค้นเค้นเค้นสูงสุดเท่ากับ -371 MPa สำหรับค่าความเค้นเค้นเค้นสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 2 โดยมีค่าความเค้นเค้นเค้นสูงสุดเท่ากับ 110 MPa

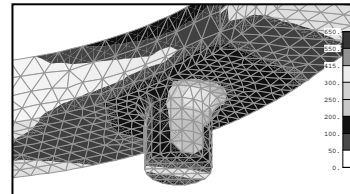


รูปที่ 8 การกระจายความเค้นเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ก เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 155-175-195 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดูกอบรอกฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดูกอบรอกฟันเทียมตัวที่ 1

4.2 การกระจายความเค้น เมื่อมีแรงกดเคี้ยวด้วยบริเวณฟันกรามด้านขวา โดยกำหนดชุดแรงกดเคี้ยว 190 N (กรณีที่ 2)

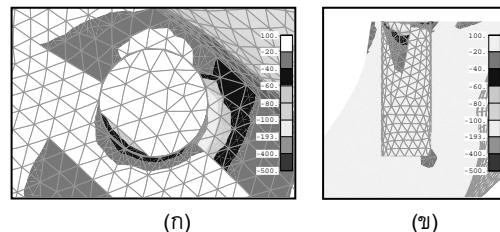
4.2.1 การกระจายความเค้นบนโครงสร้างฟันปลอม

จุดที่มีความเค้นเค้นเค้นสูงสุดอยู่บริเวณปารองรับบริเวณคอหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมและมีค่าเท่ากับ 389 MPa



รูปที่ 9 การกระจายความเค้นเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ก เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 190 N

4.2.2 การกระจายความเค้นบนกระดูกอบรอกฟันเทียม



รูปที่ 10 การกระจายความเค้นเค้นเค้นต่ำสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ก เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 190 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดูกอบรอกฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดูกอบรอกฟันเทียมตัวที่ 1

ค่าความเค้นเค้นเค้นในกระดูกอบรอกฟันเทียมบริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 1 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 104 MPa ในขณะที่ค่าความเค้นเค้นเค้นในกระดูกอบรอกฟันเทียมก็มีค่าสูงที่สุดที่บริเวณเดียวกันนี้โดยมีค่าเท่ากับ -251 MPa ส่วนค่าความเค้นเค้นเค้นในกระดูกอบรอกฟันเทียมมีค่าสูงที่สุดที่บริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 2 โดยมีค่าเท่ากับ 70 MPa

4.3 สรุปการกระจายความเค้นในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมเมื่อใช้หลักยึดรูปทรง ก

ในโครงสร้างฟันปลอมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ก พบว่ามีค่าความเค้นเค้นเค้นสูงสุดอยู่ที่บริเวณคอหลักยึดตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอม โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเค้นเค้นเค้นได้จากแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมที่ใช้หลักยึดรูปแบบปกติ [1,2] พบว่าค่า

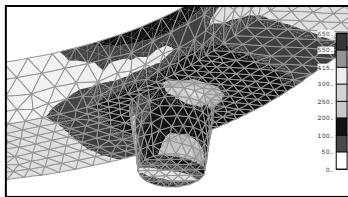
ความเค้นเฉือนสูงสุดในโครงสร้างฟันปลอมที่ใช้หลักยึดรูปทรง ก จะมีค่าต่ำกว่า ($\approx 11.6\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 10.8\%$ ในกรณีที่ 2)

ในกระดุมรอบรากฟันเทียม พบว่ามีค่าความเค้นเฉือนและความเค้นกดสูงสุดอยู่ที่บริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอม และมีค่าความเค้นดึงสูงสุดอยู่ที่บริเวณคอด้านหน้าของรากฟันเทียมตัวที่ 2 โดยที่ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดในกรณีที่ 1 จะมีค่าเท่ากับในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมที่ใช้หลักยึดรูปแบบปกติ [1,2] ในขณะที่ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดในกรณีที่ 2 จะสูงกว่าในกรณีที่ใช้หลักยึดรูปแบบปกติ [1, 2] เพียงเล็กน้อย ($\approx 2.0\%$) ส่วนค่าความเค้นกดสูงสุดในกระดุมรอบรากฟันเทียมจะมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ใช้หลักยึดรูปแบบปกติ [1,2] เพียงเล็กน้อย ($\approx 0.3\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 1.6\%$ ในกรณีที่ 2) และค่าความเค้นดึงสูงสุดนั้นมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่ใช้หลักยึดรูปแบบปกติ [1,2] เพียงเล็กน้อย ($\approx 1.8\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 1.4\%$ ในกรณีที่ 2)

5. การวิเคราะห์ฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมเมื่อใช้หลักยึดรูปทรง ข

5.1 การกระจายความเค้นเมื่อมีแรงกดเคี้ยวกระจายทั้งปาก โดยกำหนดชุดแรงกดเคี้ยว 155-175-195 N (กรณีที่ 1)

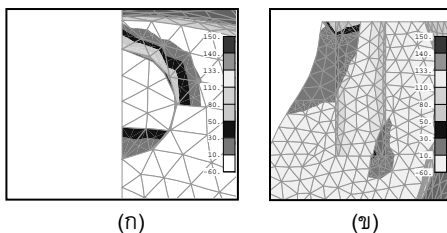
5.1.1 การกระจายความเค้นบนโครงสร้างฟันปลอม



รูปที่ 11 การกระจายความเค้นเฉือนสูงสุด, MPa บนโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ข เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 155-175-195 N

ลักษณะการกระจายความเค้นบนโครงสร้างฟันปลอมโดยทั่วไปนั้นเหมือนกับการกระจายความเค้นในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1,2] ยกเว้นในหลักยึดรากฟันเทียมตัวหลังสุดที่มีรูปทรง ข ซึ่งมีความเค้นลดลง โดยที่ความเค้นเฉือนสูงสุดยังคงอยู่ที่คอหลักยึดตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงโลหะกับหลักยึดรากฟันเทียมตัวหลังสุด โดยค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้มีค่าเท่ากับ 369 MPa

5.1.2 การกระจายความเค้นบนกระดุมรอบรากฟันเทียม



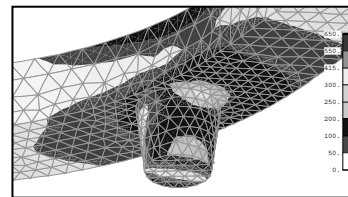
รูปที่ 12 การกระจายความเค้นหลักสูงสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ข เมื่อมีชุดแรงกด

เคี้ยว 155-175-195 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดุมรอบรากฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดุมรอบรากฟันเทียมตัวที่ 2

ความเค้นเฉือนมีค่าสูงสุดในกระดุมรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายและมีค่าเท่ากับ 151 MPa ในขณะที่ความเค้นกดสูงสุดในกระดุมรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมมีค่าเท่ากับ -388 MPa ส่วนค่าความเค้นดึงสูงสุดซึ่งอยู่ในกระดุมรอบรากฟันเทียมบริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 2 นั้นมีค่าลดลงจากรูปแบบปกติ [1, 2] เล็กน้อยเท่านั้น โดยที่ความเค้นกดสูงสุดในกระดุมรอบรากฟันเทียมในบริเวณนี้มีค่าเท่ากับ 102 MPa

5.2. การกระจายความเค้น เมื่อมีแรงกดเคี้ยวเฉพาะบริเวณฟันกรามด้านขวา โดยกำหนดชุดแรงกดเคี้ยว 190 N (กรณีที่ 2)

5.2.1 การกระจายความเค้นบนโครงสร้างฟันปลอม

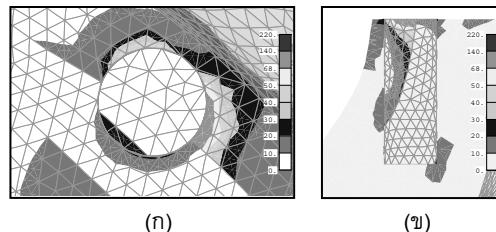


รูปที่ 13 การกระจายความเค้นเฉือนสูงสุด, MPa บนโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ข เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 190 N

ลักษณะการกระจายความเค้นโดยรวมบนโครงสร้างฟันปลอมไม่แตกต่างจากการกระจายความเค้นในฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1,2] ยกเว้นบริเวณหลักยึดรากฟันเทียมตัวหลังสุดซึ่งค่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนหลักยึดนั้นมีค่าลดลงจากรูปแบบปกติ [1, 2] โดยเฉพาะจุดที่มีค่าความเค้นเฉือนสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 370 MPa

5.2.2 การกระจายความเค้นบนกระดุมรอบรากฟันเทียม

ความเค้นเฉือนมีค่าสูงสุดบริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมและมีค่าเท่ากับ 114 MPa ในขณะที่ความเค้นกดมีค่าสูงสุดเท่ากับ -276 MPa ในกระดุมรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอม ส่วนค่าความเค้นดึง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 65 MPa ในกระดุมรอบรากฟันเทียมบริเวณคอด้านหน้าของรากฟันเทียมตัวที่ 2



รูปที่ 14 การกระจายความเค้นเฉือนสูงสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ข เมื่อมีชุดแรงกดเคี้ยว 190 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดุมรอบรากฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดุมรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1

5.3 สรุปการกระจายความเค้นในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมเมื่อใช้หลักยึดรูปทรง ข

ในโครงสร้างฟันปลอมซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ข มีค่าความเค้นเค้นสูงสุดอยู่ที่คอหลักยึดตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอม โดยที่ค่าความเค้นเค้นสูงสุดนี้มีค่าต่ำกว่าในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 14.6\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 15.1\%$ ในกรณีที่ 2)

ในกระตุกรอบรากฟันเทียมจะมีค่าความเค้นเค้นและความเค้นกดสูงสุดอยู่บริเวณคอหลักยึดตัวที่ 1 ด้านติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอม และมีค่าความเค้นเค้นสูงสุดอยู่ที่บริเวณคอด้านหน้าของรากฟันเทียมตัวที่ 2 โดยที่ค่าความเค้นเค้นสูงสุดในกระตุกรอบรากฟันเทียมมีค่าสูงกว่าในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 4.9\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 11.8\%$ ในกรณีที่ 2) และค่าความเค้นกดสูงสุดก็มีค่าสูงกว่าในรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 4.9\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 11.7\%$ ในกรณีที่ 2) ส่วนค่าความเค้นเค้นสูงสุดมีค่าต่ำกว่าในรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 8.9\%$ ในกรณีที่ 1 และ $\approx 8.4\%$ ในกรณีที่ 2)

6. สรุปการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างฟันปลอมโดยการเปลี่ยนรูปทรงหลักยึด

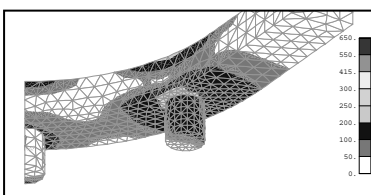
พบว่าโครงสร้างของฟันปลอมมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยการลดค่าความเค้นเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณคอหลักยึดตัวหลังสุดจนกระทั่งความเค้นเค้นสูงสุดบนโครงสร้างฟันปลอมไฮบริด ซึ่งใช้หลักยึดรูปทรง ก และรูปทรง ข นี้มีค่าน้อยกว่าค่าความเค้นเค้นสูงสุดในโครงสร้างฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนรูปทรงของหลักยึดรากฟันเทียมนี้มิได้ส่งผลให้ความเค้นที่เกิดขึ้นบนกระตุกรอบรากฟันเทียมลดลงจากรูปแบบปกติ ความเสี่ยงต่อการละลายของกระดูกเนื่องจากความเค้นเค้นที่สูงยังคงมีอยู่ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้กับผู้ป่วยให้ฟันควรที่จะตรวจสอบให้แน่ใจเสียก่อนว่าความเค้นบนกระตุกรอบรากฟันเทียมที่สูงขึ้นจะไม่ทำให้เกิดการละลายตัวของกระดูกรอบรากฟันเทียมจนทำให้เกิดความล้มเหลวในการทำฟันปลอม

7. การปรับปรุงฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมโดยการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำโครงโลหะ

โลหะอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจใช้ทำโครงโลหะของฟันปลอมไฮบริดคือ โคบอลต์อัลลอยซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าและมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น, E สูงกว่าไททาเนียมอัลลอยประมาณ 2 เท่า โดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 200 GPa มีค่าความเค้นเค้นดิ่งที่จุดครากเท่ากับ 490 MPa และความเค้นเค้นดิ่งสูงสุดเท่ากับ 690 MPa.

7.1 การกระจายความเค้นเค้นเมื่อมีแรงกดเค้นเดียวกระจายทั่วปาก โดยกำหนดชุดแรงกดเค้นเดียว 155-175-195 N (กรณีที่ 1)

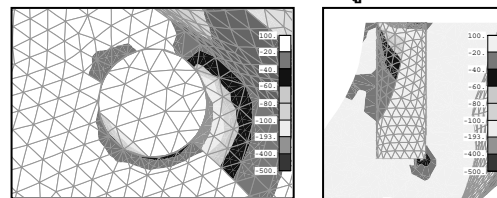
7.1.1 การกระจายความเค้นเค้นบนโครงสร้างฟันปลอม



รูปที่ 15 การกระจายความเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอย เมื่อมีชุดแรงกดเค้นเดียว 155-175-195 N

การกระจายความเค้นเค้นบนโครงสร้างฟันปลอมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอยในกรณีนี้ นั้นมีความแตกต่างจากในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะไททาเนียมอัลลอยโดยที่ค่าความเค้นเค้นสูงสุดบนโครงโลหะโคบอลต์อัลลอยจะอยู่ที่บริเวณรอยต่อที่คอด้านหลังของหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 และมีค่าเท่ากับ 237 MPa ในขณะที่ค่าความเค้นเค้นสูงสุดบนหลักยึดรากฟันเทียมไททาเนียมอัลลอยจะอยู่ที่บริเวณคอด้านหลังของหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 และมีค่าเท่ากับ 161 MPa [1,2]

7.1.2 การกระจายความเค้นเค้นบนกระตุกรอบรากฟันเทียม

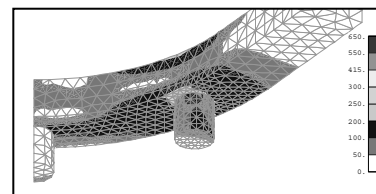


รูปที่ 16 การกระจายความเค้นเค้นหลักต่ำสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอย เมื่อมีชุดแรงกดเค้นเดียว 155-175-195 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดูกรอบรากฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดูกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1

ความเค้นเค้นสูงสุดที่กระจายอยู่ในกระตุกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 มีค่าลดลงจากรูปแบบปกติ [1, 2] เพียงเล็กน้อย โดยที่ค่าความเค้นเค้นเค้นมีค่าสูงสุดอยู่ที่บริเวณคอหลักยึดตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมและมีค่าเท่ากับ 136 MPa ในขณะที่ค่าความเค้นเค้นกดมีค่าสูงสุดอยู่ในกระตุกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ติดกับส่วนยื่นด้านท้ายเช่นเดียวกับความเค้นเค้นเค้น โดยค่าความเค้นเค้นกดสูงสุดมีค่าเท่ากับ -356 MPa ส่วนค่าความเค้นเค้นดิ่งสูงสุดเกิดขึ้นบนกระตุกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 2 ด้านหน้าและมีค่าเท่ากับ 110 MPa

7.2 การกระจายความเค้นเค้นเมื่อมีแรงกดเค้นเดียวเฉพาะบริเวณฟันกรามด้านขวา โดยกำหนดชุดแรงกดเค้นเดียว 190 N (กรณีที่ 2)

7.2.1 การกระจายความเค้นเค้นบนโครงสร้างฟันปลอม

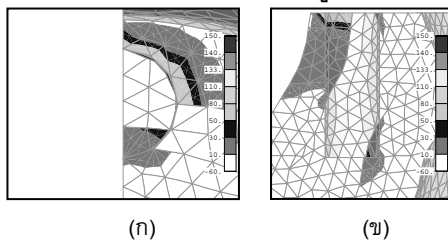


รูปที่ 17 การกระจายความเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนโครงโลหะและหลักยึดรากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอย เมื่อมีชุดแรงกดเค้นเดียว 190 N

การกระจายความเค้นเค้นในโครงสร้างฟันปลอมของฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอยในกรณีนี้ นั้นมีลักษณะที่

แตกต่างจากฟิล์มลอกไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ความเค้นที่มีค่าสูงสุดจะอยู่ในบริเวณคอหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านหลัง ซึ่งในรูปแบบปกตินั้นค่าความเค้นสูงสุดจะอยู่บริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ติดกับส่วนยื่นด้านท้ายฟิล์มลอกที่เอียงไปทางด้านข้างของหลักยึด [1, 2] โดยความเค้นเฉือนสูงสุดบนโครงโลหะโคบอลต์อัลลอย ซึ่งอยู่ที่รอยต่อบริเวณคอหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านหลังนี้มีค่าเท่ากับ 222 MPa ซึ่งน้อยกว่าความเค้นเฉือนที่จุดครากของโคบอลต์อัลลอย (245 MPa) ในขณะที่ความเค้นเฉือนสูงสุดบนหลักยึดรากฟันเทียมที่อยู่บริเวณคอหลักยึดตัวที่ 1 นั้นมีค่าเท่ากับ 105 MPa

7.2.2 การกระจายความเค้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียม



รูปที่ 18 การกระจายความเค้นหลักสูงสุด, MPa บนกระดูก
ขากรรไกรรอบรากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอย เมื่อมีชุด
แรงกดเคี้ยว 190 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดูกรอบรากฟัน
เทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดูกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 2

ความเค้นที่สูงสุดที่กระจายอยู่ในกระดุมรอบรอกฟันเทียมตัวที่ 1 ในกรณีนี้้นมีค่าลดลงจากรูปแบบปกติ [1, 2] โดยที่ความเค้นเฉือนมีค่าสูงสุดอยู่ที่บริเวณคอกรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมและมีค่าเท่ากับ 91 MPa ในขณะที่ความเค้นกดมีค่าสูงสุดอยู่ในกระดุมรอบรอกฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านที่ติดกับส่วนยื่นด้านท้ายเช่นเดียวกับความเค้นเฉือน โดยค่าความเค้นกดสูงสุดมีค่าเท่ากับ -233 MPa ส่วนค่าความเค้นดึงสูงสุดเกิดขึ้นบนกระดุมรอบรอกฟันเทียมตัวที่ 2 ด้านหน้าและมีค่าเท่ากับ 83 MPa

7.3 สรุปการกระจายความเค้นในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอย

ในโครงสร้างฟันปลอมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอยประกอบไปด้วยวัสดุสองชนิด คือ โคบอลต์อัลลอยในโครงโลหะ และไททาเนียมอัลลอยในหลักยึดและรากฟันเทียม ความเค้นสูงสุดโลหะทั้งสองชนิดนั้นอยู่ในบริเวณเดียวกันคือบริเวณรอยต่อที่คอด้านหลังของหลักยึดรากฟันเทียมตัวที่ 1 โดยที่ความเค้นเค้นสูงสุดโลหะโคบอลต์อัลลอยนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าความเค้นเค้นที่จุดคอรากของโลหะโคบอลต์อัลลอยซึ่งเท่ากับ 245 MPa ($\approx 3.3\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 9.4\%$ ในกรณีที่ 2) ส่วนค่าความเค้นเค้นสูงสุดในส่วนที่เป็นไททาเนียมอัลลอยซึ่งอยู่ที่คอหลักยึดตัวที่ 1 มีค่าต่ำกว่าค่าความเค้นเค้นที่จุดคอรากของไททาเนียมอัลลอย ($\approx 61.2\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 74.7\%$ ในกรณีที่ 2) และมีค่าต่ำกว่าความเค้นเค้นสูงสุดโลหะในโครงสร้างฟันปลอมซึ่งเป็นไททาเนียมอัลลอยในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 62.7\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 75.9\%$ ในกรณีที่ 2)

ในการตรวจรอบรากฟันเทียมนั้น ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดและความเค้นกดสูงสุดจะอยู่ที่คอรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมและมีค่าความเค้นดึงสูงสุดอยู่ที่คอด้านหน้าของรากฟันเทียมตัวที่ 2 โดยที่ความเค้นเฉือนสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมนั้นมีค่าต่ำกว่าความเค้นเฉือนสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 5.5\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 10.8\%$ ในกรณีที่ 2) แต่มีค่าสูงกว่าค่าความเค้นเฉือนสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 9.7\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 2.2\%$ ในกรณีที่ 2) ความเค้นกดสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมนั้นมีค่าต่ำกว่าความเค้นกดสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 3.8\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 5.7\%$ ในกรณีที่ 2) แต่มีค่าสูงกว่าค่าความเค้นกดสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 10.6\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 6.4\%$ ในกรณีที่ 2) ความเค้นดึงสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในกรณีที่ 1 นั้นมีค่าต่ำกว่าความเค้นดึงสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 1.8\%$) แต่มีค่าสูงกว่าในกรณีที่ 2 ($\approx 21.1\%$)

7.4 สรุปการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานโดยใช้โครงโลหะ คอบอลต์อัลลอย

ค่าความเค้นการรวมสูงสุดบนคอหลักยึดรากฟันเทียมและบนคอรากฟันเทียมลดลงจากรากฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ ส่งผลให้ความเค้นสูงสุดที่อยู่บริเวณเดียวกันนั้นได้แก่ ความเค้นเฉือนที่คอหลักยึดตัวที่ 1 ความเค้นกดและความเค้นเฉือนในกระดูกรอบรากฟันเทียมบริเวณคอรากฟันเทียมตัวที่ 1 มีค่าลดลง แม้ว่าความเค้นเฉือนที่จุดครากของโคบอลต์อัลลอย (245 MPa) จะน้อยกว่าไททานิเนียมอัลลอย (415 MPa) แต่การลดลงอย่างมากของความเค้นเฉือนสูงสุดบนโครงโลหะโคบอลต์อัลลอยนั้นกลับทำให้ความเค้นเฉือนสูงสุดบนโครงโลหะมีค่าต่ำกว่าจุดครากของโคบอลต์อัลลอย อีกทั้งค่าความเค้นเฉือนที่มีค่าสูงสุดในส่วนที่ยังคงเป็นไททานิเนียมอัลลอยซึ่งก็คือหลักยึดและรากฟันเทียมซึ่งอยู่ที่บริเวณคอหลักยึดรากฟันเทียมหลังสุดนั้น มีค่าต่ำกว่าจุดครากของไททานิเนียมอัลลอยอีกด้วย

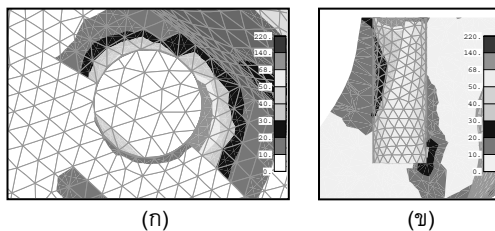
ส่วนกระตุกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองนี้ ค่าความเค้นกดและความเค้นเฉือนสูงสุดยังคงอยู่ที่เดิมคือบริเวณคอรากฟันเทียมตัวหลังสุดและมีค่าลดลงจากแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ ส่วนค่าความเค้นดึงสูงสุดบริเวณคอรากฟันเทียมตัวหน้า นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีที่มีแรงกดเคี้ยวบนกรามด้านขวา อย่างไรก็ตาม ค่าความเค้นสูงสุดรอบรากฟันเทียมในฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียม ซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอยนั้นยังคงมีค่าที่สูงกว่าในฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ ฉะนั้นการใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอยสามารถช่วยแก้ปัญหาการกระจายความเค้นบนโครงสร้างฟันปลอมได้อย่างมาก แต่ช่วยในการแก้ปัญหาการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในกระตุกรอบรากฟันเทียมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นและมีข้อควรระวังใน

การใช้ฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้โครงโลหะโคบอลต์อัลลอย ก็คือความเค้นดึงบนกระดูกที่ครอบรากฟันเทียมตัวหน้าสุดซึ่งมีค่าสูงขึ้นในกรณีที่มีแรงบดเคี้ยวบนกรามด้านใดด้านหนึ่ง

8. การปรับปรุงฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมโดยการเปลี่ยนจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงโลหะกับหลักยึดรากฟันเทียม

กำหนดให้จุดต่อระหว่างหลักยึดกับรากฟันเทียมอยู่ในลักษณะของจุดหมุน แต่เนื่องจากการกำหนดให้จุดหมุนอยู่ที่รากฟันเทียมดังกล่าวนี้มีความเสี่ยงต่อการเสียหายของรากฟันเทียมเนื่องจากความเค้นที่มีค่าสูงที่เกิดขึ้น ณ บริเวณจุดต่อ ฉะนั้นจึงต้องย้ายจุดต่อให้มาอยู่บนคอหลักยึดซึ่งเชื่อมต่อกับโครงโลหะแทน ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับรากฟันเทียม อีกทั้งการปรับเปลี่ยนลักษณะจุดเชื่อมต่อที่คอหลักยึดด้านบนนั้นสามารถทำได้สะดวกกว่า

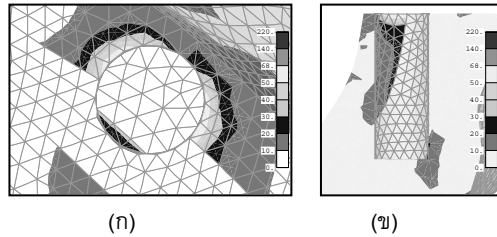
8.1 การกระจายความเค้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียมเมื่อมีแรงบดเคี้ยวกระทำทั้งปาก โดยกำหนดชุดแรงบดเคี้ยว 155-175-195 N (กรณีที่ 1)



รูปที่ 19 การกระจายความเค้นเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้จุดเชื่อมต่อแบบจุดหมุน เมื่อมีชุดแรงบดเคี้ยว 155-175-195 N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดูกรอบรากฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดูกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1

ความเค้นที่กระจายบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองนี้แตกต่างจากแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] คือ ความเค้นที่มีค่าสูงที่ครอบรากฟันเทียมซึ่งเดิมนั้นจะกระจายอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของครอบรากฟันเทียม แต่ในแบบจำลองนี้ความเค้นที่มีค่าสูงนั้นจะกระจายไปยังส่วนที่เป็นกระดูกที่ครอบรากฟันเทียมด้วย โดยมีขนาดที่ไม่แตกต่างกันมากนักเหมือนที่เกิดค่าความเค้นสูงเฉพาะบริเวณครอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมดังในรูปแบบปกติ โดยที่ค่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งอยู่ที่บริเวณครอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมนั้นมีค่าเท่ากับ 118 MPa ค่าความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งอยู่ที่บริเวณเดียวกับค่าความเค้นเค้นสูงสุดนั้นมีค่าเท่ากับ -315 MPa และค่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งอยู่ที่คอด้านหน้าของรากฟันเทียมตัวที่ 2 นั้นมีค่าเท่ากับ 115 MPa

8.2 การกระจายความเค้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียมเมื่อมีแรงบดเคี้ยวเฉพาะบริเวณฟันกรามด้านขวา โดยกำหนดชุดแรงบดเคี้ยว 190 N (กรณีที่ 2)



รูปที่ 20 การกระจายความเค้นเค้นเค้นสูงสุด, MPa บนกระดูกขากรรไกรรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้จุดเชื่อมต่อแบบจุดหมุน เมื่อมีชุดแรงบดเคี้ยว 190N โดยที่ (ก) เป็นภาพมุมมองของกระดูกรอบรากฟันเทียม (ข) เป็นภาพหน้าตัดของกระดูกรอบรากฟันเทียมตัวที่ 1

การกระจายความเค้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในกรณีนี้ก็อยู่ในลักษณะเดียวกับในกรณีที่ 1 คือ การกระจายความเค้นด้วยค่าที่ใกล้เคียงกันบนกระดูกรอบครอบรากฟันเทียม โดยที่ความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งอยู่ที่บริเวณครอบรากฟันเทียมตัวที่ 1 ด้านเดียวกับส่วนยื่นด้านท้ายฟันปลอมนั้นมีค่าเท่ากับ 64 MPa ความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งอยู่ที่เดียวกับค่าความเค้นเค้นสูงสุดนั้นมีค่าเท่ากับ -162 MPa และค่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งอยู่บริเวณคอด้านหน้าของรากฟันเทียมตัวที่ 2 มีค่าเท่ากับ 85 MPa

8.3 สรุปการกระจายความเค้นในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมซึ่งใช้จุดเชื่อมต่อแบบจุดหมุน

ความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมมีค่าต่ำกว่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 18.0\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 37.2\%$ ในกรณีที่ 2) และมีค่าต่ำกว่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 4.8\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 28.1\%$ ในกรณีที่ 2) ความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมมีค่าต่ำกว่าความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 14.9\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 34.4\%$ ในกรณีที่ 2) และมีค่าต่ำกว่าความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 2.2\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 26.0\%$ ในกรณีที่ 2) ส่วนความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมมีค่าสูงกว่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 3 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ [1, 2] ($\approx 2.7\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 19.7\%$ ในกรณีที่ 2) และมีค่าสูงกว่าความเค้นเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมในแบบจำลองฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมรูปแบบปกติ ($\approx 38.6\%$ ในกรณีที่ 1, $\approx 19.7\%$ ในกรณีที่ 2)

8.4 สรุปการปรับปรุงโครงสร้างฟันปลอมโดยใช้จุดเชื่อมต่อแบบจุดหมุนบนหลักยึด

การเปลี่ยนจุดเชื่อมต่อระหว่างโครงโลหะกับหลักยึดรากฟันเทียมให้เป็นแบบจุดหมุนซึ่งสามารถส่งผ่านแรงได้เพียงอย่างเดียว ไม่

สามารถส่งโมเมนต์ผ่านจุดหมุนนี้ได้ สามารถทำให้ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนกระดูกรอบรากฟันเทียมตัวหลังสุดซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปัญหาในฟันปลอม 3 รากฟันเทียมนั้นมีค่าลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยกว่าความเค้นสูงสุดบนกระดูกรอบรากฟันเทียมตัวหลังสุดในฟันปลอมไฮบริด 5 รากฟันเทียมตามข้อกำหนดเดิมอีกด้วย ในขณะที่ค่าความเค้นดึงสูงสุดในการกระดูกรอบรากฟันเทียมซึ่งเกิดขึ้นบริเวณคอรากฟันเทียมตัวหน้าสุดนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่เกินค่ากำลังวัสดุ หากนำฟันปลอมรูปแบบนี้ไปใช้ในทางปฏิบัติจะสามารถลดความเสี่ยงต่อการละลายของกระดูกรอบรากฟันเทียมเนื่องจากความเค้นสูงที่คอรากฟันเทียมตัวหลังสุดได้ แต่ก็ต้องเพิ่มความระมัดระวังขึ้นเล็กน้อยต่อความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในการกระดูกคอรากฟันเทียมตัวหน้าสุด และยังมีจุดที่ต้องแก้ไขอีกก็คือลักษณะโครงสร้างบริเวณจุดหมุนซึ่งจำลองให้ถ่ายทอดแรงผ่านแค่จุดเดียวบนหลักยึดรากฟันเทียมเท่านั้น

9. สรุป

การปรับปรุงโครงสร้างฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริดแบบ 3 รากฟันเทียม เพื่อให้มีความแข็งแรงเพียงพอและลดความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายในโครงสร้างของฟันปลอมสามารถกระทำได้โดยการออกแบบหลักยึดรากฟันเทียมรูปทรงใหม่ การเปลี่ยนชนิดของวัสดุที่ใช้ทำโครงโลหะตลอดจนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างฟันปลอมเพื่อให้แรงที่ส่งสู่รากฟันเทียมแต่ละตัวเป็นแรงตามแนวแกนเพื่อหลีกเลี่ยงการถ่ายทอดโมเมนต์แรงดัดลงสู่หลักยึดและรากฟันเทียม โดยเมื่อใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้าทำการวิเคราะห์แล้วพบว่าแต่ละรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงสามารถลดปัญหาการเกิดความเค้นสูงสุดบนโครงสร้างฟันปลอมและกระดูกรอบรากฟันเทียมได้ ถึงแม้ว่าบางรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอาจจะไม่สามารถลดค่าความเค้นลงมาจนถึงระดับที่น่าพอใจได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกระดูกรอบรากฟันเทียม แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางการเปลี่ยนแปลงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นแนวทางเริ่มต้นในการปรับปรุงโครงสร้างของฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริดแบบ 3 รากฟันเทียมที่จะต้องนำไปพัฒนาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาคิต ตั้งศิริมณฑล, 2545, การวิเคราะห์ความเค้นในรากฟันเทียมของฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริดโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] เชิดพันธ์ วิทยารักษ์ และ ชาคิต ตั้งศิริมณฑล, 2549, การวิเคราะห์ความเค้นในรากฟันเทียมของฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริดโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20.
- [3] Adell, R., Eriksson, B., Lekholm, U., Brånemark, P.-I., and Jemt, T., 1990. A long-term follow-up study of Osseo integrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. Int. J. Oral Maxillofacial Implants 5(1990), pp. 347-359.

- [4] Barbier, L. et al., 1998. Finite element analysis of non-axial versus axial loading of oral implants in the mandible of the dog, J. Oral Rehab 25(1998), pp. 874-858.
- [5] Brånemark, P.-I., Enstrand, P., Öhrnell, L.-O., Gröndahl, K., Nilsson, P., Hagberg, K., Darle, C. and Lekholm, U., 1999. Brånemark Novum®: A new treatment concept for Rehabilitation of the edentulous of the edentulous mandible. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study, Clinical Implant Dentistry and Related Research 1(1999), pp. 2-16.
- [6] Falk, H., Laurell, L. and Lundgren, D.1989. Occlusal force pattern in dentitions with mandibular implant-supported fixed cantilever prostheses occluded with complete dentures. Int. J Oral Maxillofacial Implants 4(1989), pp. 55-62.
- [7] Fontijn-Tekamp, F. A. et al.1998. Bite forces with mandibular implant-retained over denture. J Dent Res 1998; 77, pp. 1832-1839
- [8] Jemt, T., Book, K. and Karlsson, S. 1993. Occlusal force and mandibular movements in patients with removable over dentures and fixed prostheses supported by implants in the maxilla. Int. J. Oral Maxillofacial Implants 8(1993), pp. 301-308.
- [9] Koriath, T.W.P. and Hannam, A. G.1994. Deformation of the human mandible during stipulated tooth clenching. J. Dent. Res. 73(1994), pp. 56-66.
- [10] Corinth, T.W.P. and Johann, A. R.1999. Influence of mandibular superstructure shape on implant stresses during simulated posterior biting. J. Prosthetic Dent 82, pp. 67-72.
- [11] Koriath, T.W.P., Versluis, A. 1997. Modeling the mechanical behavior of the jaws and their related structures by finite element (FE) analysis. Crit Rev Oral Biol Med 8(1997): pp. 90-104.
- [12] Sertgöz, A., Guvener, S.1996. Finite element analysis of the effect of cantilever and implant length on stress distribution in an implant-supported fixed prosthesis. J. Prosthetic Dent 76(1996), pp. 165-169.
- [13] อัญชลี ตั้งจตุรนต์วิเศษ, 2545, การวิเคราะห์การกระจายของแรงเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริดที่ฟันผิวประชิดของรากเทียมและกระดูกอันเป็นผลมาจากจำนวนรากเทียมและตำแหน่งของรากเทียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.