

การวิเคราะห์การกระจายของแรงเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในพื้นปลอมชนิดไฮบริดที่  
พื้นผิวประชิดของรากเทียมและกระดูกอันเป็นผลมาจากจำนวนรากเทียมและตำแหน่ง  
ของรากเทียม

นางสาวอัญชลี ตั้งจาตุรนต์รัศมี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0384-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN A HYBRID  
DENTURE AT THE IMPLANT-BONE INTERFACES AFFECTED BY NUMBER  
AND POSITION OF IMPLANTS

Miss Anjalee Tangjaturonrusamee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Prosthodontics

Department of Prosthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0384-8

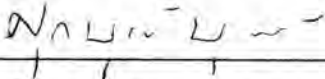
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การกระจายของแรงเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใน  
พื้นปลอมชนิดไฮบริดที่พื้นผิวประชิดของรากเทียมและกระดูกอัน  
เป็นผลมาจากจำนวนรากเทียมและตำแหน่งของรากเทียม  
โดย นางสาวอัญชลี ตั้งจาตุรนต์รัศมี  
ภาควิชา ทันตกรรมประดิษฐ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย

---

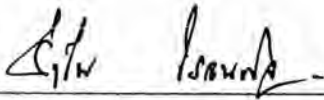
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์  
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


  
\_\_\_\_\_ คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
\_\_\_\_\_ ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ศุภนุรณี บุรณเวช)

  
\_\_\_\_\_ อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย)

  
\_\_\_\_\_ กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์หญิงร่ำไพโรจน์กิจ)

  
\_\_\_\_\_ กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์ ดร. มโน คูรัตน์)

อัญชลี ตั้งจาตุรนต์รัศมี : การวิเคราะห์การกระจายของแรงเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในฟันปลอมชนิดไฮบริดที่พื้นผิวประชิดของรากเทียมและกระดูกอันเป็นผลมาจากจำนวนรากเทียมและตำแหน่งของรากเทียม (FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS DISTRIBUTION IN A HYBRID DENTURE AT THE IMPLANT-BONE INTERFACES AFFECTED BY NUMBER AND POSITION OF IMPLANTS). อ.ที่ปรึกษา : รศ.ทพ. ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย, 212 หน้า. ISBN 974-17-0384-8.

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายของแรงเค้น ณ ตำแหน่งพื้นผิวประชิดของกระดูกและรากเทียมซึ่งรองรับฟันปลอมชนิดไฮบริดอันเป็นผลมาจากรากเทียมที่รองรับฟันปลอมชนิดไฮบริดมีจำนวนและลักษณะการเรียงตัวในลักษณะที่ต่างกันสองแบบ โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element model) ซึ่งการเรียงตัวของรากเทียมทั้งสองแบบยังคงระยะระหว่างรากเทียมตัวหน้าสุดและหลังสุด (Anteroposterior spread) ให้คงที่เท่ากับ 10 มม. เตรียมแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์รูปซากรรไกรล่างไร้ฟันจากภาพถ่ายรังสีคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (Computer tomograph) ของผู้ป่วยรายหนึ่งในแผนกรังสีวินิจฉัย รพ.จุฬาลงกรณ์ แล้วกำหนดตำแหน่งที่จะใส่รากเทียมตามความโค้งของซากรรไกรหน้าต่อรูเปิดข้างคาง (mental foramen) แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มแรกจะมีรากเทียมจำนวน 3 รากเทียม และแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่สองมีรากเทียมจำนวน 5 รากเทียม สร้างฟันปลอมชนิดไฮบริดทับบนรากเทียมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดให้ส่วนยื่นด้านท้ายของฟันปลอมชนิดไฮบริดมีความยาวไปทางด้านหลังต่อรากเทียมตำแหน่งสุดท้าย 20 มม. จากนั้นจึงกำหนดแรงซึ่งสมมติเป็นแรงบดเคี้ยวที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบบดเคี้ยวลงที่บนด้านบนบดเคี้ยวของฟันปลอมในทั้งสองแบบจำลอง ลักษณะของแรงบดเคี้ยวถูกแบ่งออกเป็นสองตอนคือ ในตอนที่หนึ่งแรงบดเคี้ยวจะกระจายลงโดยตลอดด้านบนบดเคี้ยวของฟันปลอมไฮบริด บริเวณพื้นหลังแรงบดเคี้ยวมีปริมาณสูงกว่าบริเวณพื้นหน้าเพื่อเลียนแบบลักษณะที่พบในธรรมชาติ แล้ววัดค่าแรงเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวของรากเทียมตำแหน่งเหมือนกัน 15 จุดบนรากเทียมตำแหน่งที่ 1, 3 และ 5 ณ จุดวัดเดียวกันในทั้งสองแบบจำลอง กำหนดให้จุดวัดอยู่ที่ผิวประชิดของกระดูกและรากเทียม มีจำนวน 5 จุดโดยรอบรากเทียมแต่ละตำแหน่ง นำค่าแรงเค้นที่วัดได้มาเปรียบเทียบระหว่างสองแบบจำลองในแต่ละจุดวัดโดยเปรียบเทียบสมการแสดงความถดถอยพบว่าเส้นกราฟของสมการแสดงความถดถอยซึ่งได้จากความสัมพันธ์ของแรงเค้น ณ จุดวัดต่างๆกับปริมาณแรงบดเคี้ยวจากแบบจำลองกลุ่มที่ 1 แตกต่างจากแบบจำลองกลุ่มที่สองอย่างชัดเจน ซึ่งพบว่าจุดวัดทุกจุดบนรากเทียมตำแหน่งที่ 1 และ 5 รวมทั้งหมด 10 จุด ในแบบจำลองที่สองมีแรงเค้นสูงกว่าในแบบจำลองที่หนึ่งประมาณ 3-47% และจุดวัดทุกจุดบนรากเทียมตำแหน่งที่ 3 จุด ในแบบจำลองกลุ่มที่หนึ่งมีแรงเค้นสูงกว่าในแบบจำลองที่สองประมาณ 19-58% ส่วนตอนที่สองกำหนดให้แรงบดเคี้ยวกระจายลงเพียงแค่วิเวณด้านหลังต่อรากเทียมตำแหน่งสุดท้ายด้านขวาของซากรรไกร แล้ววัดค่าแรงเค้นที่เกิดขึ้น ณ จุดวัดที่กำหนดไว้ในทั้งสองแบบจำลอง นำค่าแรงเค้นที่วัดได้มาเปรียบเทียบในแต่ละจุดวัดโดยการเปรียบเทียบสมการแสดงความถดถอย พบว่าเส้นกราฟของสมการแสดงความถดถอยซึ่งได้จากความสัมพันธ์ของแรงเค้น ณ จุดวัดต่างๆกับปริมาณแรงบดเคี้ยวจากแบบจำลองกลุ่มที่หนึ่งแตกต่างจากแบบจำลองกลุ่มที่สองอย่างชัดเจน ซึ่งพบว่าจุดวัดทั้ง 5 จุดบนรากเทียมตำแหน่งที่ 1 และจุดวัดที่ 12 บนรากเทียมตำแหน่งที่ 5 จากทั้งหมด 15 จุดในแบบจำลองที่สองมีแรงเค้นสูงกว่าในแบบจำลองที่หนึ่งประมาณ 6-33% ส่วนจุดวัดที่เหลือในแบบจำลองกลุ่มที่หนึ่งมีแรงเค้นสูงกว่าในแบบจำลองที่สองประมาณ 9-64%

ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์

ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

อัญชลี ตั้งจาตุรนต์รัศมี

Anut Jantaratsamee

## 4176115332 : MAJOR PROSTHODONTICS

KEY WORD : DENTAL IMPLANT / HYBRID DENTURE / FINITE ELEMENT MODEL / STRESS ANALYSIS

ANJALEE TANGJATURONRUSAMEE : FINITE ELEMENT ANALYSIS OF STRESS

DISTRIBUTION IN A HYBRID DENTURE AT THE IMPLANT-BONE INTERFACES AFFECTED

BY NUMBER AND POSITION OF IMPLANTS. THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR

PANUPONG WONGTHAI; DSc 212 pp. ISBN 974-17-0384-8

The purpose of this research was to study stress distribution in a hybrid denture in finite element model at the implant-bone interfaces affected by number and position of implants. In the experiment, occlusal forces were simulated on the hybrid denture in various positions and magnitudes. The stress characteristics of two models including 3-implant arrangement and 5-implant arrangement were compared while Anteroposterior Spread of both models were kept at the same length of 10 millimeters. By Computer Tomography technique, the Finite Element Models of edentulous mandible were obtained from an outpatient of Chulalongkorn Hospital. The positions of implants were anterior to mental foramen along the curvature of mandible. On the dental implants of both models, two identical hybrid dentures were constructed. In particular, the distal extension lengths of hybrid denture were 20 mm. Occlusal forces were applied perpendicularly to the occlusal plane in two different ways on both models : full distribution, and unilateral distribution (right side). Larger occlusal forces were applied to posterior part than anterior part in the full distribution condition, according to the natural biting force. The same fifteen points of measurement on both models (5 positions on each 3 specific implant) were located as to obtain stress for comparison. Multiple regression analyses were performed to compare the level of significant different stress of these models. In the full distribution condition, the stress on the first and the fifth implants of the 5-implant model is approximately 3-47% higher than that of the 3-implant model .However, the stress on the third implant of the 3-implant model is approximately 19-58% higher than that of the 5-implant model . In the unilateral distribution condition, the stress of the 3-implant model is approximately 6-33% lower in 6 points of measurement (5 points on the first implant and one point, point number 12, on the fifth implant) than that of the 5-implant model . However, the stress on the third implant and 4 points on the fifth implant of the 3-implant model is approximately 9-64% higher than that of the 5-implant model .

Department      Prosthodontics      Student's signature..... *อัญชลี ตังจตุรอนรัมย์*  
 Field of study    Prosthodontics      Advisor's signature..... *พณภูมิ วงษ์ไพบูลย์*  
 Academic year 2001

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ทันตแพทย์ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และนายชาคริต ตั้งศิริมงคล นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ช่วยเหลือในการทำแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณ อาจารย์เชิดพันธ์ วิฑูราภรณ์ ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านในแผนกรังสีวินิจฉัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดเวลาที่จำเป็นต้องเข้าไปเก็บข้อมูลและติดต่อกับทางแผนกฯ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. ปรัชศน์วรรณกรรม.....	8
3. ระเบียบวิธีการวิจัย.....	39
4. ผลการวิจัย.....	65
5. วิจรณ์ผลการวิจัย.....	101
6. สรุปผลการวิจัย.....	125
รายการอ้างอิง.....	127
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	134
ภาคผนวก ข.....	172
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	212

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1	แสดงคุณสมบัติของกระดูก รากเทียม และฟันปลอมในแบบจำลอง.....47
ตารางที่ 2	กลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม กำหนดให้การเรียงตัว และจำนวนรากเทียมแตกต่างกัน.....57
ตารางที่ 3	ผลการทดลองตอนที่ 1 แสดงค่าแรงเค้นที่คำนวณจากจุดวัดที่ 1-5.....66
ตารางที่ 4	ผลการทดลองตอนที่ 1 แสดงค่าแรงเค้นที่คำนวณจากจุดวัดที่ 6-10.....67
ตารางที่ 5	ผลการทดลองตอนที่ 1 แสดงค่าแรงเค้นที่คำนวณจากจุดวัดที่ 11-15.....68
ตารางที่ 6	ผลการทดลองตอนที่ 2 แสดงค่าแรงเค้นที่คำนวณจากจุดวัดที่ 1-5.....81
ตารางที่ 7	ผลการทดลองตอนที่ 2 แสดงค่าแรงเค้นที่คำนวณจากจุดวัดที่ 6-10.....82
ตารางที่ 8	ผลการทดลองตอนที่ 2 แสดงค่าแรงเค้นที่คำนวณจากจุดวัดที่ 11-15.....83
ตารางที่ 9	แสดงค่า F เปรียบเทียบกับ $F_{table}$ ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 99% (ตอนที่ 1).....99
ตารางที่ 10	แสดงค่า F เปรียบเทียบกับ $F_{table}$ ที่ระดับ ความเชื่อมั่น 99% (ตอนที่ 2).....100



## สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 1.1	แสดงภาพของฟันปลอมติดแน่นชนิดไฮบริด ในขากรรไกรบนและล่าง ( Adell และคณะ <sup>3</sup> ).....3
ภาพที่ 1.2	แสดงภาพด้านข้างของฟันปลอมติดแน่น ชนิดไฮบริด ( Adell และคณะ <sup>3</sup> ).....3
ภาพที่ 1.3	แสดงภาพหน้าตัดของฟันปลอมติดแน่น ชนิดไฮบริด ( Adell และคณะ <sup>3</sup> ).....3
ภาพที่ 2.1	แสดงภาพด้านบดเคี้ยวของฟันปลอมชนิดไฮบริดในผู้ป่วย.....9
ภาพที่ 2.2	แสดงภาพหน้าของฟันปลอมชนิดไฮบริดในผู้ป่วย.....9
ภาพที่ 2.3	แสดงส่วนยื่นด้านท้ายของฟันปลอมชนิดไฮบริด.....10
ภาพที่ 2.4	แสดงระยะระหว่างรากเทียมตัวหน้าสุด และหลังสุด ( A-P Spread ) .....10
ภาพที่ 2.5	แสดงตัวอย่างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งจำลองจากขากรรไกรล่าง.....19
ภาพที่ 2.6	แสดงภาพจำลองการเกิดแรงบนฟันปลอมไฮบริด มีลักษณะคล้ายไม้กระดก.....29
ภาพที่ 2.7	แสดงภาพจำลองการเกิดแรงบนฟันปลอมไฮบริด ซึ่งมีการเรียงตัวของรากเทียมเป็นส่วนโค้ง .....30
ภาพที่ 2.8	แสดงภาพแบบจำลองของ Skalak.....31
ภาพที่ 2.9	แสดงการกระจายของแรงเมื่อตำแหน่งของแรงที่กำหนดให้ แตกต่างกัน (Skalak model).....31

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 3.1	แสดงภาพด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....40
ภาพที่ 3.2	แสดงภาพด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....40
ภาพที่ 3.3	แสดงภาพด้านข้างและด้านบนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....40
ภาพที่ 3.4	แสดงภาพด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....41
ภาพที่ 3.5	แสดงภาพด้านบนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....41
ภาพที่ 3.6	แสดงภาพด้านล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....41
ภาพที่ 3.7	การเรียงตัวของรากเทียมตามส่วนโค้งของขากรรไกร.....43
ภาพที่ 3.8	แสดงการเรียงตัวของรากเทียมในขากรรไกร ซึ่งมีตำแหน่งอยู่หน้าต่อรูข้างคาง.....44
ภาพที่ 3.9	แสดงภาพด้านข้างและด้านบนเฉพาะส่วนแบบจำลอง ไฟไนต์เอลิเมนต์ของรากเทียม, หลักรยึด และส่วนโครงโลหะ ของฟันปลอมไฮบริดเป็นรูปคานโค้ง.....44
ภาพที่ 3.10	แสดงภาพด้านหลังแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ แสดงเฉพาะส่วน ของรากเทียม, หลักรยึดและส่วนโครงโลหะของฟันปลอมไฮบริด.....45
ภาพที่ 3.11	แสดงภาพสกรูซึ่งใช้ยึดโครงโลหะและฟันปลอมไว้กับ รากเทียมทางด้านบดเคี้ยว.....46
ภาพที่ 3.12	แสดงส่วนของอคริลิกเรซินซึ่งเป็นบริเวณของฟันปลอมพลาสติก ซึ่งเป็นองค์ประกอบด้านบนของฟันปลอมไฮบริด.....46
ภาพที่ 3.13	แสดงภาพด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....48
ภาพที่ 3.14	แสดงภาพด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....48
ภาพที่ 3.15	แสดงภาพด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....48
ภาพที่ 3.16	แสดงภาพด้านข้างและด้านบนของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....49
ภาพที่ 3.17	แสดงแบบจำลองขากรรไกรล่าง ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ ย่อยรูปสามมิติทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral).....49

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 3.18	แสดงแบบจำลองขากรรไกรล่างและฟันปลอมไฮบริดคร่อมทับ บนรากเทียม ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย.....50
ภาพที่ 3.19	แสดงภาพขยายของแบบจำลองขากรรไกรล่างและ ฟันปลอมไฮบริดคร่อมทับบนรากเทียม.....50
ภาพที่ 3.20	แสดงแบบจำลองขากรรไกรล่างและฟันปลอมไฮบริดคร่อมทับ บนรากเทียม ภายในถูกแบ่งเป็นเอลิเมนต์ย่อย.....50
ภาพที่ 3.21	แสดงด้านหน้าของแบบจำลองซึ่งมีการแบ่งเอลิเมนต์ในรากเทียม ที่ฝังในขากรรไกร.....51
ภาพที่ 3.22	แสดงด้านล่างและด้านข้างของแบบจำลองซึ่งมีการแบ่งเอลิเมนต์ใน รากเทียมที่ฝังในขากรรไกร และส่วนของหลักยึดกับโครงโลหะ ฟันปลอมไฮบริด.....51
ภาพที่ 3.23	แสดงด้านหลังของแบบจำลองซึ่งมีการแบ่งเอลิเมนต์ในรากเทียม ที่ฝังในขากรรไกร และส่วนของหลักยึดกับโครงโลหะ ฟันปลอมไฮบริด.....51
ภาพที่ 3.24	ด้านบนของแบบจำลองส่วนของโครงโลหะฟันปลอมไฮบริด แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ย่อย.....52
ภาพที่ 3.25	แสดงบริเวณของหัวคอนไดล์ (Condylar process) ซึ่งกำหนด ให้เป็นตำแหน่งที่มียึดเกาะของกล้ามเนื้อแลทเทอเรีย เทอริกอยด์ (Lateral pterygoid muscle).....54
ภาพที่ 3.26	บริเวณของหัวหัวคอนไดล์ (Condylar process) ซึ่งกำหนดให้เป็น ตำแหน่งที่มียึดเกาะของกล้ามเนื้อแลทเทอเรีย เทอริกอยด์ (Lateral pterygoid muscle).....55
ภาพที่ 3.27	แสดงบริเวณส่วนของขากรรไกรซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการยึดของกล้ามเนื้อ แมสซีเตอร์ (Masseter muscle) กับกระดูกขากรรไกรล่าง.....55

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 3.28	แสดงตำแหน่งของจุดที่กำหนดให้แรงบิดเคี้ยวลงบนด้านสบฟัน ของฟันปลอม (ตอนที่ 1).....58
ภาพที่ 3.29	แรงบิดเคี้ยวบนฟันปลอมไฮบริดในการทดลองตอนที่ 1 .....61
ภาพที่ 3.30	แรงบิดเคี้ยวบนฟันปลอมไฮบริดในการทดลองตอนที่ 2.....61
ภาพที่ 3.31	ตำแหน่งวัดแรงเค้นบนผิวรากเทียมประชิดกับกระดูกรอบรากเทียม....62
ภาพที่ 3.32	ตำแหน่งวัดแรงเค้นบนผิวรากเทียม (ตัวเลขสีเหลือง) และตำแหน่ง ของรากเทียมที่ 1,3 และ 5 (ตัวเลขสีแดง) ในแบบจำลองของกลุ่มทดลองที่ 1.....62
ภาพที่ 3.33	ตำแหน่งวัดแรงเค้นบนผิวรากเทียม (ตัวเลขสีเหลือง) และตำแหน่งของรากเทียมที่ 1,3 และ 5 (ตัวเลขสีแดง) ในแบบจำลองของกลุ่มทดลองที่ 2.....62
ภาพที่ 4.1	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 .....70
ภาพที่ 4.2	ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 .....70
ภาพที่ 4.3	ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 .....72
ภาพที่ 4.4	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1.....72
ภาพที่ 4.5	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1.....73
ภาพที่ 4.6	ด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 .....74
ภาพที่ 4.7	ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 .....75
ภาพที่ 4.8	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2.....75
ภาพที่ 4.9	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2.....76
ภาพที่ 4.10	ด้านข้างและด้านล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2.....76
ภาพที่ 4.11	ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2.....77
ภาพที่ 4.12	ด้านใต้ของฟันปลอมไฮบริดในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2...78
ภาพที่ 4.13	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2.....78

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 4.14	ด้านหลังและด้านล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2.....79
ภาพที่ 4.15	ด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ .....80
ภาพที่ 4.16	ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 เมื่อให้แรงบิดเคี้ยวที่บริเวณด้านขวาของด้านบิดเคี้ยวของฟันปลอม ไฮบริด จึงเกิดการกระจายของแรงเค้นมีลักษณะเป็นดังภาพ.....85
ภาพที่ 4.17	ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 เมื่อให้แรงบิดเคี้ยวที่บริเวณด้านขวาของด้านบิดเคี้ยวของฟันปลอม ไฮบริด จึงเกิดการกระจายของแรงเค้นที่รากเทียมตำแหน่งที่ 1 มากกว่าตำแหน่งที่ 3 และมากกว่าตำแหน่งที่ 5.....85
ภาพที่ 4.18	แสดงด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 เมื่อให้แรงบิดเคี้ยวที่บริเวณด้านขวาของด้านบิดเคี้ยวของฟันปลอม ไฮบริด จึงเกิดการกระจายของแรงเค้นที่ด้านหลังรากเทียม ตำแหน่งที่ 1 มากกว่ารากเทียมตำแหน่งที่ 3.....86
ภาพที่ 4.19	ด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 เมื่อให้แรงบิดเคี้ยวที่บริเวณด้านขวาของด้านบิดเคี้ยวของฟันปลอม ไฮบริด จึงเกิดการกระจายของแรงเค้นที่รากเทียมตำแหน่งที่ 1 และ 3 มากกว่ารากเทียมตำแหน่งที่ 3.....87
ภาพที่ 4.20	ด้านหลังและด้านล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 เมื่อให้แรงบิดเคี้ยวที่บริเวณด้านขวาของด้านบิดเคี้ยวของฟันปลอม ไฮบริด จึงเกิดการกระจายของแรงเค้นที่ด้านหลังรากเทียม ตำแหน่งที่ 1 มากกว่ารากเทียมตำแหน่งที่ 3.....87

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 4.21 ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 1 เมื่อให้แรงกดเคี้ยวที่บริเวณด้านขวาของด้านบดเคี้ยวของฟันปลอม ไฮบริด จึงเกิดการกระจายของแรงเค้นที่ด้านหลังรากเทียม ตำแหน่งที่ 1 มากกว่ารากเทียมตำแหน่งที่ 3 และ ตำแหน่งที่ 5.....88	88
ภาพที่ 4.22 ด้านหน้าของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงกดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินบริเวณรากเทียม ตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร.....89	89
ภาพที่ 4.23 ด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรง กดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของ แรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินบริเวณรากเทียมตำแหน่งสุดท้าย ของขากรรไกร.....90	90
ภาพที่ 4.24 ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงกดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินบริเวณฟันปลอม ไฮบริดที่ติดกับรากเทียมตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร.....90	90
ภาพที่ 4.25 ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงกดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินบริเวณรากเทียม ตำแหน่งที่ 1, 2, และ 3 และพบการสะสมของแรงเค้นบริเวณ ฟันปลอมไฮบริดด้านเดียวกับแรงกดเคี้ยว.....91	91

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 4.26	
ด้านหน้าและด้านล่างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินและสีเขียวบริเวณ รากเทียมตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร และมีแรงเค้นปริมาณสูง ด้านใต้ของฟันปลอมที่ติดกับรากเทียมตำแหน่งสุดท้าย.....92	92
ภาพที่ 4.27	
แสดงด้านหลังของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงิน, สีเขียว และสีส้ม ที่บริเวณรากเทียมตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร โดยการกระจาย ของแรงเค้นที่รากเทียมด้านตรงข้ามอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า.....92	92
ภาพที่ 4.28	
ด้านข้างของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรง บิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการกระจายของ แรงเค้นมาที่ด้านตรงข้ามกับแรงบิดเคี้ยวมีระดับที่ต่ำกว่า ซึ่งแสดง ด้วยสีม่วงบริเวณรากเทียมที่ 4 และ 5 รวมทั้งบริเวณฟันปลอมไฮบริด และกระดูกขากรรไกรโดยรอบ.....93	93
ภาพที่ 4.29	
ด้านใต้ของฟันปลอมไฮบริดในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินบริเวณใต้ฟันปลอม ตรงกับรากเทียมตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร ในขณะที่ ด้านตรงข้ามพบการกระจายของแรงเค้นปริมาณที่ต่ำกว่า.....93	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 4.30	ด้านหลักรากเทียมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงิน, สีเขียว และสีส้ม ที่ตำแหน่งผิวประชิดกับกระดูกคอร์ติคัลบริเวณรากเทียม ตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร.....94
ภาพที่ 4.31	แสดงด้านหลังและด้านล่างของรากเทียมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงิน, สีเขียว และสีส้ม ที่ตำแหน่งผิวประชิดกับกระดูกคอร์ติคัลบริเวณรากเทียมตำแหน่ง สุดท้ายของขากรรไกร.....95
ภาพที่ 4.32	ด้านข้างของรากเทียมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านบดเคี้ยวด้านขวาของฟันปลอม ชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงิน, สีเขียว และสีส้มที่ตำแหน่งผิวประชิดกับกระดูกคอร์ติคัลบริเวณด้านหลังของ รากเทียมตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร และแถบสีน้ำเงินที่ด้านหน้า ของรากเทียมตำแหน่งที่ 2 และ 3.....95
ภาพที่ 4.33	ด้านหน้าของรากเทียมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงบิดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการ สะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินสีฟ้าที่ตำแหน่งผิวประชิดกับ กระดูกคอร์ติคัลบริเวณรากเทียมตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3.....96



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 4.34 ด้านข้างและด้านล่างของรากเทียมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ กลุ่มที่ 2 หลังจากให้แรงกดเคี้ยวบนด้านขวาของฟันปลอมชนิดไฮบริด พบการสะสมของแรงเค้นซึ่งแสดงด้วยแถบสีน้ำเงินและสีเขียว ที่ ตำแหน่งผิวประชิดกับกระดูกคอร์ติคัลบริเวณด้านหลังของรากเทียม ตำแหน่งสุดท้ายของขากรรไกร และที่บริเวณด้านหน้าของรากเทียม ตำแหน่งที่ 2 และ 3.....	96
ภาพที่ 5.1 แสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 1 การทดลองตอนที่ 1.....	102
ภาพที่ 5.2 แสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 2 การทดลองตอนที่ 1.....	103
ภาพที่ 5.3 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 1 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	104
ภาพที่ 5.4 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 2 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ) .....	105
ภาพที่ 5.5 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 3 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	105
ภาพที่ 5.6 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 4 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	106
ภาพที่ 5.7 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 5 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	106
ภาพที่ 5.8 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 11 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	107
ภาพที่ 5.9 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 12 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	108

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 5.10 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 13 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	108
ภาพที่ 5.11 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 14 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	109
ภาพที่ 5.12 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 15 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	109
ภาพที่ 5.13 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 6 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	110
ภาพที่ 5.14 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 7 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	111
ภาพที่ 5.15 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 8 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	111
ภาพที่ 5.16 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 9 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	112
ภาพที่ 5.17 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 10 ( ผลการทดลองตอนที่ 1 ).....	112
ภาพที่ 5.18 แสดงปริมาณแรงเค้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 1 การทดลองตอนที่ 2.....	114
ภาพที่ 5.19 แสดงปริมาณแรงเค้น ณ ตำแหน่งต่างๆ ในกลุ่มทดลองที่ 2 การทดลองตอนที่ 2.....	115
ภาพที่ 5.20 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 1 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....	116
ภาพที่ 5.21 กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 2 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....	116

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
ภาพที่ 5.22	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 3 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....117
ภาพที่ 5.23	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 4 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....117
ภาพที่ 5.24	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 5 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....118
ภาพที่ 5.25	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 6 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....118
ภาพที่ 5.26	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 7 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....119
ภาพที่ 5.27	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 8 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....119
ภาพที่ 5.28	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 9 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....120
ภาพที่ 5.29	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 10 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....120
ภาพที่ 5.30	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 11 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....121
ภาพที่ 5.31	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 12 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....121
ภาพที่ 5.32	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 13 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....122
ภาพที่ 5.33	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 14 ( ผลการทดลองตอนที่ 2 ).....122

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่

หน้า

ภาพที่ 5.34	กราฟแสดงปริมาณแรงเค้น ณ จุดวัดที่ 15 (ผลการทดลองตอนที่ 2).....	123
-------------	---	-----