สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ฏ
สารบาญภาพ	ฑ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ธ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	5
1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย	6
บทที่ 2 หลักการพื้นฐาน	7
2.1 ลักษณะของปัญหา	7
2.2 การหาค่าความเค้นดัดสูงสุดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์	8
2.2.1ทฤษฎีความยืดหยุ่น	8
2.2.2 ความเค้นหนาแน่น	11
2.3 ทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนท์	12
2.3.1 การสร้างสมการไฟไนท์อีลิเมนท์สำหรับการวิเคราะห์ของแข็ง 3 มิติ	13
2.3.2 อีลิเมนท์ 3 มิติ	18
2.4 ทฤษฎีความเสียหายของวัสดุ	18
2.4.1 เกณฑ์การแตกหักของ Coulomb Mohr	19
2.4.2 ทฤษฎีพลังงานเสียรูปสูงสุด	20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.1 วิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.2 การวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก ชนิด CH1615-12	24
3.3 การคำนวณหาค่าความเค้นดัดสูงสุดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์	29
3.4 การคำนวณหาค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยด้วยสมการทางคณิตศาสตร์	29
3.5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนท์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์	30
3.6 การสร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์เพื่อการศึกษาผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกบริเวณโดยรอบ	30
3.7 การสร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์เพื่อการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกบริเวณโดยรอบ	32
3.7 การสร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์เพื่อการศึกษาผลกระทบของทิศทางของแรงดึงที่กระทำกับ สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกบริเวณโดยรอบ	35
บทที่ 4 ผลการดำเนินการศึกษา	38
4.1 ผลการวิเคราะห์หาค่าความเค้นดัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนท์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์	38
4.2 ผลการคำนวณหาค่าความเค้นดัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกนโดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กด้วยสมการทางคณิตศาสตร์	41

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์กับ
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนท์เพื่อยืนยัน
ความถูกต้องของแบบจำลองทางไฟไนท์อีลีเมนท์ 44
4.4 ผลการศึกษาผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและ
ขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มีต่อ
การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก
และกระดูกโดยรอบ 45
4.5 ผลการศึกษาผลกระทบของมุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก
เทียบกับแนวแรงที่ขนานกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้น
ที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ 50
4.6 ผลการศึกษาผลกระทบของทิศทางของแรงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก
เทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นใน
สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ 52

บทที่ 5 การวิเคราะห์ผล 56
5.1 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าความเค้นดัดสูงสุดและค่าความเค้นในแนวแกน
โดยเฉลี่ยของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่ได้จากการวิเคราะห์
ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนท์กับค่าที่ได้การคำนวณ
ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ 56
5.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง
และขนาดความยาวเกลียวที่มีผลกระทบต่อการกระจายความเค้น
ที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ 59
5.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของมุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก
เทียบกับแนวแรงที่ขนานกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้น
ที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ 63

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 การวิเคราะห์ผลกระทบของทิศทางของแรงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กเทียบกับระนาบผิวของกระดูกที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กและกระดูกโดยรอบ	65
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	67
6.1 สรุปผลการวิจัย	67
6.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	70
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์สำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มีต่อการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้น	73
ประวัติผู้เขียน	104

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 ค่าคุณสมบัติของวัสดุต่างๆในแบบจำลอง	26
3.2 ชื่อรหัสในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก	31
4.1 ค่าความเค้นในแนวแกน	41
4.2 ค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว	46
4.3 ค่าความเค้นหลัก σ_1 สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว	48
4.4 ค่าความเค้นหลัก σ_2 สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว	48
4.5 ค่าความเค้นหลัก σ_3 สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว	49
4.6 ค่าความเค้นยังผล (σ_m) สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว	49
4.7 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนของแบบจำลองที่มุมเอียงการฝังตัวของกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กต่างๆ	51
4.8 ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ	53
4.9 ค่าความเค้นหลัก σ_1 สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ	53
4.10 ค่าความเค้นหลัก σ_2 สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ	53
4.11 ค่าความเค้นหลัก σ_3 สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ	53
4.12 ค่าความเค้นยังผล σ_m สูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ	54

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

รูป **หน้า**

รูป 1.1 การฝังรากเทียมลงในกระดูกฟันกรามเพื่อใช้เป็นรากฟันเทียม 1
รูป 1.2 การฝังสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กลงในกระดูกฟันกรามเพื่อเป็นหลักยึดในการจัดฟัน 2
รูป 1.3 ภาพตัดฉายการฝังสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กลงในกระดูกฟันกราม 2
รูป 1.4 แสดงมุมเอียงการฝังตัวและมุมเอียงของแรงดึงที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 6
รูป 2.1 ลักษณะภาระที่กระทำกับสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 7
รูป 2.2 แสดงตำแหน่งที่เกิดความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 8
รูป 2.3 รูปแผนผังอิสระของคานยื่น 10
รูป 2.4 ความเค้นหนาแน่นเกิดขึ้นเมื่อขนาดของหน้าตัดเกิดการเปลี่ยนแปลง 11
รูป 2.5 ค่าความเข้มของหน่วยแรงกรณีเพลากลม
เปลี่ยนขนาดหน้าตัดและรับภาระโมเมนต์ดัด 12
รูป 2.6 การแบ่งแบบจำลองออกเป็นอีลิเมนท์เล็กๆโดยระเบียบวิธีไฟไนท์อีลิเมนท์ 13
รูป 2.7 รูปร่างของอีลิเมนท์ 3 มิติแบบต่างๆ 18
รูป 2.8 เกณฑ์การเสียหาย Modified Mohr 20
รูป 2.9 ขอบเขตการเสียหายในทฤษฎีพลังงานเสียรูปสูงสุด 21
รูป 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย 23
รูป 3.2 รายละเอียดของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 24
รูป 3.3 แบบจำลองของกระดูกฟันกรามโดยรอบ
ที่รองรับการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 25
รูป 3.4 ลักษณะของแรงที่กระทำผ่านรูที่ส่วนหัวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 26
รูป 3.5 เงื่อนไขขอบของแบบจำลองไฟไนท์อีลิเมนท์ 27
รูป 3.6 แนวแกนของกระดูกฟันกราม 27
รูป 3.7 ความเค้นดัดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 28
รูป 3.8 ความเค้นในแนวแกน(z)ที่เกิดขึ้นและภาพตัดที่ระนาบห่างจากปลายของ
สกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 12 มิลลิเมตร 28
รูป 3.9 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและ
ขนาดความยาวเกลียวของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 1.6 และ 12 มิลลิเมตร 32

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ(ต่อ)

รูป **หน้า**

รูป 3.10 ระนาบที่ใช้ในการแบ่งพื้นผิวของรูที่ส่วนหัวของสกรู 33
รูป 3.11 แบบจำลองในการวิเคราะห์ผลกระทบมุมเอียงของการฝังตัว
โดยมีมุมเอียง 120 องศา 34
รูป 3.12 การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นสำหรับการวิเคราะห์มุมเอียงการฝังตัว
ของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มุมเอียง 120 องศา 35
รูป 3.13 ผิวรูของสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่ถูกแบ่งด้วยระนาบ
ทำมุม 15 องศา กับแนวแกน 36
รูป 3.14 องค์ประกอบของแนวแรงที่ทำมุม 15 องศากับแนวระนาบผิวของกระดูก 37
รูป 4.1 ค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 39
รูป 4.2 ตำแหน่งที่ทำการหาค่าความเค้นในแนวแกน 40
รูป 4.3 ขนาดของสกรูอิมแพลนท์ที่ใช้ในการหาค่า SCF 42
รูป 4.4 ค่า SCF ที่ใช้ในกรณีศึกษาเมื่อ D/d =3.6และ r/d = 0.1 43
รูป 4.5 ค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้น
ในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
และขนาดความยาวเกลียว 47
รูป 4.6 ความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในแต่ละขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว 50
รูป 4.7 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มุมเอียงการฝังตัว
ของสกรูอิมแพลนท์ต่างๆ 51
รูป 4.8 ความเค้นยังผลที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่มุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ต่างๆ 52
รูป 4.9 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ 54
รูป 4.10 ความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ
ในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ 55
รูป 5.1 แสดงตำแหน่งและค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 57

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ(ต่อ)

รูป **หน้า**

รูป 5.2 ตำแหน่งที่เกิดความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็ก 59
รูป 5.3 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว 60
รูป 5.4 ตำแหน่งที่เกิดความเค้นหลักสูงสุดในชั้นกระดูกทึบ 61
รูป 5.5 ความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดความยาวเกลียว 62
รูป 5.6 ความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนท์ขนาดเล็กที่มุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ต่างๆ 64
รูป 5.7 ความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่มุมเอียงการฝังตัวของสกรูอิมแพลนท์ต่างๆ 64
รูป 5.8 ค่าความเค้น Von Mises สูงสุดที่เกิดขึ้นในสกรูอิมแพลนที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ 65
รูป 5.9 ค่าความเค้นยังผลสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั้นกระดูกทึบที่ทิศทางของแรงดึงต่างๆ 66

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัดคาน	m^2
σ_{avg}	ค่าความเค้นเฉลี่ย	Pa
K_t	ค่าความเข้มของหน่วยแรง	
τ_{xy}	ความเค้นเฉือนในระนาบ xy	Pa
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	ความเค้นในทิศทางแกน x, y, z ตามลำดับ	Pa
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	ความเค้นหลัก	Pa
$\{u\}$	เวกเตอร์ของสนามการขจัดภายในเอลิเมนต์ประกอบด้วย u,v,w	m
$\{\partial\}$	Derivative Operator Matrix	
$[E]$	เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในสภาวะยืดหยุ่น	GPa
$\{\varepsilon\}$	เวกเตอร์ของสนามความเครียดภายในเอลิเมนต์	
$\{\sigma\}$	เวกเตอร์ของความเค้นภายในเอลิเมนต์	Pa
$\lfloor N \rfloor$	ฟังก์ชั่นรูปร่าง (Shape Function)	
$\{d\}$	ค่าการขจัดที่จุดต่อของเอลิเมนต์	m
$[K]$	Global Stiffness Matrix เป็นเมตริกซ์รวมที่ประกอบจาก Stiffness Matrix, $[k]$ ของทุกเอลิเมนต์	
$[k]$	Local Stiffness Matrix	
$\{F\}$	Global Force Vector เป็นเวกเตอร์รวมที่ประกอบจาก Element Force Vector, $\{f\}$	N
$\{f\}$	Element Force Vector	N
U_E	พลังงานความเครียด	$N.m$
W_E	งานเนื่องจากแรงภายนอก	$N.m$
$[B]$	อนุพันธ์ของ $\lfloor N \rfloor$	
$\{\delta d\}$	การขจัดเสมือน	m
$\{\delta\varepsilon\}$	ความเครียดเสมือน	
$\{D\}$	เวกเตอร์ของการขจัดรวม	N
ξ, η, ζ	ระบบพิกัดแกนธรรมชาต	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved