

การวิเคราะห์ความเค้นในกระดูกหัวสะพานตายจากการขาดเลือดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ปริญญาโท
ของ
มงคลชัย คำปากดี

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2553

การวิเคราะห์ความเค้นในกระดูกหัวสะพานตายจากการขาดเลือดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ปริญญาโท
ของ
มงคลชัย คำปากดี

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กุมภาพันธ์ 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การวิเคราะห์ความเค้นในกระดูกหัวสะพานตายจากการขาดเลือดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทคัดย่อ
ของ
มงคลชัย คำปากดี

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2553

มงคลชัย คำปากดี. (2553). การวิเคราะห์ความเค้นในกระดูกหัวสะโพกตายจากการขาดเลือด ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. ปริญญาานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณวรัช พลูปราชนันท์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกียรติชัย รักษาชาติ, ดร.วงศ์วิทย์ เสนะวงศ์.

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเค้น ในกระดูกหัวสะโพกตาย และความเค้นที่ในรับการรักษา โดยวิธี Bone Grafting, Core drilling และ การประยุกต์ทั้ง 2 วิธี ร่วมกัน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Cosmos 2007 เพื่อหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกหัวสะโพก

การศึกษาความเค้นในกระดูกหัวสะโพก สร้างโมเดลจากการสแกนคอมพิวเตอร์ 3 มิติ จะได้ไฟล์นามสกุล mcs นำไฟล์นามสกุล mcs จากการสแกนคอมพิวเตอร์ 3D ตกแต่งและลบ ชิ้นส่วนกระดูกที่ไม่ต้องการออก จากนั้นทำการสร้างพื้นผิวแล้วเปลี่ยนเป็นไฟล์นามสกุล iges ทำการสร้างแบบโมเดลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Solid work 2007 นำโมเดลกระดูกหัวสะโพกที่สร้างขึ้น ศึกษาวิเคราะห์ความเค้นในกระดูกหัวสะโพกตายด้วยโปรแกรม cosmos work 2007

ผลจากการวิเคราะห์กระดูกหัวสะโพกตายด้วยโปรแกรม Cosmos work 2007 คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นกับกระดูกหัวสะโพกตายที่ไม่ได้รับการรักษาจะมีความเค้นเท่ากับ $17.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ มากกว่าได้รับการรักษาแบบ Bone Grafting ที่มีค่าความเค้นเท่ากับ $13.82 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ แสดงให้เห็นว่ากระดูกหัวสะโพกที่ได้รับการรักษาจะสามารถกระจายแรงได้ดีกว่าเมื่อไม่ได้รับการรักษา เมื่อรักษาแบบ Core drilling จะเห็นว่าความเค้นจะเกิดสูงมากถึง $39.06 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ที่ปลายสลักที่ค้ำอยู่ และเมื่อนำการรักษาแบบ Bone Grafting และ Core drilling มารักษาพร้อมกัน ความเค้นจะกระจายแรงได้ดีและสามารถยึดกระดูกได้แน่นขึ้น ซึ่งค่าความเค้นอยู่ที่ $11.71 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งสามารถยึดกระดูกได้แน่นขึ้น เปรียบเทียบกับความเค้นสูงสุดที่กระดูกสามารถรับได้เท่ากับ $17.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระดูกเมื่อได้รับการรักษาจะทำให้สามารถรับแรงได้ดีขึ้น ไม่เกิดการแตกหักของกระดูก เนื่องจากการยึดกระดูกสามารถยึดตัวได้แน่นขึ้น

ANALYSIS OF THE STRESS IN THE HEAD OF OSTEONECROTIC
HIP JOINT BY FINITE ELEMENT METHOD

AN ABSTRACT
BY
MONGKOLCHAI KAMPAGDEE

Presented in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Master of Engineering Degree in Mechanical Engineering
at Srinakharinwirot University
February 2010

Mongkolchai Kampagdee. (2010). *Analysis of the stress in the head of osteonecrotic hip joint by Finite element method*. Master thesis, M.Eng. (Mechanical Engineering). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assist. Prof. Dr. Ganwarich Pluphrach , Wongwit Senavongse , Assist. Prof. Kiattichai ruksachat , Dr. Wongwit Senavongse.

This thesis has the objective to analyze the stress in the necrotic lesion of the femoral head comparing with the stress after treatments of different methods such as bone grafting, core drilling and the application of both techniques together. The stress analysis in the femoral head was done by using a computer program named Cosmos 2007.

This study of stress in the femoral head began with constructing a model from 3-D scanned images with the file surnames of mcs. Subsequently, the scanned image files were processed with image processing techniques to adjust and eliminate unwanted parts of the bones before making surfaces under the file surnames iges. The surfaces obtained were used to construct a model in the Solid Work 2007. The model of the femoral head was then used to analyse the stress in the necrosis of the femoral bone by the program Cosmos 2007.

The findings of this study showed that the stress at the untreated necrosis lesion of the femoral head had a value of $17.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ which was more than the stress after the treatment of bone grafting ($13.82 \times 10^6 \text{ N/m}^2$). This shows that the femoral head can share the stress better than without the treatment. After treated with core drilling technique, the stress was very high at $39.06 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ at the end of the strut. However, with the combination of bone grafting and core drilling, the stress distributed better and the bone grafts were more compact resulting in the stress at $17.3 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ which demonstrated that the necrosis lesion after treatment performed better to resist stress and had no bone fracture. This investigation can be a basis for the future study to find the best solution to treat osteonecrosis of the femoral head.

ปริญญาบัตร
เรื่อง

การวิเคราะห์ความเค้นในกระดุกหัวสะพานตกจากการขาดเลือดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ของ
มงคลชัย คำปากดี

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่.....เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552

คณะกรรมการควบคุมปริญญาบัตร
.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณวริช พลุปราชญ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ)

.....กรรมการ
(ดร.วงศ์วิทย์ เสนะวงศ์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า
.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรรูวัตร เจริญสุข)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณวริช พลุปราชญ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ)

.....กรรมการ
(ดร.วงศ์วิทย์ เสนะวงศ์)

.....กรรมการ
(ดร.ประชา บุญยวานิชกุล)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี เป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาการช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัณวริช พลุปราชญ์ ประธานกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติชัย รักษาชาติ และ ดร.วงศ์วิทย์ เสนะวงศ์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ซึ่งทั้งสามท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษาและแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้ ทุกขั้นตอน ผู้วิจัยขอกราบขอพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้ความรู้แก่นักวิจัยและศูนย์การแพทย์ที่ให้ข้อมูลกระดูกหัวสะโพก

ท้ายที่สุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความสนใจตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

มงคลชัย คำปากดี

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
สมมุติฐานของการวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎีกระดูก.....	3
โครงสร้างของกระดูก.....	4
สะโพก.....	5
กายวิภาคศาสตร์และสรีระวิทยาของข้อสะโพก.....	5
การเกิดการตายของกระดูกหัวสะโพก.....	6
ชีวกลศาสตร์ของกระดูก.....	9
การแตกหักของกระดูก.....	10
วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element).....	11
ขั้นตอนของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	12
การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	15
เอลิเมนต์.....	16
การแบ่งเอลิเมนต์.....	20
ทฤษฎีความเสียหาย.....	21
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3 วิธีการวิจัย	30
การทดสอบโปรแกรม Cosmos work 2007.....	30
การจำลองกระดูกหัวสะโพกตาย.....	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง	38
ขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์	38
ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Cosmos	45
การทดลองครั้งที่ 1	45
การทดลองครั้งที่ 2	46
การทดลองครั้งที่ 3	47
การทดลองครั้งที่ 4	48
การวิเคราะห์ผลการทดลอง	49
5 ผลการทดลอง	53
สรุปผลการวิจัย	53
ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	55
ภาคผนวก	57
ประวัติย่อผู้วิจัย	86

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงค่า Ultimate Strength ของกระดูกฟีมอร์แมนุษย์	9
2 สมบัติของวัสดุ.....	36
3 ค่าความเค้นเปรียบเทียบของเอลิเมนต์ขนาด 2 mm และ 10 mm.....	37
4 แสดงผลการวิเคราะห์กระดูกหัวสะโพก	49

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 โครงสร้างของกระดูก	5
2 แสดงส่วนประกอบของกระดูกต้นขา	6
3 แสดงเส้นเลือดที่หล่อเลี้ยงสะโพก	7
4 แสดงการแตกหักของกระดูกหัวสะโพก	8
5 แสดงการแตกหักของกระดูก	10
6 แสดงท่อนโลหะรับแรงในแนวแกน	12
7 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของปลายก้านกระดูกไฮดรอลิกส์	15
8 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเฟืองและห้องเฟือง	15
9 แสดงเอลิเมนต์มิติเดียว	16
10 แสดงเอลิเมนต์สองมิติ	17
11 แสดงเอลิเมนต์แบบสามมิติ	18
12 แสดงเอลิเมนต์แบบทรงกระบอก	19
13 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 4 จุด และ 9 จุดต่อ	19
14 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 8 จุด และ 16 จุดต่อ	20
15 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม	20
16 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ	22
17 วงกลมโมร์วีเคราะห์ความเค้น 3 มิติ	22
18 ระนาบ octahedral	23
19 แสดงความ KC เทียบกับ d/b	24
20 การเปลี่ยนแปลงขนาดเอลิเมนต์ในระนาบหลัก	25
21 ส่วนประกอบความเค้นแต่ละระนาบ	27
22 ภาพสแกน X-ray คอมพิวเตอร์กระดูกหัวสะโพก	31
23 แบบจำลองกระดูกหัวสะโพกที่จากการสแกน	32
24 แบบจำลองพื้นที่กระดูกหัวสะโพกตายที่ได้จากการสแกน	32
25 แบบจำลองสลักใช้ตามกระดูก	33
26 แบบจำลองการรักษาแบบ Grafting	34
27 แบบจำลองการรักษาแบบ Core drilling	34
28 แบบจำลองการรักษาแบบ Grafting และ Core drilling ร่วมกัน	35
29 แสดงคำสั่งการเข้าสู่โปรแกรม Cosmos 2007	38
30 แสดงการเลือกและตั้งชื่อ เพื่อเริ่มการวิเคราะห์	39

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
31 แสดงการใช้คำสั่ง Apply material to bodies	40
32 แสดงการใช้คำสั่งการกำหนดคุณสมบัติวัตถุ.....	40
33 แสดงการใช้คำสั่ง Restraints	41
34 แสดงการใช้คำสั่ง load	42
35 แสดงการใช้คำสั่ง mesh	43
36 แสดงการใช้คำสั่ง Run.....	44
37 แสดงคำสั่งแสดงผลการประมวลผล	44
38 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะพานตาย	45
39 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะพานเมื่อได้รับการรักษา แบบ Grafting	46
40 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะพานเมื่อได้รับการรักษา แบบ Core drilling.....	47
41 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะพานเมื่อได้รับการรักษา ประยุกต์แบบGrafting และแบบ Core drilling.....	48
42 กราฟแสดงค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบ	49
43 แสดงขั้นตอนเปิดโปรแกรม mimics 10.01	58
44 แสดงจอโปรแกรม mimics 10.01	59
45 แสดงการเลือกเปิดไฟล์สแกน	60
46 แสดงการกำหนดมุมมองของกระดูก	61
47 แสดงการใช้คำสั่ง Thresholding.....	62
48 แสดงการเลือกคำสั่ง Edit Masks	62
49 แสดงการเลือกคำสั่ง Erase	63
50 แสดงการใช้คำสั่ง Calculate	64
51 แสดงรูปที่ได้จากการ Calculate	64
52 แสดงการใช้คำสั่ง Emport.....	65
53 แสดงการ Export file.....	66
54 การเปิดโปรแกรม geomagic studio 10	67
55 กระดูกหัวสะพานที่ยังไม่ได้แต่ง	68
56 การเลือกเปิดไฟล์.....	69
57 แสดงการใช้คำสั่ง Polygons.....	69
58 แสดงการใช้คำสั่ง Remove spikes	70
59 แสดงการใช้คำสั่งปรับความละเอียดของ Remove spikes	70

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
60 แสดงการใช้คำสั่ง Sandpaper.....	71
61 แสดงการใช้คำสั่ง Reduce Noise.....	72
62 แสดงการใช้คำสั่ง Clean.....	72
63 การใช้คำสั่ง Surface Phase.....	73
64 การเข้าสู่โหมดการสร้างผิว.....	73
65 การใช้คำสั่ง Auto surface.....	74
66 แสดงขั้นตอนการสร้าง surface.....	74
67 การบันทึกไฟล์.....	75
68 การตั้งค่าการบันทึกเป็นไฟล์ Iges.....	76
69 การเปิดโปรแกรม Solid work 2007.....	77
70 แสดงการเปิดไฟล์กระดูกหัวสะโพก.....	78
71 แสดงขั้นตอนการเปิดไฟล์กระดูกหัวสะโพก.....	78
72 แสดงการเปิดไฟล์กระดูกตัวที่ 2.....	79
73 การเลือกไฟล์กระดูกชั้นใน.....	79
74 แสดงการทับซ้อนกันของกระดูก.....	80
75 การใช้คำสั่ง Combine.....	80
76 แสดงการเลือกการตัดของกระดูก.....	81
77 แสดงรูปกระดูกที่เสร็จแล้ว.....	81
78 แสดงการเปิดไฟล์ใน Assembly.....	82
79 แสดงกระดูกที่พอเตรียมการทดสอบ.....	83

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัจจุบันมีผู้ป่วยจำนวนมาก มีอาการของเนื้อเยื่อกระดูกหัวสะโพกเกิดการตาย อันเนื่องมาจากสาเหตุการขาดเลือดไปเลี้ยง เป็นผลให้การรับน้ำหนักของร่างกายได้ไม่ดี ทำให้กระดูกหัวสะโพกเกิดการแตกหัก จากข้อมูลเฉลิมพล โอสถพรอมมา และ นิรันดร์ เกียรติศิริโรจน์ ที่ได้มีการศึกษาสถิติจำนวนผู้ป่วยที่ป่วยเป็นโรคเกิดการตายของกระดูกหัวสะโพกที่โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ (เฉลิมพล โอสถพรอมมา; และ นิรันดร์ เกียรติศิริโรจน์. 2542) ผู้ป่วยที่เป็นโรคกระดูกหัวสะโพกตายมีอายุเฉลี่ยประมาณ 43.9 ปี โดยอัตราผู้ชายจะมากกว่าผู้หญิง 1.3 ต่อ 1 โดยผู้ป่วยส่วนมากมีอาชีพใช้แรงงานและค้าขาย ซึ่งมักจะพบแพทย์ด้วยอาการปวดข้อ ระยะเวลาของอาการเฉลี่ย 24.8 เดือน สาเหตุการเกิดโรคเกิดจากอุบัติเหตุบริเวณสะโพก ต้มเหล้า และใช้ยาสเตียรอยด์ ส่วนใหญ่จะได้รับการรักษาโดยการเปลี่ยนข้อสะโพกเทียม และเชื่อมข้อสะโพก ซึ่งข้อสะโพกเทียมมีอายุการใช้งาน 3-4 ปี การรักษาอาการป่วยที่มีการตายของกระดูกก่อนจะถึงขั้นที่กระดูกหัวสะโพก ไม่สามารถรับแรงกระทำหรือน้ำหนักตัวของตนเองได้ ดังนั้นนอกจากการผ่าตัดเพื่อเปลี่ยนข้อเทียมแล้ว ยังมีวิธีการรักษาอีก 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 Core drilling การรักษาด้วยวิธีนี้ จะเจาะกระดูกให้เป็นรูเอียงลงไปตามคอกระดูกหัวสะโพก เพื่อลดความดันที่เกิดขึ้นที่บริเวณกระดูกหัวสะโพกตาย จากนั้นทำการขูดกระดูกที่ตายออกและเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดูกเพื่อชดเชยในส่วนกระดูกที่ตายไป โดยใส่สลักให้สลักค้ำจุดที่สูงที่สุดของบริเวณที่เกิดการตายของกระดูกหัวสะโพก และวิธีที่ 2 วิธี Bone grafting การรักษาวิธีนี้ จะเจาะกระดูกให้เป็นรูเอียงลงไปตามคอกระดูกหัวสะโพก จากนั้นทำการขูดกระดูกที่ตายออก นำกระดูกที่ขูดออกมาที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด อัดเข้าแทนที่กระดูกส่วนที่ตายอีกครั้งจากการรักษาทั้ง 2 วิธี การกระจายและรับแรงของการรักษากระดูกหัวสะโพกนั้น วิธีไหนที่เหมาะสมต่อการรักษากระดูกหัวสะโพก จึงมีแนวความคิดที่จะศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกหัวสะโพกเมื่อใช้เทคนิคการรักษาโดยการนำทั้งสองวิธี และทดสอบว่าเมื่อนำทั้งสองวิธีมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน ผลการทดสอบจะสามารถการรับน้ำหนักตัวได้ดีขึ้นหรือไม่ โดยน้ำหนักตัวที่กระทำจะมีขนาดเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าของน้ำหนักตัว และจะมีน้ำหนัก 3- 5 เท่าของน้ำหนักตัวเวลาวิ่ง

สมมุติฐานของการวิจัย

ความเค้นสูงสุดซึ่งกระทำให้เกิดการขาดเลือดจนกระทั่งกระดูกหัวสะโพกตาย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ความเค้นในกระดูกหัวสะโพกตายจากการขาดเลือดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาแรงที่กระทำและความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกหัวสะโพก ในกรณีที่เกิดการตายของกระดูกหัวสะโพกหนา 2 mm และกรณีการรับการรักษาแบบ Core drilling, Bone grafting และการประยุกต์ใช้ 2 วิธีร่วมกัน น้ำหนักที่ศึกษาขณะเดินของน้ำหนักตัว 60 kg
2. ขึ้นรูปกระดูกหัวสะโพกโดยวิธี 3D scanner เอ็กซเรย์คอมพิวเตอร์
3. วิเคราะห์ความเค้นจากแบบจำลองโดยโปรแกรม Cosmos Work 2007

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเค้นเมื่อมีแรงมากกระทำในกระดูกหัวสะโพก ทั้งแบบที่ไม่ได้รับการรักษาและในกรณีที่ได้รับการรักษาแบบ Core drilling แบบ Bone grafting และการประยุกต์ใช้ 2 วิธีร่วมกัน
2. สามารถประยุกต์ระเบียบทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในการแก้ปัญหาในทางการแพทย์
3. ได้ข้อมูลสำหรับเลือกวิธีการรักษาผู้ป่วยกระดูกหัวสะโพกตายอย่างเหมาะสม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีของกระดูก

ในร่างกายมนุษย์คนเรามีประกอบด้วยโครงสร้างของกระดูกทั้งหมดประมาณ 206 ชิ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกระดูกแกน (Axial Skeleton) และกระดูกยางค์ (Appendicular Skeleton)

1. กระดูกแกน (Axial Skeleton)

ประกอบด้วยกระดูกประมาณ 80 ชิ้น ประกอบด้วย กระดูกศีรษะ กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง

กระดูกศีรษะ (skull) เป็นกระดูกที่ภายในมีลักษณะกลวงเพื่อบรรจุสมอง ป้องกันอันตรายของสมอง รวมถึงกระดูกขากรรไกรและฟันด้วย

กระดูกสันหลัง (Vertebare) ทำหน้าที่ค้ำจุนและน้ำหนักของร่างกาย มีลักษณะเป็นข้อๆ ต่อกัน โดยระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละข้อจะมีกระดูกอ่อน (Cartilage) หรือหมอนรองกระดูกเพื่อป้องกันการเสียดสีของกระดูกสันหลัง

กระดูกซี่โครง (Ribs) ประกอบด้วยทั้งหมด 16 คู่ โดยปลายด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับด้านข้างของกระดูกสันหลังบริเวณหลังทรวงอก ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเชื่อมกับกระดูกหน้าอก (Sternum) ยกเว้นกระดูกซี่โครงที่ 11 และ 12 จะเป็นกระดูกสันๆ ไม่ต่อกับกระดูกหน้าอกเรียกว่าซี่โครงลอย (Floating Rib)

2. กระดูกยางค์ (Appendicular Skeleton)

ประกอบด้วยกระดูกทั้งสิ้น 126 ชิ้น ได้แก่ กระดูกแขน กระดูกขา กระดูกสะบัก กระดูกไหปลาร้า

กระดูกแขน (Arm) มีลักษณะเป็นกระดูกท่อนยาว ประกอบด้วยกระดูกต้นแขน (Humerus) กระดูกปลายแขนท่อนใน (Ulna) กระดูกปลายแขนท่อนนอก (Radius) กระดูกข้อมือ (Carpal) กระดูกฝ่ามือ (Metacarpal) และกระดูกนิ้วมือ (Phalanges)

กระดูกสะบัก (Scapula) และกระดูกไหปลาร้า (Clavicle) เชื่อมต่อกันกับกระดูกสันหลังส่วนบนและกระดูกต้นแขน

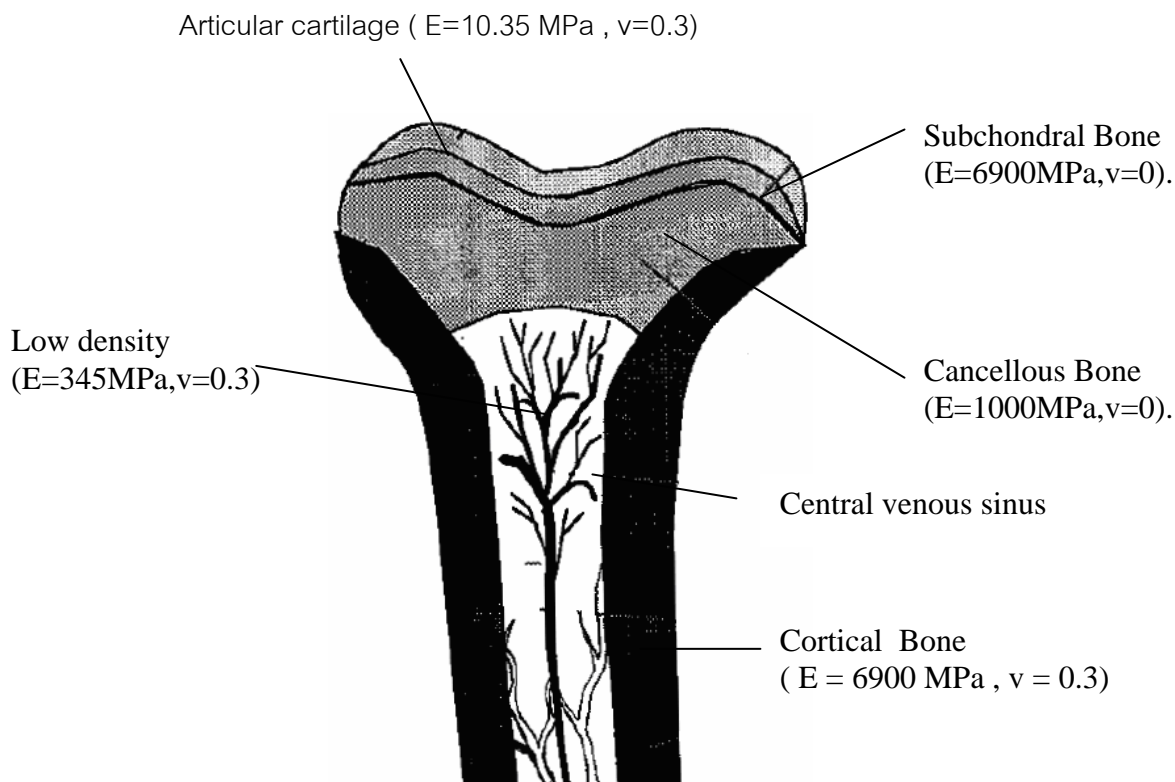
กระดูกเชิงกราน (Pelvic Girdle) เชื่อมต่อกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บและกระดูกโคนขา

กระดูกขา (legs) เป็นกระดูกที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรง ประกอบด้วย กระดูกโคนขาหรือต้นขา (Femur) กระดูกปลายขา กระดูกหน้าแข้ง (Tibia) กระดูกน่อง (Fibula) กระดูกข้อเท้า (Tarsal) กระดูกปลายเท้า (Metatarsal) กระดูกนิ้วเท้า (Phalanges) กระดูกสะบ้าหัวเข่า (Patella)

โครงสร้างของกระดูก

กระดูกมนุษย์มีส่วนประกอบดังนี้

1. กระดูกที่มีความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นกระดูกผิวด้านนอกเราเรียกกระดูกชั้นนี้ว่า (cortical bone) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความแข็งแรงมากที่สุด แต่ในขณะเดียวกันกระดูกชั้นนี้ก็จะมีความเปราะกว่าชั้นอื่นเช่นกัน ซึ่งคุณสมบัติกระดูกส่วนนี้ จากการทดลองของ ไรลีย์ (Reilly. 1975) และ เบอร์สไตน์ (Burstein. 1975) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัส เท่ากับ 6900 MPa และค่าพัวของเรโซ เท่ากับ 0.25
2. กระดูกชั้นในมีลักษณะคล้ายร่างแหหักไขว้เราเรียกกระดูกชั้นนี้ว่า (Cancellous bone) อยู่ภายในถัดจากกระดูกชั้น cortical bone ซึ่งจากการศึกษากระดูกชั้นนี้ของปีเตอร์เซิน (Pedersen. 1982) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 1,000 MPa และค่าพัวของเรโซ เท่ากับ 0.3
3. ชั้นกระดูกอ่อนผิวข้อ (Articular cartilage) จากการศึกษาคอนที่มีอายุ 20-30 ปี ของ เคมป์สัน (Kempson. 1980) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 10.35 MPa และค่าพัวของเรโซ เท่ากับ 0.4 ซึ่งกระดูกชั้นนี้มีความหนา 1-5 mm
4. ชั้นใต้กระดูกอ่อน (Subchondral bone) ซึ่งอยู่ถัดลงมาจากชั้นกระดูกชั้นกระดูกอ่อนผิวข้อจากการศึกษากระดูกชั้นนี้ของปีเตอร์เซิน (Pedersen. 1982) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัส เท่ากับ 6,900 MPa และค่าพัวของเรโซ เท่ากับ 0.3
5. กระดูกชั้นในที่มีความหนาแน่นน้อย (Low density zone) ส่วนนี้จะเป็นใจกลางของกระดูก ซึ่งประกอบด้วยเส้นเลือดและเนื้อเยื่อต่างๆ จากการทดลองบราวน์ (Brpwn. 1980) และ (Ferguson. 1980) จากการศึกษาคอน พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 345 MPa และค่าพัวของเรโซ เท่ากับ 0.3



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของกระดูก

สะโพก

1. กายวิภาคศาสตร์และสรีระวิทยาของข้อสะโพก

1.1 ข้อสะโพก (hip joint) เป็นข้อที่มีเยื่อข้อ (synovial joint) ที่มีขนาดใหญ่เป็นอันดับสองรองจากข้อเข่า มีลักษณะเป็นข้อแบบหัวกับเบ้า (ball and socket joint) โดยมีหัวกระดูกต้นขา ลักษณะคล้ายลูกบอลกลมอยู่ในเบ้าสะโพก ซึ่งมีความลึกพอที่จะช่วยให้ข้อสะโพกสามารถเคลื่อนไหวได้มากทั้งๆ ที่เป็นข้อที่มีความมั่นคงสูงที่สุดในร่างกาย นอกจากนี้เยื่อหุ้มข้อและกล้ามเนื้อรอบข้อยังเป็นส่วนที่ให้ความแข็งแรงเช่นกัน

1.2 กระดูกต้นขาส่วนต้น (proximal femur) โดยกระดูกต้นขา ประกอบด้วย ส่วนหัวกระดูกต้นขา (head of femur) ส่วนคอกระดูกต้นขา (neck of femur) และปุ่มกระดูกเกรทเตอร์โทรχανเทอร์ (greater trochanter)

1.3 เบ้าสะโพก (acetabulum) มีลักษณะเป็นเบ้าซึ่งเป็นส่วนต่อของกระดูก 3 ชิ้น ได้แก่ กระดูกไอเลียม (ilium) กระดูกอิสเชียม (ischium) และกระดูกพูบิส (pubis) โดยขอบของเบ้าสะโพกจะหันไปทางด้านนอกเยื้องทางด้านหน้าและคว่ำลงล่าง ผิวข้อ (articular cartilage) ที่บริเวณขอบเบ้ามีรูปร่างคล้ายเกือกม้าซึ่งมีปากเปิดอยู่ทางด้านล่าง

1.4 เยื่อหุ้มข้อ (capsule) เยื่อหุ้มข้อสะโพกเป็นเนื้อเส้นใยทึบ (dense fibrous tissue) ซึ่งมีเส้นประสาทจำนวนมากมาเลี้ยง จึงเป็นส่วนที่ไวต่อการรับความรู้สึกที่สุดของข้อสะโพก โดยปลายหนึ่งเกาะอยู่เกือบรอบขอบของเบ้าสะโพก อีกปลายหนึ่งมาเกาะที่ส่วนต้นของกระดูกต้นขา

1.5 กล้ามเนื้อรอบสะโพก การเคลื่อนไหวข้อสะโพกได้รับแรงจากกล้ามเนื้อที่แข็งแรงโดยรอบ มีทั้งหมด 4 กลุ่ม แบ่งตามหน้าที่ คือ

- กล้ามเนื้องอข้อ (flexors) อยู่ทางด้านหน้าของข้อสะโพก ประกอบด้วยกล้ามเนื้อไอลิปโซแอส (iliopsoas) เป็นกล้ามเนื้อหลัก และมีกล้ามเนื้อเรคทัส เฟโมริส (rectus femoris) และกล้ามเนื้อซาร์โตเรียส (sartorius)

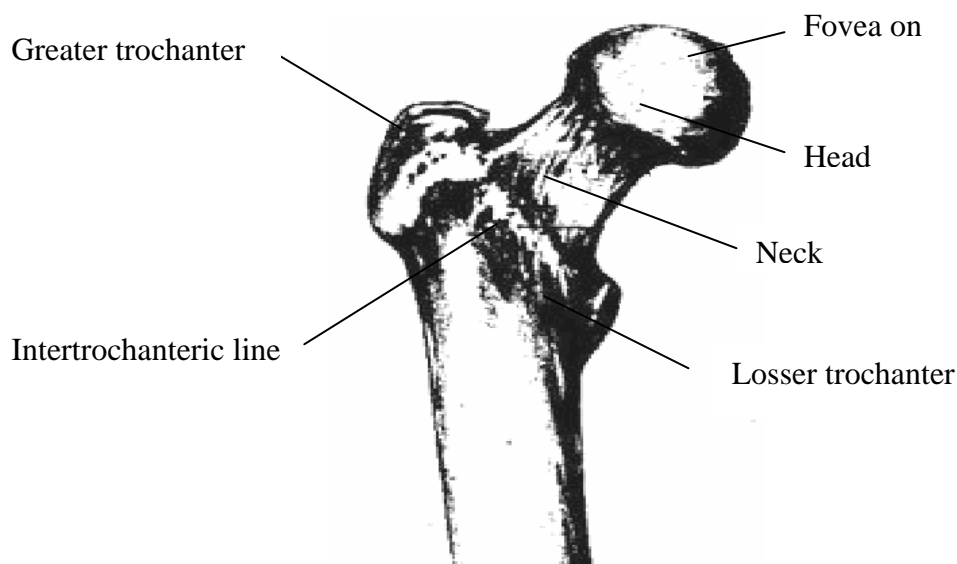
- กล้ามเนื้อเหยียดข้อ (extensors) อยู่ทางด้านหลังของข้อสะโพก ประกอบด้วยกล้ามเนื้อกลูเทียส มีเดียม (gluteus medius) และกล้ามเนื้อกลูเทียส แมกซิมัส (gluteus maximus)

- กล้ามเนื้อกางข้อ (abductors) อยู่ทางด้านข้าง ประกอบด้วยกล้ามเนื้อกลูเทียส มีเดียม (gluteus medius) กล้ามเนื้อกลูเทียส มินิมัส (gluteus minimus) และกล้ามเนื้อเทนเซอร์ ฟาสเซีย ลาต้า (tensor fascia latae)

2. การเกิดการตายของกระดูกหัวสะโพก

กระดูกหัวสะโพก (Femoral head) ซึ่งเป็นส่วนที่มีปัญหาการตายของกระดูก เนื่องจากกระดูกส่วนนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ส่วนที่เป็นกระดูกต้นขาซึ่งประกอบด้วย Femoral head, neck, Intertrochanteric และ Subtrochanteric ดังแสดงในภาพประกอบ



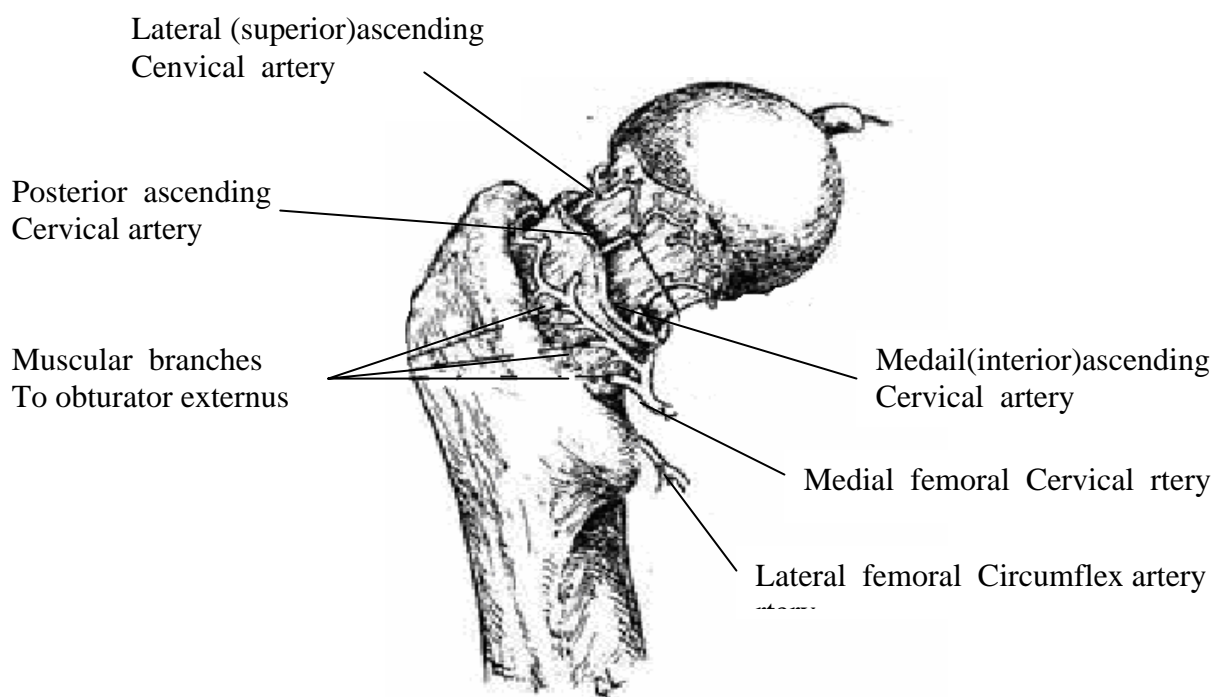
ภาพประกอบ 2 แสดงส่วนประกอบของกระดูกต้นขา

ส่วนที่ 2 ส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อ Gluteus medius Minimus และ Illio-psoas muscle
 ส่วนที่ 3 เส้นเลือดที่มาเลี้ยงสะโพกมาจาก 3 ทาง คือ

- Ascending cervical branches ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของ Medial และ lateral femoral circumflex arteries ภายนอก capsule (ภาพประกอบ 2) และให้ Ascending branch แทรกผ่าน capsule มาที่ neck ของ femur Ascending cervical branches ประกอบด้วยกลุ่มของ vessels 3 กลุ่มคือ a) Superior retinacular arteries หรือ lateral epiphyseal arteries เป็นกลุ่มสำคัญที่มาเลี้ยง femoral head b) Anterior retinacular arteries c) Inferior retinacular arteries ทั้ง 3 กลุ่มนี้จะอยู่ติดต่อกับ Synovial membrane ที่คลุมอยู่ที่ neck ของ femurs ภายใน joint capsule

- Inferior metaphyseal vessel มาเลี้ยง Metaphysis ด้าน anterior และ inferior

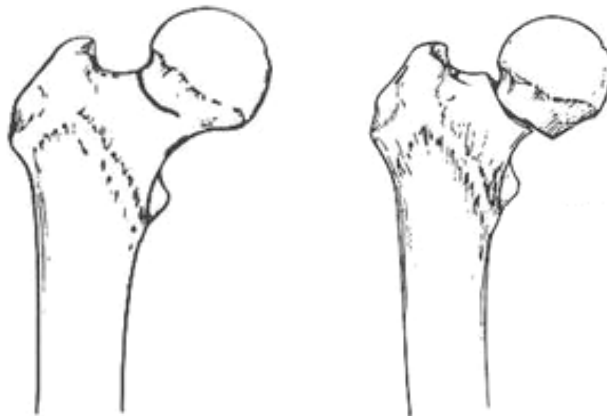
- Artery of the ligamentum teres เป็น baranch ที่มาจาก obturator artery ซึ่งจะเชื่อมต่อกับกลุ่มของ lateral epiphysea artery บริเวณ ที่ head ของ femur ดังแสดงในภาพประกอบ



ภาพประกอบ 3 แสดงเส้นเลือดที่หล่อเลี้ยงสะโพก

การเกิดขึ้นของ สภาวะการตายของกระดูก osteonecrosis เกิดเนื่องจาก การได้รับอุบัติเหตุ เช่น เท้าแพลง กระดูกเคลื่อน และกระดูกหัก ซึ่งเป็นสาเหตุให้เลือดไม่สามารถไปเลี้ยง Femoral head ไม่เพียงพอ ซึ่งผลมากน้อยขึ้นอยู่กับความหนักเบาของอาการที่เกิดขึ้น ซึ่งการขาดเลือดมาเลี้ยงดังกล่าวเกิน 12 ชั่วโมง อาจทำให้เกิดภาวะ osteonecrosis ได้

การตายของกระดูก (osteonecrosis) บริเวณที่พบบมากที่สุดคือกระดูกหัวสะโพก (Femoral head) ข้อมือ และข้อเท้า



ภาพประกอบ 4 แสดงการแตกหักของกระดูกหัวสะโพก

เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแตกหัก จึงจำเป็นต้องรับการรักษาก่อนที่กระดูกจะอ่อนแอจนเกิดการแตกหัก ในการรักษากระดูกหัวสะโพกที่เกิดการตายของกระดูก มีเทคนิคการรักษาด้วยกัน 2 วิธี ที่นิยมใช้ในการรักษา คือ Mechanical consequences of core drilling and bone-grafting on osteonecrosis femoral head

Mechanical consequences of core drilling คือการเจาะตามความยาวของคอกระดูกต้นขา ขูดกระดูกที่ตายออก จากนั้นใช้สลักเสริมกระดูกให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยใช้สลักค้ำที่สูงที่สุดที่กระดูกหัวสะโพกตาย แต่การรักษาแบบนี้ การรับแรงจะไม่ดี เมื่อจูดรับแรงมีการเปลี่ยนไป และเมื่อมีแรงกระทำที่สูงโอกาสที่กระดูกจะทะลุจะมีมาก

Mechanical consequences of bone-grafting คือ วิธีการเจาะตามความยาวของคอกระดูกต้นขา ขูดเอากระดูกในส่วนที่เสียออกมาจะมีลักษณะละเอียด และนำกระดูกจริงที่นำออกมาอัดเข้าไปแทนที่ของกระดูกที่ตายใหม่ แต่กระดูกจะไม่มั่นคงเกิดการหลุดได้หรือไม่แน่นอน

จากปัญหาดังนั้นกล่าวของวิธีการรักษาของกระดูกทั้ง 2 วิธี จึงมีแนวคิดในการการแก้ปัญหาโดยอัดกระดูกเข้าไปและใช้สกรูอัด เพื่อให้กระดูกที่อัดเข้าไปมีความมั่นคงมากขึ้น

ในกรณีที่เกิดการตายของกระดูกหัวสะโพกระยะสุดท้ายจะใช้การรักษาโดยวิธีผ่าตัดเปลี่ยนกระดูกหัวสะโพกเทียม

ชีวกลศาสตร์ของกระดูก

กระดูกมีคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญได้แก่

1. Viscoelastic คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของกระดูก หลังจากมีแรงกระทำ ซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของกระดูกทั้งส่วนที่เป็น Organic และ Inorganic

2. Anisotropy คือ คุณสมบัติความแข็งแรงของกระดูก จะขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงที่มากระทำ โดยกระดูกจะสามารถรับแรงในแนวแกนได้ดีกว่าแนวขวาง เนื่องจากการเรียงของเซลล์ของกระดูก

ตาราง 1 แสดงค่า Ultimate Strength ของกระดูกฟีมอร์มนุษย์

Loding mode	Ultimate Strength (MPa)
Longitudinal	
แรงดึง	135(15.6)
แรงอัด	205(17.3)
แรงเฉือน	71(2.6)
Ttansverse	
แรงดึง	53(10.7)
แรงอัด	131(20.7)

คุณสมบัติเชิงกลของกระดูกขึ้นอยู่กับโครงสร้างของกระดูกและอายุ ซึ่งโครงสร้างของกระดูกแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วน cortical bone และส่วน Trabecular bone โดยกระดูก cortical bone เป็นส่วนที่หนาและแข็ง กระดูกส่วนมีค่างังโมดูลัสสูง ส่วน Trabecular bone ซึ่งจะอยู่บริเวณ Metaphysic จะมีความพรุนเหมือนปะการัง จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า cortical bone 1-2 เท่า นอกจากโครงสร้างกระดูก อายุเป็นปัจจัยหนึ่ง โดยเด็กมีกระดูกพรุนมากกว่าของผู้ใหญ่ แต่จะมีปริมาณแคลเซียมในกระดูกน้อยกว่าทำให้กระดูกของเด็กเกิดการเปลี่ยนรูปได้มากกว่าผู้ใหญ่ก่อนแตกหัก คนชรากระดูกจะมีความเปราะมาก ซึ่งพบว่าค่า Ultimate Strength ของกระดูกจะลดลงร้อยละ 5 ต่ออายุที่เพิ่มขึ้นทุก 10 ปี

การแตกหักของกระดูก

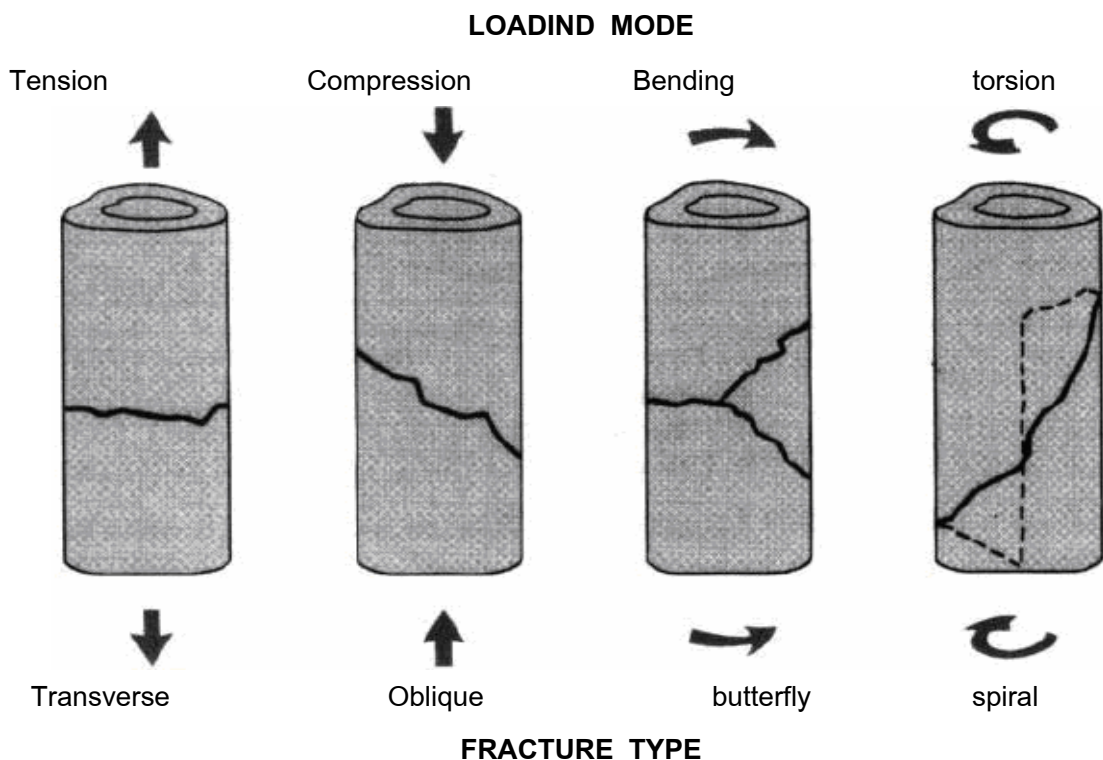
กระดูกหักเกิดจากการกระทำของแรงที่มีขนาดมากในทิศทางต่างๆ โดยลักษณะการเกิดการแตกหักของกระดูกเนื่องจากแรงที่กระทำต่อกระดูก ทำให้กึ่งกลางของท่อนกระดูกเกิดการแตกหัก แสดงให้เห็นว่าจุดที่เกิดการแตกหักมีค่าความเค้นสูงสุดมากกว่าความเค้นที่กระดูกสามารถทนได้ โดยลักษณะของแรงต่างๆ ที่ทำต่อกระดูกมีดังต่อไปนี้

แรงดึง (Tension) เมื่อกระดูกรับแรงดึง ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับกระดูก จะเกิดการแตกหักเป็นเส้นตรงตามความกว้างของกระดูก เนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้นจากการรับแรงดึง จะมีค่ามากกว่าความเค้นที่กระดูกสามารถรับได้ ($\sigma_{ut} < \sigma_{max}$)

แรงอัด (Compression) เมื่อกระดูกรับแรงอัด ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับกระดูก จะเกิดการแตกหักเป็นเส้นเอียงตามความยาวของกระดูก ความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องจากความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจากการรับแรงอัด ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่าความเค้นเฉือน ที่กระดูกสามารถรับได้มีค่าความเค้น ($\tau_y < \tau_{max}$)

แรงดัด (Bending) เมื่อกระดูกรับแรงดัด ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับกระดูก จะเกิดการแตกหักเป็นเส้นตรงและเส้นเอียงตามแกนกระดูก ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นผลเนื่องจากความเค้นที่เกิดขึ้น มีค่ามากกว่าความเค้นที่จุดครากของกระดูกที่สามารถรับ ($\sigma_{yt} < \sigma_{max}$)

แรงบิด (Torsion) เมื่อกระดูกรับแรงบิด ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับกระดูก จะเกิดจากความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระดูกมีค่ามากกว่าความเค้นที่จุดแตกหักของกระดูก ($\sigma_{ut} < \sigma_{max}$) ดังแสดงในภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 แสดงการแตกหักของกระดูก

กระดูกแต่ละท่อนของร่างกายจะประกอบด้วยกระดูก ทั้งสองแบบ ซึ่งสัดส่วนจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ตำแหน่งและหน้าที่ของกระดูกนั้นๆ เช่นตรงส่วนกลางของกระดูกแขนขา (Long bone) จะประกอบด้วย cortical bone เป็นส่วนใหญ่ ที่บริเวณส่วนปลายจึงจะมี cancellous bone ในปริมาณ เมื่อมองลึกลงไปถึงระดับเซลล์ จะพบว่ากระดูกประกอบด้วยเซลล์หลัก 2 ชนิดคือ เซลล์ที่เป็นตัวสร้างกระดูก (osteoblast) และเซลล์ที่ทำหน้าที่สลายกระดูก (osteoclast) เพราะกระดูกของเราไม่ได้อยู่ในลักษณะนิ่งๆ แต่จะเป็นลักษณะแบบไดนามิกส์ คือมีการเคลื่อนไหวถ่ายเทกัน

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element)

เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการวิเคราะห์ปัญหาในทางวิศวกรรมศาสตร์ แก่สมการเชิงอนุพันธ์ เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่าง และความเค้นของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ไม่ว่าวัสดุที่ต้องการวิเคราะห์จะอยู่ในสภาพของการยืดหยุ่น (elastic) หรือการยืดตัว (plastic) โดยในการวิเคราะห์สามารถวิเคราะห์ได้ในงานที่เป็นทั้ง static และ dynamic ทั้งการเคลื่อนที่ของชิ้นงานเครื่องจักรกล และงานของไหล ทั้งอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเค้นในชิ้นงาน

การวิเคราะห์ในชิ้นส่วนโครงสร้างหรือชิ้นงานที่ไม่มีความซับซ้อน สามารถที่จะหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ต้องการ เช่น การกระจัดที่ตำแหน่งใดๆ ของชิ้นงานโดยอาศัยสมการเชิงอนุพันธ์และผลที่ได้เรียกว่าผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) แต่ถ้าชิ้นงานที่ต้องการศึกษามีรูปร่างที่ซับซ้อน เช่น มีลักษณะโค้งและเว้าซึ่งทำให้พื้นที่หน้าตัดชิ้นงานที่ศึกษาไม่สม่ำเสมอ และไม่สามารถที่จะหาผลเฉลยของอนุพันธ์ด้วยวิธีเฉลยแม่นยำตรงได้ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จะสามารถประมาณค่าเฉลยโดยการแก้สมการเชิงพีชคณิตแทนการแก้สมการเชิงอนุพันธ์

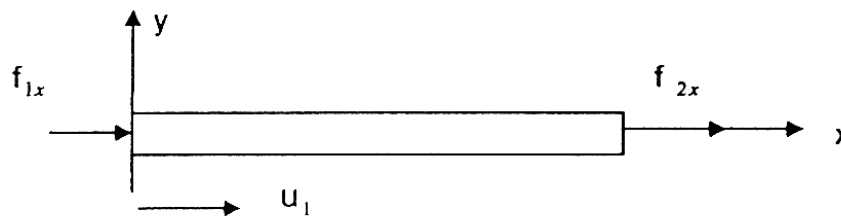
การแก้ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ การแบ่งชิ้นงานที่ศึกษาออกเป็นส่วนย่อยๆ อย่างต่อเนื่อง โดยชิ้นส่วนที่แบ่งย่อยนี้เราเรียกว่าเอลิเมนต์ ผลเฉลยที่ได้คือผลเฉลยที่จุดต่อ (node) ของแต่ละเอลิเมนต์ จากนั้นนำค่าที่วิเคราะห์ได้แต่ละจุดมารวมเข้าด้วยกันเป็นผลเฉลยของระบบ

1. ขั้นตอนของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.1 การแบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ การแบ่งเอลิเมนต์จะต้องคำนึงถึงลักษณะรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหรือแบบจำลอง โดยจะต้องมีความสอดคล้องกับรูปร่างของชิ้นงานเดิมมากที่สุด เช่น ส่วนโค้ง ส่วนเว้า และรู หรือส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างฉับพลัน จะต้องแบ่งเอลิเมนต์ส่วนนี้ละเอียดหรือเล็กเพียงพอเพื่อให้ผลเฉลยที่ได้ถูกต้องและแม่นยำ ส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยอาจแบ่งเอลิเมนต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อสะดวกต่อการคำนวณ

1.2 การเลือกฟังก์ชันการกระจัด การเลือกฟังก์ชันการกระจายในเอลิเมนต์ โดยต้องสอดคล้องจุดต่อของเอลิเมนต์ฟังก์ชันการกระจัดที่นิยมใช้กันคือ พอลิโนเมียลฟังก์ชัน ซึ่งอาจจะพอลิโนเมียลกำลังหนึ่ง กำลังสอง กำลังสาม

1.3 กำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัด และความเค้น/ความเครียด ในการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์แต่ละเอลิเมนต์ต้องอาศัยความสัมพันธ์ ระหว่างความเครียดกับการกระจัด และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด เช่น กรณีปัญหามิติเดียว การยืดตัว u ของเอลิเมนต์ในทิศทาง x จะมีความสัมพันธ์กับความเครียด ε



ภาพประกอบ 6 แสดงท่อนโลหะรับแรงในแนวแกน

$$\varepsilon = \frac{du}{dx}$$

ตามกฎของฮุก ความสัมพันธ์ความเค้นและความเครียด คือ

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

เมื่อ

σ_x = ค่าความเค้นในทิศทาง x

E = ค่า young modulus

ผลเฉลยของไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกต้องแม่นยำเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณ

1.4 การหา stiffness matrix

สามารถหาได้หลายวิธี

วิธีสมมูลโดยตรง (Direct Equilibrium method)

- การหา stiffness matrix และสมการของแรงในเทอมการกระจัดที่จุดต่อเอลิเมนต์ โดยใช้เงื่อนไขการสมมูลของแรงในเอลิเมนต์ ส่วนมากใช้หา stiffness matrix ของเอลิเมนต์มิติเดียว เช่น สปริง ท่อนโลหะ เพลลาและคาน

- วิธีพลังงาน หรืองาน (Work or Energy method) โดยใช้หลักพลังงานสมมติ (principle of virtual work) หลักของพลังงานศักย์ต่ำสุด (principle of minimum potential energy) และทฤษฎีของแคสติกลีโย (Castigliano's theorem)

- วิธีเวทเรซิดิว (Method of Weighted Residual) วิธีที่นิยมกันมากคือวิธีการ์เลอร์คิน (Galerkin's Method) นิยมใช้ในกรณีที่มีการแก้ปัญหาโดยการใช่วิธีพลังงานต่ำสุด มีความยุ่งยาก

ด้วยวิธีทั้งสามนี้ สามารถสมมูลของแรงในเทอม stiffness matrix และกระจายที่จุดต่อของเอลิเมนต์สามารถเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ f_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

$$\{f\} = [K]\{d\}$$

เมื่อ

$\{f\}$ = เมทริกซ์ของแรงที่กระทำที่จุดต่อ

$[K]$ = stiffness ของเอลิเมนต์

$\{d\}$ = การกระจัดที่จุดต่อซึ่งยังไม่ทราบค่า

n = จำนวนระดับความเสรีของเอลิเมนต์

1.5 หาสมการการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

สมการของระบบโครงสร้าง สามารถหาจากการรวมสมการของแต่ละเอลิเมนต์ ในขั้นตอนที่ 4 ด้วยวิธีซ้อนทับ (Superposition Method) หรือเรียกว่า วิธีสตีฟเนสโดยตรง (Direct stiffness method) โดยอาศัยหลักการสมมูลของแรงที่จุดต่อของเอลิเมนต์และการต่อเนื่อง (continuity) ของโครงสร้าง สมการรวมของระบบโครงสร้างเขียนในรูปเมทริกซ์ได้คือ

$$\{F\} = [K]\{d\}$$

เมื่อ

$\{F\}$ = เมทริกซ์รวมของจุดต่อ

$\{K\}$ = stiffness matrix รวมของระบบ

$\{d\}$ = เมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบ

เนื่องจากเมทริกซ์ $\{K\}$ เป็นเมทริกซ์เอกฐาน (singular matrix) จึงไม่สามารถหาค่า $\{d\}$ ได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องอาศัยเงื่อนไขขอบเขต (boundary) เพื่อช่วยทำให้เมทริกซ์ไม่สามารถเป็นเมทริกซ์เอกฐาน และสามารถหาค่าการกระจัดที่แต่ละจุดต่อที่ต้องการได้

1.6 หากการกระจัดของระบบ

หลังจากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตหรือเงื่อนไขบังคับแล้ว เราสามารถจะหาการกระจัด d_1, d_2, \dots, d_n ได้โดยการแก้สมการพีชคณิตพร้อมๆ กัน คือ

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

1.7 การหาค่าความเค้นความเครียดและความเค้น

ถ้าทราบค่าการกระจัด u ก็สามารถหาความเครียดจาก

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx}$$

และค่าความเค้นจาก

$$\sigma_x = E\varepsilon_x$$

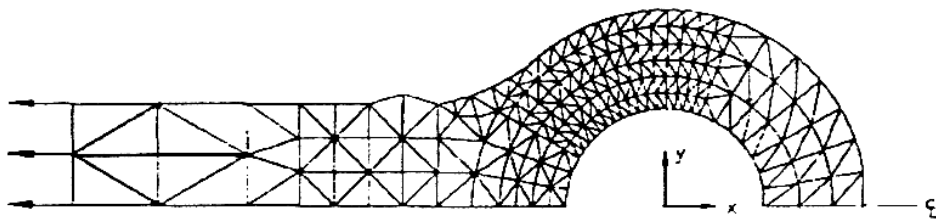
1.8 การตีความผลลัพธ์

จากผลลัพธ์ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 6 และ 7 ก็สามารถทราบได้ว่าที่จุดต่อใดของเอลิเมนต์ หรือบริเวณใดของโครงสร้างหรือชิ้นส่วนที่จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เช่น บริเวณที่มีการกระจัดสูงหรือบริเวณใดมีความเค้นสูง

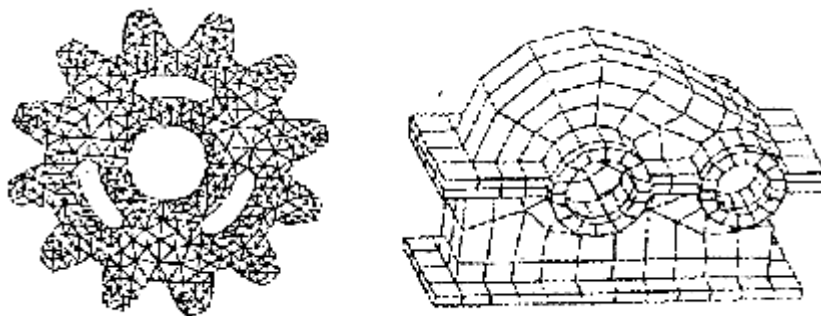
2. การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เราสามารถจะใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์ที่เป็นโครงสร้าง และที่ไม่ใช่โครงสร้างได้อย่างกว้างขวาง เช่น ปัญหาเกี่ยวกับโครงสร้างประกอบด้วย การวิเคราะห์ความเค้น รวมทั้งการวิเคราะห์โครงข้อหมุน การล้าตัว และการสั่นสะเทือนของระบบโครงสร้างและระบบเครื่องจักรกลด้วย

ดังรูป เป็นตัวอย่างการออกแบบปลายก้านกระบอกไฮดรอลิกส์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามเหลี่ยมสองมิติขนาด 297 เอลิเมนต์ 120 จุดต่อ เนื่องจากก้านกระบอกไฮดรอลิกส์อยู่ในลักษณะสมมาตร จึงใช้พื้นที่ในการวิเคราะห์เพียงครึ่งหนึ่ง และซึ่งที่เราต้องการหาความเค้นสูงสุดที่บริเวณใดของก้านกระบอกสูบขณะที่มีโหลดกระทำ



ภาพประกอบ 7 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของปลายก้านกระบอกไฮดรอลิกส์



ภาพประกอบ 8 แสดงแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเฟืองและห้องเฟือง

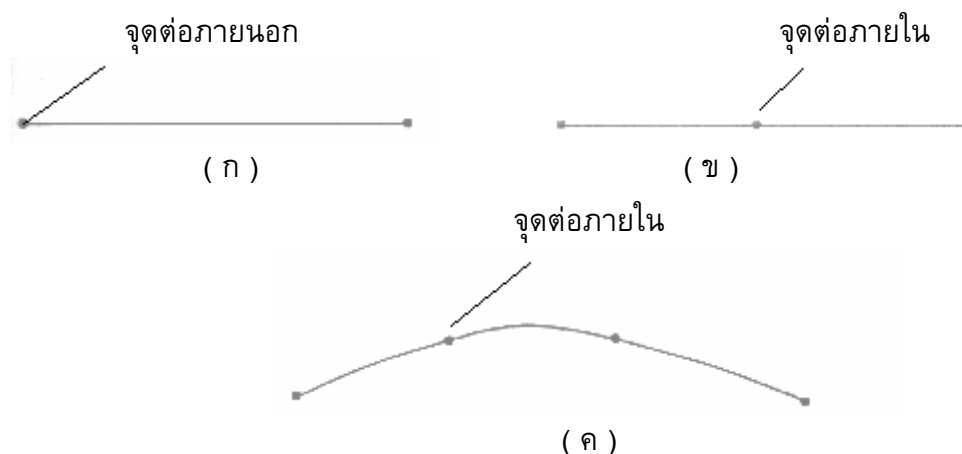
2.1 เอลิเมนต์

การวิเคราะห์โครงสร้างหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องแบ่งโครงสร้างออกเป็นชิ้นส่วนย่อยเล็กๆ และจะต้องเลือกชนิดการแบ่งชิ้นส่วนย่อยๆ หรือเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานและแรงที่กระทำ ซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทตามมิติของงาน คือ ปัญหามิติเดียว 2 มิติ และ 3 มิติ

- การแบ่งเอลิเมนต์มิติเดียว

- เอลิเมนต์มิติเดี่ยวนิยมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหามิติเดียว เช่น ชิ้นส่วนที่แรงกระทำในแนวแกนชิ้นส่วนรับแรงบิด การโก่งของคานการนำความร้อนในทิศทางเดียว เป็นต้น

ดังรูปแสดงการแบ่งเอลิเมนต์มิติเดียว แสดงจุดต่อภายนอกและภายใน 2 จุดต่อ 3 จุดต่อ และ 4 จุดต่อ



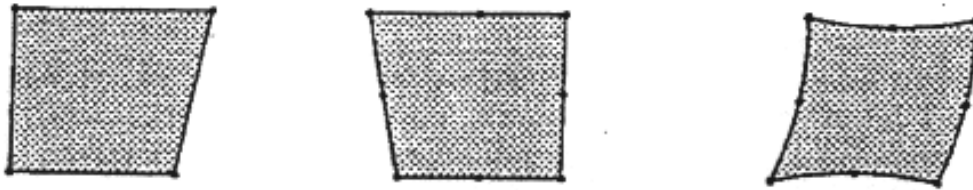
ภาพประกอบ 9 แสดงเอลิเมนต์มิติเดียว

- เอลิเมนต์สองมิติ

เอลิเมนต์สองมิติมักใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นความเครียดบนระนาบ โดยทั่วไปเอลิเมนต์จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม ที่ประกอบด้วยด้านเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง โดยทั่วไปเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมจะได้รับความนิยมมากกว่าเอลิเมนต์รูปสามเหลี่ยม ในระดับชั้นความเสรีเท่ากันเอลิเมนต์สามเหลี่ยมจะมีความถูกต้องแม่นยำกว่าเอลิเมนต์สี่เหลี่ยม ส่วนการจะเลือกใช้เอลิเมนต์ด้านตรงหรือโค้ง ขึ้นอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานจริง และโดยทั่วไปจะสมมติให้ความหนาของเอลิเมนต์มีค่าคงที่ แต่อาจจะกำหนดให้ความหนาเป็นฟังก์ชันกับพิกัดก็ได้

แบบธรรมดา

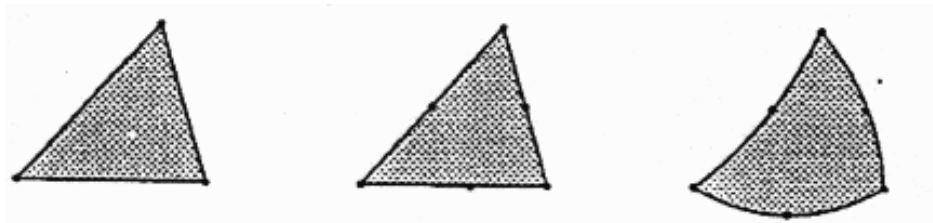
แบบไอโซพาราเมตริกซ์



(ก)

แบบธรรมดา

แบบไอโซพาราเมตริกซ์



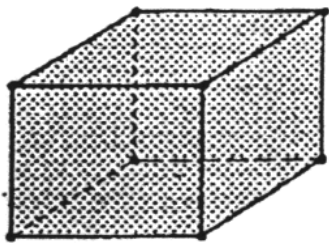
(ข)

ภาพประกอบ 10 แสดงเอลิเมนต์สองมิติ

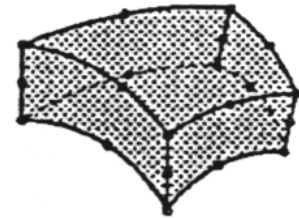
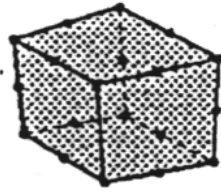
- เอลิเมนต์สามมิติ

เอลิเมนต์สามมิติจะใช้กับการวิเคราะห์ปัญหาสามมิติต่างๆ ไป ลักษณะของเอลิเมนต์จะเป็นสี่เหลี่ยมปริซึมและรูปกรวยสามเหลี่ยม

แบบธรรมดา

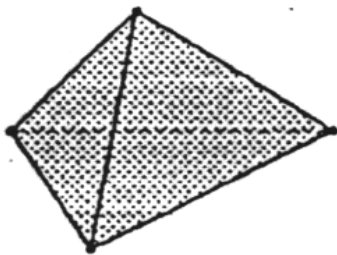


แบบไอโซพาราเมตริกซ์

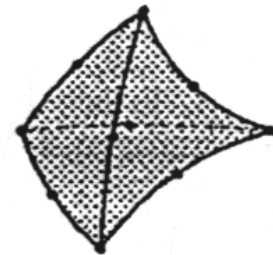
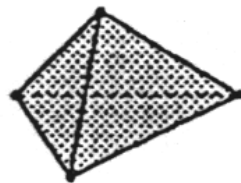


(ก)

แบบธรรมดา



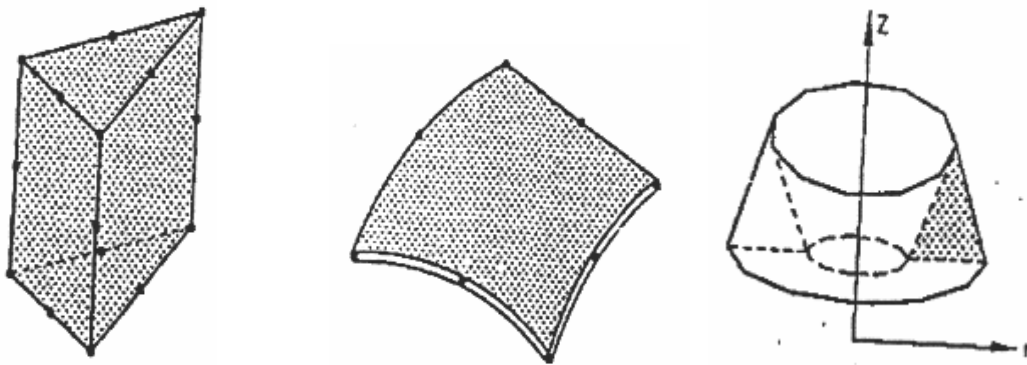
แบบไอโซพาราเมตริกซ์



(ข)

ภาพประกอบ 11 แสดงเอลิเมนต์แบบสามมิติ

นอกจากนี้เอลิเมนต์สามมิติตามที่กล่าวมาแล้ว ยังมีเอลิเมนต์อีกกลุ่มหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะรูปทรงกระบอก ดังแสดงในภาพประกอบ

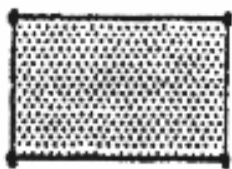


ก. เอลิเมนต์ทรงกระบอก ข. เอลิเมนต์แผ่นโลหะโค้ง ค. เอลิเมนต์กรวยสมมาตร

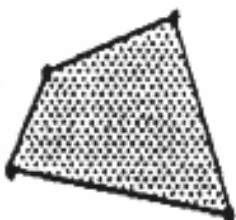
ภาพประกอบ 12 แสดงเอลิเมนต์แบบทรงกระบอก

จุดต่อมากค่าแม่นยำจะถูกตองมากกว่าเอลิเมนต์ที่ประกอบด้วยจุดต่อน้อย แต่จะเพิ่มความยุ่งยากในการแก้สมการ และใช้เวลาในการคำนวณมาก ดังรูปแสดงการแบ่งจุดแบบ 4 จุด จะให้ผลเฉลยคลาดเคลื่อนมากกว่าเอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 8 จุด และ 16 จุดต่อ เป็นต้น

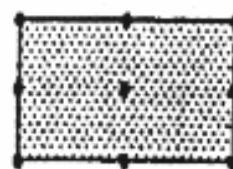
มุมฉาก 4 จุดต่อ



มุมใดๆ 4 จุดต่อ



มุมฉาก 9 จุดต่อ

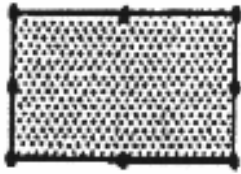


ด้านโค้ง 9 จุดต่อ



ภาพประกอบ 13 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 4 จุด และ 9 จุดต่อ

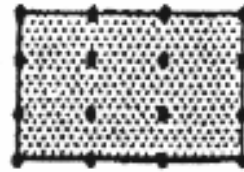
มุมฉาก 8 จุดต่อ



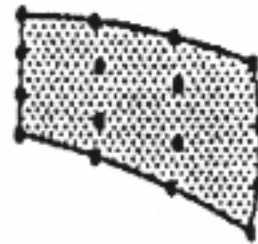
ด้านโค้ง 8 จุดต่อ



มุมฉาก 16 จุดต่อ



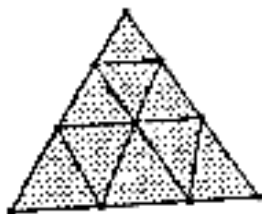
ด้านโค้ง 16 จุดต่อ



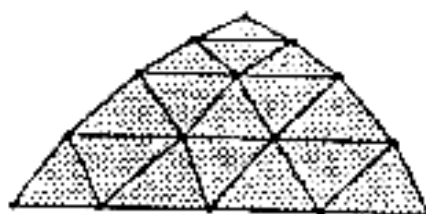
ภาพประกอบ 14 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมที่ประกอบด้วย 8 จุด และ 16 จุดต่อ

2.2 การแบ่งเอลิเมนต์

การวิเคราะห์ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยที่เกี่ยวข้องกันด้วยจุดต่อเพื่อความสะดวกในการพิจารณาปัญหาสองมิติโดยเลือกใช้เอลิเมนต์สามเหลี่ยมด้านตรงที่ประกอบสามจุดต่อ ส่วนในปัญหาสามมิติก็ใช้หลักการเดียวกัน การแบ่งจะแบ่งเอลิเมนต์เป็นสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมที่มีขนาดใหญ่ แล้วจึงแบ่งย่อยอีกครั้งที่ตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนหรือตำแหน่งที่แรงกระทำหรือตำแหน่งที่ใช้วัสดุต่างกัน ดังแสดงในภาพประกอบ



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 15 แสดงการแบ่งชิ้นส่วนออกเป็นเอลิเมนต์สามเหลี่ยม

ทฤษฎีความเสียหาย

ความเค้น (stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa, 1 Pa = 1N/m²) หรือ kgf/mm² หรือ psi (lbf/in²)
 P = แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf
 A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ : m² หรือ mm² หรือ in²

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

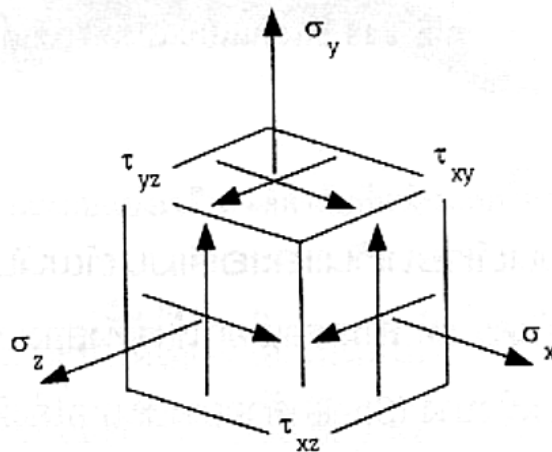
1. ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน
2. ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง
3. ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกัน มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อม ๆ กัน

1. ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด (Principal Stress)

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะ แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลัก แต่จะใช้กับวัสดุที่มีจุดครากก็ได้ ความเค้นหลักเกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีแรงมากระทำกับชิ้นงาน ซึ่งมีทิศทาง 3 แนวแกน ซึ่งจะตั้งฉากกับระนาบที่มีความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์ แทนค่าด้วยตัวแปร σ_1 , σ_2 และ σ_3

โดยในการวิเคราะห์ความเค้นเมื่อมีแรงกระทำ จะมีความเค้นทั้งหมด 6 ตัวแปรแทนทิศทางทั้งหมด แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ



ภาพประกอบ 16 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ

$$\sigma^3 - (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\sigma^2 + (\sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2)$$

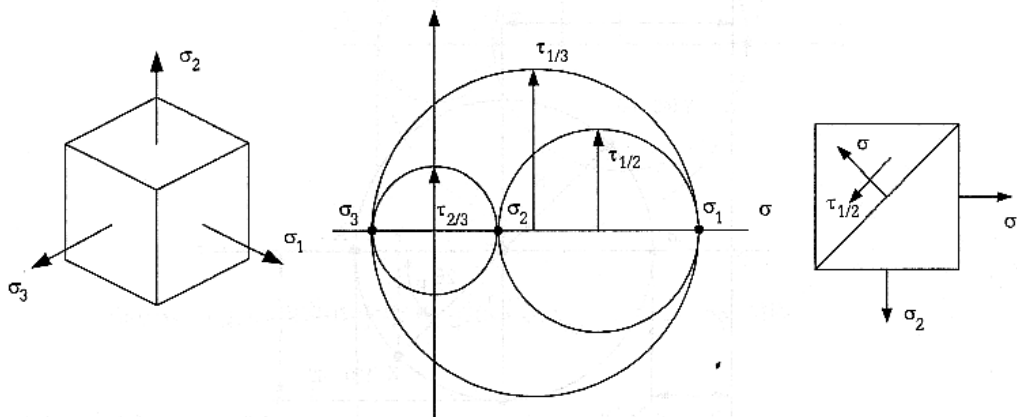
(2.3)

$$\sigma - (\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2) = 0$$

นำค่าที่ได้ไปเขียนวงกลมมอร์ตามเงื่อนไข $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ เพื่อหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุด $(\tau_{1/2}, \tau_{2/3}, \tau_{1/3})$ โดยใช้ความสัมพันธ์

$$\tau_{1/2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad ; \quad \tau_{2/3} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \quad ; \quad \tau_{1/3} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

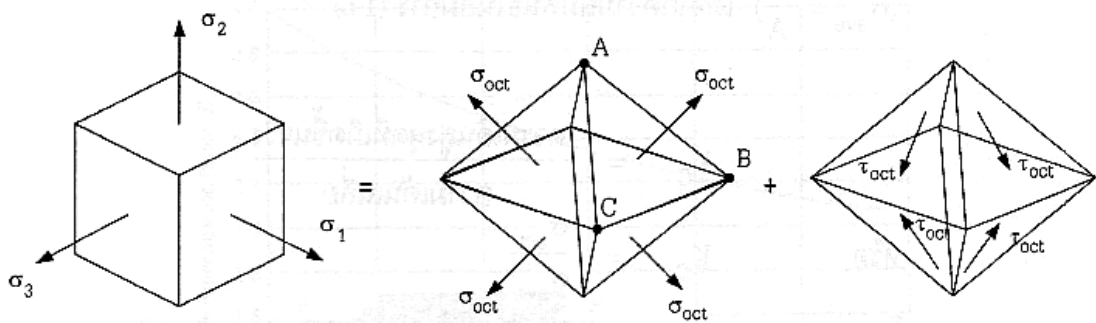
(2.4)



ภาพประกอบ 17 วงกลมโมร์วิเคราะห์ความเค้น 3 มิติ

2. ทฤษฎีความเค้นออกคตะฮีดรัล (Octahedral shear stress theory)

ในทางทฤษฎีพลาสติกิกซิตี (plasticity) มักจะเรียกทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีของ von Mises หรือ Huber-Hencky criterion ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคลผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมาใช้ โดยทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงขึ้นทดลองขณะถึงจุดคราก จากการพิจารณาค่าความเค้น σ_1, σ_2 และ σ_3 สามารถตัดมุมของแท่งสี่เหลี่ยมออกได้แปดมุมระนาบที่ได้เรียกว่าระนาบ Octahedral โดยทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกคตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงขึ้นทดลองขณะถึงจุดคราก



ภาพประกอบ 18 ระนาบ octahedral

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2)^{1/2} \tag{2.5}$$

$$= \frac{2}{3}(\tau_{1/2}^2 + \tau_{2/3}^2 + \tau_{1/2}^2)^{1/2}$$

$$= \frac{1}{3}((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2))^{1/2} \tag{2.6}$$

$$\sigma_{oct} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \tag{2.7}$$

ความหนาแน่นของความเค้น (stress Concentration)

ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่หน้าตัดสม่ำเสมอจะมีการกระจายตัวที่คงที่ตลอดชิ้นงานเมื่อมีแรงกระทำคงที่ แต่เมื่อพื้นที่หน้าตัดมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอความเค้นที่เกิดขึ้นไม่เท่ากันด้วย ฉะนั้นความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่มีความเข้มข้นมากจะเกิดความเสียหายได้ง่าย โดยสามารถหาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงจากค่าเฉลี่ย ($\sigma_{ave} = \frac{P}{A}$) ได้จาก

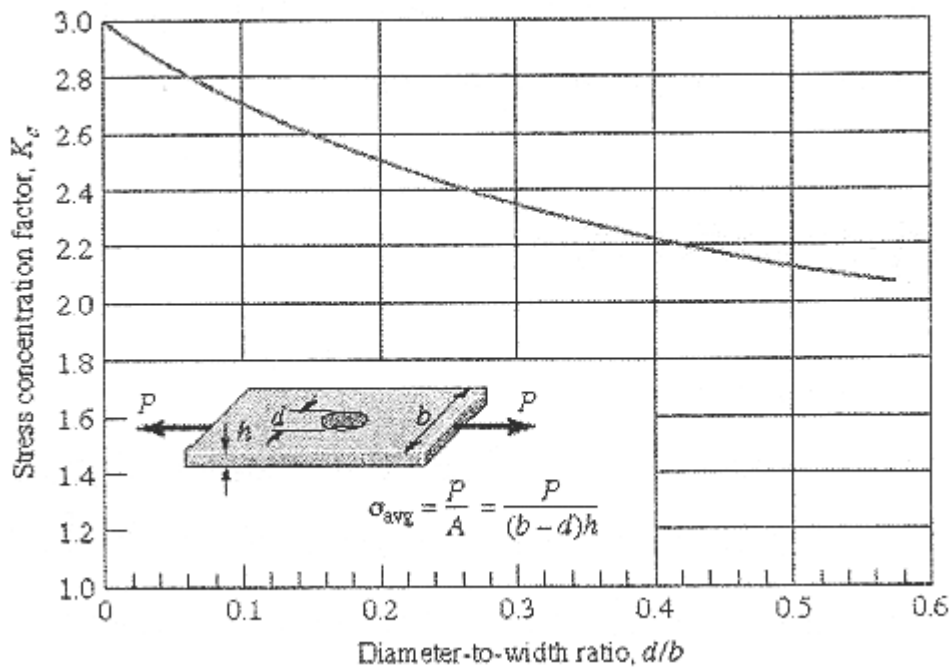
K_c = ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง/ความเค้นเฉลี่ย

หรือ
$$K_c = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{ave}} \tag{2.8}$$

เมื่อ K_c = ค่าคงที่ความหนาแน่นของความเค้น

σ_{act} = ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง

σ_{ave} = ความเค้นเฉลี่ย



ภาพประกอบ 19 แสดงความ KC เทียบกับ d/b

3. ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (The Maximum-Shear-Stress Theory (MSST))

จากการสมมุติวัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อเกิดความเค้นเฉือนสูงสุด จากการทดสอบแรงดึงชิ้นงานจะเสียหายที่จุดคราก ดังนั้นค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับครึ่งหนึ่งของความเค้นที่จุดคราก

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{2(S.F.)} \tag{2.9}$$

เมื่อ τ_{max} = ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด

S_y = ค่าความเค้นที่จุดคราก

(S.F.) = ค่าความปลอดภัย

เมื่อนำมาใช้กับความเค้น 3 มิติ จะได้

$$\tau_{\max} = \frac{S_y}{2(S.F.)} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (2.10)$$

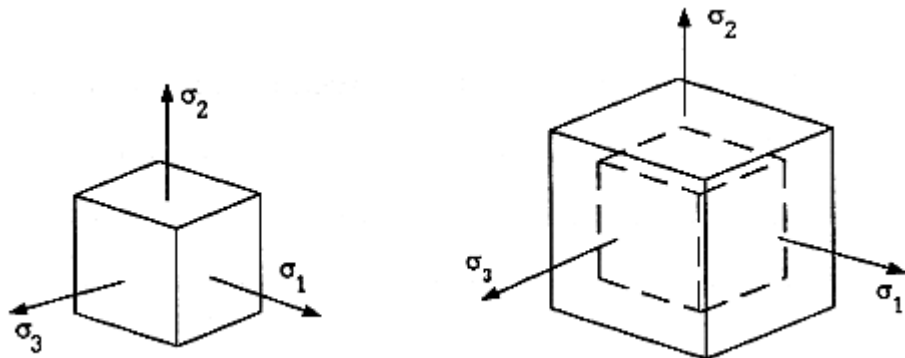
$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{S_y}{2(S.F.)} \quad (2.11)$$

ทั้งนี้การหาความเค้นหลักจะต้องพิจารณาตามเงื่อนไข $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ จึงเป็นการพิจารณาค่าความปลอดภัยต่อการรับแรงภายนอก

4. ทฤษฎีพลังงานแปรรูป (Distortion Energy Theory)

พลังงานความเครียด (strain energy) มีผลต่อความเสียหาย โดยวิเคราะห์ค่า strain energy ต่อหน่วยปริมาตร (U) คือ

$$U_{\text{(แนวแกนเดียว)}} = \frac{1}{2} \sigma_x \epsilon_x$$



ภาพประกอบ 20 การเปลี่ยนแปลงขนาดเอลิเมนต์ในระนาบหลัก

เราสามารถเขียนสมการ strain energy ต่อหน่วยปริมาตรในรูปของสมการความเค้นดังสมการ

$$U = \left(\frac{1}{2E}\right)(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)) \quad (2.12)$$

จากการยืดและหดตัวในแต่ละแนวแกนไม่เท่ากัน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหาย ถ้าความเค้นทั้งสามแกนมีค่าเท่ากัน จะเกิดความสูญเสียน้อยซึ่งเป็นไปได้ยาก จึงอาศัยค่าความเค้นเฉลี่ยในการทำนายความเสียหายที่เกิดขึ้น

$$\sigma_{ave} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

แทนค่าความเค้นหลักแต่ละแนวแกนด้วยค่าความเค้นเฉลี่ย จะได้

$$U_{ave} = \frac{3(1-2\nu)}{2E} \sigma_{ave}^2$$

หรือเขียนในสมการของความเค้นหลักจะได้

$$\begin{aligned} U_{ave} &= \frac{3(-2)}{2E} \sigma_{ave}^2; (\sigma_{ave})^2 = \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}\right)^2 \\ &= \left(\frac{1-2\nu}{6E}\right)(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Distortion energy คือความแตกต่างระหว่าง strain energy ของเอลิเมนต์ใดๆ กับ strain energy ของความเค้นเฉลี่ย

$$\begin{aligned} U_d &= U - U_{ave} \\ U_d &= \frac{1+\nu}{3E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3) \end{aligned} \quad (2.14)$$

ความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ จะขึ้นอยู่กับ Distortion energy สัมพันธ์จากการทดลองนำชิ้นงานไปดึง โดยความเค้นที่ทำให้เกิดความเสียหายคือความเค้นเกิดจุดครากตัวของวัสดุ

$$\sigma_1 = \sigma_x = S_y, \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \quad (2.15)$$

ความเค้นที่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างปลอดภัยแทนค่าจากสมการ $\sigma_1 = \frac{S_y}{S.F.}$ และสามารถหา Distortion energy ได้จากแทนค่าสมการ

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} \left(\frac{S_y}{S.F.}\right)^2 \quad (2.16)$$

ผลลัพธ์ของสมการ Distortion energy ที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบการดึงเสียหาย สามารถประยุกต์ใช้ในระนาบความเค้น 3 มิติ โดยพิจารณา

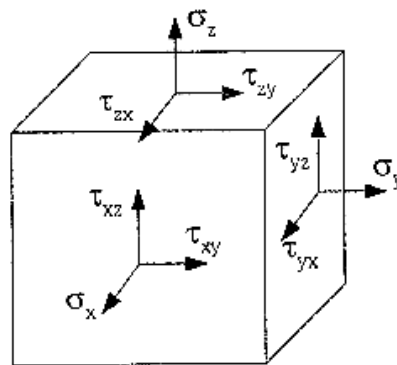
$$U_d = \frac{1-\nu}{3E}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3);$$

และ
$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} \left(\frac{S_y}{S.F.} \right)^2$$

จะเห็นได้ว่า
$$U_d = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3) \quad (2.17)$$

ความเค้นพอนมิสเชส (Von Miss Stress)

เป็นที่รู้จักกันดี และมักจะใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจากเอลิเมนต์ 3 มิติ ซึ่งประกอบด้วยความเค้น 6 ตัวแปร ได้แก่ $\sigma_x; \sigma_y; \sigma_z; \tau_{xy}; \tau_{xz}; \tau_{yz}$



ภาพประกอบ 21 ส่วนประกอบความเค้นแต่ละระนาบ

ซึ่งประกอบด้วยความเค้นตั้งฉาก และความเค้นเฉือน ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังสมการ ดังนี้

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad (2.18)$$

สมการของ von mises สามารถเขียนในรูปตัวแปรความเค้นย่อย ได้

$$\sigma_{vonmises} = \sqrt{0.5[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.19)$$

ความเค้นสมการของ von mises สามารถเขียนอยู่ในรูปของตัวแปรความเค้นหลัก (Principal stress) ตามเงื่อนไข ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) ดังสมการ

$$\sigma_{vonmises} = \sqrt{0.5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (2.20)$$

ค่าความเค้น ของ von mises จะไม่ติดลบ และเป็นเวกเตอร์เชิงปริมาณ ซึ่งจะใช้ค่าความเค้นเป็นตัวชี้ค่าความปลอดภัยของชิ้นงาน สำหรับค่าความเค้นที่จุดคราก (S_y) หรือค่าความเค้นประลัย (S_u) จะใช้ในการคำนวณหาความปลอดภัย ดังสมการ

$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{S_y}{\sigma_{vonmises}} \quad (2.21)$$

$$\text{ค่าความปลอดภัย (S.F.)} = \frac{S_u}{\sigma_{vonmises}} \quad (2.22)$$

โปรแกรม cosmos สามารถหาความเค้นหลักจากวัสดุประาะ สมการความปลอดภัยจากสมสมการ

$$S.F. = \frac{S_y}{\sigma_1} \quad \text{หรือ} \quad S.F. = \frac{S_c}{\sigma_3} \quad (2.23)$$

เมื่อ S_c คือความเค้นอัดที่วัสดุรับได้

โดยเปรียบเทียบกันและพิจารณาค่าความปลอดภัยค่าน้อยที่สุด

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาวะหัวใจกระดูกสะโพกตายของผู้ป่วยในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์.เฉลิมพล โอสภพรมมา และนิรันดร์ เกียรติศิริโรจน์ (2542) การศึกษาเชิงพรรณนาแบบย้อนหลัง รวบรวมข้อมูลจากเวชระเบียนของผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจกระดูกสะโพกตาย 37 ราย ที่มารับ การรักษาในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2536 ถึง 31 ธันวาคม 2539 เพื่อศึกษาข้อมูลพื้นฐาน สาเหตุวิธีการรักษาและผลการรักษาภาวะหัวใจกระดูกสะโพกตายของ ผู้ป่วยในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ผลการศึกษา : ผู้ป่วยมีอายุเฉลี่ย 43.9 ปี เพศชาย:หญิง 1.3:1 ส่วนใหญ่มีอาชีพใช้แรงงานและค้าขาย อยู่ในจังหวัดสงขลาและ จังหวัดอื่นในภาคใต้อย่างละครึ่งหนึ่ง มักมาพบแพทย์ด้วยอาการปวดข้อสะโพก ระยะเวลาของอาการเฉลี่ย 24.8 เดือน สาเหตุส่วนใหญ่ เกิดจากอุบัติเหตุบริเวณสะโพก การตีมวล กอฮอลล์และใช้ยาสเตียรอยด์ ส่วนใหญ่ได้รับการรักษาโดยเปลี่ยนข้อสะโพกเทียมและเชื่อม ข้อสะโพก ระยะเวลาติดตามการรักษาเฉลี่ย 12.1 เดือน ส่วนใหญ่พึงพอใจในผลการรักษา

ผลของตำแหน่งสกรูยึดกระดูกต่อความเครียดบริเวณกระดูกต้นขาหัก (ววีรา ฟันเพ็ง. 2549) การวิจัยนี้ได้ศึกษาความเครียดบริเวณกระดูกต้นขาหัก ซึ่งเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการรักษาผู้ป่วยต้นขาหัก วิธีที่นิยมใช้รักษาในปัจจุบันได้แก่ การใส่โลหะยึดกระดูก (Internal Fixation) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การใส่โลหะแท่งในกระดูก และการใช้โลหะแผ่นยึดกระดูก ดังนั้นการวิจัยนี้จึงศึกษาผลจากขนาดแผ่นโลหะและรูปแบบการวางสกรูที่ยึดติดกับ หน้าขา ให้ได้การเคลื่อนที่ของบริเวณกระดูกหักที่เหมาะสม โดยใช้ระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษาใช้แบบจำลองกระดูกต้นขา โดยได้จากการแสดงมาคำนวณโดยใช้โปรแกรม Cosmos Work ในการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์ เงื่อนไขที่ศึกษา คือการใช้แผ่นเหล็กตามขนาด 14 16 และ 18 รู ใช้สกรู 6 และ 8 ตัวตามลำดับ โดยน้ำหนักที่ใช้คือน้ำหนักตัว 50 60 และ 70 kg.

การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกข้อเข่าเปรียบเทียบกับระหว่างในขณะยืนตรงและนั่งยอง (ศุภฤกษ์ ศิริเวทิน. 2542) ทำการศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสทั้ง 2 ชั้น คือ กระดูกต้นขาและกระดูกขาแข้ง ในขณะที่กระดูกเหยียดตรงและในขณะนั่งยองๆ และศึกษาอิริยาบถที่ควรหลีกเลี่ยงโดยพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณข้อต่อหัวเข่า ซึ่งได้มาจากการจำลองแบบกระดูกขึ้นรูปด้วยวิธีสแกน 3 มิติ แปลงไฟล์เป็นไฟล์ iges จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้ศึกษาความเค้นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

สำหรับการวิจัยนี้ได้ศึกษาจากแบบจำลองของกระดูกหัวสะโพก ทำการวิเคราะห์ความเค้นบนกระดูกหัวสะโพกบริเวณที่เกิดการตาย ได้แก่

1. ศึกษาความเค้นของกระดูกหัวสะโพกตายเมื่อไม่ได้รับการรักษา
2. ศึกษาความเค้นของกระดูกหัวสะโพกตายเมื่อได้รับการรักษาแบบ Bone grafting
3. ศึกษาความเค้นของกระดูกหัวสะโพกตายเมื่อได้รับการรักษาแบบ Core drilling
4. ศึกษาความเค้นของกระดูกหัวสะโพกตายเมื่อได้รับการรักษาแบบใช้กระดูกอัดเข้าไปก่อนจากนั้นนำใส่สลักยึดกระดูกให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง

การทดสอบโปรแกรม Cosmos work 2007

การทดสอบโปรแกรม cosmos work 2007 มีขึ้นเพิ่มความมั่นใจในความถูกต้อง แม่นยำ และความเสถียรภาพในการคำนวณ ซึ่งก่อนการนำโปรแกรมออกสู่ตลาด โปรแกรมนั้นๆ จะต้องถูกทดสอบเป็นอย่างดีแล้ว ดังนั้นประโยชน์ของโปรแกรมจึงขึ้นกับการใช้งานของผู้ที่นำไปงานอย่างถูกต้องและความชำนาญในการใช้โปรแกรม Cosmos work 2007

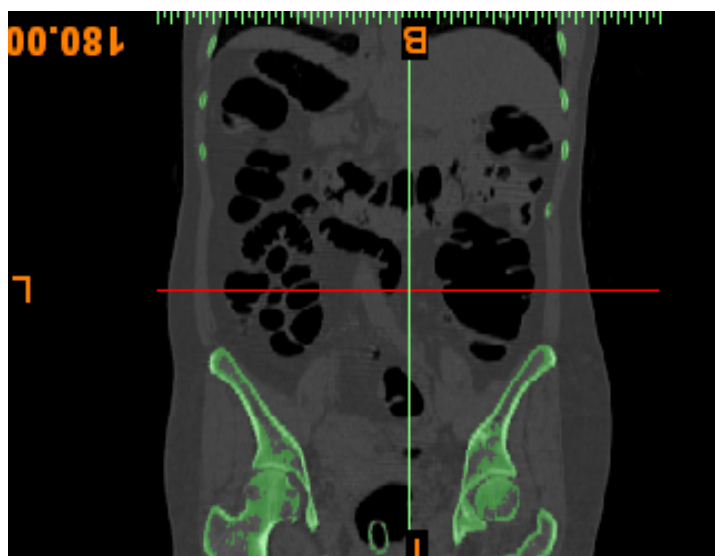
วิชา พันเพ็ง (2549) สืบเนื่องจากการวิเคราะห์ความเครียดบนกระดูกเป็นผลจากแรงซึ่งเกิดจากน้ำหนักตัวเพียงอย่างเดียว จึงเลือกทดสอบโปรแกรมกับปัญหาการเกิดความเครียดบนแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมเจาะรูตรงกลาง (Rectangular Hollow Steel Plate) ซึ่งแผ่นเหล็กเป็นวัสดุเนื้อเดียว ได้รับแรงดึงที่ปลายข้างหนึ่งที่ปลายข้างหนึ่งถูกยึดแน่น (Fixed) และสามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหาได้ด้วยการคำนวณเชิงทฤษฎี ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโปรแกรมกับปัญหาความเครียดบนแผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมเจาะรูนี้เพียงปัญหาเดียว เพราะเห็นว่าเป็นปัญหาที่สอดคล้องและคล้ายคลึงกับปัญหาการวิเคราะห์ความเครียดช่องว่างรอยหักกระดูกอยู่แล้ว จากการทดสอบมีการจับยึดแน่น (Fixed) รับแรงดึงขนาด 25,000 lb หรือ 111,210 N กระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัด แผ่นเหล็กมีขนาดกว้าง 200 mm สูง 100 mm และหนา 10 mm มีรูเจาะที่ตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm ทำจากเหล็ก AISI 304 ค่าที่ได้จากเท่า 422.174 MPa ค่าที่ได้จากการคำนวณเท่ากับ 417.04 MPa โปรแกรมค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 1.22% โดยเป็นค่าเปรียบเทียบของความแตกต่างระหว่างคำตอบจาก COSMOS Works 2006 กับคำตอบจากทฤษฎี

การจำลองกระดูกหักสะโพกตาย

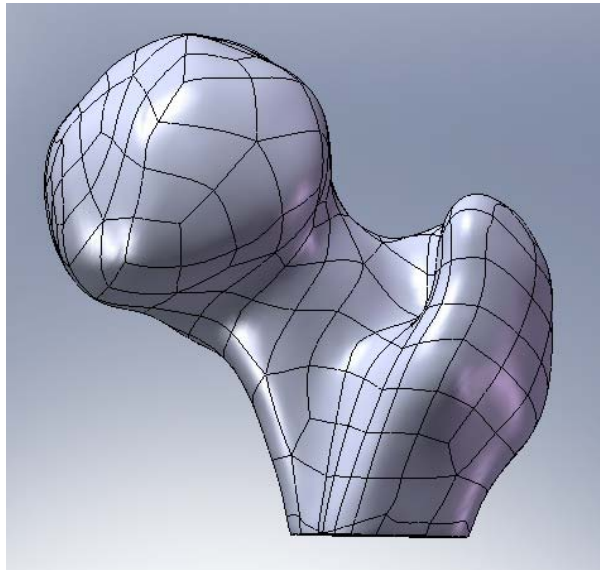
กรณีี่รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์มีความซับซ้อน การขึ้นรูปชิ้นงานจึงมีความยุ่งยาก ดังนั้นในที่นี้จึงต้องใช้เครื่องมือพิเศษเพื่อช่วยขึ้นรูปแบบจำลอง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับรูปร่างที่แท้จริงมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น จะต้องสามารถเปิดในโปรแกรม Solid work 2007 ได้ เนื่องจากต้องใช้โปรแกรม Solid work 2007 สร้างกรณีศึกษาสำหรับศึกษากระดูกหักสะโพกตาย แล้วจึงนำแบบจำลองที่ได้นำไปวิเคราะห์ต่อไป

แบบจำลองของกระดูกหักสะโพก

แบบจำลองของกระดูกหักสะโพกเป็น แบบจำลองที่สแกนมาจากผู้ป่วยจริงซึ่งมีชีวิตอยู่ ได้นำผู้ป่วยเป็นโรคกระดูกหักสะโพกตาย สแกน X-ray 3 มิติด้วยคอมพิวเตอร์ ทำการบันทึกผลการสแกน X-ray 3 มิติ นำไฟล์สแกนที่ได้มาตกแต่งแบบจำลองที่ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปแบบจำลองจะกล่าวในภาคผนวก) จะได้แบบจำลองของกระดูกหักสะโพกดังนี้

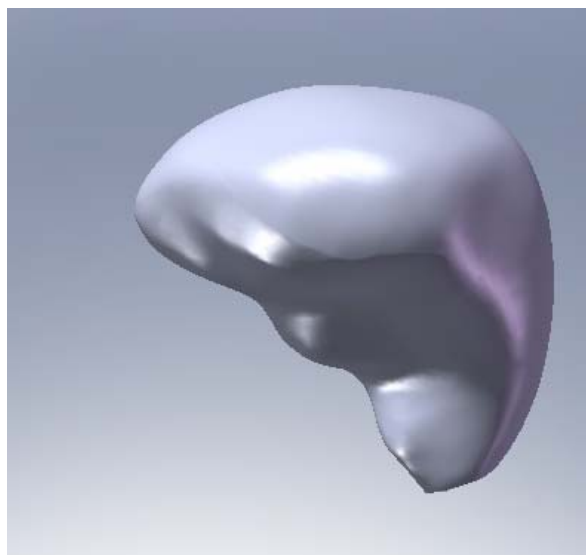


ภาพประกอบ 22 ภาพสแกน X-ray คอมพิวเตอร์กระดูกหักสะโพก



ภาพประกอบ 23 แบบจำลองกระดูกหัวสะโพกที่จากการสแกน

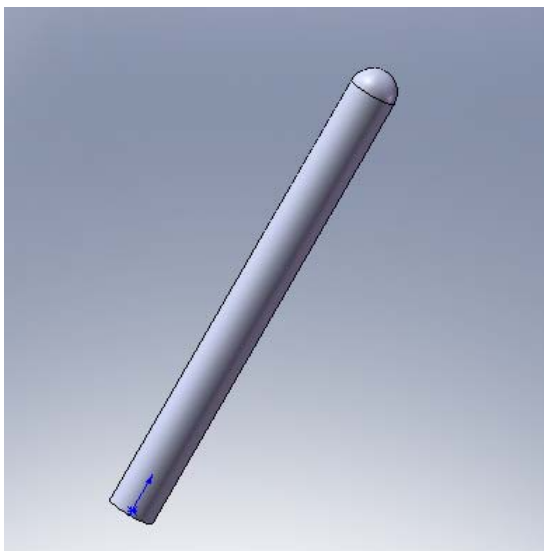
แบบจำลองพื้นที่กระดูกหัวสะโพกตาย เป็นแบบจำลองของกระดูกที่เกิดการตาย ซึ่งจะติดตั้งอยู่ในกระดูกหัวสะโพก การสร้างแบบจำลองกระดูกหัวสะโพก จะใช้โปรแกรม Solid work 2007 ในการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 แบบจำลองพื้นที่กระดูกหัวสะโพกตายที่ได้จากการสแกน

แบบจำลองสลักใช้ตามกระดูก

แบบจำลองสลักใช้ตามกระดูก สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Solid work 2007 ซึ่งจะใช้ประกอบการรักษา กระดูกหัวสะโพกตาย ดังแสดงในภาพประกอบ 25

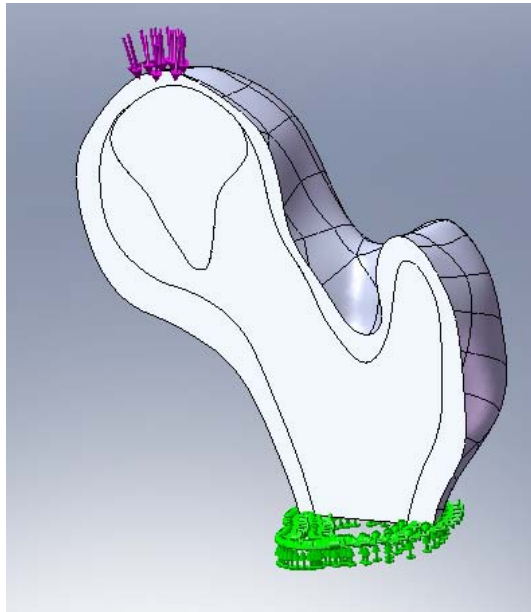


ภาพประกอบ 25 แบบจำลองสลักใช้ตามกระดูก

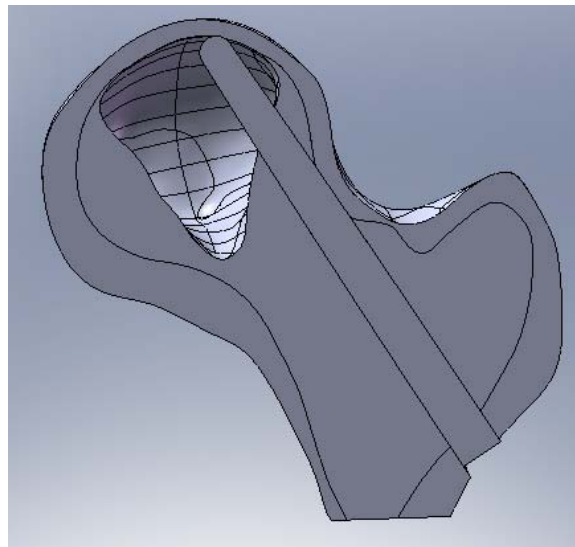
การรักษาภาวะกระดูกหัวสะโพกตาย

ในการรักษาภาวะกระดูกหัวสะโพกตาย กรณีที่ 1 Bone Grafting วิธีการรักษา คือ การเจาะกระดูกด้านข้างเอียงตามคอกระดูกต้นขาไปจนถึงบริเวณที่เกิดการตายของกระดูก ทำการคว้านกระดูกที่ตายออกมาเสียก่อน จากนั้นนำกระดูกที่ขูดออกมานั้นอัดเข้าไปแทนที่ตรงที่ขูดกระดูกออกมาใหม่ให้เหมือนเดิม กรณีที่ 2 Core drilling คือการเจาะกระดูกด้านข้างเอียงตามคอกระดูกต้นขาไปจนถึงบริเวณที่เกิดการตายของกระดูก เพิ่มลดความดันที่เกิดขึ้นภายในกระดูก จากนั้นใส่สลักเอียงตามกระดูกต้นขา ไปค้ำยังส่วนที่สูงที่สุดของกระดูกหัวสะโพกไว้ และแบบที่สามคือการประยุกต์วิธี การรักษาแบบ Bone Grafting และ Core drilling ร่วมกัน คือ การเจาะกระดูกด้านข้างเอียงตามคอกระดูกต้นขาไปจนถึงบริเวณที่เกิดการตายของกระดูก ทำการคว้านกระดูกที่ตายออกมาเสียก่อน จากนั้นนำกระดูกที่ขูดออกมาซึ่งจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดอัดเข้าไป ให้เต็มรูกลวงที่กระดูกหัวสะโพกตายก็พอ ทำใส่สลักเพื่ออัดกระดูกที่ใส่เข้าไปให้แน่น และเพื่อป้องกันการหลุดออกของกระดูกที่อัดเข้าไปใหม่

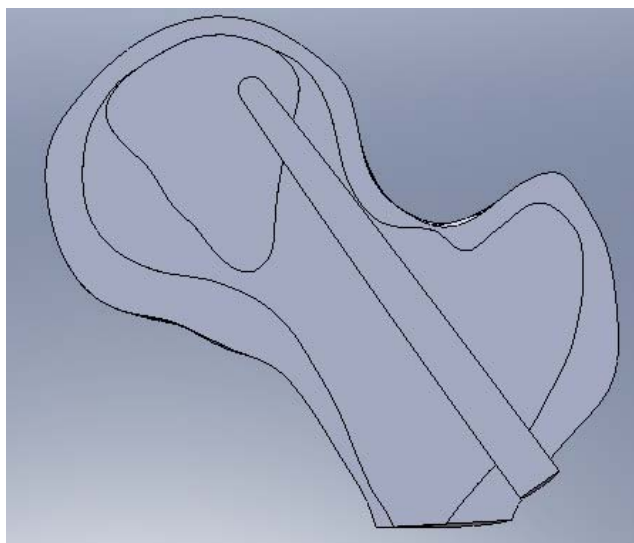
ในการศึกษาความเค้นในกระดูกหัวสะโพกตายทั้งแบบไม่ได้รับการรักษา และได้รับการรักษา ใช้โปรแกรม Cosmos work 2007 ในการวิเคราะห์และศึกษาความเค้นในกระดูกหัวสะโพกในการศึกษาสมมติให้หน้าสัมผัสกันของกระดูกและสลักแต่ละชิ้น เป็นแบบยึดติดกันอย่างเหนียวแน่น โดยการยึดหยุ่นจะขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสของวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน การยุบตัวต่างกัน แต่ผิวสัมผัสจะไม่เกิดการแยกจากกัน



ภาพประกอบ 26 แบบจำลองการรักษา Bone Grafting



ภาพประกอบ 27 แบบจำลองการรักษา Core drilling



ภาพประกอบ 28 แบบจำลองการรักษา Bone Grafting และ Core drilling ร่วมกัน

กำหนดเงื่อนไข

ร่างกายของเรามีได้หยุดนิ่งเท่านั้น ยังมีการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์เช่น การเดิน การวิ่งและการกระโดด ดังนั้นแรงกระทำที่เกิดจากการเคลื่อนไหวจะเพิ่มขึ้นตามลักษณะการเคลื่อนไหวของร่างกาย การเดินจะเกิดแรงเพิ่มขึ้น 2-3 เท่า การวิ่งจะทำให้แรงเพิ่มขึ้น 5-6 เท่า และการกระโดดจะมีแรงเกิดขึ้น 7-8 เท่าของน้ำหนักตัวปกติ กรณีที่ใช้ในการศึกษานี้ เราศึกษาที่น้ำหนักที่ตกลงบนกระดูกหักสะโพกขณะที่เดินที่น้ำหนักตัว 60 kg จากการศึกษาของรองศาสตราจารย์นายแพทย์เทอดชัย ชีวะเกตุ ผลรวมหรือผลลัพธ์ของแรงที่มีต่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย คือ แรงจากการทำงานของกล้ามเนื้อ แรงดึงดูดของโลก แรงปฏิกิริยาจากพื้นของโลก เช่น ในการเดินช่วงเหวี่ยงขาจะมีแรงอันเนื่องมาจากกล้ามเนื้อที่งอสะโพก ยกขาต่อต้านกับแรงดึงดูดของโลก ช่วงฮิลสไตรค์ แรงจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่กดให้ขาให้มันคงบนพื้น แรงปฏิกิริยาของพื้นต่อต้านกับน้ำหนักตัวที่ตกลงมา ซึ่งมีอิทธิพลต่อการงอหรือเหยียดของข้อในเข่า ทำให้เกิดแรงขึ้นในข้อสะโพก เช่น ขณะเดินลงน้ำหนักบนขาข้างหนึ่ง จะมีแรงเกิดขึ้นในข้อสะโพกขาข้างนั้นมีค่าเท่ากับ 2.5 ของน้ำหนักตัว เช่น คนน้ำหนักตัว 60 kg จะมีแรงเกิดขึ้นในข้อสะโพกเท่ากับ 150 kg และจะมีแรงเกิดขึ้นในข้อเข่า เท่ากับ 2 เท่าของน้ำหนักตัว คือ 120 kg

เนื่องจากการรับแรงของกระดูกหัวสะโพก เป็นการรับแรงที่กระดูกหัวสะโพกจะสวมอยู่ในเบ้าของกระดูกเชิงกราน ดังนั้นแรงที่รับจึงเป็นแรงกระจายจากกระดูกเชิงกรานตกลงบนกระดูกหัวสะโพก จากกระดูกจำลองจะเทียบกระดูกหัวสะโพกเท่ากับ 1589 mm^2 แรงที่ตกลงบนกระดูกหัวสะโพกเท่ากับ $150 \times 9.81 = 1472 \text{ N}$ ในการทดลองใช้พื้นที่รับแรง 50 mm^2 เฉลี่ยแรงกระทำต่อพื้นที่ 50 mm^2 เท่ากับ 46.32 N เพื่อใช้ช่วยต่อการคำนวณการทดลองจึงใช้แรงที่กระทำต่อกระดูกหัวสะโพก เท่ากับ 50 N กระทำต่อพื้นที่ 50 mm^2

สมบัติเชิงกลของกระดูกหัวสะโพก

การศึกษาความเค้นในกระดูกหัวสะโพกตาย ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุทางวิศวกรรม เช่น ค่าความเค้น (stress) ค่ายังโมดูลัส (young modulus) ค่าพิวของเรโซ (poisson's ratio) เพื่อนำมาศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์ เพราะค่าวัสดุที่แทนในการหาไฟไนต์เอลิเมนต์ ถ้าหากค่าคุณสมบัติวัสดุที่แทนค่าไม่ถูกต้อง ก็จะทำค่าที่ได้การทดสอบที่ผิดพลาดตามมาด้วยนอกจากคุณสมบัติทาง การศึกษาแล้ว จากการศึกษากระดูกประกอบด้วยชั้นกระดูกหลักดังนี้ คือ

1. กระดูกที่มีความหนาแน่นมาก ซึ่งเป็นกระดูกผิวด้านนอกเราเรียกระดูกชั้นนี้ว่า (cortical bone) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความแข็งแรงมากที่สุด แต่ในขณะที่เดียวกันกระดูกชั้นนี้ก็มีความเปราะกว่าชั้นอีกเช่นกัน ซึ่งคุณสมบัติของกระดูกส่วนนี้ ผลจากการทดลองของ ไรลลี่ (Reilly. 1975) และเบอร์สไตน์ (Burstein. 1975) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 6900 MPa และค่าพิวของเรโซ เท่ากับ 0.25

2. กระดูกชั้นในมีลักษณะคล้ายร่างแหไขว้เราเรียกระดูกชั้นนี้ว่า (Cancellous bone) อยู่ภายในถัดจากกระดูกชั้น cortical bone ซึ่งจากการศึกษากระดูกชั้นนี้ของปีเตอร์เซิน (Pedersen. 1982) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 1,000 MPa และค่าพิวของเรโซ เท่ากับ 0.3

3. ชั้นกระดูกอ่อนผิวข้อ (Articular cartilage) จากการศึกษาคนที่มีความอายุ 20-30 ปี ของเคมปีสัน (Kempson. 1980) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 10.35 MPa และค่าพิวของเรโซ เท่ากับ 0.4 ซึ่งกระดูกชั้นนี้มีความหนา 1-5 mm

4. ชั้นใต้กระดูกอ่อน (Subchondral bone) ซึ่งอยู่ถัดลงมาจากรูปกระดูกชั้นกระดูกอ่อนผิวข้อจากการศึกษากระดูกชั้นนี้ของปีเตอร์เซิน (Pedersen. 1982) พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัส เท่ากับ 6,900 MPa และค่าพิวของเรโซ เท่ากับ 0.3

5. กระดูกชั้นในที่มีความหนาแน่นน้อย (Low density zone) ส่วนนี้จะเป็นใจกลางของกระดูก ซึ่งประกอบด้วยเส้นเลือดและเนื้อเยื่อต่างๆ จากการทดลองบราวน์ (Brpwn. 1980) และ (Ferguson. 1980) จากการศึกษา พบว่ากระดูกชั้นนี้มีค่ายังโมดูลัสเท่ากับ 345 MPa และค่าพิวของเรโซ เท่ากับ 0.3

ตาราง 2 สมบัติของวัสดุ

ชั้นของกระดูก	Young' modulus	Poisson's ratio	density
Cancellous bone	1000 MN/m ²	0.3	1630 kg/m ³
Cortical bone	6900 MN/m ²	0.25	1630 kg/m ³
กระดูกอัดเข้าไปใหม่	100 MN/m ²	0.3	1630 kg/m ³
กระดูกอัดเข้าไปใหม่ใช้สกรูอัด	200 MN/m ²	0.3	1630 kg/m ³
Stainless steel 316L	193 GN/m ²	0.278	8000 kg/m ³

การสร้างเมช

เมื่อทำการสร้างแบบจำลองกระดูกหัวสะโพกเพื่อศึกษากระดูกกรณีต่างๆ แล้วจากนั้นทำการแบ่งแบบจำลองกระดูกหัวสะโพกออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ ทรงตันรูปทรงสี่หน้า (Tetrahedral Solid) โดยขนาดของเอลิเมนต์กำหนดให้มีขนาดเท่าๆ กันทุกกรณี ถ้าเอลิเมนต์มีการแบ่งขนาดที่เล็กจะทำให้ผลการคำนวณผลโปรแกรม มีค่าที่ถูกต้องและผิดพลาดน้อย ถ้าแบ่งเอลิเมนต์มีขนาดใหญ่ผลที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมจะมีค่าความผิดพลาดมากกว่าการแบ่งเอลิเมนต์ขนาดเล็ก ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อจากนางสาววิภา พันเพ็ง โดยใช้ข้อมูลเดียวกัน ศึกษาค่าที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรม Cosmos work 2007 ศึกษาผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดของเอลิเมนต์ การศึกษาขนาดที่ศึกษาเปรียบเทียบในการแบ่งขนาดของเอลิเมนต์ 2 mm เปรียบเทียบกับขนาดเอลิเมนต์ 10 mm

ตาราง 3 ค่าความเค้นเปรียบเทียบของเอลิเมนต์ขนาด 2 mm และ 10 mm

ขนาดเอลิเมนต์	จำนวนnod	จำนวนเอลิเมนต์	σ_{max}
2 mm	222354	150090	4.217×10^8
10 mm	3305	1749	4.051×10^8

จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่า ขนาดเอลิเมนต์ขนาด 2 mm จะมีค่า 421.7 MPa ซึ่งมีค่าใกล้เคียง การคำนวณจากทฤษฎี 417.04 MPa มากกว่าการแบ่งเอลิเมนต์ขนาด 10 mm

สำหรับโปรแกรม Cosmos work 2007 จะแบ่งเอลิเมนต์อัตโนมัติ ซึ่งขนาดของเอลิเมนต์จะมีขนาดปานกลาง ในที่นี้เราแบ่งโดยการกำหนดค่าขนาดเอลิเมนต์ 2.5 mm ซึ่งเป็นเอลิเมนต์ขนาดกลาง โปรแกรมสร้างสามารถคำนวณได้เร็วไม่เสียเวลา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ จะได้กล่าวในบทที่ 4

บทที่ 4

ผลการทดลอง

สำหรับบทนี้ จะเสนอผลการจำลองปัญหาของกระดูกหัวสะโพกตาย ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณด้วยโปรแกรม Cosmos work 2007 เพื่อเปรียบเทียบความเค้นที่เกิดขึ้น ต่อการรักษาแบบ Bone Grafting แบบ Core drilling และใช้ทั้งสองวิธี จากการรับน้ำหนักหรือภาระที่กระทำ 60 kg เพื่อศึกษาแนวโน้มของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ในกระดูกหัวสะโพกตาย เมื่อได้รับการรักษาตามแบบต่างๆ

การกำหนดแรง เนื่องจากแรงที่กระทำบนกระดูกหัวสะโพกมีขนาดเป็น 2.5 เท่าของน้ำหนักตัว มีค่าเท่ากับ $60 \times 2.5 \times 9.81 = 1472 \text{ N}$ โดยการรับแรงบนกระดูกหัวสะโพก เป็นแรงกระจายบนพื้นที่รับแรงบนกระดูกหัวสะโพก พื้นที่ 1589 mm^2 โดยพื้นที่ในการทดลองเท่ากับ 50 mm^2 ดังนั้น ขนาดของแรงที่กระทำมีค่าเท่ากับ 46.32 N เพื่อให้ได้ค่าลงตัวจึงใช้แรงขนาด 50 N กดลงบนจุดที่สูงที่สุดของกระดูกหัวสะโพก ในการทดลองโปรแกรม cosmos work 2007 ความสัมพันธ์ที่ใช้ระหว่างกระดูกสมมติให้หน้าสัมผัสติดกันอย่างเหนียวแน่น และมีการจับยึดที่ด้านล่างของกระดูกหัวสะโพก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

1. เริ่มจากการ แปลงไฟล์จากไฟล์กระดูกหัวสะโพกที่ได้จากการขอข้อมูลศูนย์การแพทย์ ซึ่งแปลงไฟล์จากโปรแกรม mimic10.01 เสร็จแล้ว เปิดใน Solid work 2007 ได้ จากนั้นทำการขึ้นรูปกระดูกทรงตันเพื่อวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

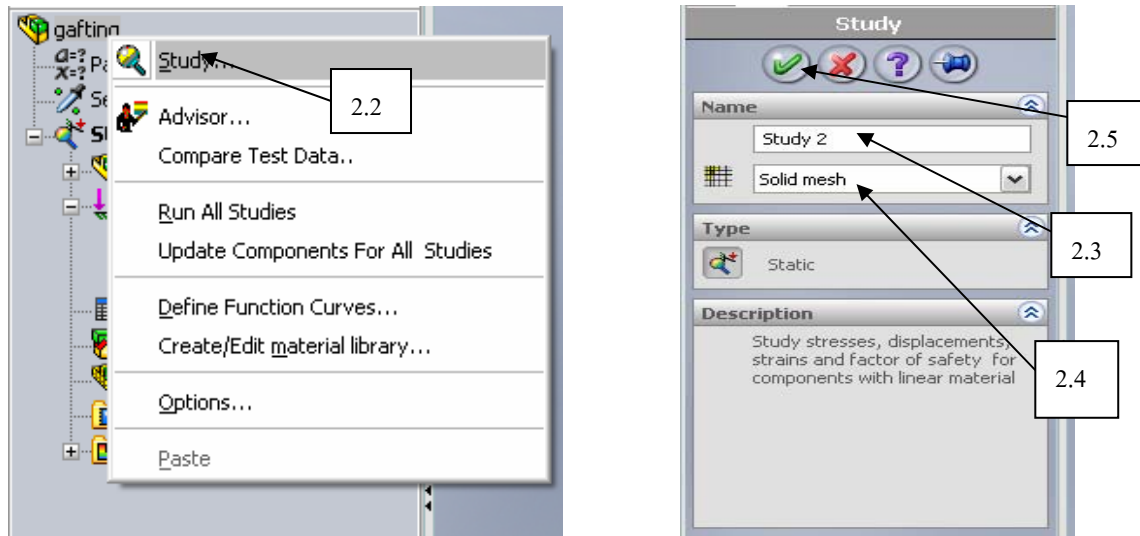
2. เริ่มต้นการวิเคราะห์

- 2.1 เข้าโปรแกรม Cosmos work 2007 เพื่อเริ่มทำการวิเคราะห์ กระดูกหัวสะโพก



ภาพประกอบ 29 แสดงคำสั่งการเข้าสู่โปรแกรม Cosmos work 2007

2.2 คลิกขวาที่ชื่อชิ้นงานที่ตั้งไว้ จากนั้นคำสั่ง study



ภาพประกอบ 30 แสดงการเลือกและตั้งชื่อ เพื่อเริ่มการวิเคราะห์

2.3 ตั้งชื่อเริ่มต้นของการศึกษาความเค้น

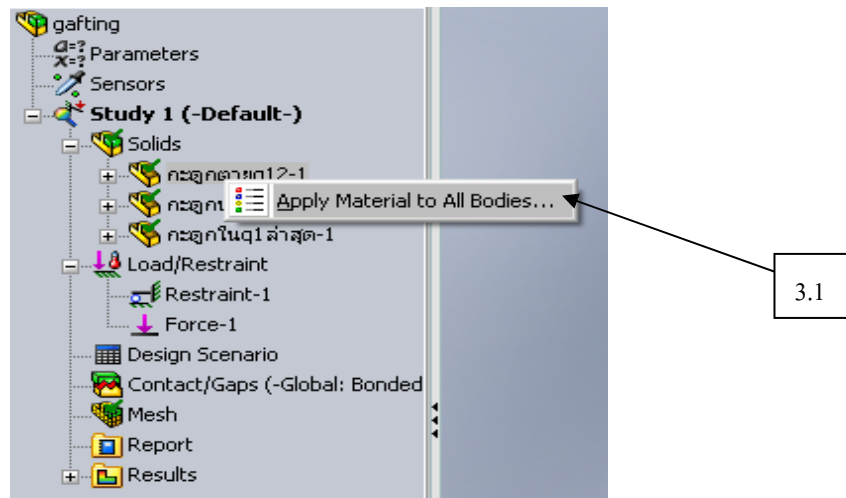
2.4 เลือกลักษณะของการวิเคราะห์ ต้องการศึกษาชิ้นงานที่เป็นของวัตถุแก๊ริงเลือก

solid mesh

2.5 คลิกเครื่องหมายถูกต้อง

3. กำหนดคุณสมบัติของชิ้นงาน

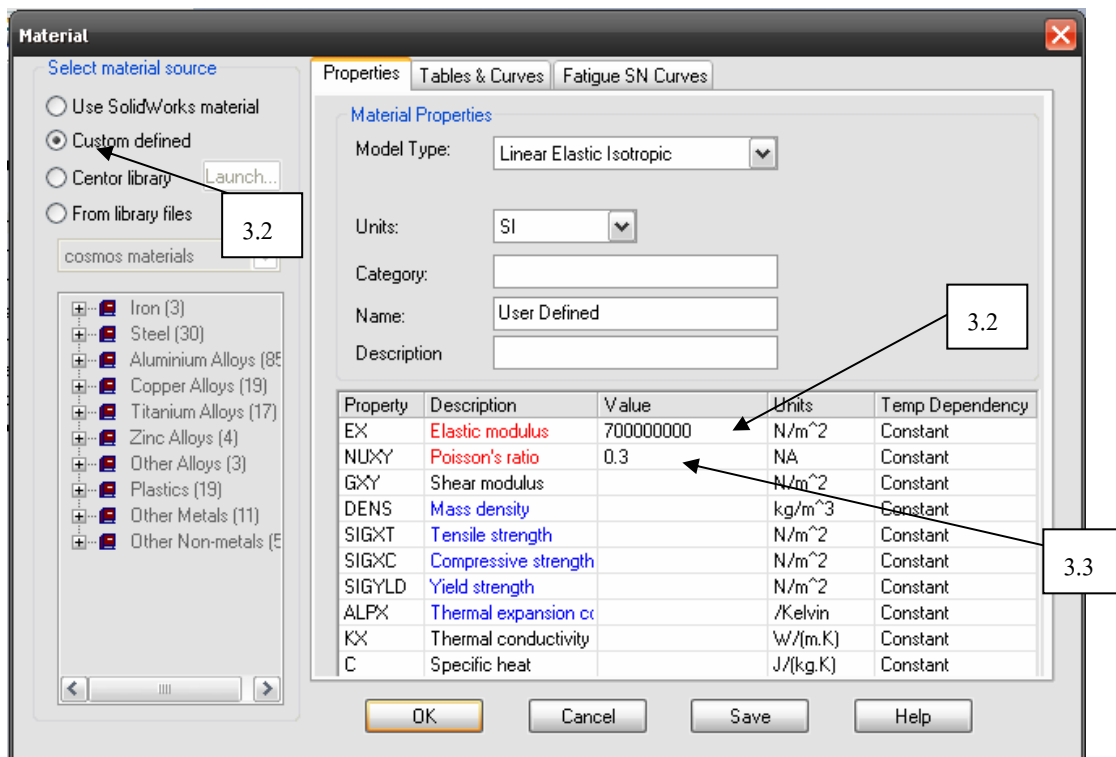
3.1 คลิกขวาของชื่อชิ้นงานที่ต้องการกำหนดคุณสมบัติ เลือกคลิกคำสั่ง Apply material to bodies



ภาพประกอบ 31 แสดงการใช้คำสั่ง Apply material to bodies

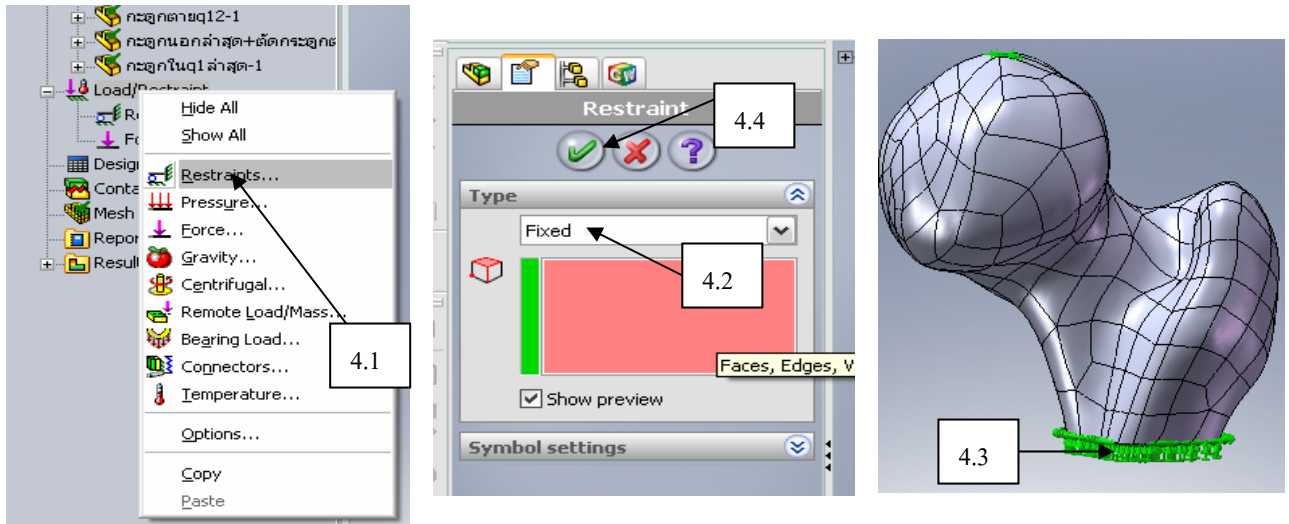
3.2 คลิกคำสั่ง Custom defined จากนั้นกำหนดค่า Elastic modulus และ Poisson's ratio

3.3 คลิก เครื่องหมายถูกต้อง



ภาพประกอบ 32 แสดงการใช้คำสั่งการกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

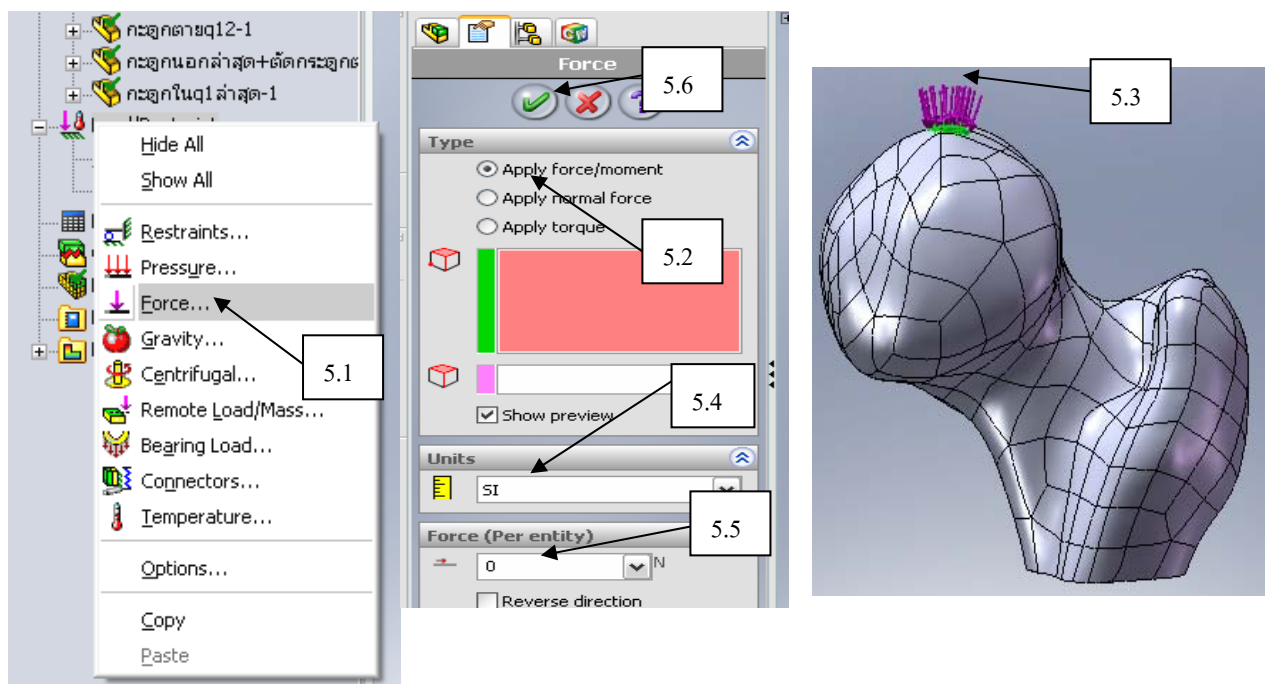
4. กำหนดจุดการจับยึดชิ้นงาน



ภาพประกอบ 33 แสดงการใช้คำสั่ง Restraints

- 4.1 คลิกขวาคำสั่ง Load/Restraints จากนั้นคลิกคำสั่ง Restraints
- 4.2 เลือกคำสั่งจับยึดชิ้นงานให้อยู่หนึ่ง โดยเลือกใช้คำสั่ง Fixed
- 4.3 คลิกตำแหน่งบนชิ้นงานที่ต้องการยึดที่นี่ คือด้านล่างของกระดูกหัวสะโพก
- 4.4 คลิกเครื่องหมายถูกต้อง

5. การกำหนดแรงกระทำต่อกระดูกหัวสะโพก

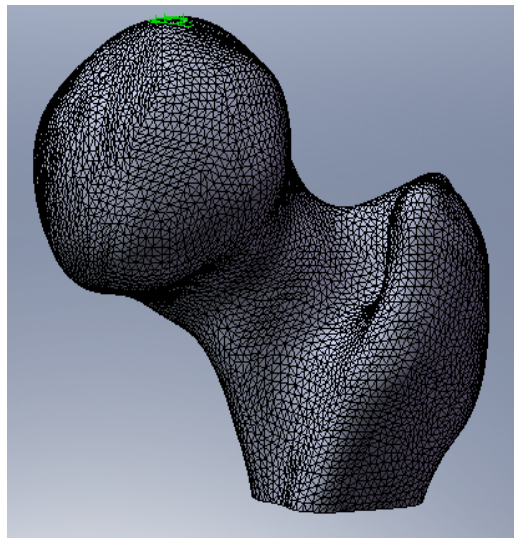
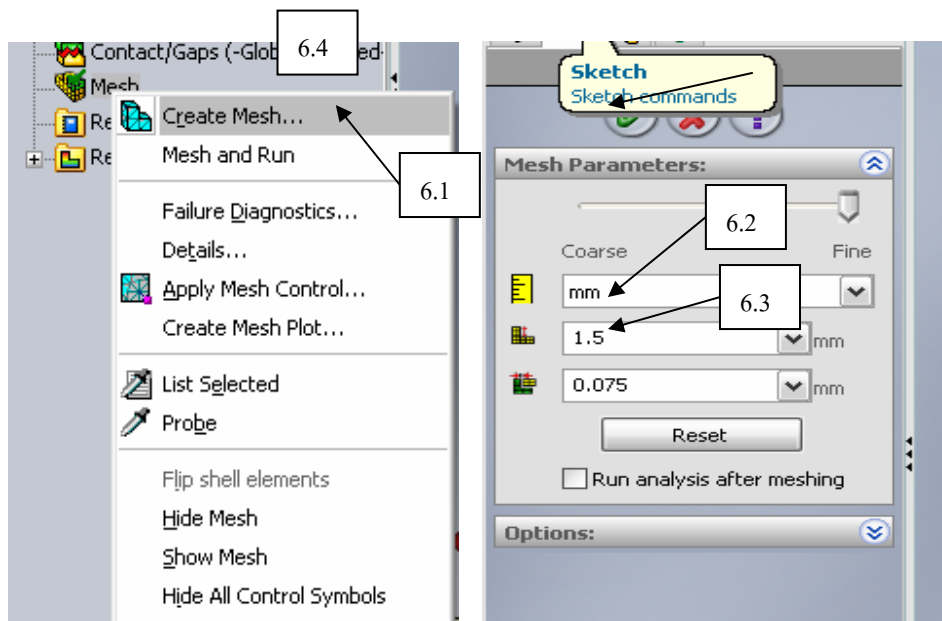


ภาพประกอบ 34 แสดงการใช้คำสั่ง load

- 5.1 คลิกขวาคำสั่ง Load/Restrains จากนั้นคลิกคำสั่ง Force
- 5.2 เลือกคำสั่ง Apply normal force
- 5.3 เลือกพื้นที่บนชิ้นงานที่ต้องการให้แรงกดลง
- 5.4 กำหนดหน่วยที่ใช้เป็น SI
- 5.5 กำหนดขนาดของแรงกระทำเท่ากับ 50 N
- 5.6 คลิกที่เครื่องหมายถูกต้อง

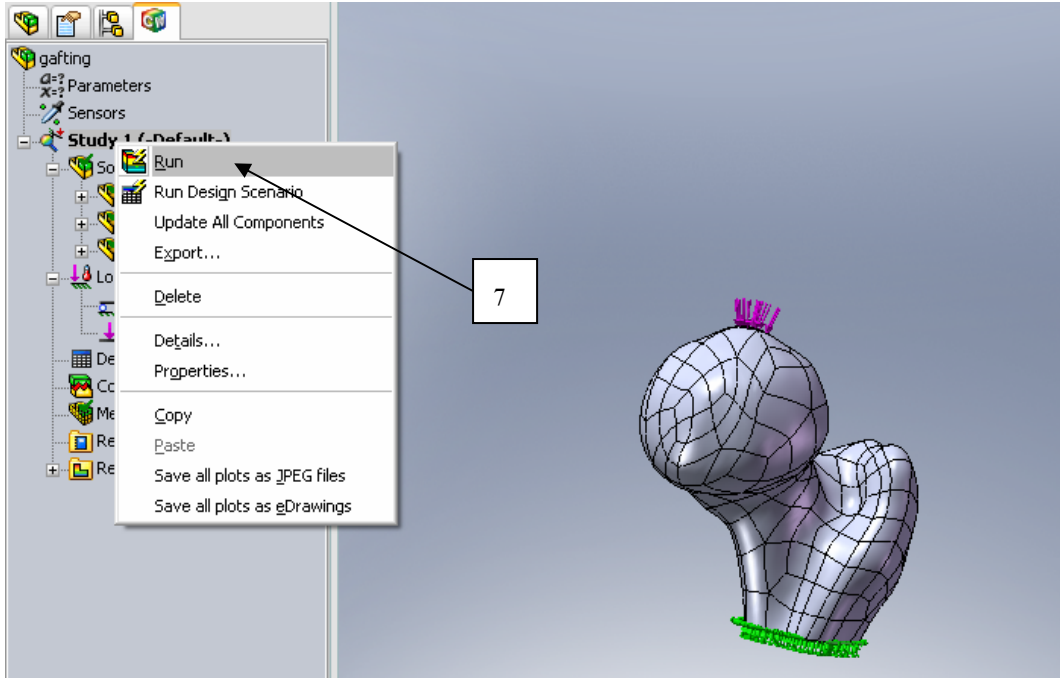
6. การแบ่งเอลิเมนต์ของชิ้นงาน

- 6.1 คลิกขวาที่คำสั่ง mesh เลือกคำสั่ง Create mesh
- 6.2 เลือกหน่วยวัดเป็น mm
- 6.3 เลือกขนาดของเอลิเมนต์ที่ต้องการ 2.5 mm
- 6.4 คลิกเครื่องหมายถูกต้อง



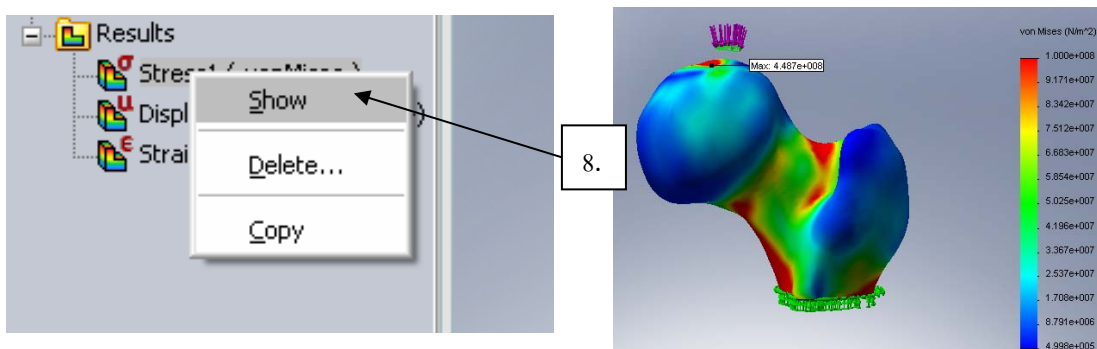
ภาพประกอบ 35 แสดงการใช้คำสั่ง mesh

7. คลิกขวาที่ชิ้นงานที่ต้องการศึกษา เลือกคำสั่ง Run



ภาพประกอบ 36 แสดงการใช้คำสั่ง Run

8. การดูผลการประมวลผล



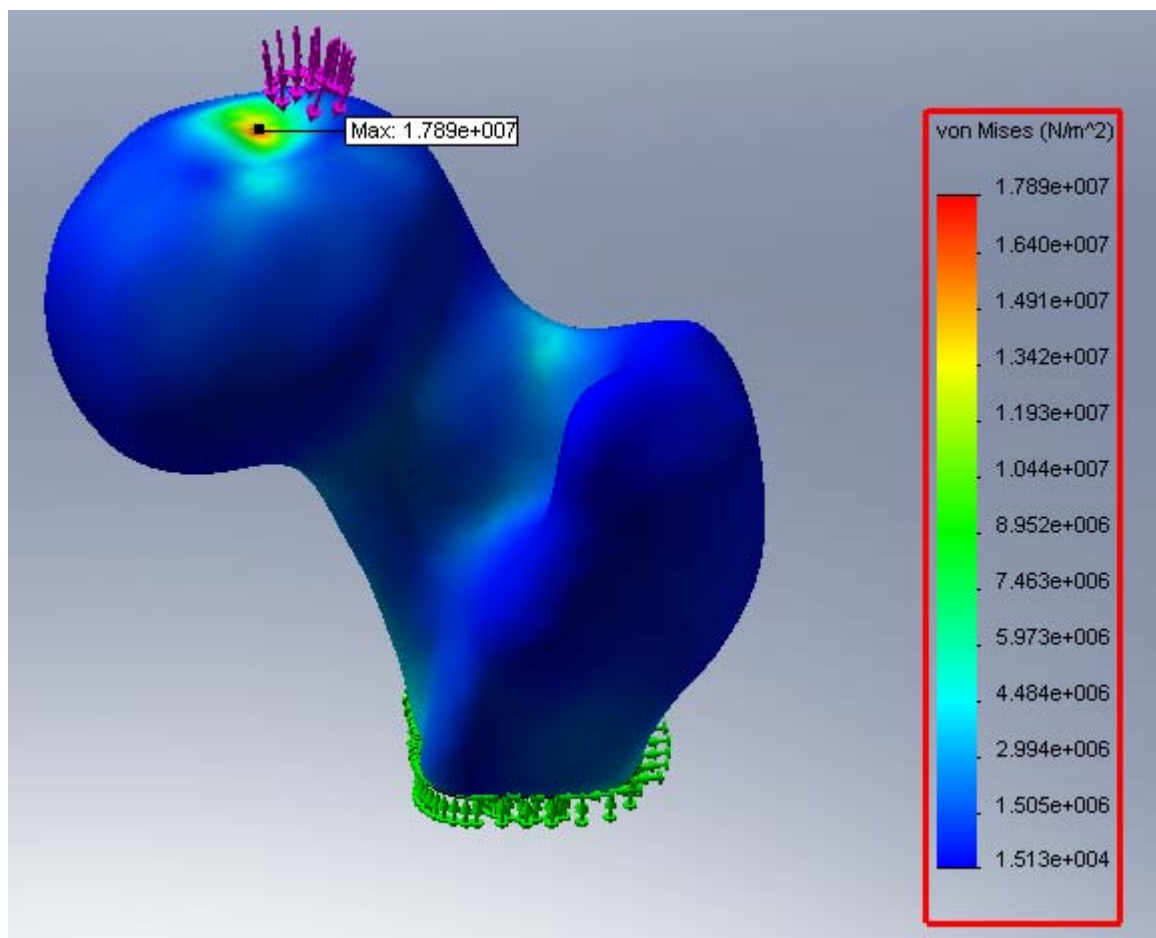
ภาพประกอบ 37 แสดงคำสั่งแสดงผลการประมวลผล

8.1 คลิกขวาที่คำสั่ง Stress เลือกคำสั่ง Show

ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Cosmos

การทดลองครั้งที่ 1 ศึกษาการรับแรงในกระดูกตาย เมื่อยังไม่ได้รับการรักษา

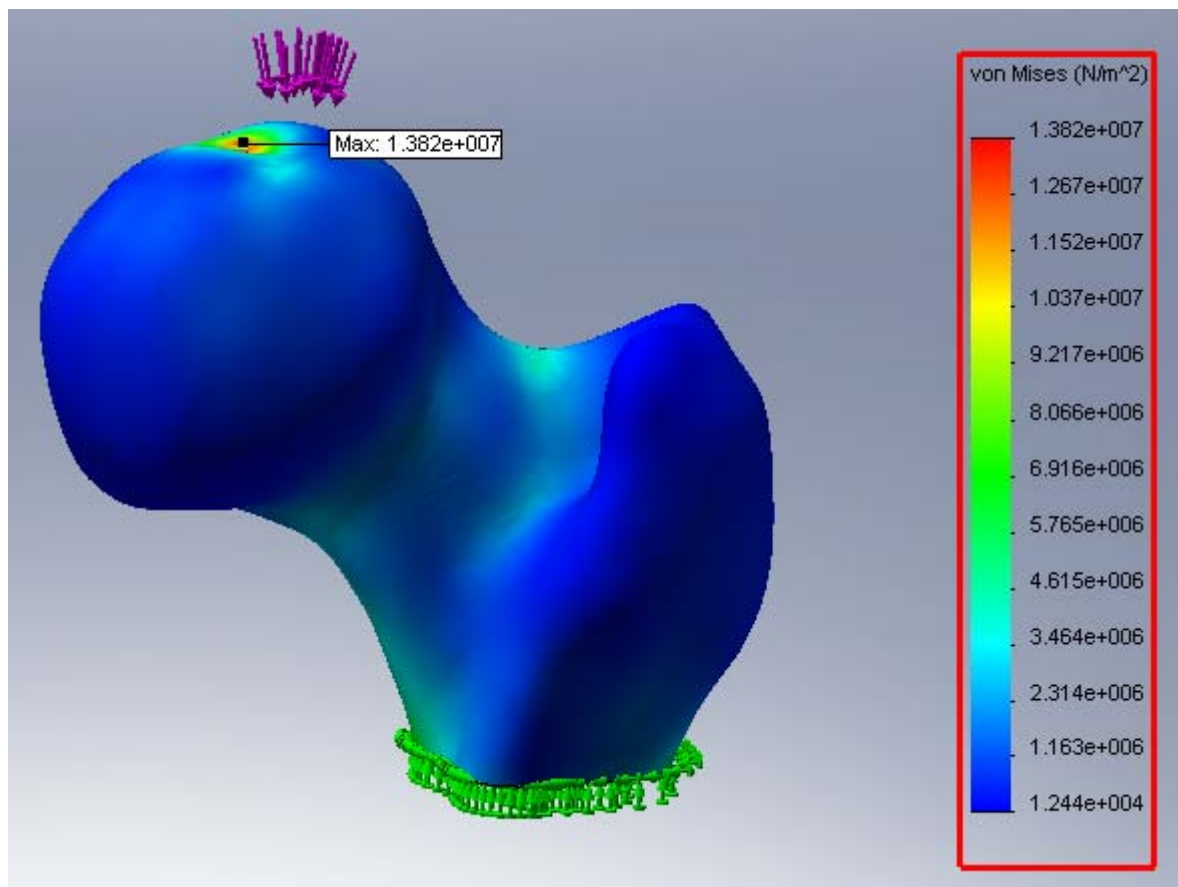
การทดสอบนี้กระดูกหัวสะโพก จะประกอบด้วยกระดูก 2 ส่วน ได้แก่ Cortical bone และ Cancellous bone ซึ่งในบางส่วนที่เป็นกระดูกตายจะไม่สามารถรับแรงได้ ในการทดสอบกำหนดให้จับยึดที่ด้านล่างของกระดูกที่จุดเดียว และมีแรงกดลงที่หัวกระดูกหัวสะโพกขนาด 50 N ดังรูป จาก การคำนวณของโปรแกรม จะได้ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ $17.89 \times 10^6 \text{ N/m}^2$



ภาพประกอบ 38 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะโพกตาย

การทดลองครั้งที่ 2 ศึกษาการรับแรงในกระดูกตาย เมื่อได้รับการรักษา แบบ Bone Grafting

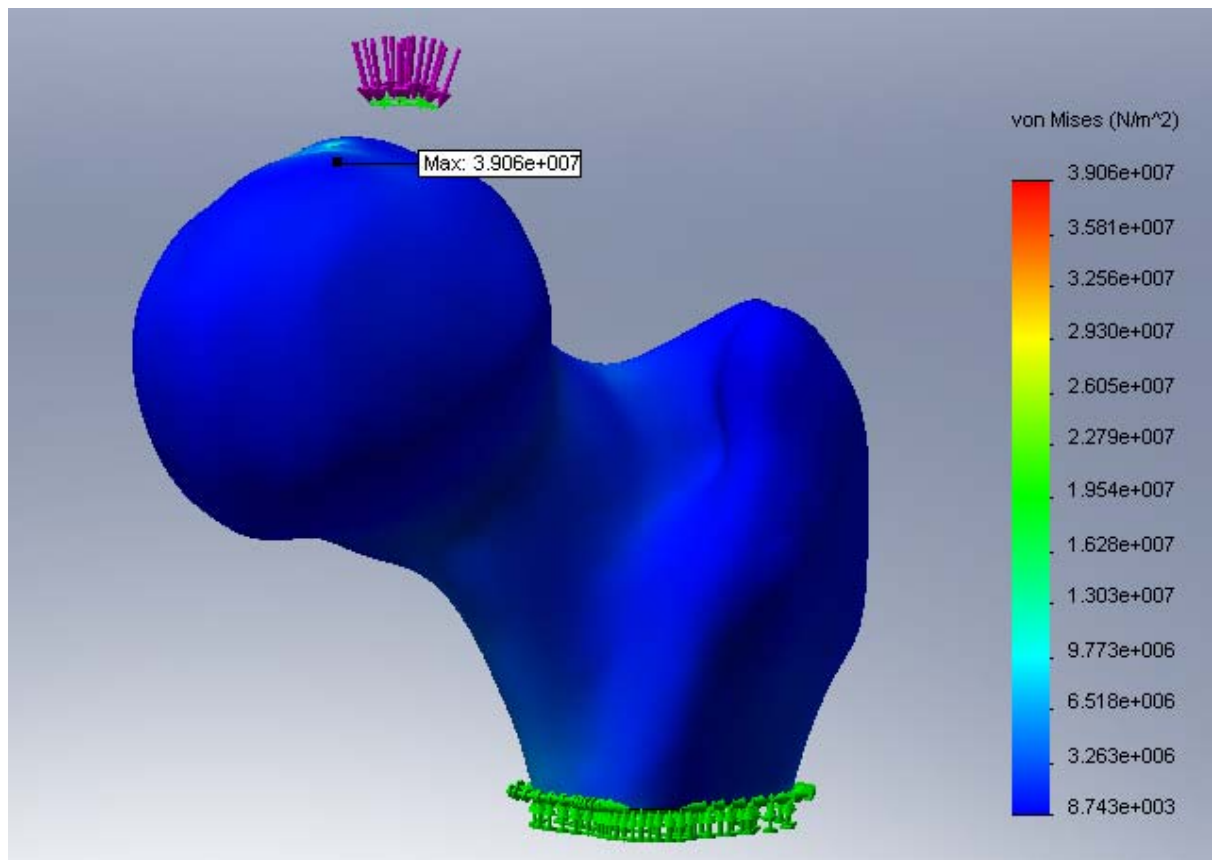
การทดสอบนี้กระดูกหัวสะโพกที่ได้รับการรักษาแบบ Bone Grafting จะประกอบด้วยกระดูก 3 ส่วน ได้แก่ Cortical bone Cancellousbone และกระดูกส่วนที่อัดเข้าไปใหม่ ในการทดสอบกำหนดให้จับยึดที่ด้านล่างของกระดูกที่จุดเดียว และมีแรงกดลงที่หัวกระดูกหัวสะโพกขนาด 50 N ดังรูป จากการคำนวณของโปรแกรม จะได้ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ $13.82 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ที่จุดบนสุดของกระดูกหัวสะโพก



ภาพประกอบ 39 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะโพกเมื่อได้รับการรักษา แบบ Bone Grafting

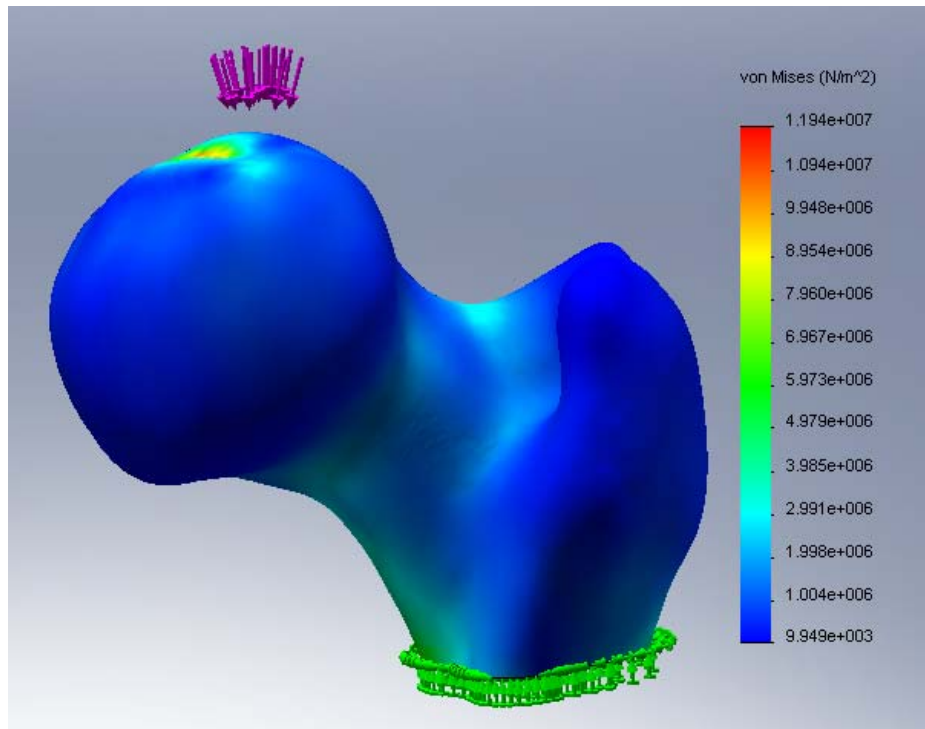
การทดลองครั้งที่ 3 ศึกษาการรับแรงในกระดูกตาย เมื่อได้รับการรักษา แบบ Core drilling

การทดสอบนี้กระดูกหัวสะโพกที่ได้รับการรักษาแบบ แบบ Core drilling จะประกอบด้วยกระดูก 3 ส่วน ได้แก่ Cortical bone Cancellous bone และสลัก ในการทดสอบกำหนดให้จับยึดที่ด้านล่างของกระดูกที่จุดเดียว และมีแรงกดลงที่หัวกระดูกหัวสะโพกขนาด 50 N ดังรูป จากการคำนวณของโปรแกรม จะได้ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ $39.06 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ที่จุดบนสุดของกระดูกหัวสะโพก



ภาพประกอบ 40 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะโพกเมื่อได้รับการรักษา แบบ Core drilling

การทดลองครั้งที่ 4 ศึกษาการรับแรงในกระดูกตาย เมื่อประยุกต์การได้รับการรักษาแบบ Core drilling และ Bone Grafting มาใช้ร่วมกัน ในการทดสอบกำหนดให้จับยึดที่ด้านล่างของกระดูกที่จุดเดียว และมีแรงกดลงที่หัวกระดูกหัวสะโพกขนาด 50 N ดังรูป จากการคำนวณของโปรแกรม จะได้ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเท่ากับ $11.71 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ ที่จุดบนสุดของกระดูกหัวสะโพก



ภาพประกอบ 41 แสดงความเค้นในกระดูกหัวสะโพกเมื่อได้รับการรักษา ประยุกต์แบบ Bone Grafting และแบบ Core drilling

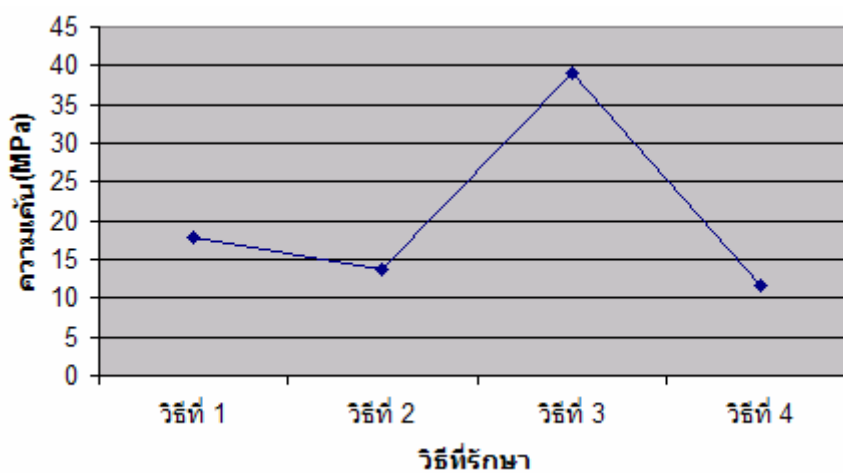
วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกหัวสะโพกตาย ได้ค่าความเค้นที่ได้คำนวณโปรแกรม Cosmos work 2007 ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์กระดูกหัวสะโพก

รูปแบบการทดสอบ	ค่าความเค้น(N/m ²)
วิธีที่1 กระดูกหัวสะโพกตายที่ยังไม่ได้รักษา	17.89x10 ⁶
วิธีที่2 กระดูกหัวสะโพกรักษาแบบ Bone Grafting	13.82 x10 ⁶
วิธีที่3 กระดูกหัวสะโพกรักษาแบบCore drilling	39.06x10 ⁶
วิธีที่4 กระดูกหัวสะโพกGrafting + Core drillingร่วมกัน	11.71x10 ⁶

นำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นที่เกิดขึ้นแต่ละวิธีการรักษา



ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงค่าความเค้นที่ได้จากการทดสอบ

การแจกแจงไคสแควร์ (Chi – Square)

ไคสแควร์ เป็นการเปรียบเทียบเพื่อทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม

$$\text{สูตร } X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$E_{ij} = \frac{(r_i)(c_j)}{N}$$

เมื่อ O_{ij} = ความถี่ที่ได้จากการสังเกต (ข้อมูลจริง) ในแถวที่ i สดมภ์ที่ j

E_{ij} = ความถี่ที่คาดหวัง (ข้อมูลสมมติ) ในแถวที่ i สดมภ์ที่ j

r_i = ความถี่(ข้อมูลจริง) รวมในแถวที่ i

c_j = ความถี่(ข้อมูลจริง) รวมในแถวที่ j

N = จำนวนข้อมูลจริงทั้งหมด

ตารางข้อมูล

ประเภทรายการ	ความเค้นแตกหัก (MPa)	ความเค้นจากการทดลอง (MPa)	รวม
วิธีที่ 1	17.3	17.89	35.19
วิธีที่ 2	17.3	13.82	31.12
วิธีที่ 3	17.3	39.06	56.36
วิธีที่ 4	17.3	11.71	29.01
รวม	69.20	82.48	151.68

กำหนดสมมติฐานทางสถิติ

$$H_0 : \rho = 0$$

$$H_1 : \rho \neq 0$$

จากสูตร
$$E_{ij} = \frac{(r_i)(c_j)}{N}$$

$$E_{11} = \frac{35.19 \times 69.2}{151.68} = 16.06$$

$$E_{12} = \frac{35.19 \times 82.48}{151.68} = 19.14$$

$$E_{21} = \frac{31.12 \times 69.2}{151.68} = 14.20$$

$$E_{22} = \frac{31.12 \times 82.48}{151.68} = 16.92$$

$$E_{31} = \frac{56.36 \times 69.2}{151.68} = 25.71$$

$$E_{32} = \frac{56.36 \times 82.48}{151.68} = 30.65$$

$$E_{41} = \frac{29.01 \times 69.2}{151.68} = 13.24$$

$$E_{42} = \frac{29.01 \times 82.48}{151.68} = 15.77$$

ประเภทรายการ	ความถี่แตกหัก (MPa)	ความถี่จากการทดลอง (MPa)	รวม
วิธีที่ 1	17.3	17.89	35.19
	16.06	19.14	
วิธีที่ 2	17.3	13.82	31.12
	14.20	16.92	
วิธีที่ 3	17.3	39.06	56.36
	25.71	30.65	
วิธีที่ 4	17.3	11.71	29.01
	13.24	15.77	
รวม	69.20	82.48	151.68

แทนค่า X^2 จากสูตร
$$X^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$\begin{aligned} X^2 &= [(17.3-16.06)^2/16.06] + [(17.3-14.20)^2/14.20] + [(17.3-25.71)^2/25.71] + [(17.3- \\ &13.24)^2/13.24] + [(17.89-19.14)^2/19.14] + [(13.82-16.92)^2/16.92] + [(39.06-30.65)^2/30.65] + \\ &[(11.71-15.77)^2/15.77] \\ &= 8.78 \end{aligned}$$

ค่า df = ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวแปรมากกว่า 2 ตัวขึ้นไป

$$\begin{aligned} df &= (r - 1)(c - 1) \quad ; r = \text{จำนวนแถว} \quad c = \text{จำนวนสดมภ์} \\ &= (4-1)(2-1) = 3 \end{aligned}$$

เปิดตารางค่าวิกฤติของการแจกแจงแบบไคสแควร์ ที่ระดับนัยสำคัญ .05

ได้ค่า เท่ากับ 7.815

จากสมมติฐานทางสถิติ $H_0 : \rho = 0$

$H_1 : \rho \neq 0$

ค่า X^2 ที่คำนวณได้เท่ากับ 8.78 ซึ่งมากกว่าค่า X^2 ที่ได้จากตารางคือ 7.815 แสดงว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในกระดูกหัวสะโพก มีผลทำให้กระดูกเกิดการเสียหาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปวิจารณ์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดลองกระดูกหัวสะโพกตายที่ไม่ได้รับการรักษาจะมีความเค้นเท่ากับ 17.89 MPa เปรียบเทียบกับค่าความเค้น Ultimate Strength ของกระดูกพีเมอร์มนุษย์เท่ากับ 17.3 MPa จะเห็นว่า ความเค้นที่เกิดขึ้นมากกว่า Ultimate Strength ดังนั้นในกรณีนี้จึงเกิดความเสียหายในกระดูกหัวสะโพก เมื่อมีแรงมากระทำ

ผลจากการทดลองกระดูกหัวสะโพกตายได้รับการรักษาแบบ Bone Grafting ที่มีค่าความเค้นที่ได้จากโปรแกรมเท่ากับ 13.82 MPa เปรียบเทียบกับค่าความเค้น Ultimate Strength ของกระดูกพีเมอร์มนุษย์เท่ากับ 17.3 MPa จะเห็นว่าความเค้นที่เกิดขึ้น จะมีค่าน้อย Ultimate Strength เนื่องจากการอัดกระดูกเข้าไปใหม่ ทำให้ความสามารถรับแรงได้ ไม่เกิดการยุบตัวและเสียหายขณะรับแรงหรือน้ำหนักตัว

ผลจากการทดลองกระดูกหัวสะโพกตายได้รับการรักษาแบบ Core drilling ได้ผลการทดลองค่าความเค้นจะเกิดสูงมากถึง 39.06 MPa ไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้น Ultimate Strength ของกระดูกพีเมอร์มนุษย์เท่ากับ 17.3 MPa ความเค้นที่เกิดขึ้นที่จุดสูงสุดของกระดูกจะตรงกับจุดที่มีสลักรองรับ ซึ่งจะเกิดความเค้นมากกว่า 17.3 MPa แต่ตัวรองรับน้ำหนักตัวคือสลัก ซึ่งความเค้นแตกหักของสลักมีค่าเท่ากับ 159 MPa ซึ่งมากกว่าความเค้นกระดูกที่สามารถทนได้ เปรียบกับข้อมูลข้อการแพทย์ วิธีนี้จึงสามารถรับแรงได้ไม่ย่ำแย่เมื่อเวลาจุดที่แรงกดเปลี่ยนไป และอาจเกิดการทะลุเมื่อรับแรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวมากเกิดไป

ผลจากการทดลองกระดูกหัวสะโพกตายได้รับการรักษาแบบ ใช้ 2 วิธีร่วมกัน ได้ผลการทดลองค่าความเค้นจะเกิดสูงมากถึง 11.71 MPa เปรียบเทียบกับค่าความเค้น Ultimate Strength ของกระดูกพีเมอร์มนุษย์เท่ากับ 17.3 MPa วิธีนี้สามารถที่จะอัดกระดูกให้มีความแน่นมากขึ้น ทำให้สามารถกระจายน้ำหนักได้ดี

เนื่องจากในทางการแพทย์มีการรักษากระดูกหัวสะโพกตาย มีการรักษา 2 วิธี คือวิธี Bone Grafting และวิธี Core drilling ซึ่งจากผลการทดลองด้วยโปรแกรม Cosmos work 2007 วิธีการรักษาแบบ Core drilling ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ปลายสลักมากทำให้มีโอกาสที่สลักจะทะลุกระดูก แต่ในวิธีการรักษาแบบ Bone Grafting ความเค้นที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นน้อยกว่าแสดงให้เห็นว่าสามารถกระจายแรงได้ดี แต่มีข้อเสียเมื่อรับแรงจะเกิดการยุบตัว ทำให้กระดูกที่อัดเข้าไปอาจเกิดการหลวมหรือไม่มั่นคง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีแนวคิดนำวิธีการรักษาทั้ง 2 วิธีเข้าด้วยกัน โดยใช้สลักเป็นตัวอัดกระดูกให้มีความแน่นมากขึ้น เพื่อสร้างความมั่นคงให้กับกระดูกที่อัดเข้าไป ผลที่ได้จากการคำนวณมีความเค้นลดลง แสดงให้เห็นว่ายังอัดกระดูกแน่นเท่าไรการกระจายแรงก็สามารถกระทำได้ดีขึ้น ทั้งนี้วิธีที่ใช้ 2 วิธีร่วมกัน เป็นแนวความคิดที่จะแก้ไขปัญหาของวิธีการรักษาทั้ง 2 วิธี ยังไม่มีการรักษาจริงๆ ด้วยวิธีนี้ ดังนั้นควรศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น และสามารถนำไปใช้รักษาผู้ป่วยจริงในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากปัญหาการศึกษาในครั้งนี้ เป็นปัญหาที่ได้จากการสแกนผู้ป่วยคนเดียว ทำให้ไม่มีความหลากหลายของลักษณะของรูปร่างของกระดูกที่เกิดการตายในกระดูกหัวสะโพก ซึ่งการเกิดการตายของกระดูกจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของขนาด และรูปร่าง ดังนั้นการวิเคราะห์นี้อาจจะไม่เหมาะสมกับผู้ที่มีลักษณะกระดูกที่แตกต่างไป หากต้องการผลที่ชัดเจนก็ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในลักษณะและรูปร่างที่เกิดการตายของกระดูกหลายๆ รูปแบบ

2. การใช้สลักอัดควรจะทำศึกษา การใช้สลักหลายขนาด และหลายแบบ ซึ่งสามารถกระทำได้ โดยผลที่ได้ อาจจะทำให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าก็เป็นได้

3. จากการทดสอบด้วยโปรแกรมด้วยโปรแกรม Cosmos work 2007 เป็นการศึกษากระดูกหัวสะโพกตายในลักษณะของแรงที่หยุดนิ่ง ควรทำการทดสอบในลักษณะที่เป็นลักษณะการเคลื่อนไหวจริงๆ จะทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

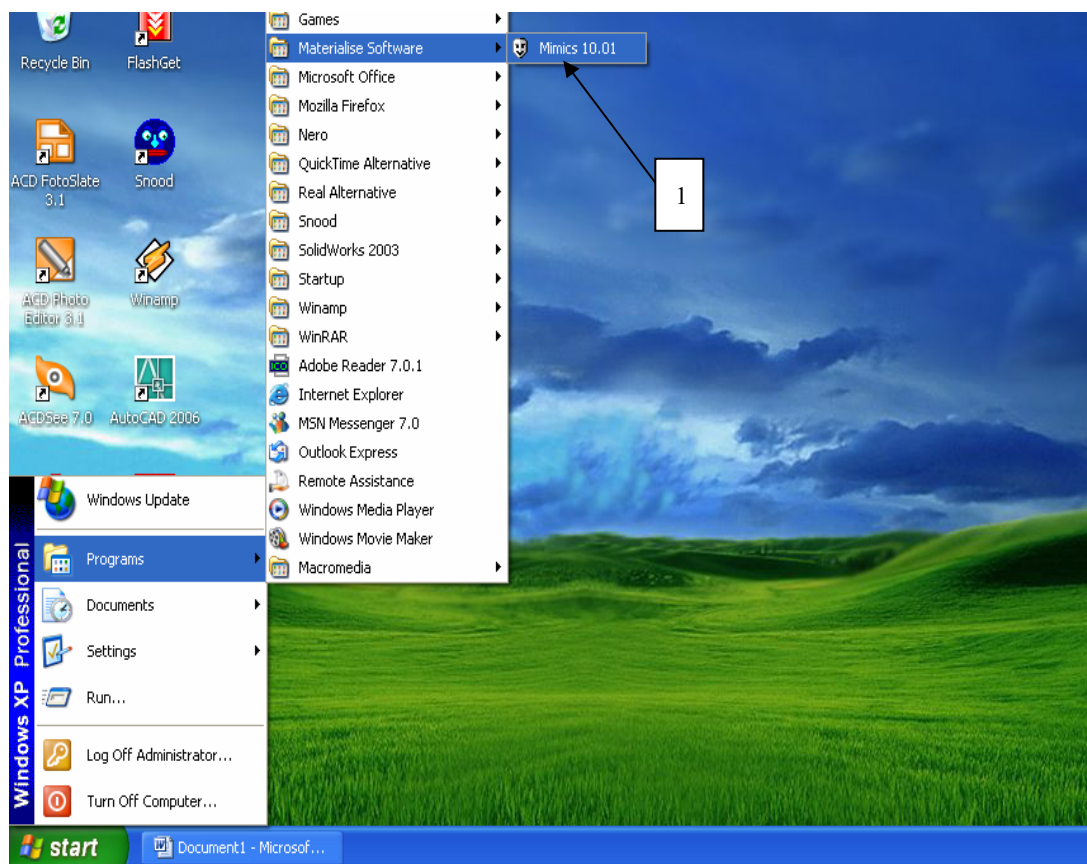
- จำรูญ ตันติพิศาลกุล. (2536). *การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เฉลิมพล โอสภพรมมา; และนิรันดร์ เกียรติศิริโรจน์. (2542). *ภาวะหวักระดูกสะโพกตายของผู้ป่วยในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์*. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- เดช พุทธเจริญทอง. (2541). *การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วีณา พันเพ็ง. (2549). *ผลของตำแหน่งสกรูยึดกระดูกต่อความเครียดบริเวณกระดูกต้นขา*. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. (2551). *Solid works advanced surface modeling*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. (2549). *Solid works/Cosmos work*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- ศุภฤกษ์ ศิริเวทิน. (2547). *การใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในกระดูกข้อเข่าเปรียบเทียบกับระหว่างในขณะยืนตรงและนั่งยอง*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อารีศักดิ์ โชติวิจิตร. (2547). *ภาวะหวักระดูกต้นขาตายจากการขาดเลือด*. กรุงเทพฯ: โรงพยาบาลศิริราช.
- ASM Specialty Handbook Stainless Steel Third Printing August. (1999).
- Cholawish Chanlalit, Yingyong Torudom, Wongwit Senavongse, Channarongk Kasemkijwattana. (n.d.). *New Technique to Improve Subchondral Bone Mechanics in core drilling and bone graft for Osteonecrosis Swine Hip Model*. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- C.M. Schoenfeld, E.P. Lautenschlager; & P.R. Meyer Jr. Mechanical. (1974). *Properties of human cancellous bone in the femoral head*. Northwestern University.
- E.B.W. Giesen, N.M.P. Lemerigts, N. Verdenschot, P. Buma, B.W. Schreurs, R. (1999). *Huiskes. Mechanical characteristics of impacted morsellised bone grafts used in revision of total hip arthroplasty*. University of Nijmegen, Tetherlandy.
- Elise F. Mmrgan, Tony M. Keaveny. (2001). *Dependence of yield strain trabecular bone anatomic site*. University of Califotnai.
- Jhon Lipchiz, M.S.; & Dennis Colleran. (2007). *Initial Fixation Strength of Bioaborbable ACL Interference screws*.

ภาคผนวก

ขั้นตอนการแปลงไฟล์ในโปรแกรมmimics 10.01

ขั้นตอนการปฏิบัติการแปลงไฟล์ มีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้คือ

1. เปิดโปรแกรม mimics10.01 ขึ้น โดยคลิกที่ start program จากนั้นคลิกที่โปรแกรม mimics 10.01 เพื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา

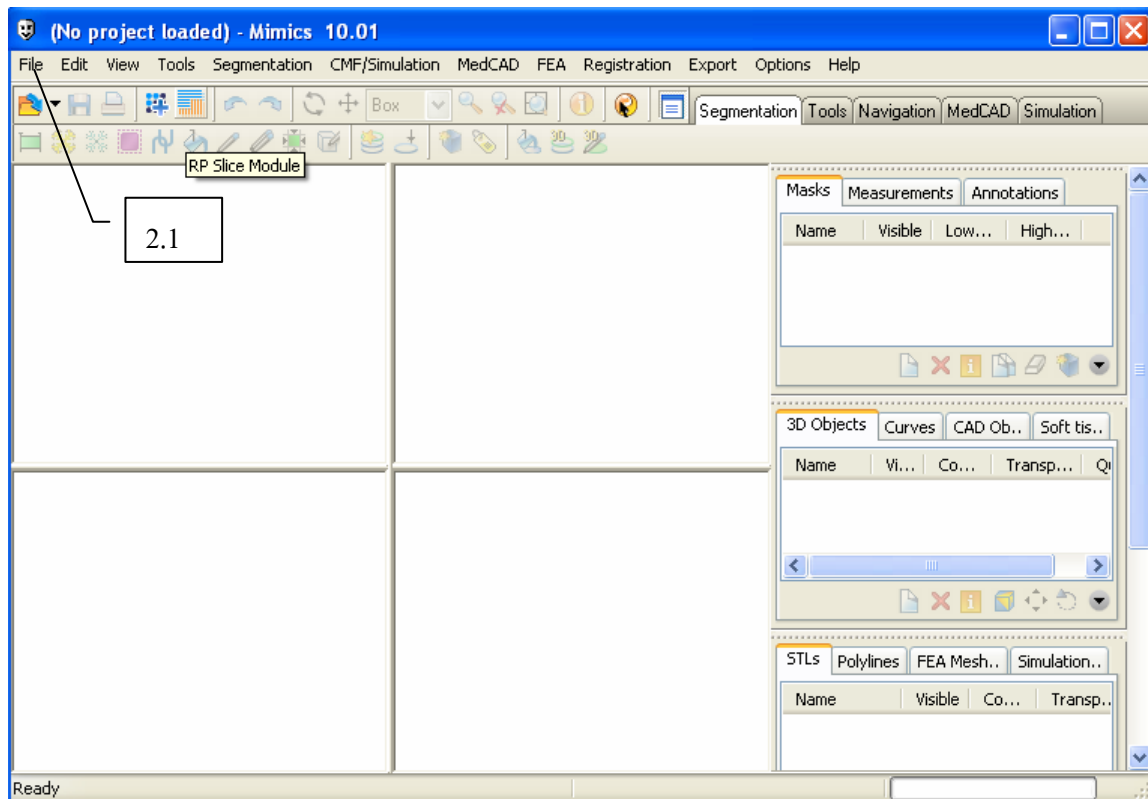


ภาพประกอบ 43 แสดงขั้นตอนเปิดโปรแกรม mimics 10.01

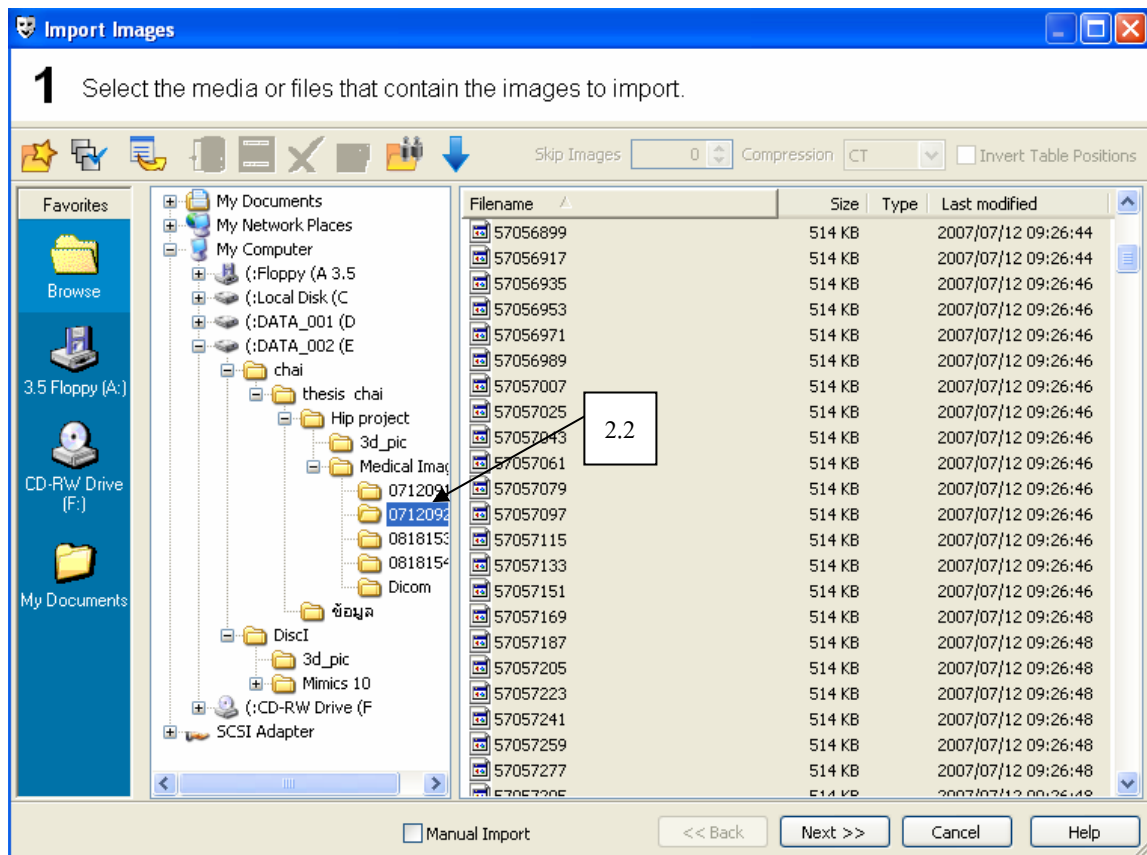
2. เปิดไฟล์ที่ได้จากการสแกนคอมพิวเตอร์

2.1 เลือกคลิกที่ File > Import Images เลือกเปิดไฟล์ที่ต้องการแปลงขึ้นมาดังนี้

2.2 เลือกไฟล์ที่ต้องการ คลิก Next > open

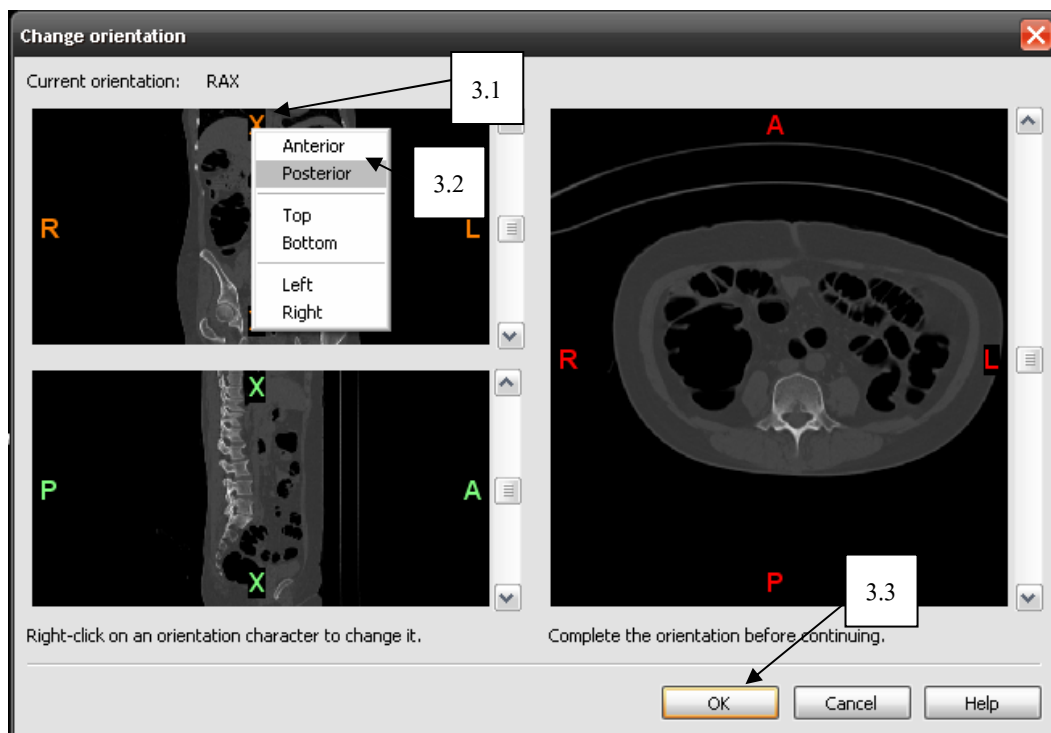


ภาพประกอบ 44 แสดงหน้าจอโปรแกรมmimics10.01



ภาพประกอบ 45 แสดงการเลือกเปิดไฟล์สแกน

3. การกำหนดมุมมองของไฟล์
 - 3.1 คลิกขวาที่ อักษร X
 - 3.2 คลิกเลือก Top
 - 3.3 คลิก OK



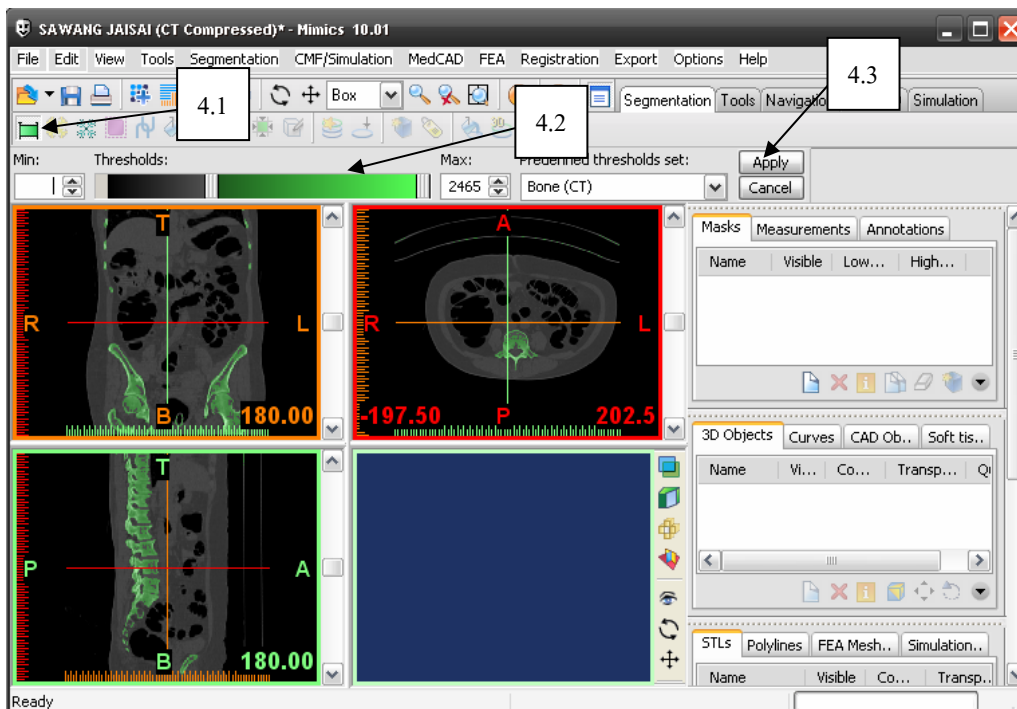
ภาพประกอบ 46 แสดงการกำหนดมุมมองของกระดูก

4. กำหนดค่าความเข้มของกระดูกที่ต้องการให้โปรแกรมแสดงเป็นสีเขียวยื่นมาเพื่อใช้ในการปรับรูปกระดูกที่ต้องการ

4.1 คลิกเลือกคำสั่ง Thresholding

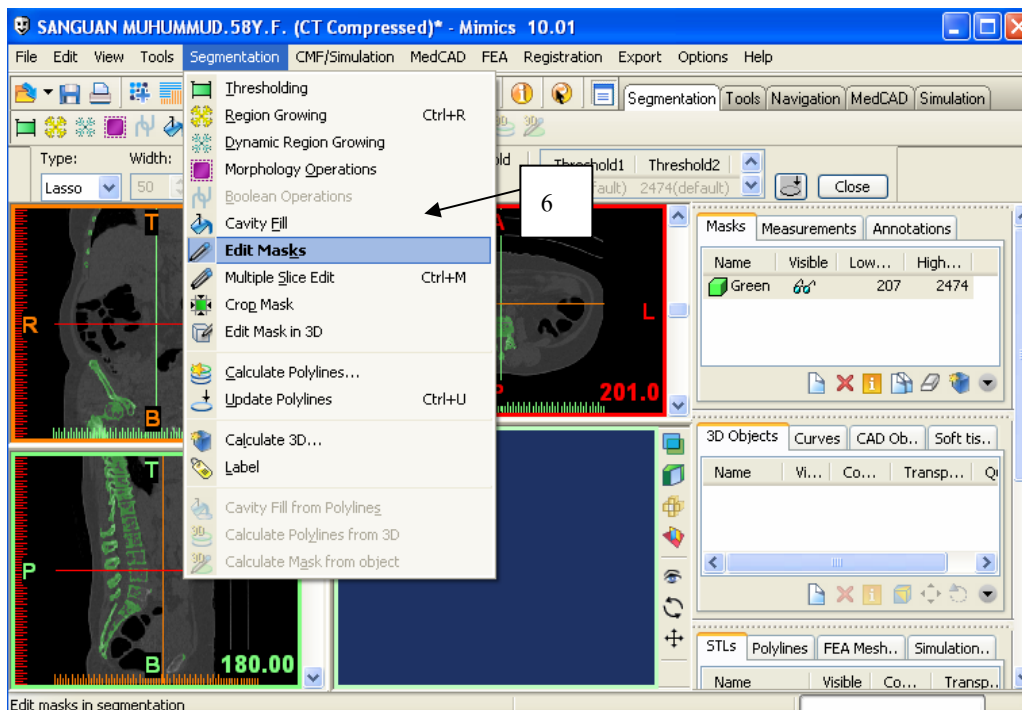
4.2 เลื่อนค่าที่ต้องการ โดยปรับสไลด์เลื่อน

4.3 คลิก Apply



ภาพประกอบ 47 แสดงการใช้คำสั่ง Thresholding

6. จากนั้นเลือกคำสั่ง Edit Masks เพื่อลบภาพของกระดูกในส่วนที่ไม่ต้องการออกไป

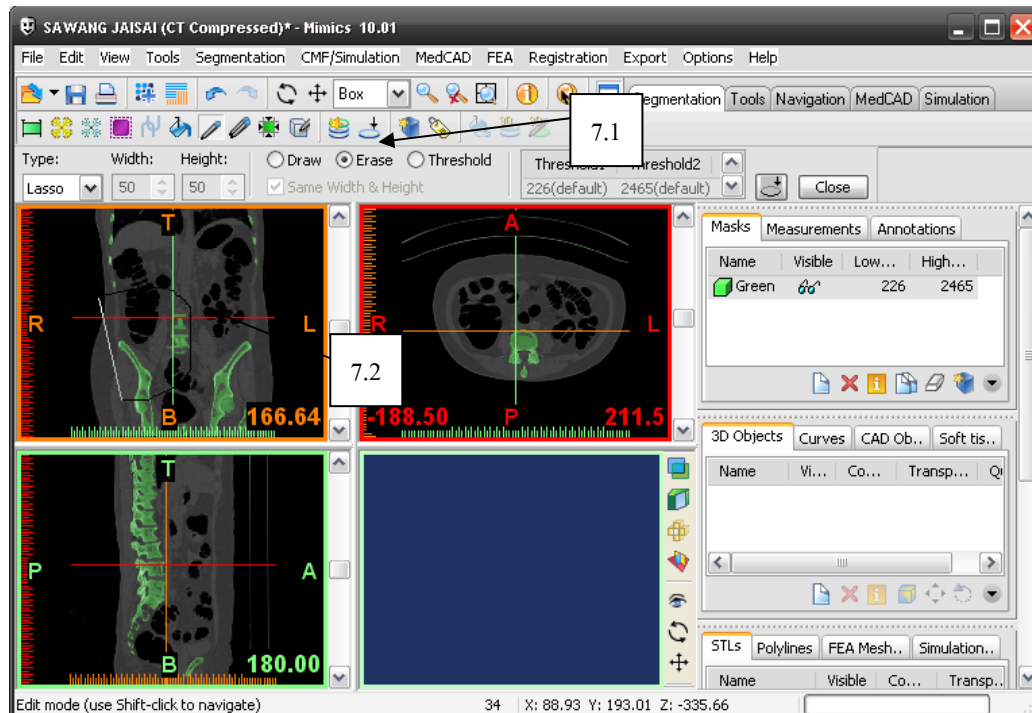


ภาพประกอบ 48 แสดงการเลือกคำสั่ง Edit Masks


7. แสดงภาพที่ถูกลบกระดุกที่ต้องการศึกษาออกเหลือแต่ส่วนที่ต้องการศึกษา

7.1 เลือกคำสั่ง Erase

7.2 คลิกซ้ายค้างและทำการลบที่ตำแหน่งที่ต้องการ

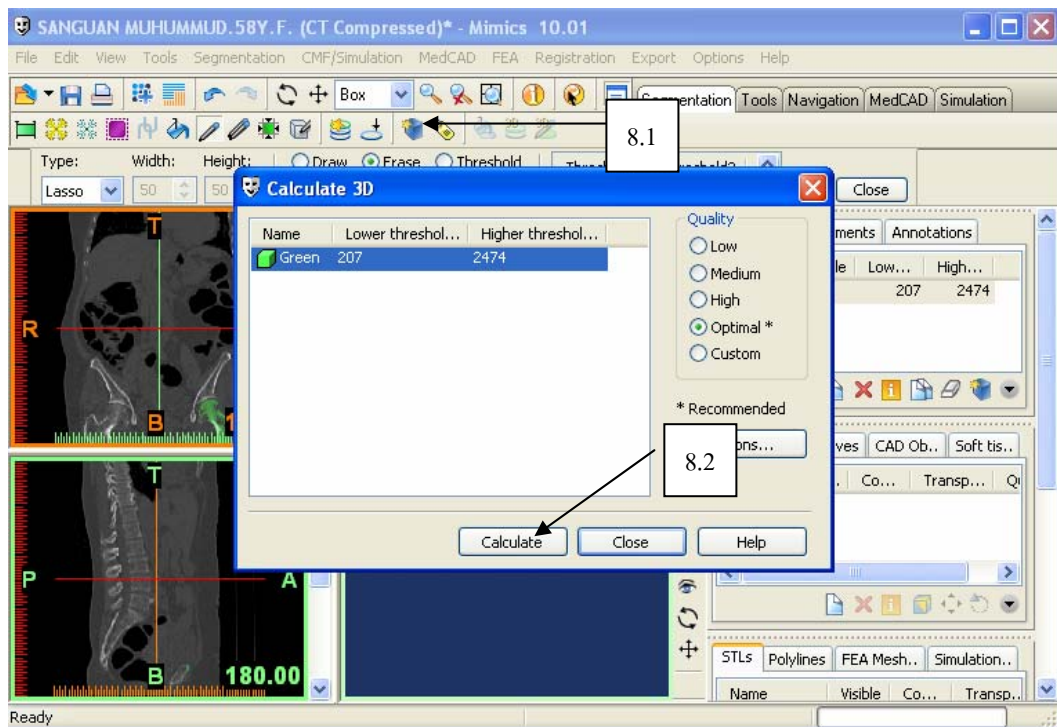


ภาพประกอบ 49 แสดงการเลือกใช้คำสั่ง Erase

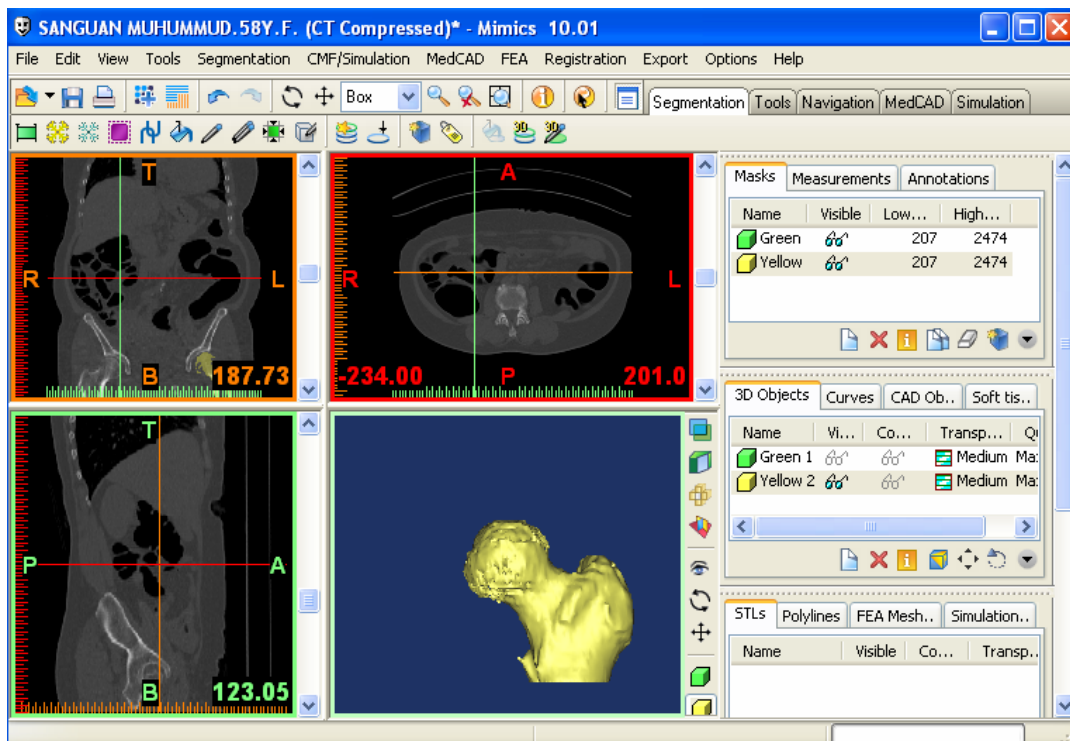
8. เมื่อลบชิ้นงานที่ไม่ต้องการหมดและใช้คำสั่ง Calculate 3D  จะทำให้ภาพที่เราเลือกไว้แสดงรูปร่างขึ้นมา มีขั้นตอนดังนี้

8.1 คลิกไอคอน Calculate 3D

8.2 คลิก Calculate 3D



ภาพประกอบ 50 แสดงการใช้คำสั่ง Calculate



ภาพประกอบ 51 แสดงรูปที่ได้จากการ Calculate

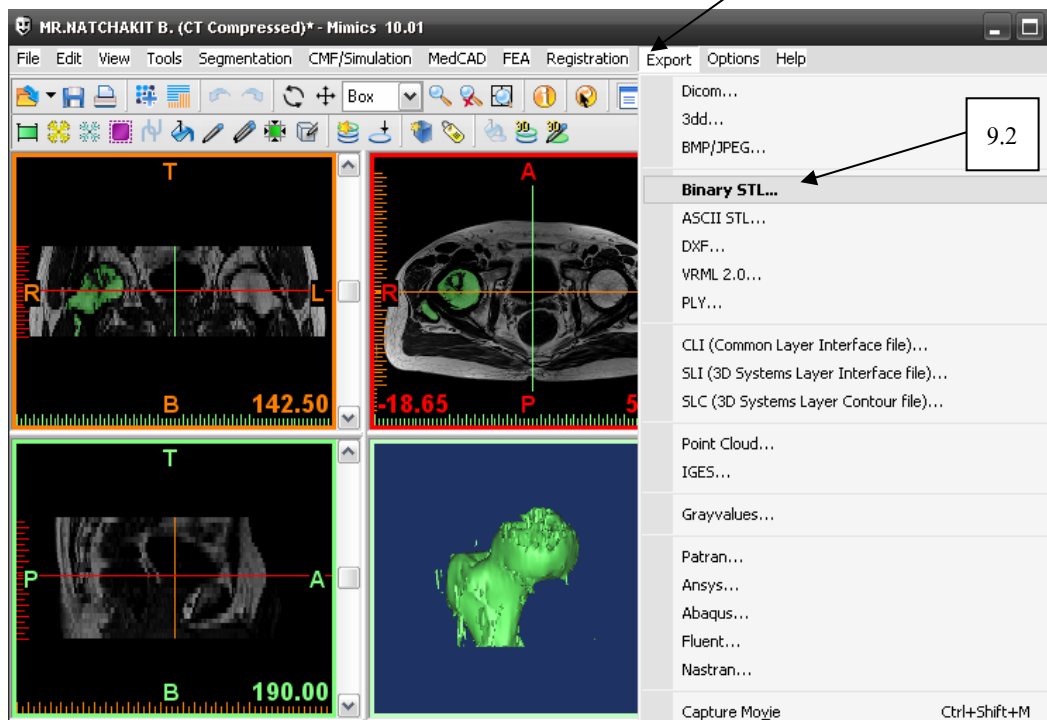
9. ขั้นตอนการ Export เป็นไฟล์ Stl

9.1 คลิกที่คำสั่ง Export

9.2 เลือก Binary STL

9.3 คลิก Mask

9.4 คลิกเลือก Green

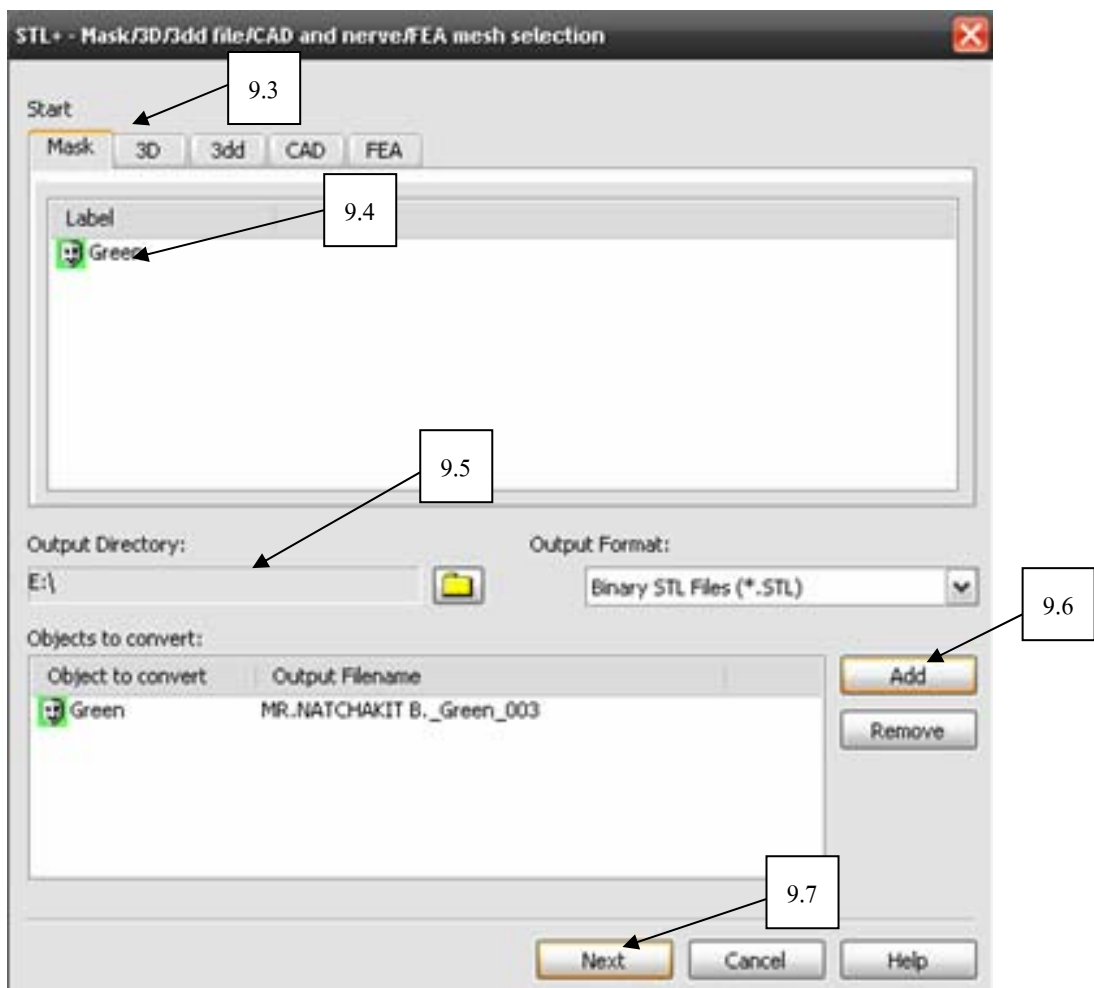


ภาพประกอบ 52 แสดงการใช้คำสั่ง Export

9.5 เลือกพื้นที่ที่ต้องการจัดเก็บ

9.6 คลิก Add

9.7 คลิก Next

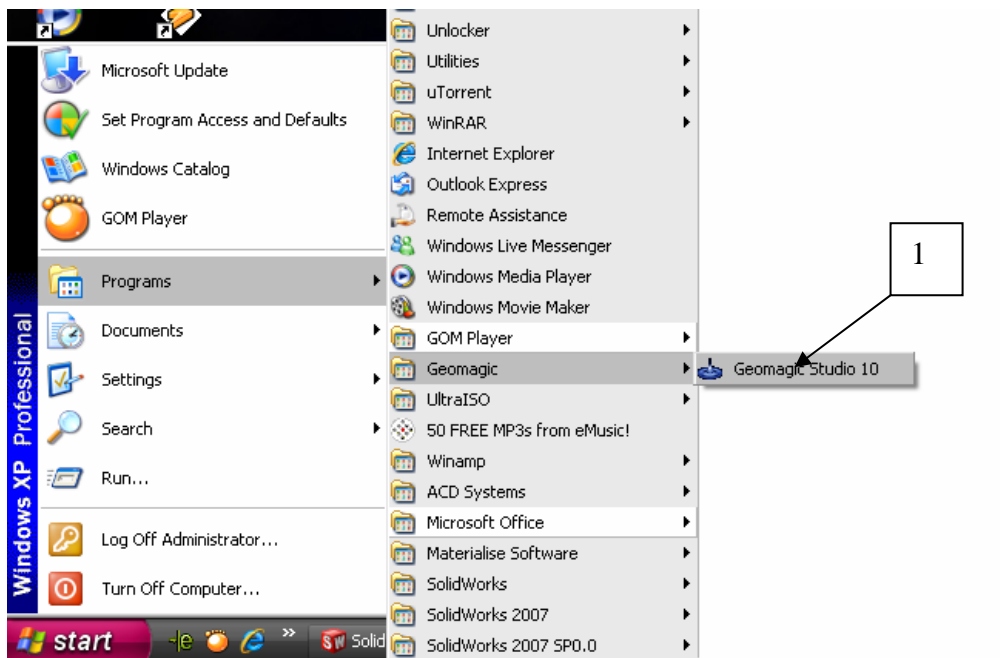


ภาพประกอบ 53 แสดงการใช้คำสั่งExport file

ขั้นตอนการซ่อมพื้นผิวโมเดลที่ไม่สมบูรณ์

เมื่อขึ้นรูปจากโปรแกรม Mimics 10.01 เสร็จแล้ว โมเดลที่ได้จะยังมีผิวที่ขรุขระไม่สมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องมีการแต่งโมเดลเสียก่อน โดยใช้โปรแกรม Geomatic studio10 เพื่อที่จะซ่อมพื้นผิวโมเดลที่ไม่สมบูรณ์ให้กลับสมบูรณ์ตามที่ต้องการ ดังมีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

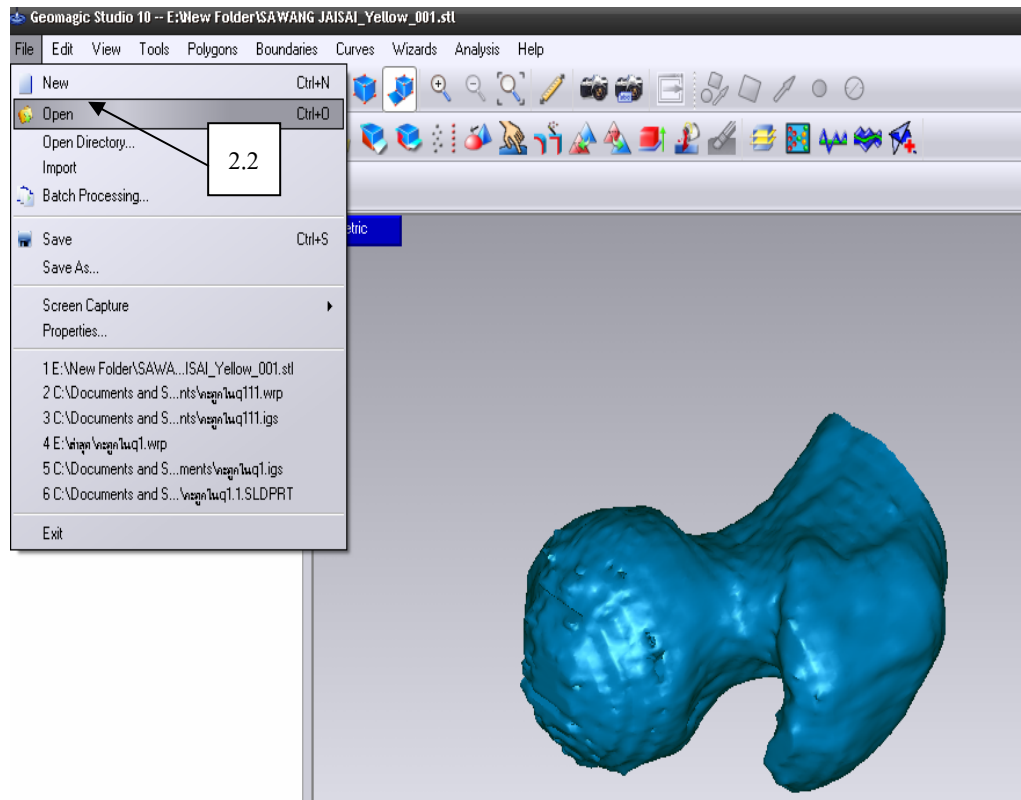
1. เมื่อได้โมเดลจากโปรแกรมmimics แล้วจากนั้นนำมาแต่งรูปในโปรแกรม Geomatic studio10 คลิกที่เมนู start program เลือกgeomatic studio 10



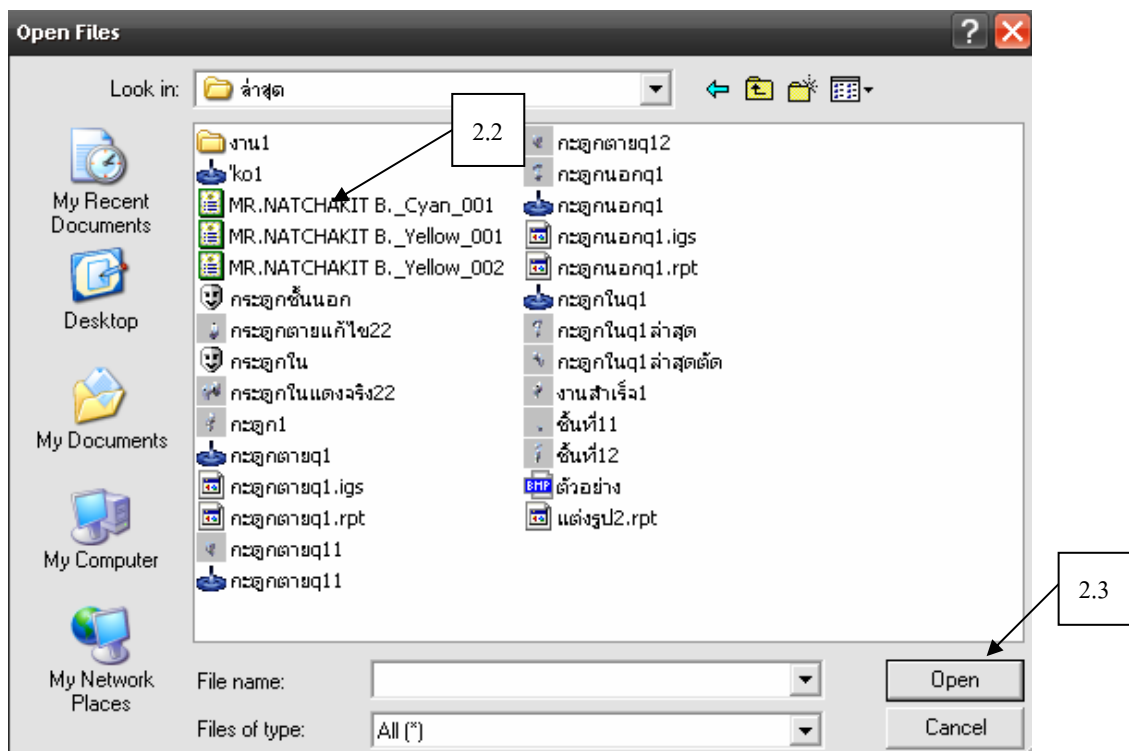
ภาพประกอบ 54 การเปิดโปรแกรม geomatic studio 10

2. การเปิดไฟล์

- 2.1 คลิก Open
- 2.2 เลือกไฟล์ที่บันทึกไว้จากโปรแกรม Mimics 10.01
- 2.3 คลิก Open



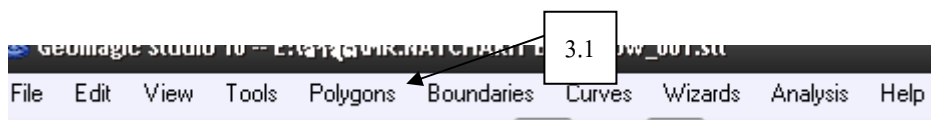
ภาพประกอบ 55 กระดูกหัวสะโปกที่ยังไม่ได้แต่ง



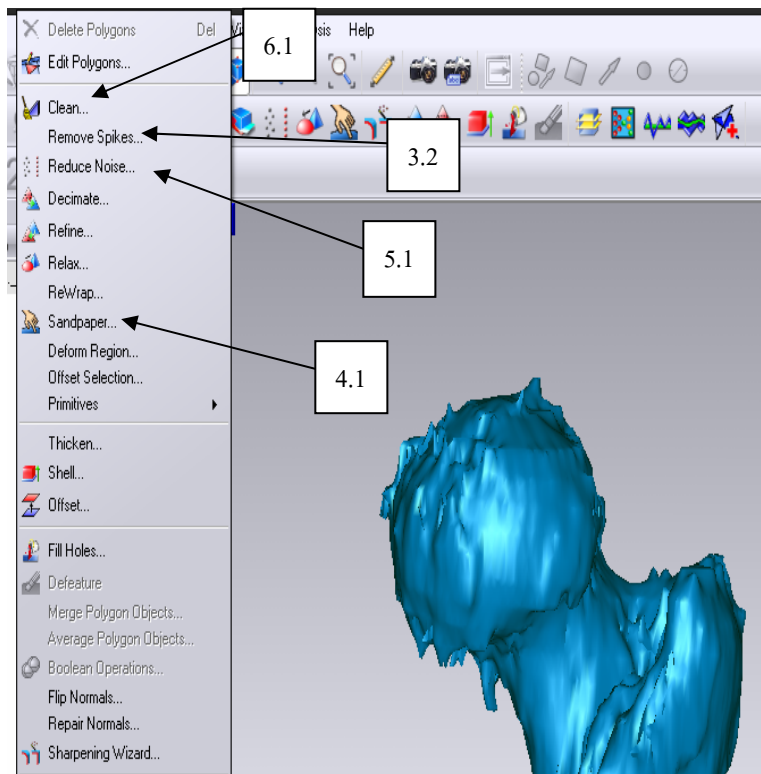
ภาพประกอบ 56 แสดงการเลือกเปิดไฟล์

3. ทำการแต่งกระดูกหัวสะโพก โดยซ่อมแซมพื้นผิวที่ชำรุด

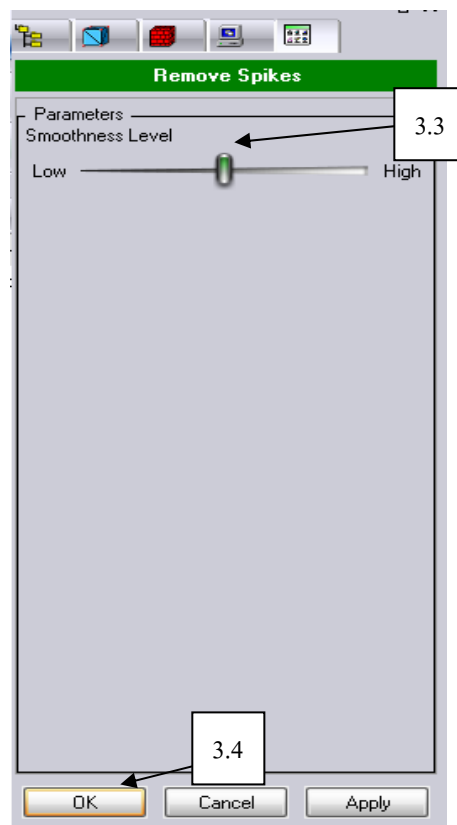
3.1 คลิกเลือก Polygons



ภาพประกอบ 57 แสดงการใช้คำสั่ง Polygons



ภาพประกอบ 58 แสดงการใช้คำสั่ง Remove spikes



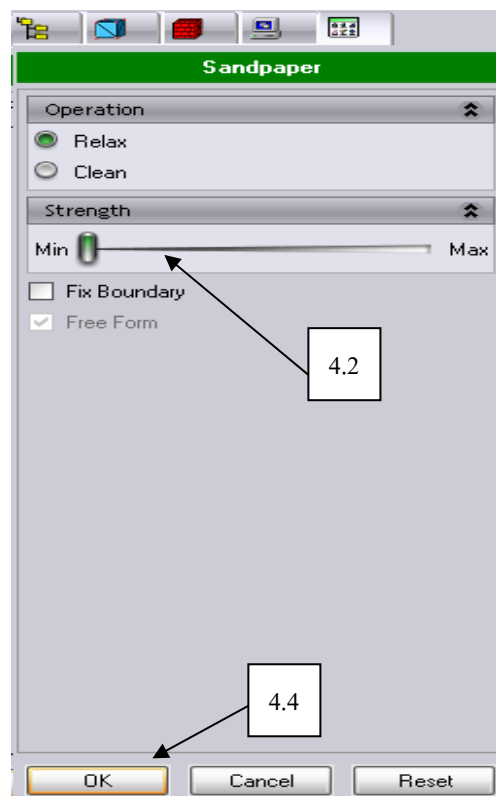
ภาพประกอบ 59 แสดงการใช้คำสั่ง ปรับความละเอียด ของ Remove spikes

3.2 เลือกคำสั่ง Remove spikes

3.3 เลือกความละเอียด

3.4 คลิก Ok

4. การใช้คำสั่ง Sandpaper



ภาพประกอบ 60 แสดงการใช้คำสั่ง Sandpaper

4.1 คลิกเลือกคำสั่ง Sandpaper

4.2 ปรับความหยาบ

4.3 คลิกเลือกบริเวณที่ต้องการขีดผิวออก

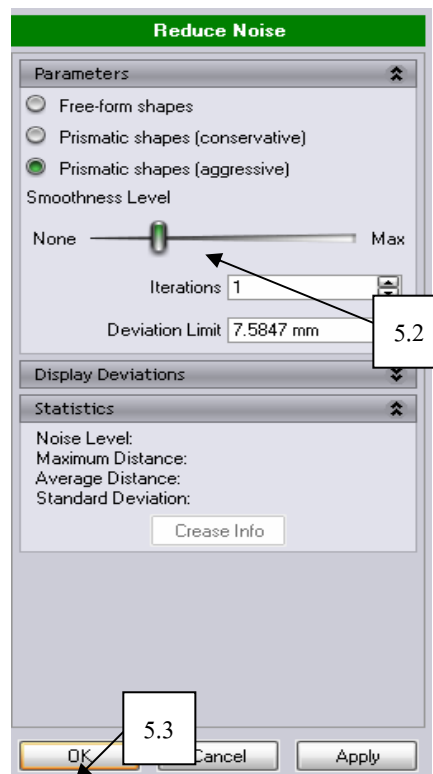
4.4 คลิก OK

5. การใช้คำสั่ง Reduce Noise

5.1 คลิกเลือกคำสั่ง Reduce Noise

5.2 ปรับเลือกความละเอียด

5.3 คลิก OK

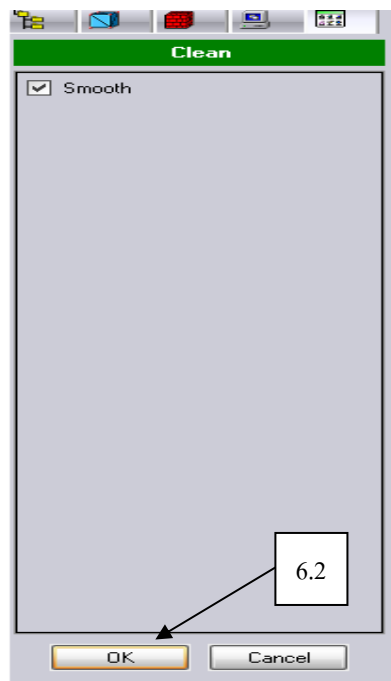


ภาพประกอบ 61 แสดงการใช้คำสั่ง Reduce Noise

6. การใช้คำสั่ง Clean

6.1 คลิกเลือกคำสั่ง Clean

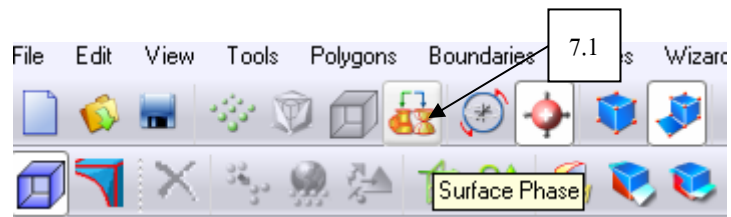
6.2 คลิก OK



ภาพประกอบ 62 แสดงการใช้คำสั่ง Clean

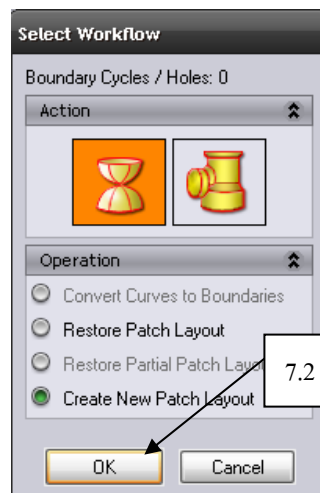
7. สร้างพื้นผิว

7.1 คลิกไอคอนคำสั่ง Surface Phase



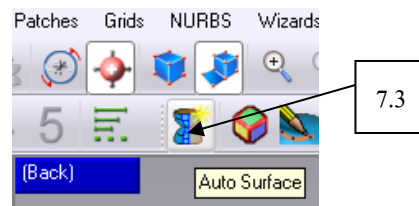
ภาพประกอบ 63 การใช้คำสั่ง Surface Phase

7.2 คลิก OK



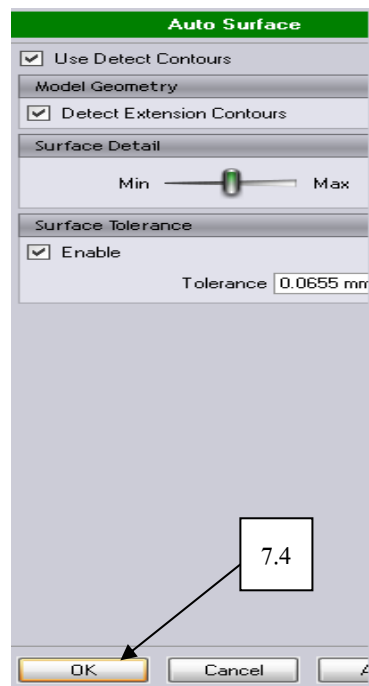
ภาพประกอบ 64 การเข้าสู่โหมดการสร้างผิว

7.3 คลิกไอคิณคำสั่ง Auto surface



ภาพประกอบ 65 การใช้คำสั่ง Auto surface

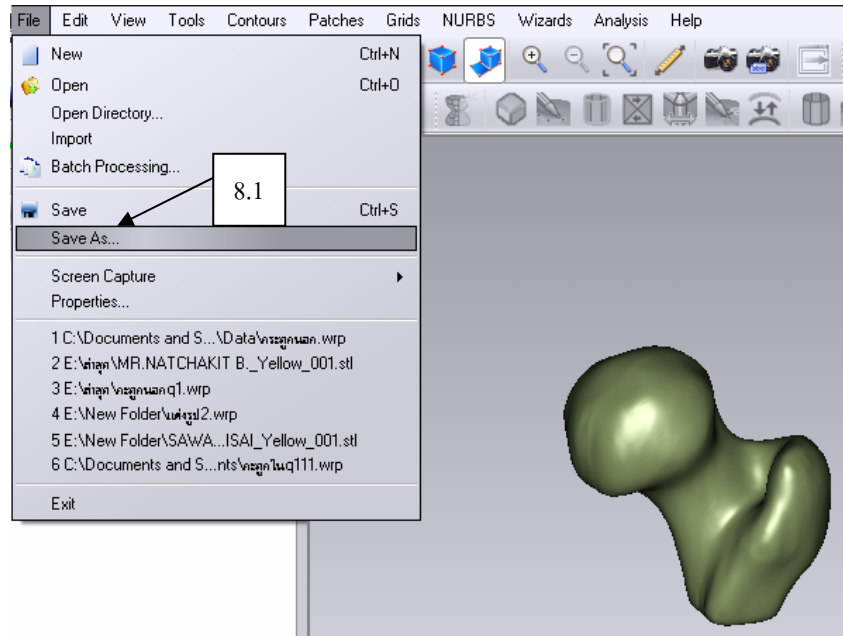
7.4 คลิก OK



ภาพประกอบ 66 แสดงขั้นตอนการสร้าง surface

8. การบันทึกไฟล์ Iges

8.1 คลิก File > Save As



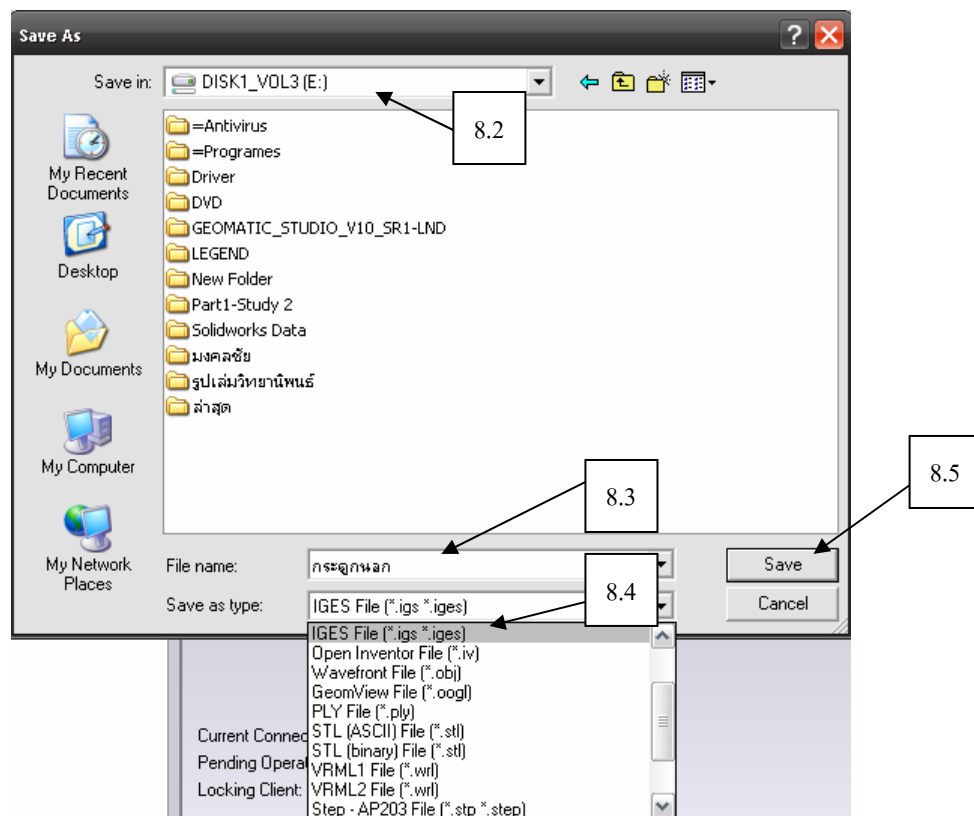
ภาพประกอบ 67 การบันทึกไฟล์

8.2 เลือกพื้นที่ที่ต้องการบันทึกไว้

8.3 ตั้งชื่อชิ้นงาน

8.4 เลือกนามสกุลที่ต้องการบันทึกเป็น Iges

8.5 คลิก Save



ภาพประกอบ 68 การตั้งค่าการบันทึกเป็นไฟล์Iges

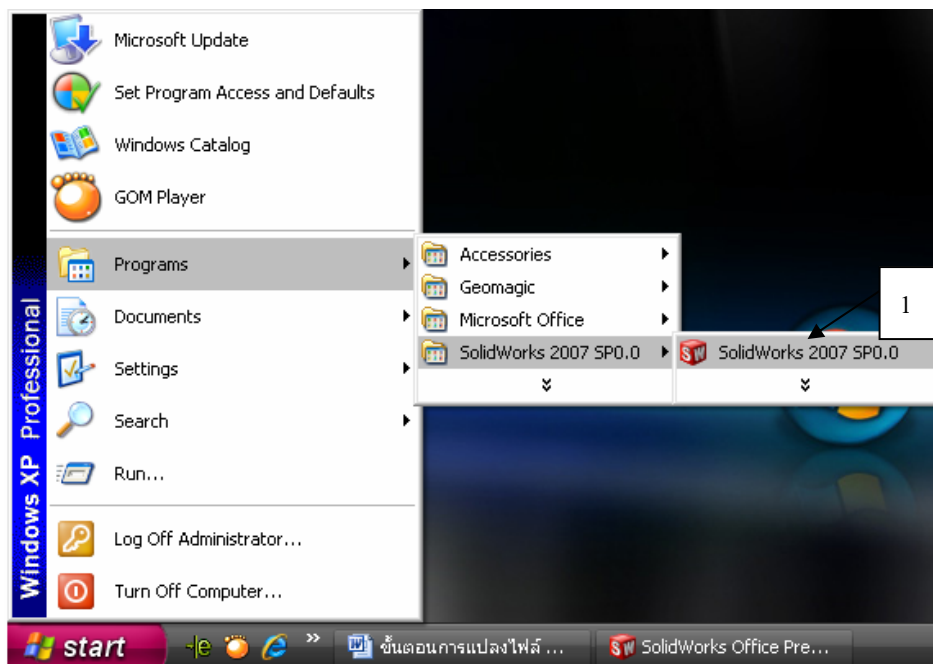
เมื่อเสร็จจากกระบวนการนี้แล้ว เราจะได้ชิ้นงานที่มีพื้นผิวและเป็นนามสกุลไฟล์ iges
จะต้องนำไปตัดใน โปรแกรมSolid work 2007 ต่อไป

การสร้างโมเดลในSolid work 2007

จากขั้นตอนดังกล่าวก็จะได้โมเดลกระดูกหัวสะโพกที่เป็นกระดูกทรงตัน แต่ในการศึกษาเราต้องการแบ่งชั้นของกระดูกเป็น 3 ส่วน คือ กระดูกชั้นนอก กระดูกชั้นใน และกระดูกส่วนที่ตาย จึงต้องทำการขึ้นรูปจากไฟล์Scan ไฟล์MCS ตามวิธีข้างต้นดังที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นนำกระดูกมาทำการตัดกัน เพื่อให้เกิดโพรงของกระดูกชั้นใน และกระดูกส่วนที่ตาย เพื่อนำมาประกอบกันที่หลัง

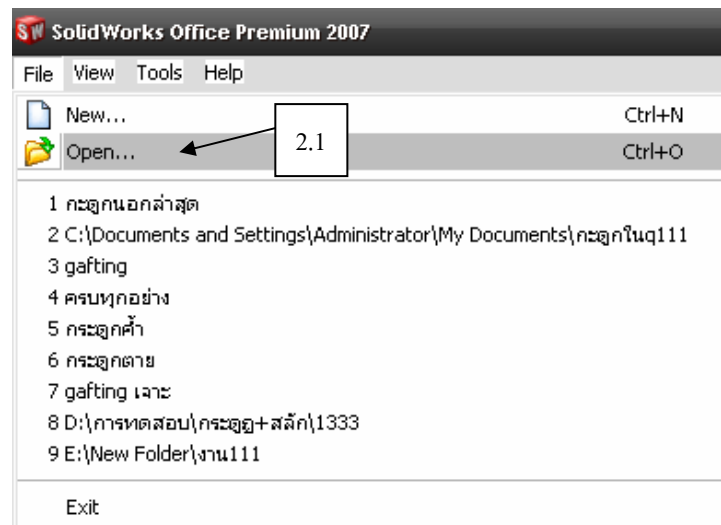
การทำโพรงกระดูก

1. เปิดโปรแกรม Solid Work 2007



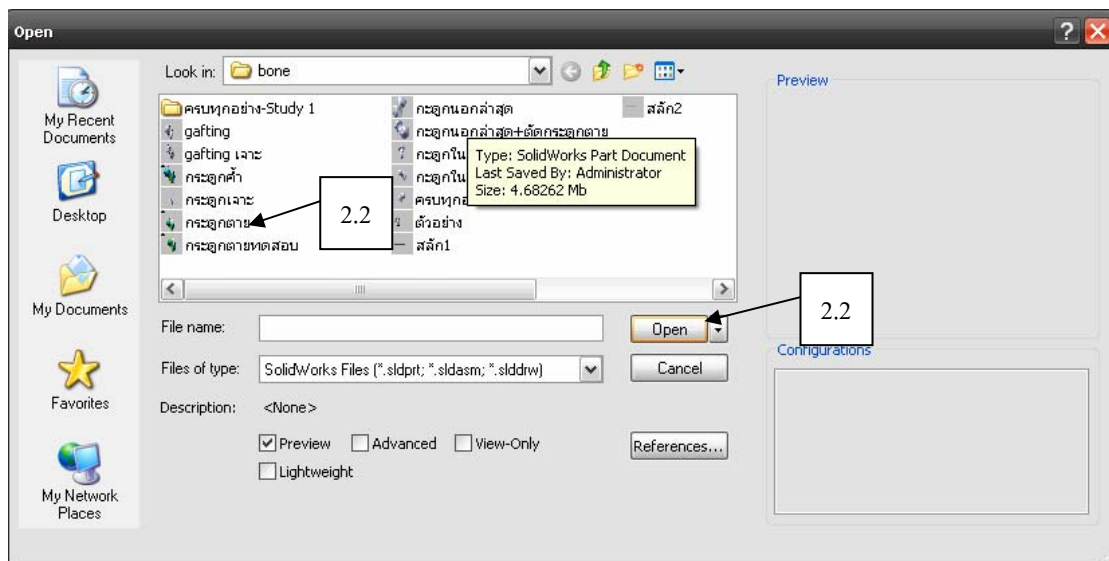
ภาพประกอบ 69 การเปิดโปรแกรม Solid work 2007

2. เปิดไฟล์กระดูกชั้นนอก
 - 2.1 คลิก File > open



ภาพประกอบ 70 แสดงการเปิดไฟล์กระดูกหัวสะโพก

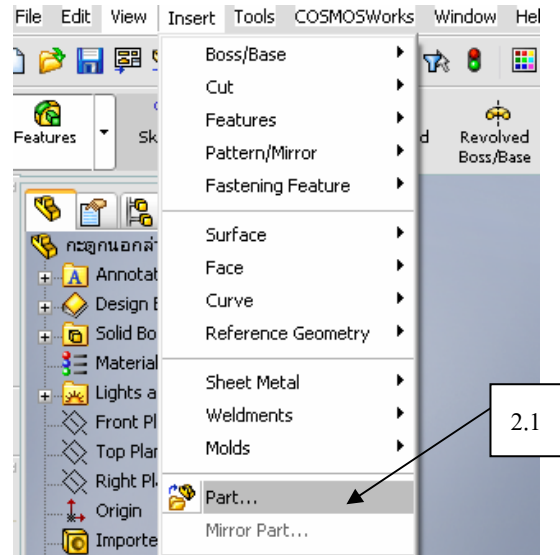
2.2 เลือกไฟล์กระดูกชั้นนอกและคลิก Open



ภาพประกอบ 71 แสดงขั้นตอนการเปิดไฟล์กระดูกหัวสะโพก

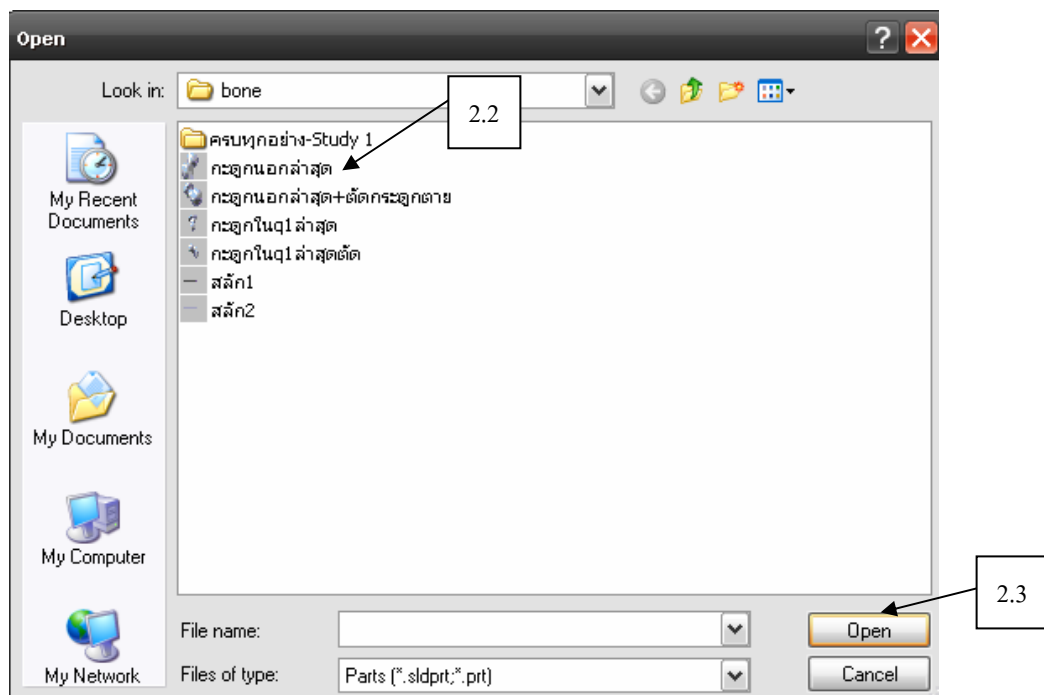
2. การนำชิ้นกระดูกชั้นในเข้ามาทับซ้อนกันกับกระดูกชั้นนอกเพื่อทำการตัดกัน

2.1 คลิก Insert > part



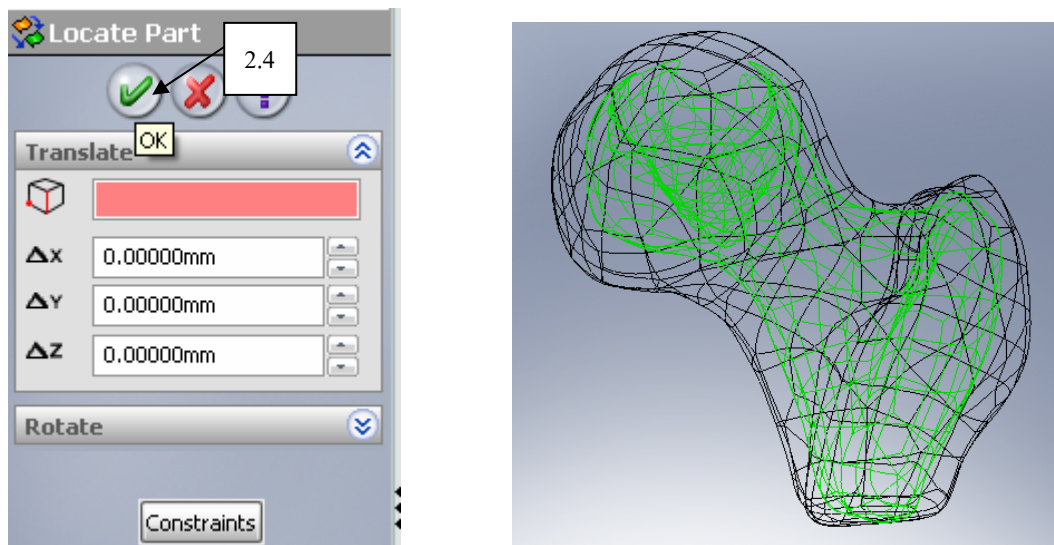
ภาพประกอบ 72 แสดงการเปิดไฟล์กระดูกตัวที่ 2

2.2 เลือกไฟล์กระดูกชั้นใน



ภาพประกอบ 73 การเลือกไฟล์กระดูกชั้นใน

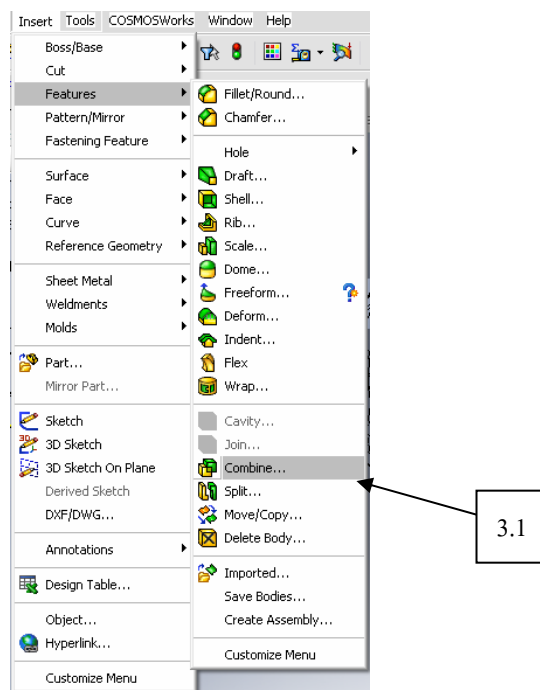
2.3 คลิก Open



ภาพประกอบ 74 แสดงการทับซ้อนกันของกระดูก

3. ขั้นตอนการทำโพรงกระดูก

3.1 คลิก Insert > Features > Combine



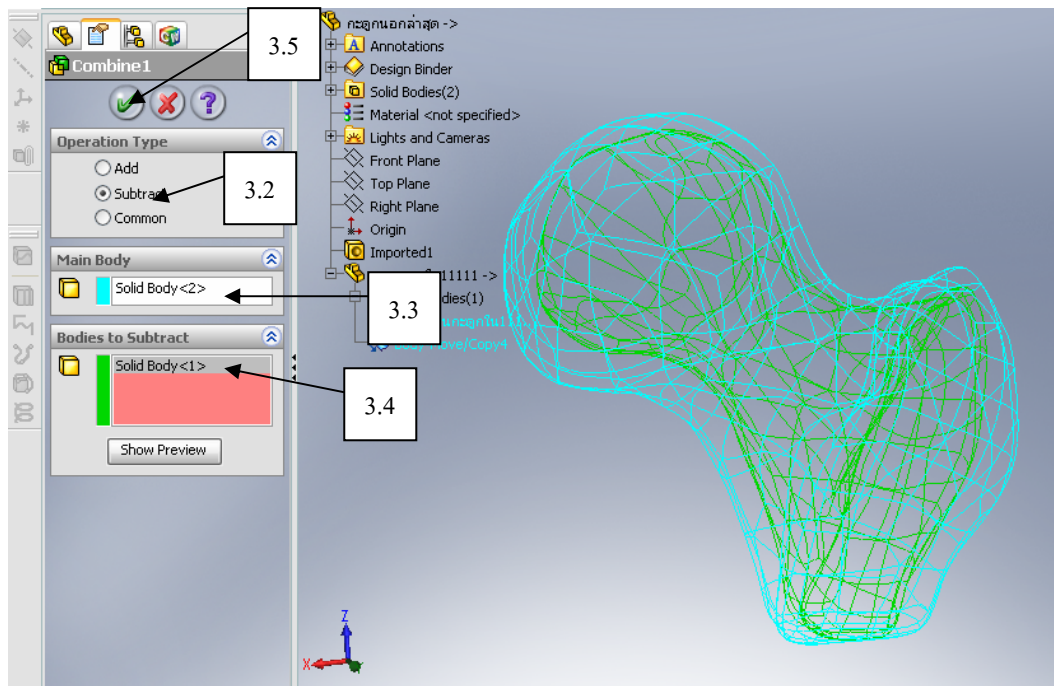
ภาพประกอบ 75 การใช้คำสั่ง Combine

3.2 คลิกเลือก Operation Type > Subtract

3.3 Main Body เลือกกระดูกชั้นนอก (Solid Body 2)

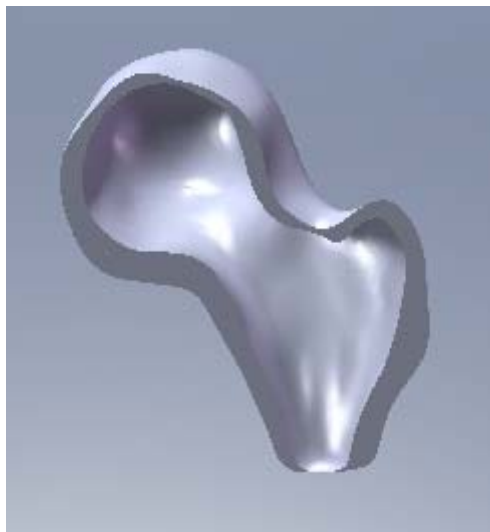
3.4 Bodies to Subtract เลือกกระดูกชั้นใน (Solid Body 1)

3.5 คลิก OK



ภาพประกอบ 76 แสดงการเลือกการตัดกันของกระดูก

4. แสดงรูปสำเร็จ



ภาพประกอบ 77 แสดงรูปกระดูกที่เสร็จแล้ว

5. ทำการบันทึก

5.1 คลิก File > Save

5.2 เลือกพื้นที่ที่ต้องการบันทึก

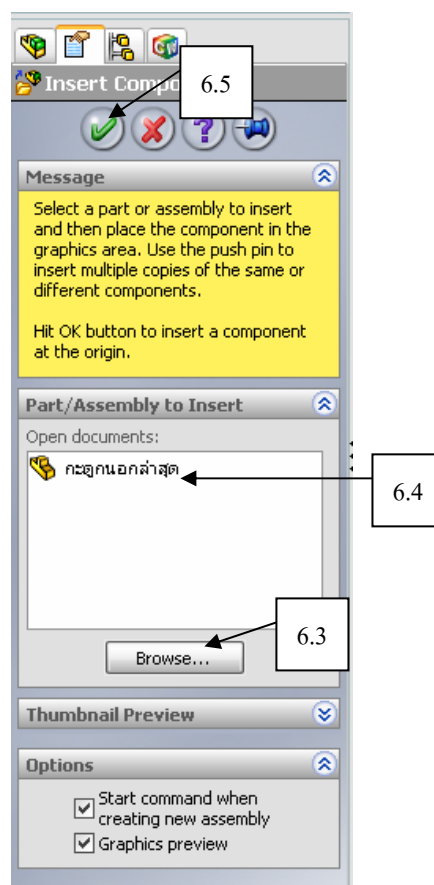
5.3 ตั้งชื่อชิ้นงานที่ต้องการบันทึก

6. การประกอบชิ้นงาน

6.1 เปิด Solid work 2007 เลือกโหมด Assembly (File > New)

6.2 Assembly > OK

6.3 คลิก Browse

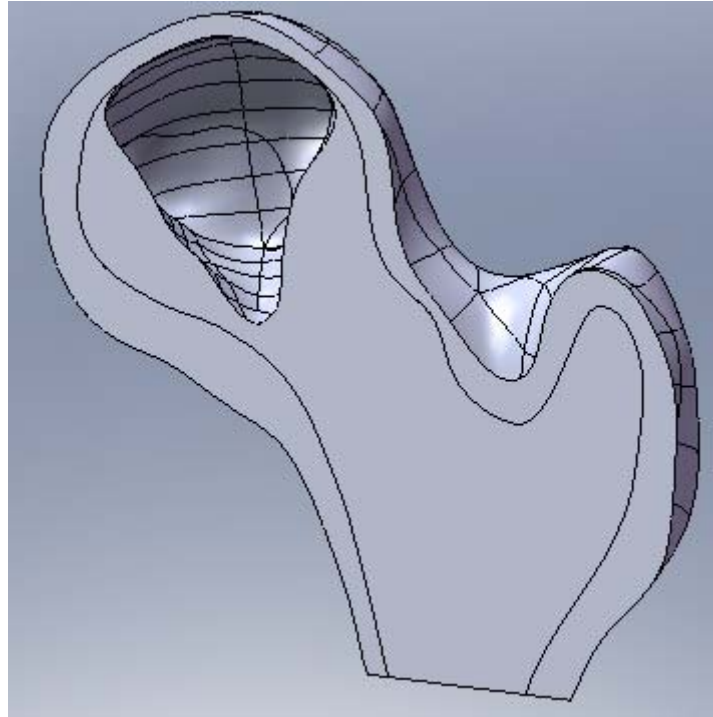


ภาพประกอบ 78 แสดงการเปิดไฟล์ใน Assembly

6.4 เลือกกระดุกชั้นนอกแล้ว คลิกopen

6.5 Insert component > คลิกถูกต้อง

6.6 ทำตามขั้นตอนข้างต้นอีกครั้ง เลือกกระดุกชั้นในก็จะได้กระดุกหัวสะพานตายดังรูป



ภาพประกอบ 79 แสดงกระดุกที่พอเตรียมการทดสอบ

อภิธานศัพท์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

σ_x	ค่าความเค้นในทิศทาง x
$\sigma_{vonmises}$	ความเค้น Vonmises
σ_{ave}	ความเค้นเฉลี่ย
σ_{act}	ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง
τ_{max}	ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด
τ_{oct}	ค่าความเค้นเฉือนออกซีเตดรัล
ϵ	ค่าความเครียด
ν	ค่าพัวของเรโซ
E	ค่า young modulus
$\{f\}$	เมทริกซ์ของแรงที่กระทำที่จุดต่อ
n	จำนวนระดับความเสรีของเอลิเมนต์
$\{F\}$	เมทริกซ์รวมของจุดต่อ
$\{K\}$	stiffness matrix รวมของระบบ
$\{d\}$	เมทริกซ์รวมของการกระจัดของระบบ
σ_1, σ_2 และ σ_3	ความเค้นหลักเกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีแรงมากระทำกับชิ้นงาน ซึ่งมีทิศทาง 3 แนวแกน
K_c	ค่าคงที่ความหนาแน่นของความเค้น
S_y	ค่าความเค้นที่จุดคราก
(S.F.)	ค่าความปลอดภัย
S_u	ค่าความเค้นประลัย
U	พลังงานความเครียด (strain energy)

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล นายมงคลชัย คำปากดี
 วัน/เดือน/ปีเกิด 15 กรกฎาคม 2522
 สถานที่เกิด อ.เมือง จังหวัดอุดรธานี
 สถานที่ทำงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ถนนสุนทรารายณ์ ต.ในเมือง
 อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ
 จาก วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี
 พ.ศ. 2541 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
 จาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
 พ.ศ. 2546 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
 จาก สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
 พ.ศ. 2553 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
 จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ