

การศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยแพร่ที่ต้นฉบับและแบบเสรี
ที่ใช้สร้างโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์
เพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

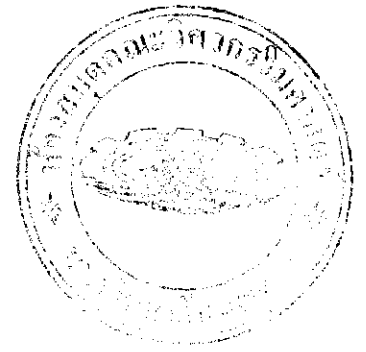
Comparison study of open source software and freeware used
to reconstruct three dimensional models from medical images
for finite element analysis

นายบัณฑิต	พุดิกานนท์	รหัส 54363316
นายประสิทธิ์	เมืองบุญมา	รหัส 54363361
นายสุริยา	คุ้มวา	รหัส 54363538

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
ยืมที่..... 16912664
เลขทะเบียน..... 16912664
เลขชั้นหนังสือ..... 54363316
วันที่รับยืม..... ๒๕๕๗

๒๕๕๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยแพร่ที่สนับสนุนและแบบเสรีที่ใช้สร้างโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์เพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ผู้ดำเนินโครงการ	นายบัณฑิต พุฒิกานนท์ รหัสนิสิต 54363316 นายประสิทธิ์ เมืองบุญมา รหัสนิสิต 54363361 นายสุริยา คุ่มวา รหัสนิสิต 54363538
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา	2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์ ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์)

สุเมธ เหมะวัฒน์นะชัย กรรมการ

(ดร.สุเมธ เหมะวัฒน์นะชัย)

นพรัตน์ สีสะวงษ์ กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพรัตน์ สีสะวงษ์)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยแพร่ที่สนับสนุนและแบบเสรีที่ใช้สร้างโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์เพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายบัณฑิต พุฒิกานนท์	รหัสนิสิต	54363316
	นายประสิทธิ์ เมืองบุญมา	รหัสนิสิต	54363361
	นายสุรียา คุ่มวา	รหัสนิสิต	54363538
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

การศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยแพร่ที่สนับสนุนและแบบเสรีที่ใช้สร้างโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์เพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จัดทำขึ้นเนื่องจากทางการแพทย์ในปัจจุบันมีการใช้ซอฟต์แวร์ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติมาใช้ในการวินิจฉัยโรคอย่างแพร่หลาย และซอฟต์แวร์เหล่านั้นมีราคาค่อนข้างสูง ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญต่างๆ ของซอฟต์แวร์ประเภทดังกล่าวที่เป็นแบบเปิดเผยแพร่ที่สนับสนุนและแบบเสรี เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้ที่สนใจได้นำไปใช้งานโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ จากการดำเนินงานพบว่าสามารถสืบค้นซอฟต์แวร์โดยใช้คำสำคัญที่เกี่ยวข้องได้ 24 ซอฟต์แวร์ ในจำนวน 24 ซอฟต์แวร์นี้มีซอฟต์แวร์ที่ผ่านคัดเลือกเกณฑ์การพิจารณาทั้งหมด 3 ซอฟต์แวร์ได้แก่ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg โดยทั้ง 3 ซอฟต์แวร์นี้สามารถนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ ขึ้นรูปโมเดลสามมิติ และส่งออกรูปโมเดลสามมิติด้วยนามสกุลไฟล์ .STL ได้ นอกจากนี้โมเดลสามมิติที่ขึ้นรูปจากทั้ง 3 ซอฟต์แวร์ ยังสามารถนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าในการนำเข้าโมเดลสามมิติไปยังซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องมีขั้นตอนเพิ่มเติมในการปรับความเรียบเนียนของพื้นผิวโมเดล เพื่อเป็นการยืนยันว่าโมเดลสามมิติที่ได้มานั้นใช้ทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้จริง คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการทดลองวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โมเดลข้อเข้าเป็นกรณีศึกษา สุดท้ายคณะผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของการใช้งานซอฟต์แวร์ทั้ง 3 ซอฟต์แวร์เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ประเภทนี้ให้กับนักวิจัยหรือผู้ที่สนใจนำไปใช้งานต่อไป โดยสรุปว่า ITK-SNAP เป็นซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

เนื่องจากมีความได้เปรียบในการใช้งานมากกว่าซอฟต์แวร์อื่นในด้านเวลาที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพที่น้อยกว่า วิธีการแบ่งส่วนภาพที่ง่ายและการประมวลผลในการขึ้นรูปโมเดลสามมิติที่มีความรวดเร็ว



Project Title	Comparision study of open source software and freeware used to reconstruct three dimensional models from medical images for finite element analysis	
Manipulator	Mr. Bundit Phutthikanon	ID. 54363316
	Mr. Prasit Muangboonma	ID. 54363361
	Mr. Suriya Khumwa	ID. 54363538
Project Advisor	Dr. Punyawan Lumpaopong	
Department	Mechanical Engineering Naresuan University	
Academic Year	2014	

Abstract

A comparison study of open source software and freeware used to reconstruct three dimensional (3D) models from medical images for finite element analysis was conducted because, recently, 3D model reconstruction software has been widely used for clinical diagnosis. Commercial software of this kind is quite expensive. Therefore, this project studied and compared important features and characteristics of such software which are only open source and freeware, in order to introduce to those interested in using such software without any charge. The study found that, using relevant keywords, twenty four software packages were found. From these software, ITK-SNAP, Invesalius 3.0 and TurtleSeg were the only 3 software that passed the selection criteria. All of them have ability to import medical image data set, reconstruct 3D model and export the model data as an STL file. Moreover, 3D models reconstructed using these software could also be analyzed using finite element analysis (FEA) software. However, it was found that, additional steps were required to adjust the smoothness of the reconstructed surface model before importing it into FEA software. To confirm that the processed 3D model was applicable for FEA, an analysis of a knee was also conducted as a case study. Finally, the features and characteristics of the 3 software were compared and summarized in order to guide researcher or those interested in conducting research of this field. In conclusion, ITK-SNAP was the most suitable software because it had advantages over

another in terms of less time consumption for segmentation, easier segmentation method and fast 3D model reconstruction processing time.



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณคณะบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษาให้โครงการประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งได้แก่

1. ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
2. ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย กรรมการสอบโครงการ
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์. นพรัตน์ สีหะวงษ์ กรรมการสอบโครงการ
4. ผศ.ดร. ขวัญชัย ไกรทอง สนับสนุนคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูง
5. คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ

สุดท้ายนี้กลุ่มของข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ทั้งขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ (PMET) สาขา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำโครงการครั้งนี้

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล.....	ก
หัวข้อโครงการ.....	ข
Abstract.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	5
2.2 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ (3D Image Reconstruction).....	8
2.2.1 การแบ่งส่วนภาพ.....	8
2.2.2 การขึ้นรูปโมเดลสามมิติ.....	8
2.3 นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.3.1 โอเพนซอร์ส.....	9
2.3.2 ฟรีแวร์.....	9
2.3.3 DICOM.....	9
2.4 สรีระบริเวณหัวเข่าและระนาบของร่างกาย (Anatomic Plane).....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 สรีระบริเวณหัวเข่า.....	10
2.4.2 ระนาบของร่างกาย.....	11
2.5 สมบัติเชิงกลของวัสดุ.....	11
2.5.1 ความเค้น.....	12
2.5.2 ความเครียดและการเสียรูป.....	14
2.6 กลศาสตร์ของหัวเข่า.....	14
2.7 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 สถานที่ปฏิบัติงาน อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	20
3.1.1 สถานที่ปฏิบัติงาน.....	20
3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้.....	20
3.1.3 ซอฟต์แวร์.....	20
3.2 วิธีการดำเนินงาน.....	21
3.2.1 ศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์.....	21
3.2.2 การสืบค้นซอฟต์แวร์.....	21
3.2.3 การทดลองใช้งานซอฟต์แวร์.....	22
3.2.4 การคัดเลือกซอฟต์แวร์.....	22
3.2.5 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	23
3.2.6 การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์.....	23
3.2.7 สรุปผลการดำเนินงาน.....	23
บทที่ 4 การคัดเลือกซอฟต์แวร์.....	24
4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์.....	24
4.2 ผลการคัดเลือกซอฟต์แวร์.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การนำไฟล์ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์เข้าสู่ซอฟต์แวร์.....	28
4.2.2 การ Segmentation ภาพถ่ายทางการแพทย์	28
4.2.3 การขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์.....	28
4.2.4 การส่งออกไฟล์รูปโมเดลสามมิติไปยัง SOLIDWORKS Simulation.....	29
4.3 ผลสรุปการคัดเลือกซอฟต์แวร์.....	29
บทที่ 5 การทดสอบโมเดลสามมิติ	31
5.1 การวิเคราะห์แบบจำลองอย่างง่าย.....	32
5.1.1 แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ.....	32
5.1.2 แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง	37
5.2 การวิเคราะห์โมเดลข้อเข้าจริง.....	41
5.2.1 แบบจำลองโมเดลข้อเข้าจริง.....	41
5.3 เปรียบเทียบผลการทดลองโมเดลข้อเข้าจริงกับวรรณกรรมปริทัศน์.....	45
5.3.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่รับแรงกระทำ.....	45
5.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้น	46
5.4 สรุปผลการทดสอบโมเดลสามมิติ.....	47
บทที่ 6 การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์	48
6.1 การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้.....	48
6.1.1 เปรียบเทียบเวลาในการทำงาน	48
6.1.2 เปรียบเทียบด้านการ Segmentation.....	50
6.1.3 เปรียบเทียบด้านการส่งออกไฟล์	50
6.1.4 เปรียบเทียบด้านการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ	51
6.1.5 เปรียบเทียบการประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์	51
6.2 สรุปผลการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์.....	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 7 สรุปการดำเนินโครงการ.....	52
เอกสารอ้างอิง	54
ภาคผนวก ก การใช้งานซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพและขึ้นรูปรูปโมเดลสามมิติ	57
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์.....	79
ภาคผนวก ค 82การใช้งานซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการปรับความเรียบเนียนที่พื้นผิวของโมเดลสามมิติ	82



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ 20 สิงหาคม 2557 – 30 เมษายน 2558.....	3
ตารางที่ 4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์	24
ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์.....	49
ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ.....	79
ตารางที่ ข.2 แสดงผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง.....	80



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสร้างและการวิเคราะห์รูปโมเดลสามมิติของอวัยวะ.....	6
รูปที่ 2.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อพาทเทลโลฟิมอรัล.....	7
รูปที่ 2.3 ผลการเพิ่มแรงดึงของกล้ามเนื้อต้นขาต่อความเค้นเฉือน.....	7
รูปที่ 2.4 สรีระของข้อเข่า.....	10
รูปที่ 2.5 ระนาบของร่างกาย.....	11
รูปที่ 2.6 ลักษณะของความเค้นชนิดต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.7 ลักษณะของสภาวะของข้อเข่า.....	15
รูปที่ 2.8 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ข้อเข่าในลักษณะต่างๆ ได้แก่ Heel Strike (HS), Toe Off (TO), Single Limb Stance (SLS), การงอเข่า 90 องศา (DF1), การงอเข่ามากกว่า 120 องศา (DF2).....	15
รูปที่ 2.9 พื้นที่สัมผัสที่เกิดขึ้นที่ข้อเข่าในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ Heel Strike (HS), Toe Off (TO), Single Limb Stance (SLS), การงอเข่า 90 องศา (DF1), การงอเข่ามากกว่า 120 องศา (DF2).....	16
รูปที่ 2.10 การติดตั้งกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้ง.....	17
รูปที่ 2.11 เนื้อเยื่อ Meniscus ที่ข้อต่อทาบิโอฟิมอรัล.....	17
รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบความเค้นสัมผัสต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของหัวเข่า.....	18
รูปที่ 2.13 รูปร่าง Mesh, Element และ Node.....	19
รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ.....	32
รูปที่ 5.2 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ.....	33
รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบความเค้นตั้งฉากระหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสเรียบที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน.....	34
รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบการเสียรูประหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสเรียบที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน.....	34
รูปที่ 5.5 ความเค้นตั้งฉากตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ.....	36
รูปที่ 5.6 การเสียรูปตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ.....	36

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.7 แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง	37
รูปที่ 5.8 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง	38
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบความเค้นตึงฉากระหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสโค้งที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน	38
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบการเสียรูประหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสโค้งที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน.....	39
รูปที่ 5.11 ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง.....	40
รูปที่ 5.12 การเสียรูปตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง.....	40
รูปที่ 5.13 ขั้นตอนการสร้างไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลจากไฟล์ .STL ที่ได้จากซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg.....	42
รูปที่ 5.14 แบบจำลองโมเดลข้อเข้า	43
รูปที่ 5.15 ความเค้นของแบบจำลองโมเดลข้อเข้า.....	44
รูปที่ 5.16 การเสียรูปตามแนวแกน Y ของแบบจำลองโมเดลข้อเข้าจริง.....	45
รูปที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์พื้นที่รับแรง.....	46
รูปที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์ความเค้น.....	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบัน ทำให้การวินิจฉัยโรคทางการแพทย์นั้น แตกต่างไปจากอดีตเป็นอย่างมาก มีการใช้ไฟล์ภาพดิจิทัลสองมิติและสามมิติเข้ามาเป็นข้อมูลประกอบการวินิจฉัยโรคและอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายมากขึ้น ซึ่งในทางวิศวกรรมได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) เข้ามาเป็นหลักในการวิเคราะห์ความเสียหายและการสึกหรอหรือความเจ็บป่วยที่เกิดขึ้นกับอวัยวะภายในร่างกาย ซึ่งการจะทำการวิเคราะห์สภาวะทางชีวกลศาสตร์ของอวัยวะได้นั้น จำเป็นจะต้องมีโมเดลสามมิติของอวัยวะที่สนใจทำการศึกษา การขึ้นรูปโมเดลสามมิติของอวัยวะจากชุดข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์นั้นสามารถทำได้โดยการนำเอาชุดข้อมูลประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์นี้โดยเฉพาะ ตัวอย่างของซอฟต์แวร์ที่มีจำหน่ายและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิจัยด้านชีวกลศาสตร์ได้แก่ Mimics (Materialise, เบลเยียม) [1] หรือ Avizo (FEL Visualisation Science Group, สหรัฐอเมริกา) [2] ทั้งสองซอฟต์แวร์นี้เป็นซอฟต์แวร์ที่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ที่มีราคาสูงมาก อย่างไรก็ตามมีหน่วยงานวิจัยและนักพัฒนาซอฟต์แวร์จำนวนหนึ่ง ได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่สามารถสร้างโมเดลภาพสามมิติจากชุดข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์และได้เปิดโอกาสให้ผู้สนใจนำไปใช้งานได้โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย โดยซอฟต์แวร์ดังกล่าวมีทั้งแบบโอเพนซอร์ส (Open Source) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ และแบบฟรีแวร์ (Freeware) ที่ผู้ใช้ไม่สามารถพัฒนาต่อได้อย่างไรก็ตามคุณลักษณะและข้อจำกัดการใช้งานของแต่ละซอฟต์แวร์นั้นแตกต่างกัน คณะผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะทำการสืบค้นและศึกษาซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สและ/หรือฟรีแวร์ที่สามารถสร้างโมเดลภาพสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์เพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รวมถึงเปรียบเทียบคุณลักษณะการใช้งานของแต่ละซอฟต์แวร์เพื่อจะสามารถแนะนำให้กับนักวิจัยที่สนใจศึกษาวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะภายในร่างกายด้วยวิธีการต่างๆ เช่น ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะสำคัญ ข้อดี ข้อเสียและข้อจำกัดการใช้งานต่างๆ ของโอเพ่นซอร์สและฟรีแวร์ที่ใช้สร้างโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์

1.2.2 เพื่อแนะนำซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สและ/หรือฟรีแวร์ที่สามารถสร้างโมเดลภาพสามมิติให้แก่ผู้ที่สนใจหรือผู้ที่ต้องการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะต่างๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.3 ขอบเขต

ศึกษาความจำเป็น ที่มาและความสำคัญในการทำโครงงาน แล้วทำการสืบค้นซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สและ/หรือฟรีแวร์ ที่ใช้ในการขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์ จากนั้นจะทำการคัดเลือกซอฟต์แวร์ โดยซอฟต์แวร์ที่ผ่านการคัดเลือกจะต้องมีคุณลักษณะหลักที่จะทำการศึกษาเปรียบเทียบ 3 ส่วนดังนี้

1. ด้านการแบ่งส่วน (Segmentation) และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ
2. ด้านส่งออกไฟล์
3. ด้านการประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

โดยในส่วนของการประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์จะทำการทดลองขึ้นรูปโมเดลสามมิติ กรณีศึกษาการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ที่กระดูกหน้าแข้ง (Tibia) เมื่อมีภาระแรงกดมากระทำด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation (SOLIDWORKS, สหรัฐอเมริกา) [3] หลังจากการศึกษาเปรียบเทียบคุณลักษณะ ข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดต่างๆ ของแต่ละซอฟต์แวร์แล้ว ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการสรุปให้แนวทางและคำแนะนำแก่ผู้ที่สนใจอย่างเป็นขั้นตอน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ทั้งแบบโอเพ่นซอร์สและฟรีแวร์ ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลภาพสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์
- 1.4.2 การสืบค้นซอฟต์แวร์
- 1.4.3 การทดลองใช้ซอฟต์แวร์
- 1.4.4 การคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่จะทำการเปรียบเทียบ
- 1.4.5 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้เข้าใจถึงคุณลักษณะสำคัญ ข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดการใช้งานต่างๆ ของแต่ละซอฟต์แวร์ เพื่อช่วยต่อการคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมกับความต้องการ

1.5.2 สามารถแนะนำซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สและ/หรือฟรีแวร์ที่ใช้ขึ้นรูปโมเดลสามมิติ ให้เหมาะสมกับคุณลักษณะความต้องการการใช้งานของนักวิจัยหรือผู้ที่สนใจสามารถนำไปวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ทำให้ประหยัดเวลาในการวิจัย

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

1. ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่ม	1,500 บาท
2. ค่ากระดาษ ขนาด A4	500 บาท
3. ค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำโครงการ	1,000 บาท
รวม	3,000 บาท



บทที่ 2

หลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการวิเคราะห์อาการบาดเจ็บต่างๆที่เกิดขึ้นกับอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งในร่างกายของผู้ป่วยนั้น จะต้องเจาะลึกถึงอวัยวะที่เกิดอาการของผู้ป่วยอย่างตรงจุด ในปัจจุบันสามารถทำได้โดยการสแกนส่วนของร่างกายผู้ป่วยที่ต้องการการรักษาโดยใช้เครื่องสแกนชนิดต่างๆ อาทิ เอกซเรย์ (X-Ray), Computed tomography (CT) และ Magnetic resonance imaging (MRI) เพื่อให้ได้ชุดภาพถ่ายสองมิติของอวัยวะไปทำการประมวลผลออกมาเป็นโมเดลสามมิติโดยใช้ซอฟต์แวร์ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้ จากนั้นจะเป็นการนำโมเดลสามมิติที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อตรวจสอบภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับอวัยวะที่ต้องการทำการศึกษา อันจะเป็นประโยชน์ในการวินิจฉัยอาการของโรคและวางแผนการรักษาเนื่องด้วยการจัดทำโครงการนี้ ทางคณะผู้จัดทำได้ใช้ชุดข้อมูลที่เป็นภาพถ่ายทางการแพทย์ในส่วนของบริษัทหัวเข้ามาเป็นกรณีศึกษา จึงขอกล่าวหลักการที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินโครงการดังนี้

1. การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. การแบ่งส่วนภาพและการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ
3. การนิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง
4. สรีระของหัวเข่าและระนาบของร่างกาย
5. คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ
6. กลศาสตร์ของหัวเข่า
7. การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

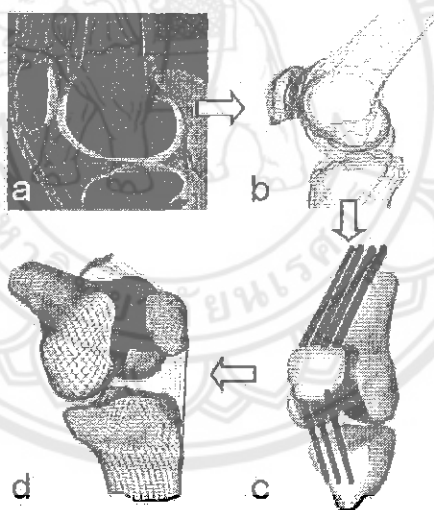
2.1 การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของอวัยวะ โดยทั่วไปแล้วนักวิจัยส่วนใหญ่ที่ต้องการจะประเมินผลของอาการที่เกิดขึ้นกับอวัยวะจะมีขั้นตอนในกระบวนการวิเคราะห์อยู่ 4 ขั้นตอนคือ

1. นำเข้าข้อมูล (Import) ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ (DICOM) เข้าสู่ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

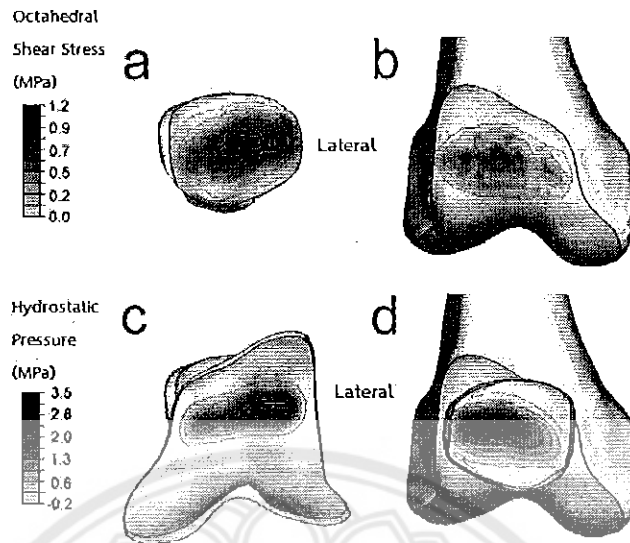
2. ทำการแบ่งส่วน ขอบเขตของอวัยวะที่สนใจจะวิเคราะห์ เพื่อขึ้นรูปโมเดลสามมิติ
3. ทำการวิเคราะห์โมเดลสามมิติด้วยซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition) เข้าไปที่บริเวณที่สนใจในอวัยวะนั้นๆ
4. แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ตัวอย่างงานวิจัยโดย Thor F. Besier และคณะ [4] ก็ได้นำขั้นตอนวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ดังกล่าวมาใช้ ในการศึกษา การสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินเกี่ยวกับโรคที่ข้อต่อระหว่างกระดูกต้นขากับกระดูกสะบ้า (Patellofemoral: พาเทลโลฟิมอรัล) (หัวข้อ 2.4) (รูปที่ 2.1) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่บริเวณหัวเข่าจากภาพถ่าย MRI งานวิจัยนี้ได้ทำการขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากซอฟต์แวร์ Matlab (The MathWorks, Inc., สหรัฐอเมริกา) [5] ที่สามารถเชื่อมโยงกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ ขั้นตอนต่อจากนั้นเป็นการกำหนดแรงที่สามารถเกิดขึ้นได้จากกล้ามเนื้อที่บริเวณกระดูกหน้าแข้ง กระดูกต้นขาและกระดูกสะบ้าเข้าไป สุดท้ายเป็นการวิเคราะห์หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับกระดูกอ่อนบริเวณกระดูกต้นขาที่กระดูกสะบ้า [4]



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสร้างและการวิเคราะห์รูปโมเดลสามมิติของอวัยวะ [4]

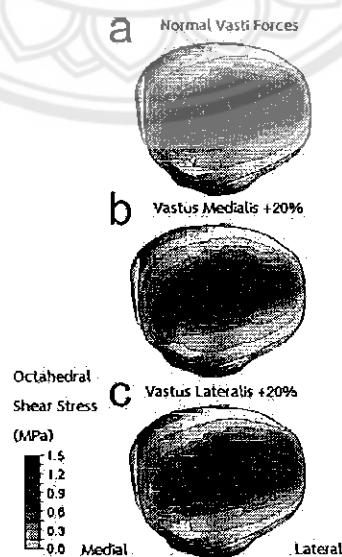
รูปที่ 2.2 แสดงความเค้นบริเวณกระดูกสะบ้า กระดูกต้นขา กระดูกหน้าแข้ง และกระดูกอ่อนบริเวณกระดูกต้นขาที่กระดูกสะบ้า จะมีความเค้นมากที่สุดบริเวณด้านนอก (Lateral) ดูได้จากระดับสีที่บ่งบอกถึงความเค้นที่เกิดขึ้นจากมากไปน้อย [4]



รูปที่ 2.2 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อพาเทลโลเฟมอรัล [4]

จากการเพิ่มแรงดึงของกล้ามเนื้อที่กระดูกอ่อนบริเวณกระดูกสะบ้า ดังรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าความเค้นเฉือน ออกตะฮีดรัลจะเพิ่มมากขึ้นจากที่มีความเค้นมากที่บริเวณกึ่งกลางของกระดูกอ่อน จะมากขึ้นออกไปที่บริเวณด้านนอก วัดได้ค่าแถบสีที่บ่งบอกถึงค่าความเค้นที่มากขึ้นตามลำดับ [4]

เป้าหมายในการพัฒนาวิธีแบบจำลองนี้คือ การได้รับความรู้ความเข้าใจในกลไกของความเจ็บปวดของโรคที่ข้อต่อพาเทลโลเฟมอรัล ซึ่งเป็นสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับแรงที่อยู่ในกระดูกและเอ็นกล้ามเนื้อซึ่งเป็นที่มาของความเจ็บปวดของโรคนี้ [4]



รูปที่ 2.3 ผลการเพิ่มแรงดึงของกล้ามเนื้อต้นขาต่อความเค้นเฉือนที่กระดูกอ่อนบริเวณกระดูกสะบ้า [4]

2.2 การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ (3D Image Reconstruction)

2.2.1 การแบ่งส่วนภาพ

เป็นวิธีการแบ่งส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่เราสนใจออกมาจากภาพที่เราต้องการ ซึ่งการแบ่งส่วนภาพนี้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญมากในการประมวลผลชุดภาพทางการแพทย์ เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำได้ทำการใช้ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์จากเครื่อง MRI จึงจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงกับอวัยวะที่ทำภาพถ่ายมา เช่น เนื้อเยื่อ กระดูก เอ็น หรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวน (Noise) ที่ขึ้นในขณะที่ถ่ายภาพ ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์เฉพาะอวัยวะที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้การแบ่งส่วนภาพมาทำหน้าที่แบ่งส่วนภาพที่เราต้องการออกมา ตัวอย่างเช่น การดำเนินโครงการนี้ได้ทำการแบ่งส่วนของกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้งออกจากเนื้อเยื่อและเอ็น เป็นต้น โดยในการดำเนินโครงการนี้จะเลือกระนาบ sagittal มาใช้ในขั้นตอนการแบ่งส่วน เนื่องจากระนาบนี้ให้มุมมองของอวัยวะได้เด่นชัดมากที่สุด ซึ่งชุดของภาพถ่ายทางการแพทย์ที่ได้การแบ่งส่วนอวัยวะที่สนใจเสร็จแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปโมเดลสามมิติต่อไป

2.2.2 การขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางการแพทย์โดยใช้โมเดลสามมิติ กำลังได้รับความต้องการอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากโมเดลสามมิติสามารถแสดงให้เห็นถึงภาพรวมหรือรายละเอียดในมุมมองต่างๆ ของอวัยวะได้ จึงมีประโยชน์อย่างมากในการวินิจฉัยทางการแพทย์ โดยอวัยวะหรือส่วนของร่างกายที่ได้มีการวิเคราะห์ในรูปแบบสามมิติ ได้แก่ กระดูก สมอง หัวใจ ฟัน และขากรรไกร เป็นต้น [6]

โมเดลสามมิติสำหรับภาพทางการแพทย์นั้น มักสร้างมาจากภาพสองมิติหลายๆภาพ ทำได้โดยการนำภาพเหล่านั้น มาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ เช่น การแบ่งส่วนภาพ เป็นต้น เพื่อให้ได้รายละเอียดส่วนประกอบต่างๆ หรือข้อมูลที่เป็นของอวัยวะที่ต้องการ จากนั้นจึงนำภาพที่ถูกแบ่งส่วนมาประกอบกันเพื่อขึ้นรูปเป็นโมเดลสามมิติ โมเดลสามมิติที่ได้นี้จะมีลักษณะหรือรูปร่างที่เหมือนกับอวัยวะจริงเพียงใด ขึ้นอยู่กับข้อมูลและขั้นตอนการแบ่งส่วนของภาพสองมิติที่นำมาประมวลผล ถ้าภาพสองมิติที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพมีภาพจำนวนมากเพียงพอ ก็ยิ่งทำให้โมเดลสามมิติที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

ข้อดีของโมเดลสามมิติ ได้แก่การนำโมเดลสามมิติมาช่วยงานในด้านการวางแผนการรักษา เช่น การจะวิเคราะห์ผลของความเค้นที่จะเกิดขึ้นกับข้อเข่า ที่กระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้ง กระทำกันอยู่ โดยสร้างได้จากชุดภาพถ่ายทางการแพทย์บริเวณหัวเข่า เป็นต้น ทั้งนี้การประมวลผลภาพทางการแพทย์ ไม่ได้มีจุดประสงค์เพื่อเข้ามาทำหน้าที่หลักแทนแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ แต่เข้ามาทำหน้าที่เป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกหรือเป็นผู้ช่วยในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์ต่างๆ

เพื่อให้แพทย์สามารถวิเคราะห์ภาพเหล่านั้นได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ให้ดีขึ้น ปัจจุบันยังมีความจำเป็นและต้องการผู้รู้ ผู้เชี่ยวชาญในการพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพทางการแพทย์อีกมาก ทั้งนี้ผู้ที่พัฒนากระบวนการประมวลผลภาพทางการแพทย์นี้ นอกจากจะต้องรู้วิธีการใช้งานคอมพิวเตอร์ได้แล้ว ยังต้องเข้าใจความสามารถในการวิเคราะห์ภาพของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญในงานนั้นๆ อีกด้วย เพื่อจะสามารถผสมผสานศาสตร์ทั้งสองนั้น และนำมาพัฒนาศักยภาพในการประมวลผลภาพได้สูงขึ้น [6]

2.3 นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 โอเพนซอร์ส

โอเพนซอร์ส หมายถึง วิธีการในการออกแบบ พัฒนา และแจกจ่ายสำหรับต้นฉบับของสินค้าหรือความรู้ โดยเฉพาะซอฟต์แวร์ โดยโอเพนซอร์สถูกพิจารณาว่าเป็นทั้งรูปแบบหนึ่งในการออกแบบและแผนการในการดำเนินการ โดยโอเพนซอร์สเปิดโอกาสให้บุคคลอื่นนำเอาระบบนั้นไปพัฒนาได้ต่อไป จึงเป็นโปรแกรมที่มีนักพัฒนาสร้างขึ้น และนำมาแจกจ่ายหรือเปิดโอกาสให้ผู้อื่นเข้ามาร่วมกันพัฒนาโปรแกรมนั้นๆ ได้ โดยมีการเปิดเผย (Source Code: ซอร์สโค้ด) และสามารถดาวน์โหลดโปรแกรมไปพัฒนาต่อได้ [7]

2.3.2 ฟรีแวร์

ฟรีแวร์ หมายถึงซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นและผู้พัฒนาอนุญาตให้ผู้สนใจสามารถนำไปใช้ได้ในทุกจุดประสงค์โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย แต่มีข้อแม้ว่าจะต้องไม่นำไปขายหรือนำไปหารายได้จากโปรแกรมนั้น หรือควรอ่านข้อกำหนดของโปรแกรมนั้นให้ชัดเจนก่อนใช้ เพราะบางครั้งมีข้อจำกัดในการใช้งานอย่างและสามารถนำไปใช้ แก้ไข ดัดแปลง พัฒนา และจำหน่ายแจกจ่ายได้โดยเสรี โดยไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์แต่อย่างใด [8]

ในทางปฏิบัติ โอเพนซอร์สและฟรีแวร์ มีลักษณะร่วมที่คล้ายกันแต่แตกต่างกันโดยแนวความคิดของกลุ่ม โดยฟรีแวร์เน้นในแนวทางสังคมการเมืองที่ต้องการให้มีการใช้ซอฟต์แวร์ได้อย่างเสรี ไม่ถูกจำกัดด้วยลิขสิทธิ์ ในขณะที่โอเพนซอร์สมีแนวความคิดในการเปิดกว้างให้แลกเปลี่ยนซอร์สโค้ดได้เสรีซึ่งเป็นแนวคิดทางด้านเทคโนโลยี [9]

2.3.3 DICOM

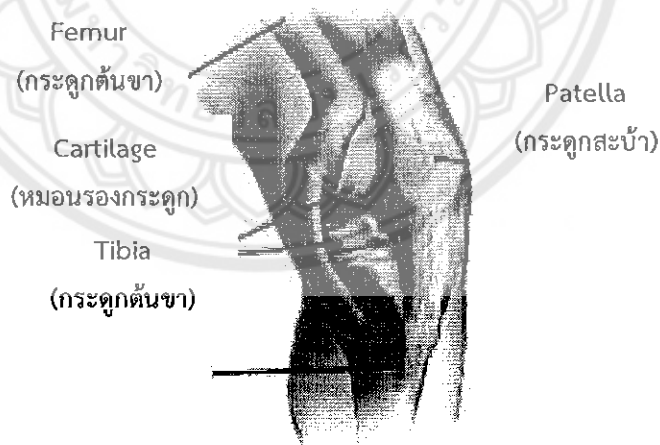
DICOM ย่อมาจาก Digital Imaging and Communications in Medicine เป็นมาตรฐานที่กำหนด โดย National Electrical Manufacturers Association (NEMA) โดยมีจุดประสงค์ เพื่อการเผยแพร่ ภาพทางการแพทย์ เช่น CT สแกน, MRIs, X-ray, หรือ Ultrasound และภาพทางการแพทย์อื่นๆ โดย DICOM เป็นรูปแบบของนามสกุลของไฟล์ที่ใช้ในการกำหนดให้เป็นมาตรฐาน

เดียวกัน เพื่อภาพจะสามารถแลกเปลี่ยนกันได้ในระหว่างเครื่องมือทางการแพทย์และซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ให้สามารถอ่านข้อมูลของคนไข้ที่มาจากเครื่องมือต่างชนิดหรือต่างบริษัทได้ [10]

2.4 สรีระบริเวณหัวเข่าและระนาบของร่างกาย (Anatomic Plane)

2.4.1 สรีระบริเวณหัวเข่า

ข้อเข่าเป็นข้อต่อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในร่างกาย และมีโครงสร้างที่ละเอียดซับซ้อน มีลักษณะแบบบานพับ (Hinge joint) ดังรูปที่ 2.4 อันประกอบด้วยกระดูกปลายของกระดูกต้นขา (Femur) กับส่วนต้นขาของกระดูกขา โดยที่มีกระดูกลูกสะบ้า (Patella) ประกบวางอยู่ด้านหน้าทำให้เกิดเป็นข้อเข่าขึ้นอันประกอบด้วยข้อต่อระหว่างกระดูกต้นขา กับกระดูกหน้าแข้ง (Tibiofemoral : ทิโบโอฟีมอรัล) และข้อต่อระหว่างกระดูกต้นขา กับกระดูกสะบ้า (Patellofemoral: พาเทลโลฟีมอรัล) ทำให้ข้อเข่าสามารถเคลื่อนไหวได้มากในการงอ (Flexion) การเหยียด (Extension) และมีการเคลื่อนไหวได้เล็กน้อยในแนวการหมุน (Rotation) การที่ข้อเข่าสามารถเคลื่อนไหวได้ดีในแนวดังกล่าว ก็ต้องอาศัยพวกกล้ามเนื้อและเอ็นที่ช่วยยึดให้ความมั่นคงแก่ข้อเข่า [12]

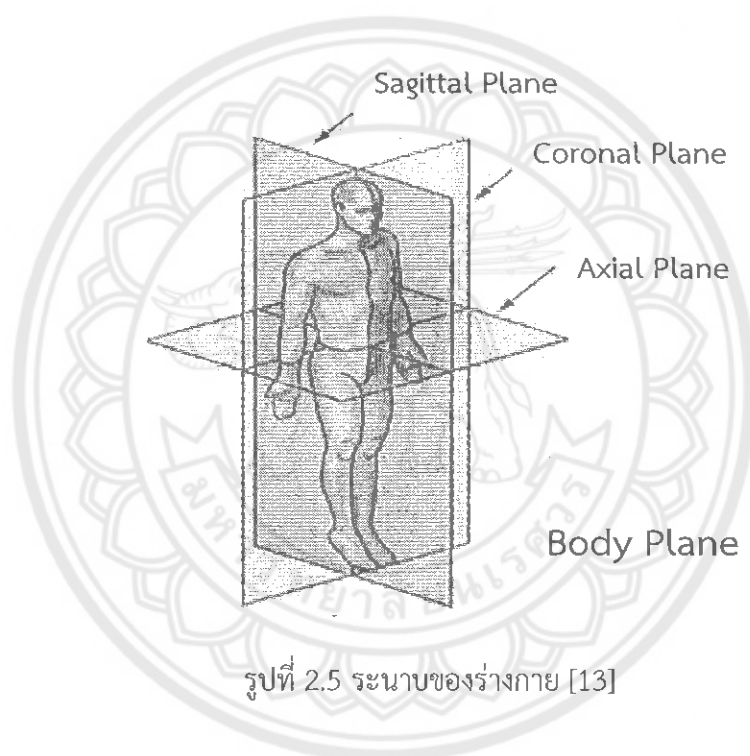


รูปที่ 2.4 สรีระของข้อเข่า [11]

2.4.2 ระนาบของร่างกาย

ในร่างกายของมนุษย์สามารถแบ่งระนาบการเคลื่อนไหวของร่างกายออกได้เป็น 3 ระนาบหลักดังต่อไปนี้

1. Sagittal plane คือ ระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ซีกซ้าย – ซีกขวา
2. Coronal plane คือ ระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ซีกหน้า – ซีกหลัง
3. Transverse plane หรือ Axial plane คือระนาบที่แบ่งส่วนของร่างกายออกเป็น ส่วนบน – ส่วนล่าง [13]



รูปที่ 2.5 ระนาบของร่างกาย [13]

2.5 สมบัติเชิงกลของวัสดุ

จากการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์พบว่า กระดูกจะมีสมบัติเชิงกลของวัสดุเช่น ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรง (Strength) ความเหนียว (Ductility) ความหนืด (Viscosity) ฯลฯ ซึ่งเป็นพฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุที่สามารถแสดงออกมาเมื่อมีแรงจากภายนอกหรือพลังงานเชิงกลที่มากกระทำได้ ในงานวิศวกรรมสมบัติเชิงกลมีความสำคัญมากที่สุดเพราะเมื่อการจะเลือกใช้วัสดุในการทดลองนั้น สิ่งแรกที่จะนำมาพิจารณาก็คือคุณสมบัติเชิงกลของมัน โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของสมบัติเชิงกลของวัสดุ เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาขั้นต่อไป ในการจัดทำโครงการนี้ได้ใช้ค่าสมบัติทางกลของกระดูกเป็นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) มีค่ายังโมดูลัส

(Young's modulus) เท่ากับ 17.5 GPa [14] ความหนาแน่น (Density) เท่ากับ 1,861 kg/m³ [14] และ อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) เท่ากับ 0.3 โมดูลัสของแรงเฉือน (Shear modulus) เท่ากับ 6.74 GPa และ ค่าความแข็ง ณ จุดคราก (Yield Strength) เท่ากับ 112.5 MPa [15]

2.5.1 ความเค้น

ตามความเป็นจริงความเค้นหมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้จึงมักจะกล่าวถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านภายใน [16] การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

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

สมการที่ 2.1

เมื่อ σ คือ ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1 N/m²) หรือ kgf/mm² หรือ psi (lb/in²)

P คือ แรงภายนอกที่มากระทำ มีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ: m² หรือ mm² หรือ in²

โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำก็คือ

1. ความเค้นดึง (Tensional stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้แรงดึง โดยแรงดึงจะต้องตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่กระทำนั้น ความเค้นดึงจะให้เครื่องหมายแสดงเป็นบวก ดังรูปที่ 2.6ก และมีสมการดังนี้

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A}$$

สมการที่ 2.2

เมื่อ σ_t คือ ความเค้นดึงที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N/m²

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุมีหน่วยเป็น m²

F_t คือ แรงดึงที่กระทำกับท่อนวัตถุตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็น N

2. ความเค้นอัด (Compressional stress) จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุอยู่ภายใต้ แรงอัดโดยแรงอัด จะต้องกระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุที่กระทำนั้นความเค้นดึงจะให้เครื่องหมายแสดง เป็นลบ ดังรูปที่ 2.6ข และมีสมการดังนี้

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

เมื่อ σ_c คือ ความเค้นอัดที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N/m^2

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุมีหน่วยเป็น m^2

F_c คือ แรงอัดที่กระทำกับท่อนวัตถุมีหน่วยเป็น N

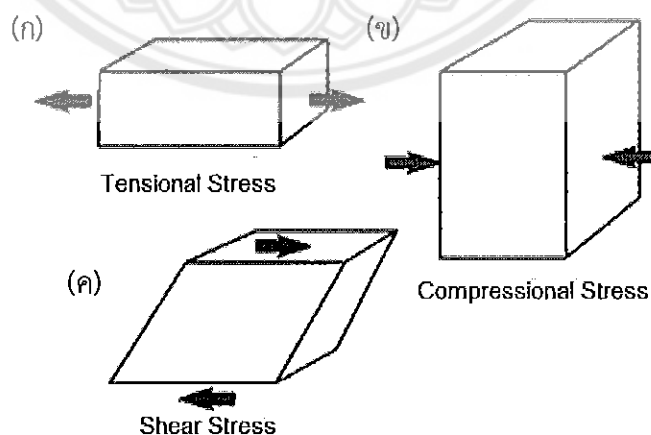
3. ความเค้นเฉือน (Shear stress) เป็นแรงภายนอกที่มากระทำต่อวัตถุนั้นโดยพยายามทำให้ วัตถุเกิดการขาดจากกันตามแนวระนาบที่ขนานกับทิศทางของแรงนั้น ดังรูปที่ 2.6ค และมีสมการดังนี้

$$\tau = \frac{F_s}{A} \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N/m^2

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุมีหน่วยเป็น m^2

F_s คือ แรงเฉือนที่กระทำกับท่อนวัตถุมีหน่วยเป็น N



รูปที่ 2.6 ลักษณะของความเค้นชนิดต่างๆ

2.5.2 ความเครียดและการเสียรูป

ความเครียด (Strain) คือ การเสียรูปของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเสียรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1. การเสียรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic deformation or Elastic Strain) เป็นการเสียรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำอะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ ยางยืด สปริง เป็นต้น

2. การเสียรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic deformation or plastic strain) เป็นการเสียรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

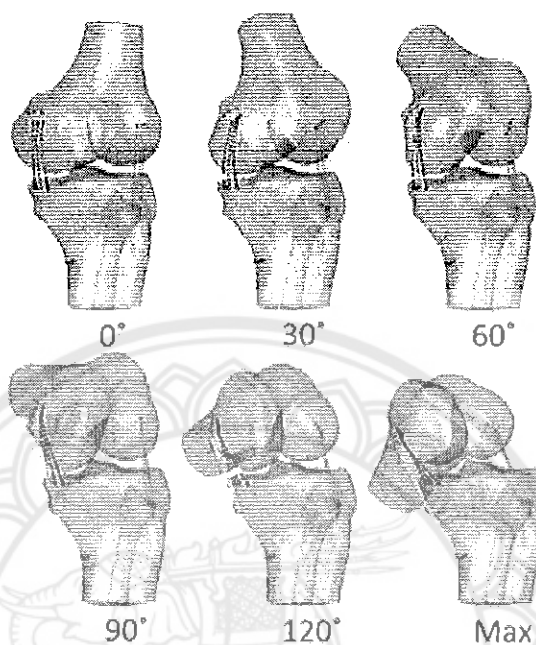
วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเสียรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำหรือความเค้น หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic limit) แล้ววัสดุนั้นก็จะมีพฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic deformation) [16]

2.6 กลศาสตร์ของหัวเข่า

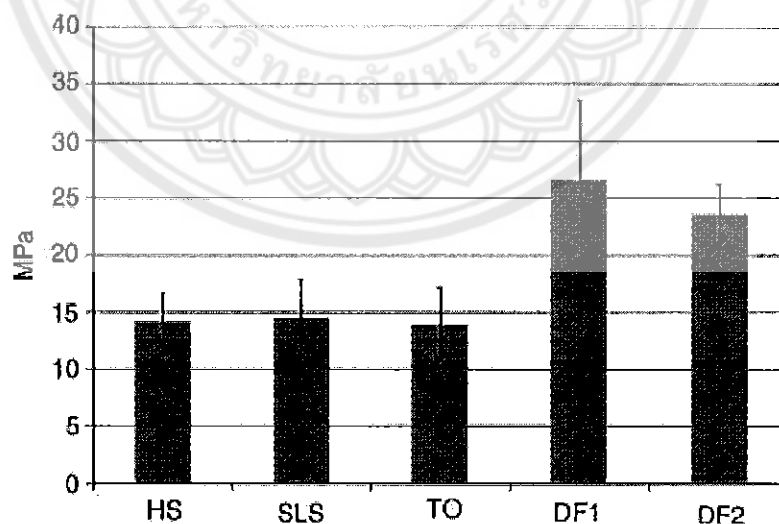
ตัวอย่างงานวิจัยโดย Ashvin Thambyah และคณะ [17] พบว่าความเค้นที่การสัมผัส (Contact stresses) ที่เกิดขึ้นบริเวณหัวเข่าเกิดจากการงอของหัวเข่า โดยศึกษาการเดินและการนั่งของมนุษย์ โดยการนำกระดูกบริเวณหัวเข่าที่มาจากศพของมนุษย์ มีผลสรุปว่าการเดินและการนั่งของหรือในทุกๆ กิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยมีการใช้หัวเข่าจะเกิดความเค้นขึ้นไม่มากก็น้อย โดยความเค้นที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่เท่ากันในทั้งหมดของพื้นที่ที่ได้รับแรง จะขึ้นอยู่กับพื้นที่สัมผัส (Contact area) ของกระดูกและองศาบริเวณข้อต่อทیبิโอไฟมอร์ลที่กระทำกันอยู่ [17]

โดยการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นเมื่อให้แรงกับหัวเข่าอยู่ที่ 700 – 1000 N ที่บริเวณข้อต่อ ทیبิโอไฟมอร์ล ด้วยการติดตั้งแผ่นฟิล์มบางๆ หรือ electronic pressure transducer ไว้ระหว่างข้อต่อนี้ เพื่ออ่านค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับจุดต่างๆ โดยจำลองการเดินและการงอเข่าดังนี้ [17] Heel Strike (HS), Toe Off (TO) โดยกำหนดให้มีการงอประมาณ 2 องศา, Single Limb Stance (SLS) โดยกำหนดให้มีการงอประมาณ 15.5 องศา, การงอเข่า 90 องศา (DF1) และการงอ

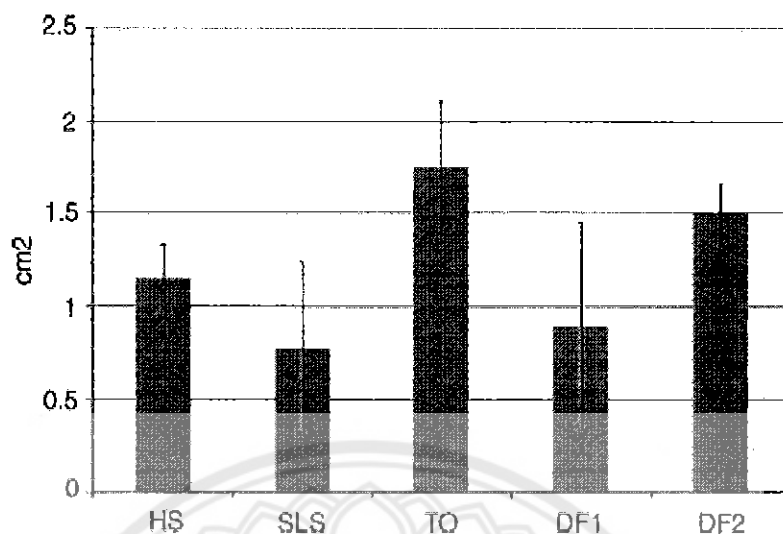
เข้ามากกว่า 120 องศา (DF2) (รูปที่ 2.7) โดยผลของความเค้นและพื้นที่สัมผัสของข้อเข่าแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 ลักษณะองศาการงอของข้อเข่า [18]

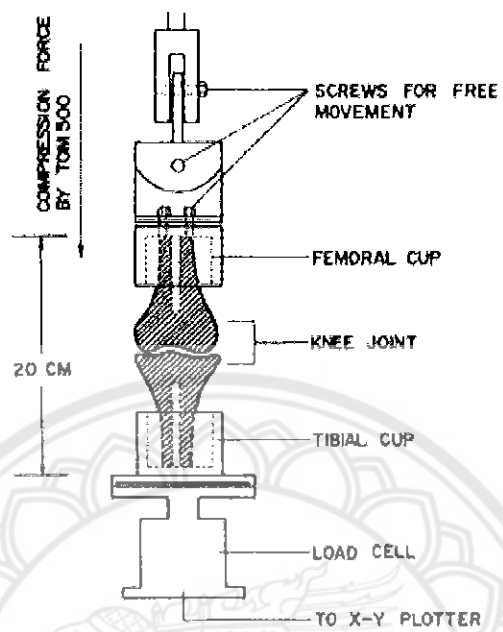


รูปที่ 2.8 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ข้อเข่าในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ Heel Strike (HS), Toe Off (TO), Single Limb Stance (SLS), การงอเข่า 90 องศา (DF1), การงอเข่ามากกว่า 120 องศา (DF2) [17]

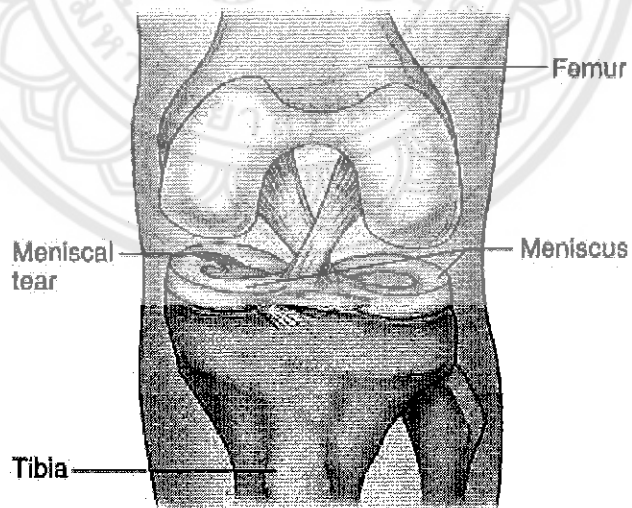


รูปที่ 2.9 พื้นที่สัมผัสที่เกิดขึ้นที่ข้อเข่าในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ Heel Strike (HS), Toe Off (TO), Single Limb Stance (SLS), การงอเข่า 90 องศา (DF1), การงอเข่ามากกว่า 120 องศา (DF2) [17]

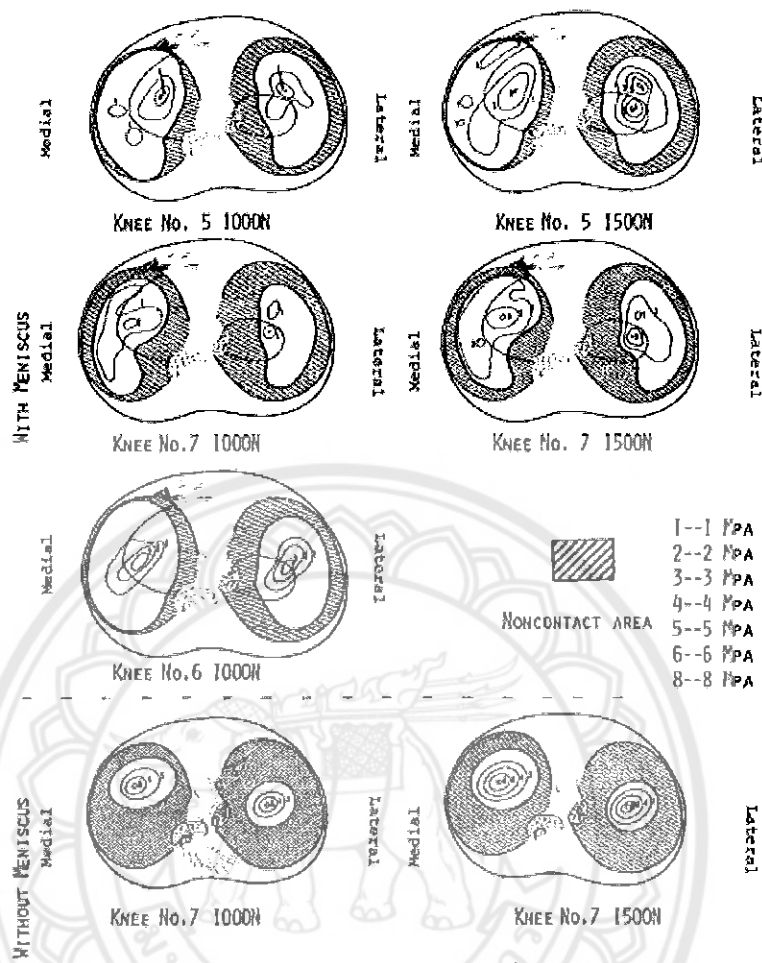
งานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] ได้ทำการนำกระดูกบริเวณหัวเข่า คือ กระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้งมาศึกษาเพื่อตรวจสอบพื้นที่สัมผัส และการกระจายของความดันที่เกิดขึ้นที่ข้อต่อทیبิโอไฟมอร์ล ซึ่งกระทำโดยการนำกระดูกทั้งสองมาประกบกัน ดังรูปที่ 2.10 โดยที่กระดูกต้นขาถูกยึดไว้กับอุปกรณ์ที่สามารถปรับองศาได้ และกระดูกหน้าแข้งถูกยึดติดกับอุปกรณ์ที่มีโหลดเซลล์ (Load cell) ติดตั้งอยู่ในส่วนของข้อต่อระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสของกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้งได้ทำการติดตั้งแผ่นฟิล์มไว้เพื่อใช้ในการอ่านค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับจุดต่างๆ และกำหนดภาระกระทำที่ 1,000 N เป็นแรงกดที่กระดูกต้นขาเพื่อวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัสของกระดูกหน้าแข้ง โดยทำการทดลอง 2 แบบคือข้อต่อที่มีและไม่มีเนื้อเยื่อ Meniscus (รูปที่ 2.11) ซึ่งได้จำลองเนื้อเยื่อ Meniscus ขึ้นจากยางซิลิโคน พบว่าเมื่อพื้นที่สัมผัสของข้อต่อทیبิโอไฟมอร์ลลดน้อยลง จะทำให้ความเค้นสัมผัส เพิ่มมากขึ้น โดยจากการทดลองพบว่ากรณีที่หัวเข่าไม่มีเนื้อเยื่อ Meniscus ก็จะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสของกระดูกหน้าแข้งลดลง และทำให้เกิดความดันที่การสัมผัสเพิ่มมากขึ้น (รูปที่ 2.12) จึงสรุปได้ว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีผลต่อการเสื่อมของหัวเข่า



รูปที่ 2.10 การติดตั้งกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้ง [19]



รูปที่ 2.11 เนื้อเยื่อ Meniscus ที่ข้อต่อทibia femoral [20]



รูปที่ 2.12 การเปรียบเทียบความเค้นสัมผัสต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของหัวเข่า ที่มีและไม่มีเนื้อเยื่อ Meniscus [19]

2.7 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้แก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ หรือทางวิศวกรรม และอื่นๆ รูปแบบปัญหาคือ การหาฟังก์ชันการกระจายตัวของตัวแปรในระบบสามมิติ ซึ่งปัญหาแต่ละอันจะสามารถอธิบายด้วย Differential equation และ Integral equation

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ องค์ประกอบย่อยๆ ของโดเมนโครงสร้างสำหรับวิธีการของ FEM โดเมนของโครงสร้างถูกแบ่งย่อยเป็นองค์ประกอบย่อยๆ ที่มีรูปร่างอย่างง่ายขนาดเล็ก องค์ประกอบย่อยๆ นี้จะถูกเรียกเป็นเอลิเมนต์ (Element) โดเมนของโครงสร้าง: มีระดับความเสรีแบบอนันต์ (Infinite number of DOF) โดเมนของแบบจำลอง มีระดับความเสรีจำกัด (Finite number of DOF) ในแต่ละเอลิเมนต์การกระจายตัวของตัวแปรที่สนใจนั้น จะมีค่าต่างกันตามตำแหน่งใดๆ ดังรูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างของรูปร่าง Mesh, Element และ Node โดยมีสมการพื้นฐานดังนี้ [21]

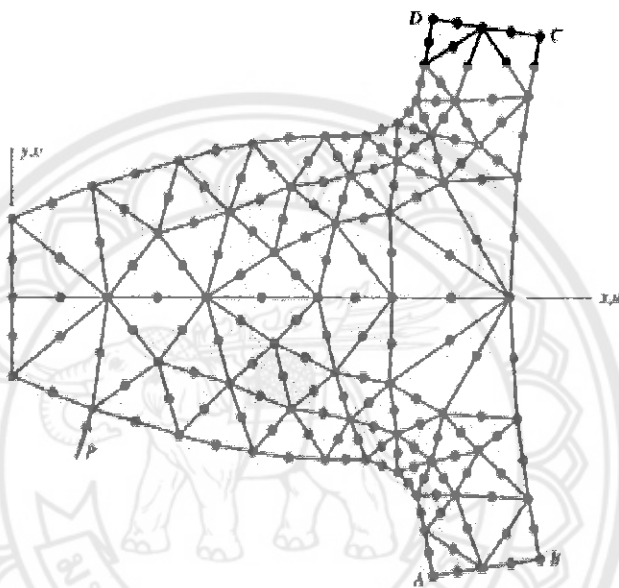
$$F = Kd$$

สมการที่ 2.6

โดยที่ F คือ แรงที่กระทำแต่ละโหนด

K คือ ความต้านทานของวัสดุต่อการเสียรูปภายใต้แรงกระทำในช่วงยืดหยุ่นของแต่ละเอลิเมนต์

d คือ ระยะเคลื่อนตัวที่เปลี่ยนไปของแต่ละโหนด



รูปที่ 2.13 รูปร่าง Mesh, Element และ Node [21]

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการจัดทำโครงงานเล่มนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์แบบเปิดเผยแพร่ที่สนับสนุนแบบและแบบเสิร์ชที่ใช้สร้างโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์ เพื่อการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มีสถานที่ปฏิบัติงาน อุปกรณ์ ซอฟต์แวร์ และวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.1 สถานที่ปฏิบัติงาน อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

3.1.1 สถานที่ปฏิบัติงาน

ก. หน่วยวิจัยเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมความเที่ยงตรงและการแพทย์ อาคารภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้

ก. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กพกพา จำนวน 3 เครื่อง

ข. คอมพิวเตอร์เพื่อการประมวลผลขั้นสูง จำนวน 1 เครื่อง

3.1.3 ซอฟต์แวร์

ก. SOLIDWORKS

ข. SOLIDWORKS Simulation

ค. ซอฟต์แวร์สำหรับงานแบ่งส่วนภาพและขึ้นรูปโมเดลสามมิติที่สืบค้นได้

1. ITK-SNAP

2. InVesalius 3.0

3. TurtleSeg

ง. ซอฟต์แวร์สำหรับงานปรับความเรียบเนียนของพื้นผิวโมเดลสามมิติ

1. Meshlab

2. blender

3. netfabb basic

ฉ. Microsoft office

3.2 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ทั้งแบบโอเพนซอร์สและแบบฟรีแวร์ ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลภาพสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์ รวมไปถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษาวรรณกรรมปริทัศน์

วรรณกรรมปริทัศน์ที่ได้ทำการศึกษาจะนำมาเป็นความรู้พื้นฐานในการจัดทำโครงการ โดยเป็นวรรณกรรมปริทัศน์ที่เกี่ยวกับขั้นตอนการถ่ายภาพทางการแพทย์ การขึ้นรูปโมเดลสามมิติ การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และชีวกลศาสตร์พื้นฐานของข้อเท้า ซึ่งใช้เป็นกรณีศึกษาในโครงการนี้ด้วย

3.2.2 การสืบค้นซอฟต์แวร์

สืบค้นเฉพาะซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์สและฟรีแวร์ ที่เกี่ยวข้องกับภาพถ่ายทางการแพทย์ และการสร้างโมเดลสามมิติโดยใช้คำสำคัญดังตัวอย่างต่อไปนี้

ก Segmentation คำนี้เป็นคำสำคัญที่มีความหมายว่าการแบ่งส่วนชุดข้อมูล การแบ่งส่วนคือการแบ่งส่วนภาพถ่ายสองมิติทางการแพทย์ ตัวอย่างเช่น การแบ่งส่วนภาพที่เป็นกระดูก กระดูกอ่อน กล้ามเนื้อและเอ็นออกจากกัน โดยคำว่า Segmentation สามารถเชื่อมโยงกับคำว่า reconstruction ที่มีความหมายว่าการก่อสร้างใหม่ และคำว่า 3D หรือสามมิติเชื่อมโยงเข้าไป ทำให้เกิดคำใหม่ที่มีความหมายได้ว่า การสร้างภาพสามมิติขึ้นมาใหม่ (3D reconstruction) ซึ่งทั้งสามคำนั้นประกอบกันจะให้ความหมายว่า การสร้างภาพสามมิติขึ้นมาใหม่โดยการแบ่งส่วน (Segmentation 3D reconstruction) ทางคณะผู้จัดทำจึงได้นำกลุ่มคำนี้มาเป็นหนึ่งในคำสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นซอฟต์แวร์

ข. What is the best software for 3D reconstruction of 2D image stack?
เป็นประโยคคำถาม ที่มีความหมายว่าซอฟต์แวร์ใดเป็นซอฟต์แวร์ที่ดีที่สุดในการสร้างภาพสามมิติขึ้นมาใหม่จากชุดข้อมูลภาพสองมิติ ซึ่งคณะผู้จัดทำเลือกใช้การตั้งเป็นประโยคคำถาม เนื่องจากต้องการสืบค้นข้อมูลจาก เว็บบอร์ด (Webboard) หรือกระดานสนทนา ที่บรรดาเหล่าผู้ที่ต้องการสืบค้นซอฟต์แวร์ประเภทนี้เหมือนกันได้ทำการแลกเปลี่ยนความรู้ หรือแนะนำซอฟต์แวร์ให้แก่กัน

ค. 3D model creator เป็นการสร้างกลุ่มค่าง่ายๆ ขึ้นมานั้นคือ Creator หรือผู้สร้าง มารวมกับ 3D model ที่มีความหมายว่า แบบจำลองสามมิติ ซึ่งสามารถให้ความหมายรวมกันคือ ผู้สร้างแบบจำลองสามมิติ

ง. 3D reconstruction from 2D มีความหมายใกล้เคียงกับข้อ ข. แต่เป็นเพียงการผสมคำที่มีความหมายเชื่อมโยงกันได้ให้ออกมากระทัดรัด

จ. Medical image segmentation เป็นการเชื่อมคำสองคำนั้นคือ Medical image ซึ่งมีความหมายว่า ชุดข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์ และ Segmentation ที่หมายถึงการแบ่งส่วน สามารถให้ความหมายรวมกันได้ว่า การแบ่งส่วนภาพถ่ายทางการแพทย์ ซึ่งประเด็นหลักของโครงการนี้คือ ชุดข้อมูลภาพถ่ายทางการแพทย์ และการแบ่งส่วนของอวัยวะภายในร่างกายออกมาเพื่อใช้ในการทำการวิเคราะห์ คณะผู้จัดทำจึงได้ใช้กลุ่มคำนี้มาเป็นหนึ่งในคำสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นซอฟต์แวร์

ฉ. 3D reconstruction open source + freeware เป็นการสืบค้นที่ใช้คำสำคัญเพื่อให้ได้ซอฟต์แวร์ที่มีความครอบคลุมแคบลง ซึ่งเป็นประเด็นหลักของโครงการนี้คือ ต้องการได้ซอฟต์แวร์ที่เป็นโอเพนซอร์ส และฟรีแวร์ ความหมายโดยรวมของคำสำคัญนี้คือ ฟรีแวร์แบบเปิดเผยรหัสต้นฉบับที่สามารถสร้างภาพสามมิติขึ้นมาใหม่ได้

3.2.3 การทดลองใช้งานซอฟต์แวร์

ก. นำเข้าซอฟต์แวร์และทำการแบ่งส่วนภาพของชุดภาพถ่ายทางการแพทย์

ข. ทำการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

ค. ส่งออกรูปโมเดลสามมิติเพื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไป โดยหลังจากขึ้นรูปโมเดลสามมิติเสร็จแล้ว จำเป็นต้องส่งออกข้อมูลโมเดลสามมิติออกมาเป็นนามสกุล .STL เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ต่อไป

3.2.4 การคัดเลือกซอฟต์แวร์

จากที่ได้ทำการทดลองใช้ซอฟต์แวร์ ทำให้ทราบถึงข้อดี ข้อเสีย ลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันของซอฟต์แวร์ต่างๆ และทำการบันทึกข้อมูลข้อเพื่อคัดเลือกและเปรียบเทียบซอฟต์แวร์โดยซอฟต์แวร์ที่ไม่ผ่านการคัดเลือกจะหมายถึงซอฟต์แวร์ที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. ซอฟต์แวร์ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้ แต่ไม่สามารถส่งออกได้ อาจเป็นซอฟต์แวร์ที่ผู้ผลิตต้องการให้ผู้สนใจดาวน์โหลดไปทดลองใช้ จึงมีข้อจำกัดหลายอย่างในการใช้งาน ข้อจำกัดเหล่านี้จะหมดไปเมื่อผู้ใช้ซื้อสิทธิ์ของซอฟต์แวร์ฉบับเต็ม หรือเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้แสดงภาพถ่ายทางการแพทย์เท่านั้น เป็นต้น

2. ซอฟต์แวร์ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้ แต่ไม่สามารถเลือกขอบเขต ณ จุดที่สนใจได้ หากแต่เป็นการขึ้นรูปโมเดลสามมิติโดยที่ซอฟต์แวร์จะประมวลผลออกมาเป็นภาพรวมทั้งหมด

3.2.5 การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

หลังจากทำการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ จะนำโมเดลสามมิติเข้าซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยจะกำหนดค่าคุณสมบัติของกระดูก ฐานจับยึดแน่น กำหนดการกระทำเป็นแรงกด สร้างเอลิเมนต์ โดยอ้างอิงข้อมูลของงานวิจัยก่อนหน้า หลังจากนั้นสรุปผลการวิเคราะห์กับผลของงานวิจัยก่อนหน้า

3.2.6 การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์

การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สและ/หรือฟรีแวร์ทำโดยการเลือกคุณลักษณะต่างๆ ที่สำคัญ 3 ส่วนดังนี้

- ก. ด้านการแบ่งส่วน และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ
- ข. ด้านส่งออกไฟล์
- ค. ด้านการประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

วิธีการที่ใช้ทำการเปรียบเทียบ เช่น ให้สมาชิกแต่ละคนทำการทดลองใช้งานแต่ละซอฟต์แวร์ด้วยตนเอง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินผลร่วมกัน จะเน้นคุณลักษณะสำคัญไปที่การขึ้นรูปโมเดลสามมิติและการส่งออกข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์ที่ประมวลผลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.2.7 สรุปผลการดำเนินงาน

บทที่ 4 การคัดเลือกซอฟต์แวร์

จากการใช้คำสำคัญในการสืบค้นซอฟต์แวร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 สามารถสืบค้นซอฟต์แวร์ได้ทั้งสิ้นจำนวน 24 ซอฟต์แวร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 คณะผู้จัดทำจึงได้ทำการคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานได้โดยมีวิธีการในการคัดเลือกซอฟต์แวร์และสรุปผลการคัดเลือกซอฟต์แวร์ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์

จากการสืบค้นซอฟต์แวร์ดังกล่าวพบซอฟต์แวร์ทั้งหมด 24 ซอฟต์แวร์ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์

ลำดับที่	รายชื่อซอฟต์แวร์	ประเภทซอฟต์แวร์	ผู้พัฒนา	แหล่งดาวน์โหลด
1	invesalius 3.0	Freeware	Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), บราซิล	http://www.cti.gov.br/invesalius/?page_id=8
2	ITK-SNAP	Open Source	ITK-SNAP, สหรัฐอเมริกา	http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php?n=Downloads.SNAP3
3	TurtleSeg	Freeware	Simon Fraser University and the Biomedical Signal and Image Computing Laboratory at the University, โคลัมเบีย	http://www.turtlesseg.org/index.php?page=software

ตารางที่ 4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์ (ต่อ)

4	LiverSegm	Open Source	Ronda de Valencia, สเปน	http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Investiga/Bioingenieria/ABE/projects/Liver-Segm.html
5	cardioviz3d	Open Source	Eurographics Workshop on Visual Computing for Biomedicine (VCBM), เนเธอร์แลนด์	http://www.sop.inria.fr/asclepios/software/CardioViz3D/
6	minimagics 3.0	Freeware	Materialise, เบลเยียม	http://software.materialise.com/downloads
7	Amide	Open Source	Pablo Sau, สเปน	http://amide.sourceforge.net/
8	3 dim viewer	Open Source	3Dim Laboratory s.r.o., สาธารณรัฐเช็ก	http://www.3dim-laboratory.cz/en/download/3dimviewer
9	Gimias	Open Source	Centre for Computational Imaging and Simulation Technologies (CISTIB), สเปน	http://www.gimias.org/index.php/download
10	mitk workbench	Open Source	German Cancer Research Center Division of Medical and Biological Informatics, เยอรมัน	http://mitk.org/wiki/Downloads
11	3D Slicer	Open Source	Dr. Kikinis, Dr. Kikinis สหรัฐอเมริกา	http://download.slicer.org

ตารางที่ 4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์ (ต่อ)

12	3D Doctor	Freeware	ABLE SOFTWARE CORP. สหรัฐอเมริกา	http://www.ables.com/3d-doctor/download.html
13	Sliceomatic	Freeware	B.J. Fregly, Computational Biomechanics Lab, University of Florida, สหรัฐอเมริกา	http://www.tomovision.com/download/download_sliceo.html
14	GEHC MicroView	Open Source	ATAMAI INC., แคนาดา	http://sourceforge.net/projects/microview/files
15	VRRender	Open Source		https://code.google.com/p/fw4spl/wiki/vrrender
16	VolViewer	Open Source	Dr Jerome Avondo Supported by the BBSRC through UEA Computing School and JIC, อังกฤษ	http://www.kitware.com/opensource/vdownload.html
17	MiaLite	Freeware	Chunliang Wang Medical Physics, Orjan Smedby Professor of Medical Image Processing KTH Royal Institute of Technology, Hans Frimmel Uppsala University, สวีเดน	http://www.mia-solution.com/downloads.html
18	FSL	Freeware	FMRIB Analysis Group oxford University, อังกฤษ	http://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fs/fslwiki/FslInstallation

ตารางที่ 4.1 ผลการสืบค้นซอฟต์แวร์ (ต่อ)

19	NIR Fast & NIR view	Open Source	M. Jermyn, H. Ghadyani, M.A. Mastanduno, W. Turner, S.C. Davis, H. Dehghani, and B.W. Pogue, อังกฤษ	http://www.dartmouth.edu/~nir/nirfast/
20	NiffyREg			
21	ANTS			
22	DTI-TK	Open Source	Ph.D. thesis at Penn Image Computing and Science Laboratory (PICSL), University of Pennsylvania, Gary, now at Microstructure Imaging Group of Centre for Medical Image Computing (CMIC) and Department of Computer Science, University College London, สหรัฐอเมริกาและอังกฤษ	http://dti-tk.sourceforge.net/pmwiki/pmwiki.php?n=Downloads.HomePage
23	MEDVISO	Open Source	Einar Heiberg Brandt Founder, Helen Fransson President, Christel Brandt Jepson Administration and Economy, Nils Lundahl Software Developer, Jane Tufvesson Software Developer, สวีเดน	http://medviso.com/download2
24	Cmake	Open Source	Kitware Group, สหรัฐอเมริกาและฝรั่งเศส	http://www.cmake.org/download/

4.2 ผลการคัดเลือกซอฟต์แวร์

จากผลการสืบค้น ซอฟต์แวร์ทั้งหมดจะถูกคัดเลือกโดยพิจารณาจากการทำงานหลักๆ คือ การนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ การ Segmentation ภาพถ่ายทางการแพทย์ การขึ้นรูปโมเดลสามมิติและการส่งออกรูปโมเดลสามมิติ มีซอฟต์แวร์ที่ผ่านเกณฑ์การพิจารณาตามขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 4.1)

4.2.1 การนำเข้าไฟล์ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์เข้าสู่ซอฟต์แวร์

การนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์เข้าสู่ซอฟต์แวร์ที่สืบค้นมานั้น ซอฟต์แวร์นั้นๆ ต้องสามารถแสดงชุดภาพถ่ายได้ทั้งหมดทุกภาพเพื่อที่จะนำมาทำ Segmentation ทีละภาพ หลังจากที่คุณผู้จัดทำได้ทดลองใช้ซอฟต์แวร์ทั้งหมด 24 ซอฟต์แวร์แล้วนั้นพบว่า มีซอฟต์แวร์อยู่จำนวน 7 ซอฟต์แวร์ที่สามารถนำเข้าไฟล์ภาพถ่ายทางการแพทย์ได้ทั้งหมดชุดภาพถ่ายดังนี้ ITK-SNAP, InVesalius 3.0, TurtleSeg, Amide, 3 dim viewer, Gimias และ VolViewer

4.2.2 การ Segmentation ภาพถ่ายทางการแพทย์

หลังจากนำเข้าไฟล์ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์เข้าสู่ซอฟต์แวร์ได้แล้วนั้น ถัดไปเป็นการ Segmentation การที่จะทำ Segmentation ได้นั้นแต่ละซอฟต์แวร์จะต้องมีคำสั่งการทำงานในด้านนี้เช่น การวาดขอบเขตที่ต้องการจะทำ Segmentation เป็นต้น ซอฟต์แวร์ทั้งหมด 7 ซอฟต์แวร์ที่ผ่านขั้นตอนที่ 4.2.1 มานั้นพบว่า มีซอฟต์แวร์อยู่จำนวน 3 ซอฟต์แวร์ที่มีคำสั่งและความสามารถในการทำ Segmentation จึงนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไปได้คือซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg (วิธีการ Segmentation ของแต่ละซอฟต์แวร์จะแสดงในภาคผนวก ก) ส่วนซอฟต์แวร์ Amide, Gimias และ VolViewer ไม่มีคำสั่งในการ Segmentation และทั้งสามซอฟต์แวร์นี้มีลักษณะการทำงานคล้ายกันคือเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดูหรือตรวจสอบชุดภาพถ่ายเป็นหลัก ส่วนซอฟต์แวร์ 3 dim viewer สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้โดยจะประมวลผลออกมาเป็นรูปโมเดลหัวเข่าทั้งหมด แต่ไม่สามารถทำ Segmentation เพื่อเลือกส่วนที่ต้องการจะขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้

4.2.3 การขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์

การขึ้นรูปโมเดลสามมิติต้องทำโดยการ Segmentation ในส่วนที่ต้องการก่อน หลังจากนั้นจึงใช้คำสั่งของแต่ละซอฟต์แวร์ทำการประมวลผลจากรูปสองมิติให้ได้เป็นรูปโมเดลสามมิติ ซึ่งทั้ง 3 ซอฟต์แวร์ที่ผ่านการ Segmentation สามารถทำการขึ้นรูปได้ทั้งหมดคือ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg

4.2.4 การส่งออกไฟล์รูปโมเดลสามมิติไปยัง SOLIDWORKS Simulation

การส่งออกไฟล์ไปยัง SOLIDWORKS Simulation สำหรับการทำโครงการนี้ใช้นามสกุลไฟล์ .STL เป็นหลัก ซึ่งซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg สามารถส่งออกไฟล์ .STL และอื่นๆ ได้ทั้งสามซอฟต์แวร์

4.3 ผลสรุปการคัดเลือกซอฟต์แวร์

จากการคัดเลือกซอฟต์แวร์โดยทดลองใช้งานทุกซอฟต์แวร์ที่ได้จากการสืบค้น พบว่าซอฟต์แวร์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกอยู่ 17 ซอฟต์แวร์ ซึ่งไม่สามารถนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ได้ และมีซอฟต์แวร์ที่ผ่านเกณฑ์การคัดเลือกจาก 24 ซอฟต์แวร์เหลือเพียง 3 ซอฟต์แวร์เท่านั้น คือ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg โดยจะนำซอฟต์แวร์ทั้ง 3 นี้ไปใช้ในการทดสอบโมเดลสามมิติและนำไปทำการเปรียบเทียบการใช้งาน ข้อดี ข้อเสียในบทถัดไป



ซอฟต์แวร์ที่ได้จากการสืบค้นทั้งหมด 24 ซอฟต์แวร์

24 ซอฟต์แวร์



คัดเลือกซอฟต์แวร์จากความสามารถในการนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ได้ทั้งหมด 7 ซอฟต์แวร์

ITK-SNAP, InVesalius 3.0, TurtleSeg, Amide, 3 dim viewer, Gimias, VolViewer



คัดเลือกซอฟต์แวร์จากความสามารถในการแบ่งส่วนและการขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้ทั้งหมด 3 ซอฟต์แวร์

ITK-SNAP, InVesalius 3.0, TurtleSeg



ได้ซอฟต์แวร์ที่สามารถส่งออกไฟล์และนำไปใช้งานได้ทั้งหมด 3 ซอฟต์แวร์

ITK-SNAP, InVesalius 3.0, TurtleSeg

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการคัดเลือกซอฟต์แวร์

บทที่ 5

การทดสอบโมเดลสามมิติ

จากการศึกษาวิธีใช้งานและทดลองเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ของแต่ละซอฟต์แวร์แล้วพบว่า มีซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้หลักๆ อยู่ 3 ซอฟต์แวร์คือ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg จึงได้นำซอฟต์แวร์ดังกล่าวนี้มาใช้ในการทดสอบการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ สำหรับการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์โดยสมบูรณ์จะปรากฏอยู่ในบทที่ 6

จุดประสงค์หลักของบทนี้คือการทดสอบโมเดลสามมิติที่ขึ้นรูปโดยใช้ภาพถ่ายทางการแพทย์จากซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ Turtleseg เพื่อยืนยันหรือพิสูจน์ว่าโมเดลสามมิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ทั้งสามนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในซอฟต์แวร์ที่สามารถวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ เช่น ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ได้ คณะผู้จัดทำจึงได้นำชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ของข้อเข่าชุดหนึ่งมาใช้เป็นกรณีศึกษา

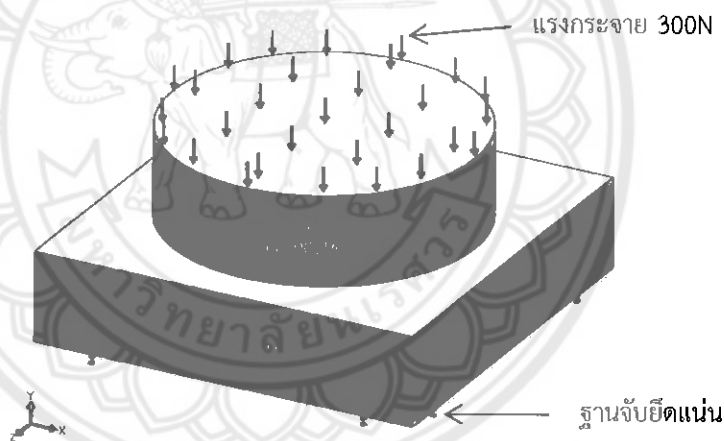
สำหรับการทดลองวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ของข้อเข่าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการวิเคราะห์หาความเค้น และการเสียรูป ที่เกิดขึ้นบริเวณข้อเข่า ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เริ่มจากการทดสอบซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation โดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์ความเค้นและการเสียรูปของรูปแบบจำลองอย่างง่ายสองลักษณะ ได้แก่ แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบและแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์โมเดลข้อเข่าจริง

ในส่วนของแบบจำลองอย่างง่าย เป็นการเปรียบเทียบผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ที่ได้จากการแปรขนาดของเอลิเมนต์เพื่อพิจารณาหาขนาดของเอลิเมนต์ที่ให้ผลการวิเคราะห์ความเค้นใกล้เคียงกับผลการคำนวณจากทางทฤษฎี ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบจำลองอย่างง่ายนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างความมั่นใจในความถูกต้องแม่นยำและควมมีเสถียรภาพในการคำนวณของซอฟต์แวร์ ดังนั้น ประโยชน์อีกประการหนึ่งของขั้นตอนนี้คือให้ผู้ใช้ได้มีโอกาสศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์อย่างถูกต้อง ตลอดจนฝึกฝนและสร้างประสบการณ์จนเกิดความมั่นใจก่อนที่จะนำซอฟต์แวร์ไปวิเคราะห์กับโมเดลข้อเข่าจริง

5.1 การวิเคราะห์แบบจำลองอย่างง่าย

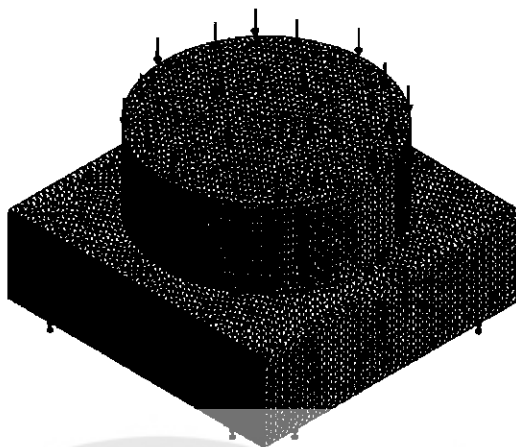
5.1.1 แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ

ก. ขั้นตอนการวิเคราะห์ แบบจำลองประกอบด้วยวัสดุสองชิ้นสัมผัสกันโดยมีหน้าสัมผัสเรียบ วัสดุชิ้นที่ 1 เป็นฐานมีลักษณะเป็นแท่นสี่เหลี่ยมมีขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 100x100x30 mm วัสดุชิ้นที่ 2 มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 mm หนา 30 mm วางอยู่บนฐานโดยให้ตำแหน่งกึ่งกลางของหน้าสัมผัสของสองวัตถุอยู่ตรงกันดังรูปที่ 5.1 ในการวิเคราะห์ กำหนดให้ชิ้นงานทั้งสองผลิตจากเหล็กกล้าผสม (Alloy steel) มีโมดูลัสของยังเป็น 210 GPa และอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.28 ความหนาแน่นเท่ากับ $7,700 \text{ kg/m}^3$ โมดูลัสของแรงเฉือนเท่ากับ 79 GPa และ ค่าความแข็ง ณ จุดครากเท่ากับ 620 MPa [3] กำหนดภาระกระทำเป็นแรงกดซึ่งเป็นแรงกระจายขนาด 300 N กระจายสม่ำเสมอที่ผิวบนของวัตถุทรงกระบอก และที่ฐานจับยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนที่ (Fixed displacement)



รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ

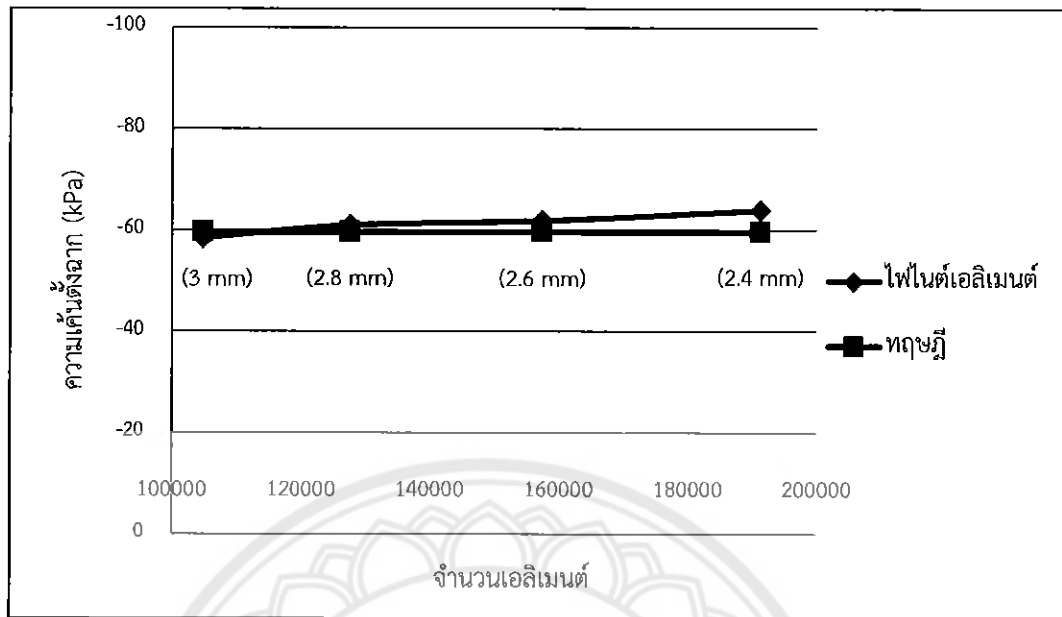
เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเอลิเมนต์ทรงพีระมิดฐาน 3 เหลี่ยม 10 โหนด (Tetrahedral 10-node) ดังรูปที่ 5.2 ในการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมของเอลิเมนต์ทำโดยปรับขนาดของเอลิเมนต์ตั้งแต่ 3.0 mm, 2.8 mm, 2.6 mm จนถึง 2.4 mm แล้วทำการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปที่วิเคราะห์ได้จากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation กับทฤษฎี



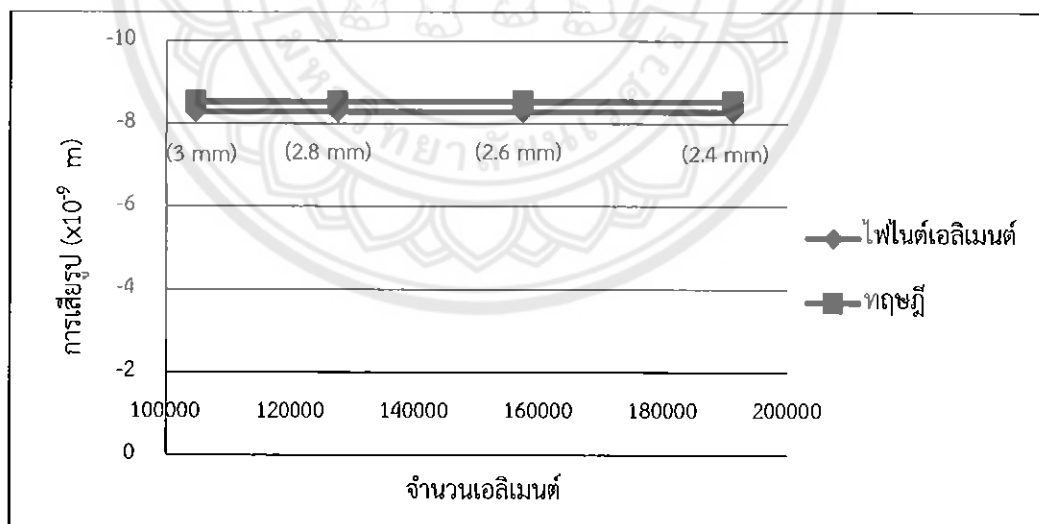
รูปที่ 5.2 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ

ข. ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งหมดแสดงอยู่ที่ภาคผนวก ค ในที่นี้ได้ยกตัวอย่างแสดงผลการคำนวณโดยเลือกขนาดเอลิเมนต์ที่ 3.0 mm มีเอลิเมนต์จำนวน 104,789 เอลิเมนต์ ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีและคำนวณเสร็จสิ้นภายในระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบความเค้นดึงระหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสเรียบที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน โดยการแปรขนาดของเอลิเมนต์ระหว่าง 2.4-3 mm



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบการเสียรูประหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสเรียบที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน โดยการแปรขนาดของเอลิเมนต์ระหว่าง 2.4-3 mm

ในกรณีที่โครงสร้างมีลักษณะตรง และขนาดพื้นที่หน้าตัดของวัตถุทั้ง 2 มีขนาดคงที่รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นส่วนประกอบคงที่ในทุกๆ ตำแหน่ง ทิศทางของโครงสร้างมีการกระจายวัสดุอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีช่องว่างใดๆเกิดขึ้น เมื่อมีแรงกระทำผ่านวัตถุทรงกระบอกไปจนถึงวัตถุที่เป็นฐานสี่เหลี่ยมเป็นวัตถุรับแรงตามแนวแกน Y จึงสามารถคำนวณความเค้นตึงฉาก (Normal Stress) และการเสีรูปร่างตามแนวแกน Y ได้ดังนี้

ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y ณ บริเวณหน้าสัมผัสเรียบที่คำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เท่ากับ $-58,490$ Pa ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีดังสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{-300\text{N}}{\left(\frac{\pi}{4} \times 0.08^2\right)} = -59,683 \text{ Pa}$$

เมื่อ σ คือ แรงภายนอกต่อหน่วยพื้นที่ (Pa)

F คือ แรงภายนอกตามแนวแกนที่กระทำต่อวัตถุ (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)

การเสีรูปร่างตามแนวแกน Y ณ บริเวณหน้าสัมผัสเรียบที่คำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เท่ากับ -8.276×10^{-9} m ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีดังสมการ

$$\delta = \frac{PL}{EA} = \frac{-300 \times 0.03}{2.1 \times 10^{11} \times \left(\frac{\pi}{4} \times 0.08^2\right)} = -8.5261 \times 10^{-9} \text{ m}$$

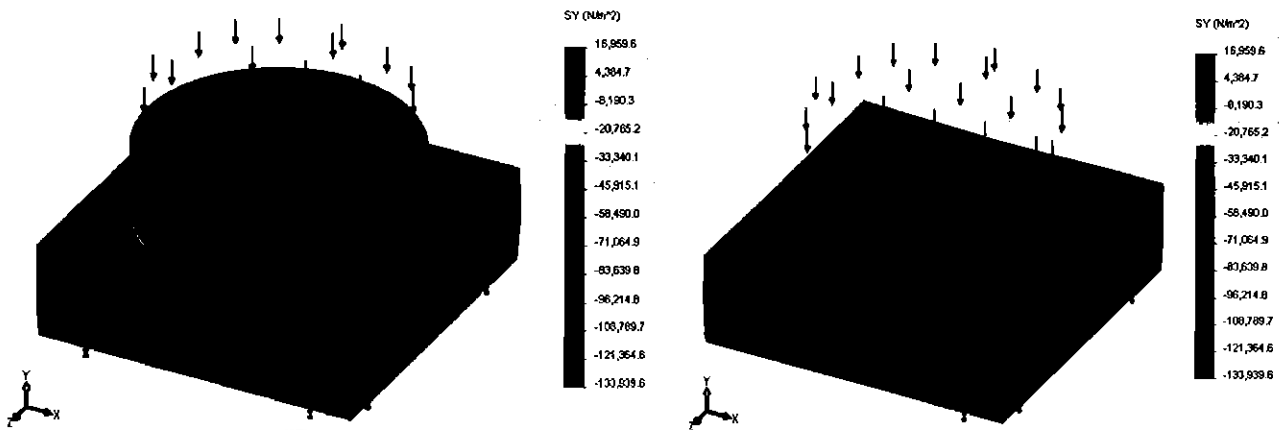
เมื่อ δ คือ การเสีรูปร่างของชิ้นงานภายใต้แรงกระทำตามแนวแกน (m)

P คือ แรงภายนอกตามแนวแกนที่กระทำต่อวัตถุ (N)

L คือ ความยาวของวัตถุ (m)

E คือ ค่าโมดูลัสของยัง (Pa)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)

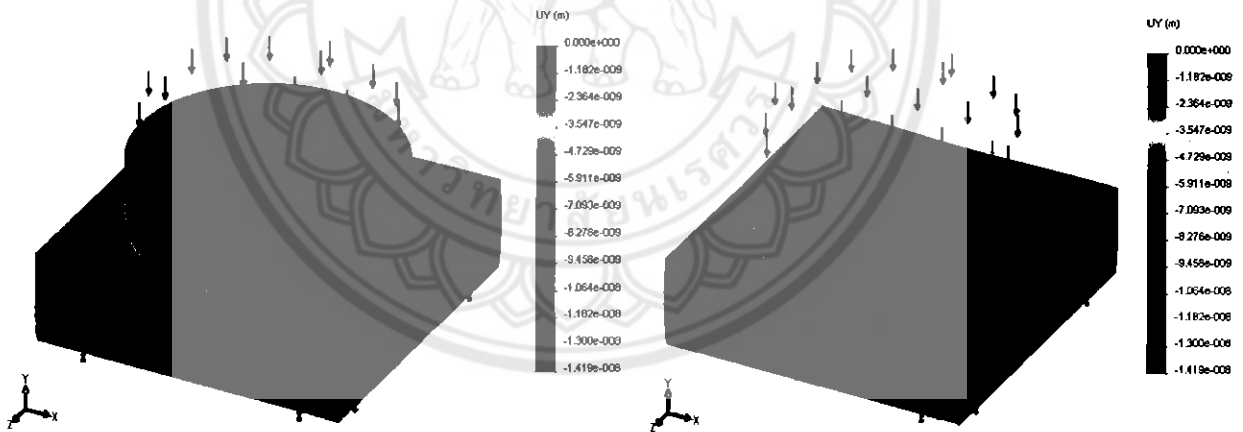


ก. ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y

ข. ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y

ณ บริเวณหน้าสัมผัสเรียบ

รูปที่ 5.5 ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ



ก. การเสียรูปตามแนวแกน Y

ข. การเสียรูปตามแนวแกน Y

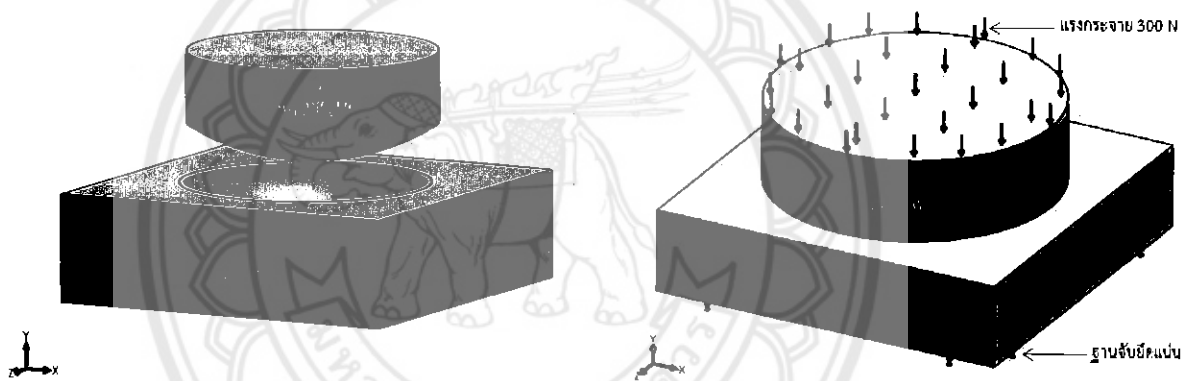
ณ บริเวณหน้าสัมผัสเรียบ

รูปที่ 5.6 การเสียรูปตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ

5.1.2 แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง

ก. ขั้นตอนการวิเคราะห์

แบบจำลองประกอบด้วยวัตถุสองชิ้นสัมผัสกันโดยมีหน้าสัมผัสโค้ง วัตถุชิ้นที่ 1 เป็นฐานมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 100x100x30 mm มีหน้าสัมผัสโค้งเว้าลึก 10 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ไว้สำหรับรองรับวัตถุชิ้นที่ 2 วัตถุชิ้นที่ 2 มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 mm หนา 20 mm มีหน้าสัมผัสโค้งนูน 10 mm เพื่อกดลงบนส่วนที่เว้าของวัตถุชิ้นที่ 1 ดังรูปที่ 5.7 ในการวิเคราะห์ กำหนดให้ชิ้นงานทั้งสองมีสมบัติต่างๆ ภาวะกระทำและที่ฐานจับยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนที่เช่นเดียวกับกับแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.1.1

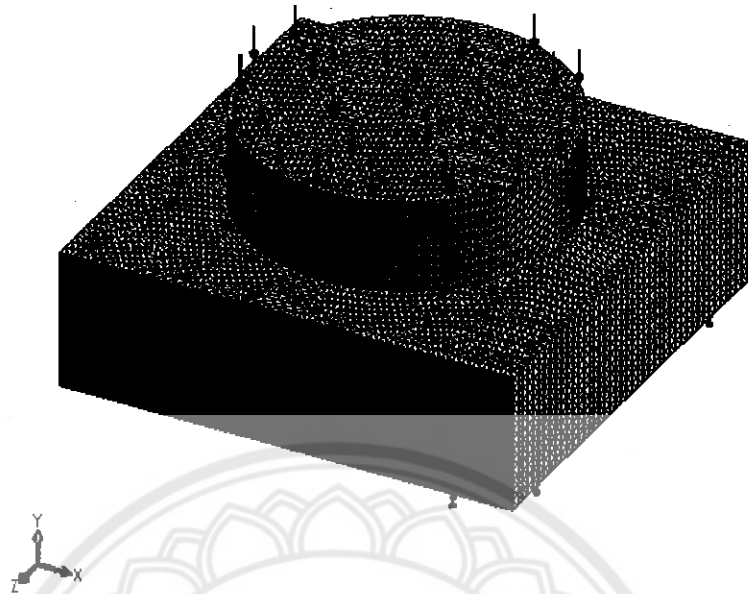


ก. แบบจำลองที่แสดงให้เห็นหน้าสัมผัสโค้ง

ข. แบบจำลองหน้าสัมผัสโค้ง

รูปที่ 5.7 แบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง

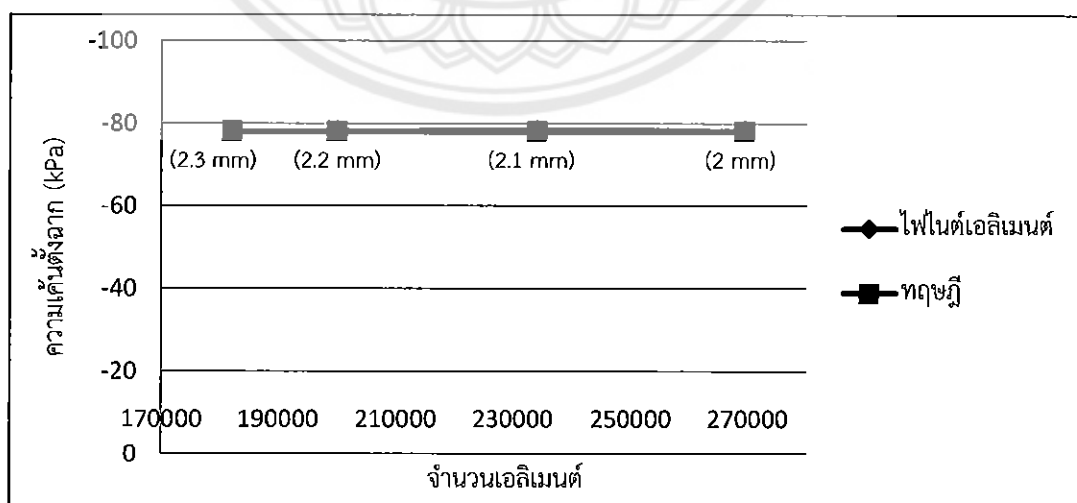
เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเอลิเมนต์ทรงพีระมิดฐาน 3 เหลี่ยม 10 โหนด เช่นเดียวกับกับแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ ดังรูปที่ 5.8 ในการวิเคราะห์หาขนาดที่เหมาะสมของเอลิเมนต์ทำโดยปรับขนาดของเอลิเมนต์ตั้งแต่ 2.3 mm, 2.2 mm, 2.1 mm จนถึง 2.0 mm แล้วทำการเปรียบเทียบความเค้นและการเสียรูปที่วิเคราะห์ได้จากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation กับ ทฤษฎี สาเหตุที่แปรช่วงขนาดของเอลิเมนต์ต่างจากแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบอาจเนื่องมาจากหน้าสัมผัสโค้งต้องแบ่งเอลิเมนต์ละเอียดกว่าเพื่อรักษาความราบเรียบของพื้นผิวสัมผัส



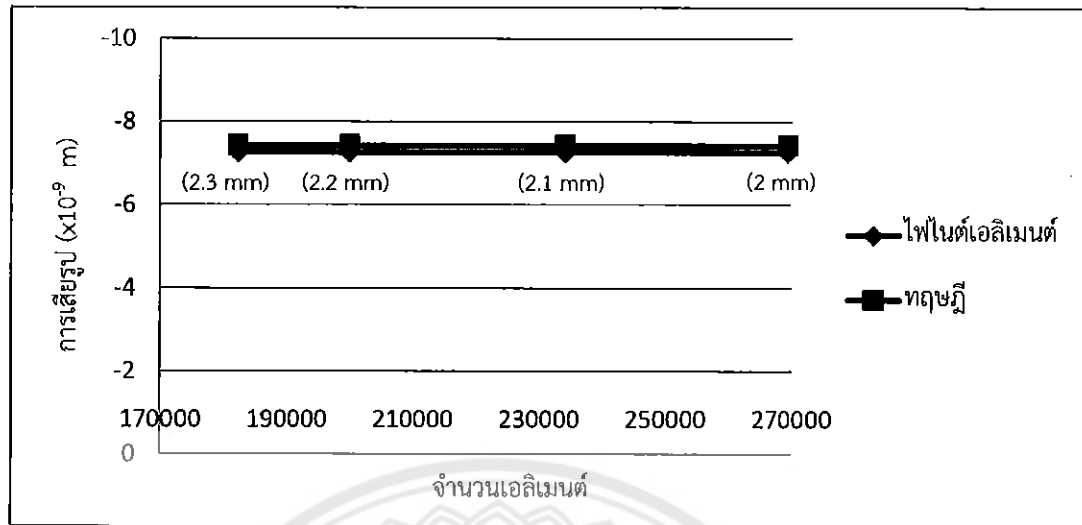
รูปที่ 5.8 โมเดลไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง

ข. ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งหมดแสดงอยู่ที่ภาคผนวก ค ในที่นี้ได้ยกตัวอย่างแสดงผลการคำนวณโดยเลือกขนาดเอลิเมนต์ที่ 2.3 mm มีเอลิเมนต์จำนวน 182,246 เอลิเมนต์ ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีและคำนวณเสร็จสิ้นภายในระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบความเค้นดึงจากระหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสโค้งที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน โดยการแปรขนาดของเอลิเมนต์ระหว่าง 2.3-2 mm



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบการเสียรูประหว่างผลการคำนวณทางทฤษฎีและผลการคำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ของแบบจำลองหน้าสัมผัสโค้งที่มีจำนวนเอลิเมนต์ต่างกัน โดยการแปรขนาดของเอลิเมนต์ระหว่าง 2.3-2 mm

ในกรณีนี้ ณ พื้นที่ผิวสัมผัสโค้งเดียวกันมีรัศมีไม่มากและวัตถุวางเสมอกัน จะฉายพื้นที่จากผิวสัมผัสโค้งไปยังระนาบตั้งฉากจึงใช้ทฤษฎีความเค้นกด (Bearing Stress) มาใช้ในการคำนวณหาความเค้นตั้งฉาก และการเสียรูปตามแนวแกน Y ได้ดังนี้

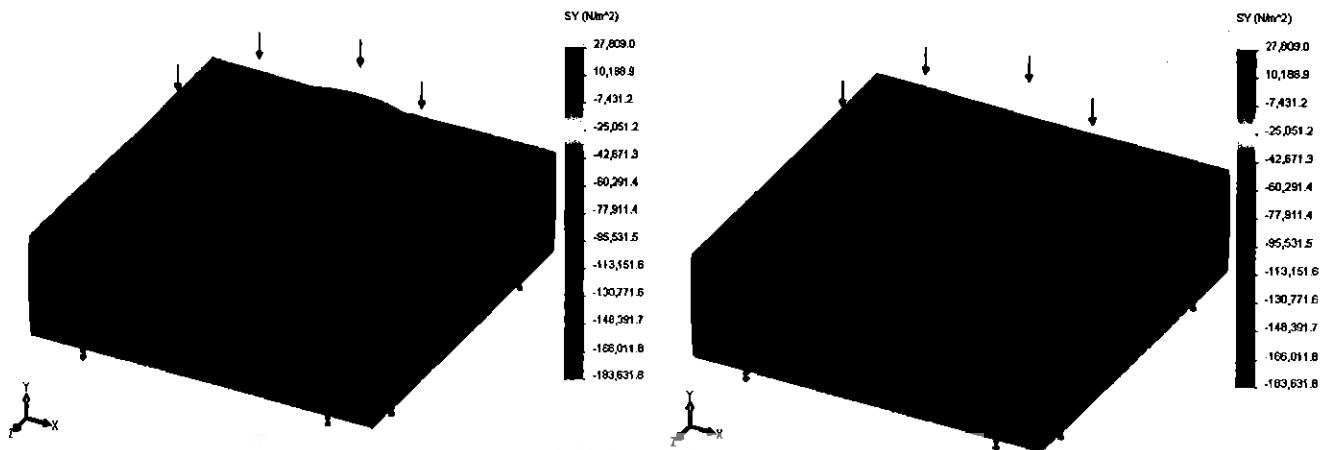
ความเค้นตั้งฉากตามแนวแกน Y ณ บริเวณหน้าสัมผัสเรียบที่คำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เท่ากับ $-77,911$ Pa ดังรูปที่ 5.11 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีดังสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A_b} = \frac{-300\text{N}}{\left(\frac{\pi}{4} \times 0.07^2\right)} = -77,953 \text{ Pa}$$

เมื่อ A_b คือ พื้นที่ฉายของวัตถุที่รองรับความเค้นกด (m^2)

การเสียรูปตามแนวแกน Y ณ บริเวณหน้าสัมผัสเรียบที่คำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เท่ากับ -7.259×10^{-9} m ดังรูปที่ 5.12 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการคำนวณทางทฤษฎีดังสมการ

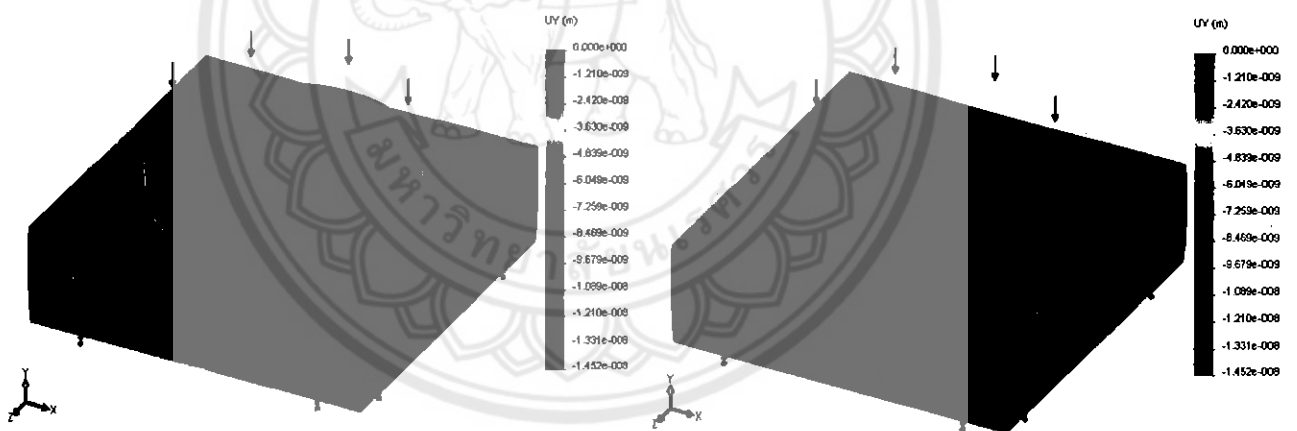
$$\delta = \frac{PL}{EA_b} = \frac{-300 \times 0.02}{2.1 \times 10^{11} \times \left(\frac{\pi}{4} \times 0.07^2\right)} = -7.424 \times 10^{-9} \text{ m}$$



ก. ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y

ข. ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y
ณ บริเวณหน้าสัมผัสโค้ง

รูปที่ 5.11 ความเค้นตึงฉากตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง



ก. การเสียรูปตามแนวแกน Y

ข. การเสียรูปตามแนวแกน Y
ณ บริเวณหน้าสัมผัสโค้ง

รูปที่ 5.12 การเสียรูปตามแนวแกน Y ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง

5.2 การวิเคราะห์โมเดลข้อเช่าจริง

5.2.1 แบบจำลองโมเดลข้อเช่าจริง

ก. ขั้นตอนการวิเคราะห์

ข้อเช่าประกอบด้วยกระดูกสามชิ้นคือ กระดูกต้นขา กระดูกหน้าแข้งและกระดูกสะบ้า แต่ในการทดสอบโมเดลสามมิติทำโดยสร้างโมเดลสองส่วน ส่วนบนคือกระดูกต้นขาและส่วนล่างคือกระดูกหน้าแข้ง และการวิเคราะห์ที่ใช้การกระจายกระทำบนกระดูกหน้าแข้ง โดยใช้โมเดลข้อเช่าอย่างง่ายและไม่มีการจำลองกระดูกอ่อนอ้างอิงงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19]

ขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์โดยซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation คือการนำเข้าโมเดลสามมิติ ในส่วนนี้จำเป็นต้องเพิ่มซอฟต์แวร์เสริม SOLIDWORKS ScanTo3D [26] เพื่อใช้ในการนำเข้าไฟล์ .STL จากการทดสอบการนำเข้าพบว่า การนำเข้าไฟล์นามสกุล .STL ที่ได้จากซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg มาสู่ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation โดยตรงนั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากซอฟต์แวร์ SLIDWORKS Simulation ประมวลผลว่า “ไม่มีรูปทรงสำหรับการสร้างแบบจำลอง” สันนิษฐานว่าอาจเกิดจากการที่ซอฟต์แวร์ทั้งสามที่ใช้ในการทำ Segmentation นั้นไม่มีฟังก์ชันระดับสูงในการปรับระดับความเรียบเนียน (Smoothness) ของพื้นผิว จึงทำให้ได้รูปทรงมีความขรุขระและซับซ้อนมากทำให้ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ไม่สามารถสร้างเอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไปได้ ผู้จัดทำจึงทำการศึกษาค้นคว้าวิธีการต่างๆ ที่จะทำให้สามารถนำเข้าไฟล์ .STL สู่ซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation โดยพบว่าสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยการนำรูปโมเดลสามมิติที่เป็นไฟล์ .STL ที่ได้จากซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg ไปทำการปรับแต่งโดยผ่าน 4 ขั้นตอนดังนี้ (รูปที่ 5.13)

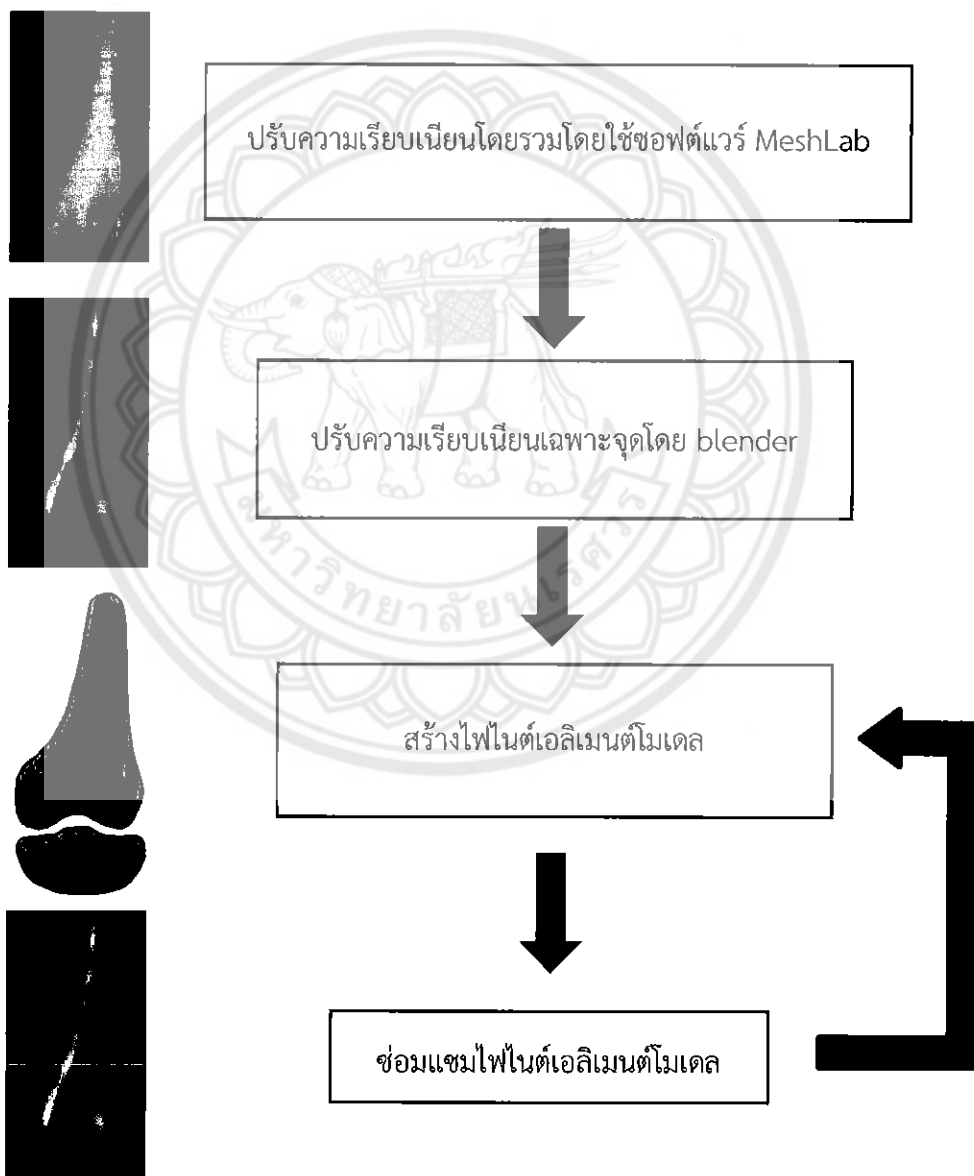
1. ปรับความเรียบเนียนโดยรวมโดยใช้ซอฟต์แวร์ MeshLab (Computer Science department of University of Pisa, อิตาลี) [27] เพื่อปรับคุณภาพทำให้โมเดลสามมิติมีความราบเรียบมากยิ่งขึ้น แต่ซอฟต์แวร์นี้ไม่สามารถปรับความราบเรียบเฉพาะจุดได้จึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนถัดไปมาปรับให้รูปทรงมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

2. ปรับความเรียบเนียนเฉพาะจุดโดยละเอียด เมื่อได้รูปทรงที่มีความราบเรียบขึ้นแล้วจึงใช้ซอฟต์แวร์ blender (Blender, เนเธอร์แลนด์) [28] มาปรับแต่งส่วนที่เกินหรือส่วนที่ขาดบางจุดทำให้รูปทรงมีความสมบูรณ์ การปรับแต่งรูปทรงในขั้นตอนนี้ต้องคำนึงถึงรูปทรงดั้งเดิมของกระดูกไม่ให้ความผิดเพี้ยนไปจากเดิม

3. สร้างไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดล เมื่อนำไฟล์ .STL เข้าสู่ SOLIDWORKS Simulation สำเร็จ ขั้นตอนต่อไปจำเป็นต้องสร้างพื้นผิวให้แก่โมเดลสามมิติโดยใช้ SOLIDWORKS ScanTo3D เพื่อให้ได้ไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลเป็นรูปทรงที่ SOLIDWORKS Simulation ยอมรับจึงสามารถวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ อย่างไรก็ตาม การสร้างพื้นผิวโมเดลสามมิติที่มีรูปทรงซับซ้อนมากอาจเกิดความเสียหาย

ได้ โดยเกิดเป็นช่องโหว่ที่เอลิเมนต์ใดเอลิเมนต์หนึ่งหรือหลายเอลิเมนต์ จึงจำเป็นต้องนำไฟล์ .STL ไปซ่อมแซมอีกครั้งหนึ่ง

4. ซ่อมแซมไฟล์เน็ตเอลิเมนต์โมเดล ขั้นตอนนี้จะใช้ต่อเมื่อไฟล์เน็ตเอลิเมนต์โมเดลที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เกิดความเสียหาย จึงต้องทำการซ่อมแซมโดยใช้ซอฟต์แวร์ netfabb basic (netfabb GmbH, เยอรมัน) [29] ซึ่งจะช่วยปิดช่องโหว่ที่เกิดขึ้นกับโมเดล ในบางกรณีการปิดช่องโหว่จะทำให้พื้นผิวมีความราบเรียบไม่สม่ำเสมอจึงต้องใช้ซอฟต์แวร์ blender มาปรับแต่งพื้นผิวอีกครั้ง เมื่อซ่อมไฟล์เน็ตเอลิเมนต์โมเดลเสร็จก็นำไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

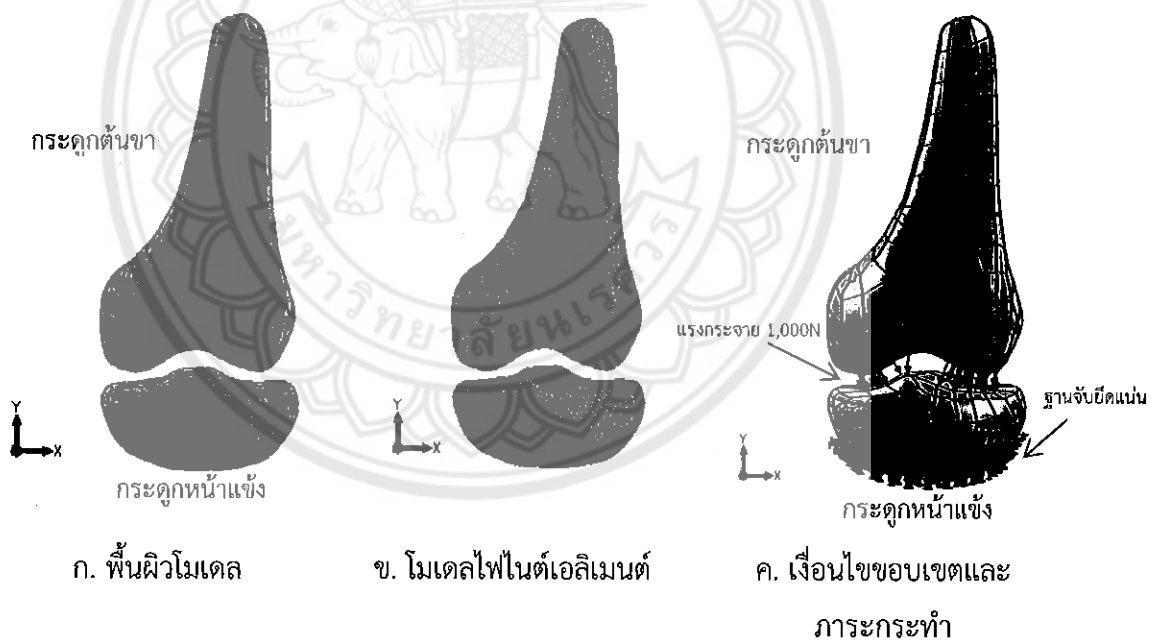


รูปที่ 5.13 ขั้นตอนการสร้างไฟล์เน็ตเอลิเมนต์โมเดลจากไฟล์ .STL ที่ได้จากซอฟต์แวร์

ITK-SNAP, InVesalius 3.0 และ TurtleSeg

เมื่อสามารถนำไฟไนต์เอลิเมนต์โมเดลเข้าสู่ SOLIDWORKS Simulation ได้แล้วจึงได้ทำการกำหนดคุณสมบัติของกระดุกอ้างอิงจากรรณกรรมปริทัศน์ของ Ashvin Thambyah และคณะ [17] และ Susan M. Snyder และคณะ [14] มีโมดูลัสของยังประมาณ 17.5 GPa อัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.3 ความหนาแน่น เท่ากับ $1,861 \text{ kg/m}^3$ โมดูลัสของแรงเฉือน เท่ากับ 6.74 GPa และ ค่าความแข็งแรง จุดคราก เท่ากับ 122.5 MPa กำหนดภาระกระทำเป็นแรงกดลงบนกระดุกหน้าแข็งทั้งสองฝั่งที่สัมผัสกับกระดุกต้นขาซึ่งเป็นแรงกระจายขนาด 1,000 N โดยอ้างอิงบริเวณที่แรงกระทำจากงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] และที่ฐานจับยึดแน่นไม่มีการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 5.14ค

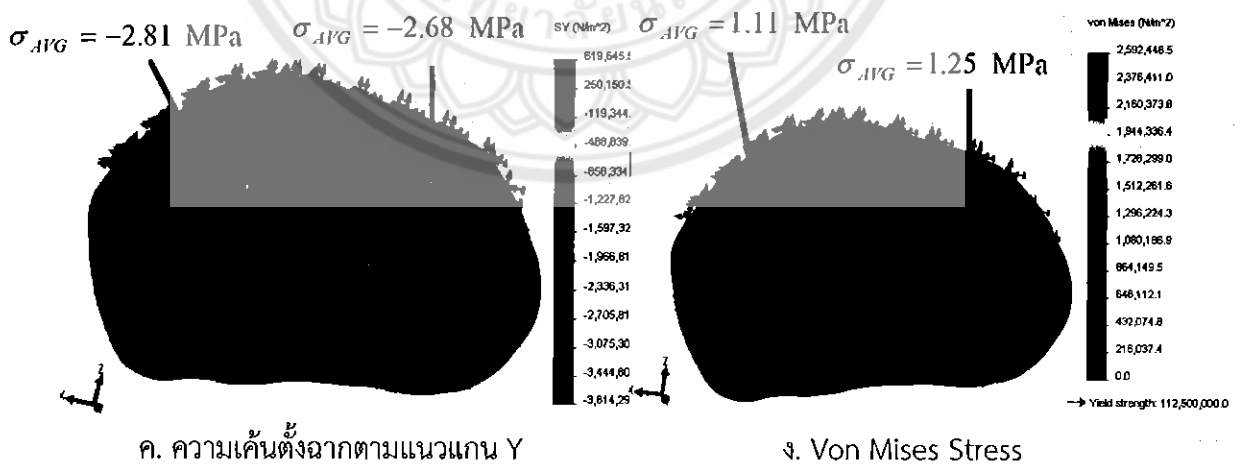
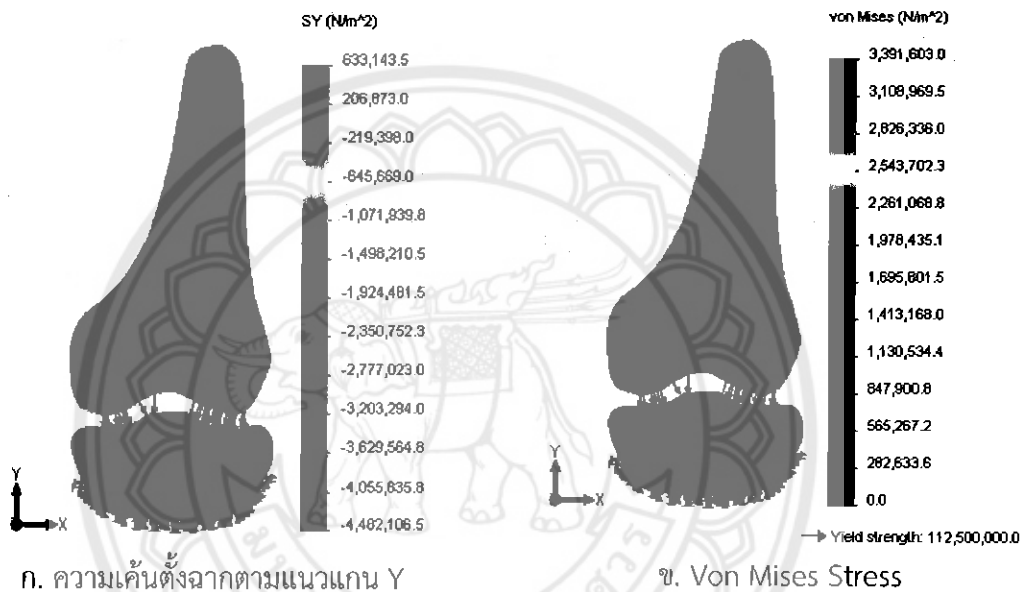
เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นเอลิเมนต์ทรงพีระมิดฐาน 3 เหลี่ยม 10 โหนด เช่นเดียวกับแบบจำลองอย่างง่าย ดังรูปที่ 5.14ข ในการวิเคราะห์ที่กำหนดขนาดเอลิเมนต์เท่ากับ 2.3 mm มีจำนวนเอลิเมนต์ 81,936 เอลิเมนต์ ต้องทำการลดขนาดเอลิเมนต์จาก 6 mm เหลือ 2.3 mm โดยปรับลดครั้งละ 0.3 mm



รูปที่ 5.14 แบบจำลองโมเดลข้อเข้า

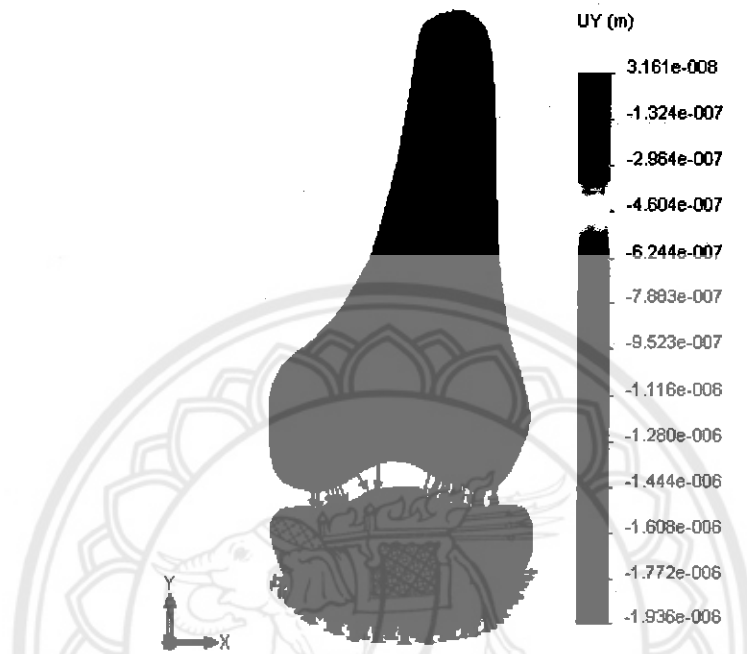
ข. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของโมเดลข้อเข้าจริง แสดงผลความเค้นตั้งฉากตามแนวแกน Y มีความเค้นเฉลี่ยรวมกันทั้งสองด้านเท่ากับ -2.74 MPa และ Von Mises Stress มีความเค้นเฉลี่ยรวมกันทั้งสองด้านเท่ากับ 1.18 MPa (รูปที่ 5.15ค และ 5.15ง) สาเหตุที่แสดง Von Mises Stress เนื่องจากกรณีนี้หน้าสัมผัสเป็นรูปทรงไม่แน่นอนทำให้ทิศทางของแรงและพื้นผิวที่รับแรง เกิดทั้งสามแนวแกน x, y, z (รูปที่ 5.15ก และ 5.15ข)



รูปที่ 5.15 ความเค้นของแบบจำลองโมเดลข้อเข้า

การเสียรูปตามแนวแกน Y ณ บริเวณส่วนบนของกระดูกหน้าแข้งที่คำนวณจากซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation เท่ากับ -1.51×10^{-6} m ดังรูปที่ 5.16



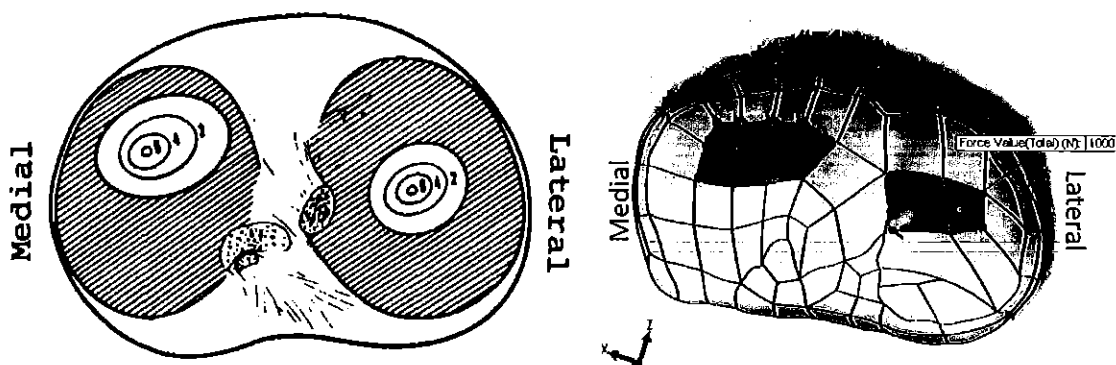
รูปที่ 5.16 การเสียรูปตามแนวแกน Y ของแบบจำลองโมเดลข้อเข่าจริง

5.3 เปรียบเทียบผลการทดลองโมเดลข้อเข่าจริงกับวรรณกรรมปริทัศน์

การดำเนินงานในส่วนนี้จัดทำขึ้นเพื่อพิสูจน์ว่าซอฟต์แวร์ที่ใช้ขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทางการแพทย์สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติและนำรูปโมเดลนั้นไปวิเคราะห์ที่ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้โดยได้เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] ในการศึกษาได้ใช้ข้อเข่าข้างขวา มาทำการศึกษา ในที่นี้จะพิจารณาความเค้นและการเสียรูปของข้อเข่าสองบริเวณ กล่าวคือ ด้านขวาของข้อเข่าเรียกว่าด้าน Lateral และด้านซ้ายของข้อเข่าเรียกว่าด้าน Medial อย่างไรก็ตามความเค้นและการเสียรูปที่วิเคราะห์ได้ไม่สามารถทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองของงานวิจัยดังกล่าวได้โดยตรงเนื่องจากมีความแตกต่างกันในการดำเนินงานทดลอง (หัวข้อ 2.6)

5.3.1 ผลการวิเคราะห์พื้นที่รับแรงกระทำ

พื้นที่รับแรงบนกระดูกหน้าแข้งในงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] เกิดขึ้นจากการใช้กระดูกต้นขากดลงบนกระดูกหน้าแข้ง จึงเกิดเป็นพื้นที่จริงที่ถูกแรงกระทำ ส่วนพื้นที่รับแรงบนโมเดลข้อเข่าในโครงการนี้ ใช้วิธีกำหนดพื้นที่รับแรงด้วยตัวเองโดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] ดังรูปที่ 5.17



ก. การทดลองของ Toru Fukubayashi และคณะ

ข. การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์พื้นที่รับแรง

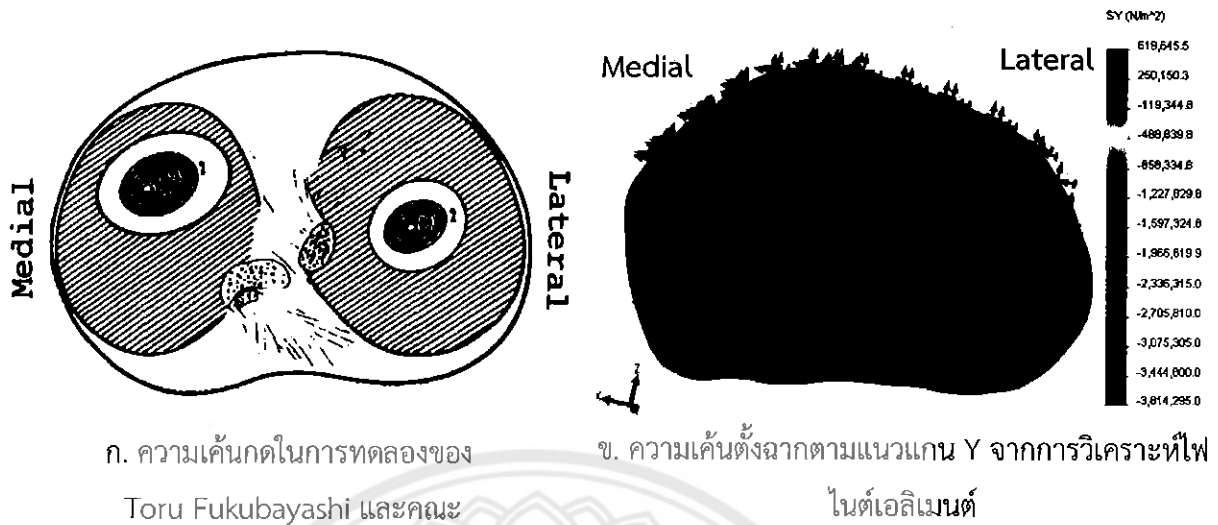
5.3.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้น

ก. ความเค้นกดสูงสุด (Peak pressure)

ความเค้นกดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนกระดูกต้นขาบริเวณที่เกิดแรงกระทำในงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] มีค่าเท่ากันทั้งสองด้านคือ 6.0 MPa (บริเวณวงกลมสีแดง ดังรูปที่ 5.18ก) ความเค้นตั้งฉากตามแนวแกน Y สูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณที่เกิดแรงกระทำ บนโมเดลสามมิติด้าน Lateral มีค่า -3.7 MPa ด้าน Medial มีค่า -3.8 MPa (บริเวณสีฟ้า ดังรูปที่ 5.18ข) และความเค้นกดสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณที่เกิดแรงกระทำในส่วนของ Von Mises Stress บนโมเดลสามมิติด้าน Lateral มีค่า 2 MPa ด้าน Medial มีค่า 1.7 MPa (บริเวณสีเขียว ดังรูปที่ 5.18ค)

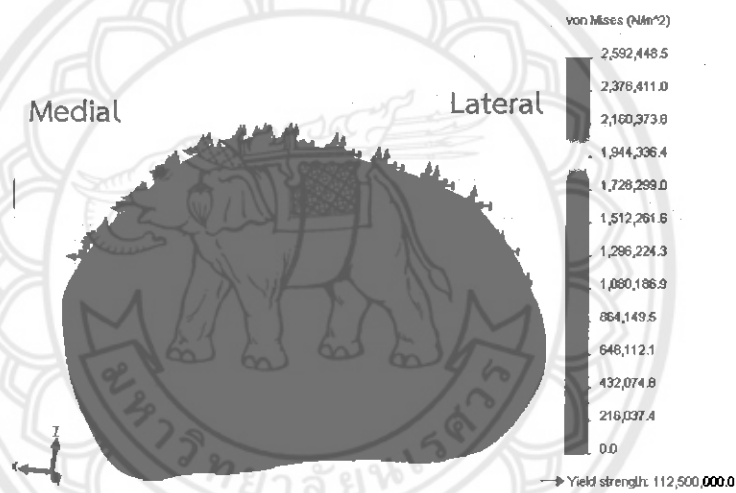
ข. ความเค้นกดเฉลี่ย (Mean pressure)

ความเค้นกดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนกระดูกต้นขาบริเวณที่เกิดแรงกระทำในงานวิจัยของ Toru Fukubayashi และคณะ [19] มีค่าเท่ากันทั้งสองด้านคือ 4.0 MPa (บริเวณวงกลมสีเขียว ดังรูปที่ 5.18ก) ความเค้นตั้งฉากตามแนวแกน Y เฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณที่เกิดแรงกระทำ บนโมเดลสามมิติด้าน Lateral มีค่า -2.6 MPa ด้าน Medial มีค่า -2.8 MPa (บริเวณสีฟ้า ดังรูปที่ 5.18ข) และความเค้นกดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบริเวณที่เกิดแรงกระทำในส่วนของ Von Mises Stress บนโมเดลสามมิติด้าน Lateral มีค่า 1.2 MPa ด้าน Medial มีค่า 1.1 MPa (บริเวณสีเขียว ดังรูปที่ 5.18ค)



ก. ความเค้นกดในการทดลองของ Toru Fukubayashi และคณะ

ข. ความเค้นดึงฉากตามแนวแกน Y จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์



ค. Von Mises Stress จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์ความเค้น

5.4 สรุปผลการทดสอบโมเดลสามมิติ

การทดสอบโมเดลสามมิติประกอบด้วยการทดสอบแบบจำลองอย่างง่ายและแบบจำลองโมเดลข้อเข้าจริงโดยในส่วนของโมเดลข้อเข้าจริงพบว่าผลการทดสอบมีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า จึงทำให้เห็นว่ารูปโมเดลสามมิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ ITK-SNAP, InVesalius และ TurtleSeg สามารถนำมาวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้

อย่างไรก็ตามไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง แต่จะต้องใช้ซอฟต์แวร์ MeshLab, blender และ netfabb basic เข้ามาช่วยปรับแต่งทำให้รูปโมเดลมีความเรียบเนียน ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไปได้

บทที่ 6

การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์

จากการศึกษาค้นคว้าซอฟต์แวร์ที่เป็นแบบโอเพนซอร์สและแบบฟรีแวร์ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากชุดภาพถ่ายทางการแพทย์เพื่อใช้วิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานได้จริงและไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เนื่องด้วยขีดความสามารถในการทำงานของซอฟต์แวร์ซึ่งได้สรุปผลการคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่เข้าข่ายสามารถใช้งานได้จริงไว้แล้วในบทที่ 4 ในบทนี้ เป็นการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ดังกล่าว รวมทั้งการใช้งานซอฟต์แวร์ในด้านต่างๆ ดังนี้ เวลาในการใช้งาน วิธีการ Segmentation การส่งออกไฟล์ การขึ้นรูปโมเดลสามมิติและด้านการประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีสรุปผลการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์แสดงในตารางที่ 6.1

6.1 การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ที่ใช้งานได้

6.1.1 เปรียบเทียบเวลาในการใช้งาน







คณะผู้จัดทำได้ทำการทดลองใช้ซอฟต์แวร์ที่ผ่านการคัดเลือกมาจนเกิดความชำนาญ ต่อมาทำการจับเวลาที่สมาชิกในกลุ่มแต่ละคนใช้ซอฟต์แวร์ในการทำ Segmentation ชุดข้อมูล MRI ภาพถ่ายข้อเข่าตัวอย่าง (เฉพาะกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้ง) รวมทั้งการประมวลผลขึ้นรูปโมเดลสามมิติ หมุนเวียนจนครบทั้ง 3 ซอฟต์แวร์ ซึ่งได้ทำการแสดงผลการเปรียบเทียบเวลาในการใช้งานไว้ในตารางที่ 6.1 ส่วนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการปฏิบัติงานมีหน่วยประมวลผลกลางเป็น Intel Core i7@2.00 GHz, RAM 4GB ได้ผลดังนี้

ก. ITK-SNAP ใช้เวลาในการ Segmentation กระดูกต้นขา โดยเฉลี่ยประมาณ 1 ชั่วโมง 37 นาที กระดูกหน้าแข้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 50 นาที และใช้เวลาในการประมวลผลของการขึ้นรูปเป็นโมเดลสามมิติเฉลี่ยประมาณ 2 นาที

ข. InVesalius 3.0 ใช้เวลาในการ Segmentation กระดูกต้นขา โดยเฉลี่ยประมาณ 2 ชั่วโมง 5 นาที และกระดูกหน้าแข้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 1 ชั่วโมง 40 นาที และใช้เวลาในการประมวลผลของการขึ้นรูปเป็นโมเดลสามมิติเฉลี่ยประมาณ 7 นาที

ค. TurtleSeg ใช้เวลาในการ Segmentation กระดูกต้นขา โดยเฉลี่ยประมาณ 3 ชั่วโมง 33 นาที และกระดูกหน้าแข้ง โดยเฉลี่ยประมาณ 2 ชั่วโมง 46 นาที และใช้เวลาในการประมวลผลของการขึ้นรูปเป็นโมเดลสามมิติเฉลี่ยประมาณ 13 นาที

ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์

Software	ITK-SNAP	InVesalius 3.0	TurtleSeg
เวลาในการ Segmentation	50 นาที	1 ชั่วโมง 40 นาที	2 ชั่วโมง 46 นาที
การ Segmentation			
การส่งออกไฟล์	.STL และอื่นๆ อีก 2 ชนิด	.STL และอื่นๆ อีก 6 ชนิด	.STL และ .VTK
การขึ้นรูปโมเดลสามมิติ			
การประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์	สามารถประสานงานได้	สามารถประสานงานได้	สามารถประสานงานได้

สาเหตุที่ซอฟต์แวร์นี้ใช้เวลาในการ Segmentation นานเนื่องมาจากซอฟต์แวร์สร้างภาพเพิ่มเองโดยอัตโนมัติ เพื่อการขึ้นรูปโมเดลที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น กล่าวคือจะเพิ่มจำนวนภาพถ่ายมากขึ้นกว่าเดิมประมาณ 5 เท่าตัว การทดลองใช้งานแต่เดิมมีชุดภาพถ่าย 220 ไฟล์ภาพ ซอฟต์แวร์จะสร้างภาพเองไปจนถึงประมาณ 1,000 ไฟล์ภาพ

6.1.2 เปรียบเทียบด้านการ Segmentation

วิธีการ Segmentation ของทั้ง 3 ซอฟต์แวร์นั้น มีขั้นตอนในการ Segmentation ที่แตกต่างกันออกไปหลายลักษณะ ซึ่งได้ทำการแสดงผลการเปรียบเทียบด้าน Segmentation ไว้ในตารางที่ 6.1 และมีวิธี Segmentation ดังนี้

ก. ITK-SNAP ใช้วิธีการสร้างขอบเขตล้อมรอบพื้นผิวบริเวณกระดูกหรืออวัยวะที่สนใจได้แบบอิสระโดยใช้เมาส์ลากวนรอบขอบเขตที่ต้องการ Segmentation ไปที่ละภาพจนครบทั้งชุดภาพถ่าย

ข. InVesalius 3.0 ใช้วิธีการระบายสีลงบนพื้นผิวบริเวณกระดูกหรืออวัยวะที่สนใจได้แบบอิสระโดยใช้เมาส์ลากระบายสีทับส่วนที่ต้องการ Segmentation ไปที่ละภาพจนครบทั้งชุดภาพถ่าย

ค. TurtleSeg จะมีขั้นตอนคล้ายกับ ITK-SNAP แต่ซอฟต์แวร์นี้จะมีขั้นตอนที่ง่ายกว่าคือ ขณะสร้างขอบเขตล้อมรอบพื้นผิวที่สนใจ ซอฟต์แวร์จะประมวลผลโดยการเลือกขอบเขตให้โดยกึ่งอัตโนมัติร่วมกับใช้เมาส์ลากวนรอบขอบเขตที่ต้องการ Segmentation จนครบทั้งชุดภาพถ่าย

6.1.3 เปรียบเทียบด้านการส่งออกไฟล์

การส่งออกไฟล์ของทั้ง 3 ซอฟต์แวร์นั้น มีไฟล์หลายชนิดที่ส่งออกได้แตกต่างกันออกไป ซึ่งได้ทำการแสดงผลการเปรียบเทียบด้านการส่งออกไฟล์ ไว้ในตารางที่ 6.1

ก. ITK-SNAP สามารถส่งออกไฟล์ได้ 3 ชนิด คือ .BYU, .VTK และ .STL

ข. InVesalius 3.0 สามารถส่งออกไฟล์ได้ 7 ชนิด คือ .IV, .PLY, .STL, .VRML, .VTP, OBJ, .X3D

ค. TurtleSeg สามารถส่งออกได้ 2 ชนิดคือ .VTK และ .STL

ทั้งสามซอฟต์แวร์มีไฟล์มีไฟล์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถส่งออกไปยังซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulations ได้ คือไฟล์ .STL

6.1.4 เปรียบเทียบด้านการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

การประมวลผลขึ้นรูปโมเดลสามมิติของทั้ง 3 ซอฟต์แวร์ ประมวลผลผลออกมามีคุณภาพที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 6.1 ซึ่งมีพื้นผิวที่หยาบค่อนข้างมากและรูปทรงที่ซับซ้อน ในกรณีนี้ซอฟต์แวร์ TurtleSeg และ InVesalius 3.0 มีฟังก์ชัน smooth ซึ่งสามารถปรับให้พื้นผิวเรียบขึ้นได้ แต่ก็มีขีดจำกัดของซอฟต์แวร์จึงทำให้ปรับคุณภาพพื้นผิวโมเดลได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

6.1.5 เปรียบเทียบการประสานงานกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์

ซอฟต์แวร์ทั้งสามข้างต้นสามารถประสานงานกับซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation ได้ทั้งหมด ดังตารางที่ 6.1 เพราะทุกซอฟต์แวร์ส่งออกไฟล์ .STL ได้ แต่ต้องนำไปปรับให้พื้นผิวมีความเรียบเนียนที่เหมาะสมเสียก่อน ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.2.1 (บทที่ 5)

6.2 สรุปผลการเปรียบเทียบซอฟต์แวร์

การเปรียบเทียบซอฟต์แวร์ดังกล่าวที่ผ่านมาพบว่ามีซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมจะนำไปใช้งานคือซอฟต์แวร์ ITK-SNAP เพราะเวลากับวิธีที่ใช้ในการ Segmentation น้อยและง่ายกว่าซอฟต์แวร์อื่น และยังสามารถประมวลผลการขึ้นรูปโมเดลสามมิติได้รวดเร็ว แนะนำให้นำไปใช้ในกรณีที่ต้องการขึ้นรูปโมเดลสามมิติโดยใช้ชุดภาพถ่าย DICOM

บทที่ 7

สรุปการดำเนินโครงการ

เนื่องจากพัฒนาการทางการแพทย์มีความก้าวหน้าสูง ได้มีการนำชุดภาพถ่ายทางการแพทย์มาขึ้นเป็นรูปโมเดลสามมิติ เพื่ออำนวยความสะดวกการวินิจฉัยการเจ็บป่วยต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับอวัยวะนั้น ซึ่งซอฟต์แวร์ที่สามารถขึ้นรูปโมเดลสามมิติที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปมีราคาค่อนข้างสูงมาก ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการสืบค้นซอฟต์แวร์ชนิดนี้ที่เป็นแบบโอเพนซอร์สและฟรีแวร์ โดยใช้คำสำคัญเช่น Segmentation, 3d reconstruction, Medical image, 3D model, Open Source, Freeware เป็นต้น โดยนำคำสำคัญเหล่านั้นมาผสมกันให้เกิดประโยคหรือวลีเพื่ออำนวยความสะดวกการสืบค้น หลังจากการสืบค้นได้พบซอฟต์แวร์ชนิดนี้จำนวน 24 ซอฟต์แวร์ โดยใช้เวลาในการสืบค้นเป็นเวลา 3 เดือน ควบคู่กับการศึกษาทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับโครงการ เพื่อที่จะได้มีความเข้าใจถึงความสำคัญของการทำโครงการนี้รวมถึงมีความรู้ทางด้านชีวกลศาสตร์เพิ่มมากขึ้น ลำดับต่อมาได้ทำการศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ที่ได้จากการสืบค้นเพื่อคัดเลือกซอฟต์แวร์ที่สามารถนำเข้าสู่ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ ขึ้นรูปโมเดลสามมิติ ส่งออกรูปโมเดลสามมิติด้วยนามสกุล .STL เป็นต้น โดยซอฟต์แวร์ที่สามารถผ่านเกณฑ์การคัดเลือกมีอยู่ด้วยกัน 3 ซอฟต์แวร์คือ ITK-SNAP, InVesalius 3.0, TurtleSeg จากนั้นคณะผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบ ข้อดีข้อเสีย จุดเด่นจุดด้อย คำสั่งที่ง่ายต่อการใช้งาน รวมถึงเวลาที่ใช้ในการทำงาน โดยมีข้อสรุปว่า ซอฟต์แวร์ ITK-SNAP มีขั้นตอนในการแบ่งส่วนภาพง่ายที่สุด ใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุด และใช้เวลาในการประมวลผลของการขึ้นรูปโมเดลสามมิติน้อยที่สุดอีกด้วย เนื่องจากซอฟต์แวร์ ITK-SNAP มีขั้นตอนในการแบ่งส่วนภาพง่ายที่สุดจึงทำให้โมเดลสามมิติที่ขึ้นรูปออกมามีความละเอียดและดูเรียบเนียนมากกว่าซอฟต์แวร์อื่น ในขณะที่ซอฟต์แวร์ TurtleSeg เป็นซอฟต์แวร์ที่มีการใช้เครื่องมือในการแบ่งส่วนภาพที่ง่ายมากเช่นกัน แต่กลับเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้เวลาในการแบ่งส่วนมากที่สุด เนื่องจากทางซอฟต์แวร์จะเพิ่มจำนวนภาพถ่ายทางการแพทย์ประมาณ 5 เท่าโดยอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความละเอียดให้กับชุดภาพถ่ายทางการแพทย์นั้น จึงทำให้จำเป็นต้องใช้เวลานานในการแบ่งส่วนภาพให้ครบทุกภาพ และยังเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลขึ้นรูปโมเดลสามมิติมากที่สุดอีกด้วย ส่วนซอฟต์แวร์ InVesalius 3.0 เป็นซอฟต์แวร์ที่มีขั้นตอนในการแบ่งส่วนภาพค่อนข้างยาก จำเป็นต้องใช้ความตั้งใจในการระบายสีลงไปที่อวัยวะที่ต้องการจะแบ่งส่วน จึงทำให้ต้องใช้เวลานานในการแบ่งส่วนค่อนข้างมากและใช้เวลาในการประมวลผลขึ้นรูปโมเดลสามมิติค่อนข้างมากอีกด้วย

ในส่วนของการประสานงานร่วมกับซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าโมเดลสามมิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ทั้ง 3 ซอฟต์แวร์นั้นสามารถใช้ทำการวิเคราะห์ได้ แต่ต้องเพิ่มขั้นตอนการปรับพื้นผิวให้มีความเรียบเนียนก่อนที่จะนำเข้าสู่ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป



เอกสารอ้างอิง

- [1] Software Mimics (Materialise, เบลเยียม). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://biomedical.materialise.com/mimics>.
- [2] Software Avizo (FEL Visualisation Science Group, สหรัฐอเมริกา). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.vsg3d.com>.
- [3] Software SOLIDWORKS Simulation (SOLIDWORKS, สหรัฐอเมริกา). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.solidworks.com>.
- [4] Thor F. Besier, Garry E. Gold, Gary S. Beaupre, Scott L. Delp (2005). A Modeling Framework to Estimate Patellofemoral Joint Cartilage Stress In Vivo. *Sci. Sports Med*, 1924-1930
- [5] Software Matlab (The MathWorks, Inc., สหรัฐอเมริกา). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.mathworks.com/products/matlab/index-b.html>
- [6] Blogger ของ jarat_cyberu. (11 ตุลาคม 2552). Image processing เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ. สืบค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2557. จาก <http://jaratcyberu.blogspot.com/2009/10/image-processing.html>
- [7] ไทยมีบอร์ด. (Open Source). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.thaimeboard.com/faq/qa-id10.html>.
- [8] ครูปราโมทย์. (Freeware). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.pramot.com/main/index.php/computer/43-freeware/143-freeware>
- [9] Freeware. สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/>
- [10] รังสีวิทยาไทย. DICOM. สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.xraythai.com/dicom.html>.
- [11] สุขภาพดีกับร้านภพพระ. (2 พฤศจิกายน 2557). ข้อเช่าเสื่อม. สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.phoppra.com/>
- [12] Blogger ของ พญามังกร. (19 เมษายน 2551). การป้องกันและรักษาการบาดเจ็บของเส้นเอ็นข้อเช่า. สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก http://lexalexsblog.blogspot.com/2008/04/blog-post_3940.html

- [13] Introduction to Human Body. (20 พฤษภาคม 2553). Introduction to Human Body. สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://sherlockholmes.exteen.com/20100520/introduction-to-human-body>
- [14] Susan M. Snyder and Erich Schneider. (1991). Estimation of Mechanical Properties of Cortical Bone by Computed Tomography. *Journal of Orthopaedic*, 422-431
- [15] Skeleton, Human skeleton and List of bones of the human skeleton, Bone, สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2557, จาก <http://en.wikipedia.org/wiki/Bone>
- [16] แม้น อมรสิทธิ์ และ สมชัย อัครทิวา, แปล, (1997), "วัสดุวิศวกรรม", กรุงเทพมหานคร, McGrawHill. สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2557, จาก <http://www.rmutphysics.com/charud/meta/1/Mechanical%20Properties.htm>
- [17] Ashvin Thambyah, James C.H. Goh, Shamal Das De. (2004). Contact stresses in the knee joint in deep flexion. *Medical Engineering & Physics*, 329–335
- [18] <http://image.frompo.com/227bdb574825b634a388693b580b9084>, สืบค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2558
- [19] Toru Fukubayashi และ Hisashi Kurosawa. (1980). The Contact area and pressure distribution pattern of the knee. *Acta arthrop. Scand.*51, 871-879
- [20] Dr. Jared Salinsky – Orthopedic Surgeon, Meniscus Tear, สืบค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2558, จาก <http://drsalinsky.com/meniscus-tear-dr-salinsky/>
- [21] ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร. (2554). ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สืบค้นเมื่อ 21 กุมภาพันธ์ 2558, จาก https://cdn.fbsbx.com/hphotos-xap1/v/t59.2708-21/11177348_10204305443571806_593792789_n.pdf/IntroductionFEM.pdf?oh=7d8474cc9aec5b44fe4b18cc1b61c2ca&oe=555C099A&dl=1
- [22] Software ITK-SNAP (ITK-SNAP, สหรัฐอเมริกา). สืบค้นเมื่อ 19 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.itksnap.org/pmwiki/pmwiki.php?n=Downloads.SNAP3>
- [23] Software InVesalius 3.0 (Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI), บราซิล), สืบค้นเมื่อ 23 พฤศจิกายน 2557, จาก http://www.cti.gov.br/invesalius/?page_id=8
- [24] Software TurtleSeg (Simon Fraser University and the Biomedical Signal and Image Computing Laboratory at the University, โคลัมเบีย), สืบค้นเมื่อ 17 มกราคม 2558, จาก <http://www.turtleseg.org/index.php?page=software>

- [25] Software SOLIDWORKS ScanTo3D. (SOLIDWORKS, สหรัฐอเมริกา). สืบค้นเมื่อ 25 พฤศจิกายน 2558, จาก <http://www.solidworks.com>.
- [26] Software MeshLab (Computer Science department of University of Pisa, อิตาลี), สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2558, จาก <http://meshlab.sourceforge.net/>
- [27] Software blender (Blender, เนเธอร์แลนด์), สืบค้นเมื่อ 23 เมษายน 2558, จาก <http://www.blender.org/download/>
- [28] Software netfabb basic (netfabb GmbH, เยอรมัน), สืบค้นเมื่อ 24 เมษายน 2558, จาก <http://www.netfabb.com/downloadcenter.php?basic=1>





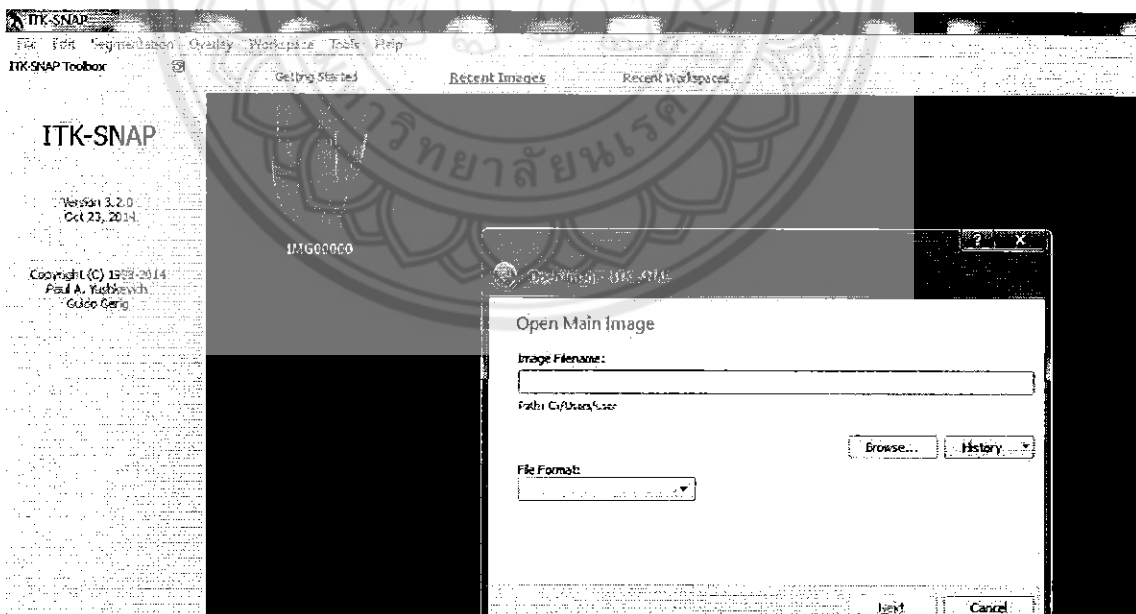
การใช้งานซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแบ่งส่วนภาพและขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

ก.1 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ ITK-SNAP

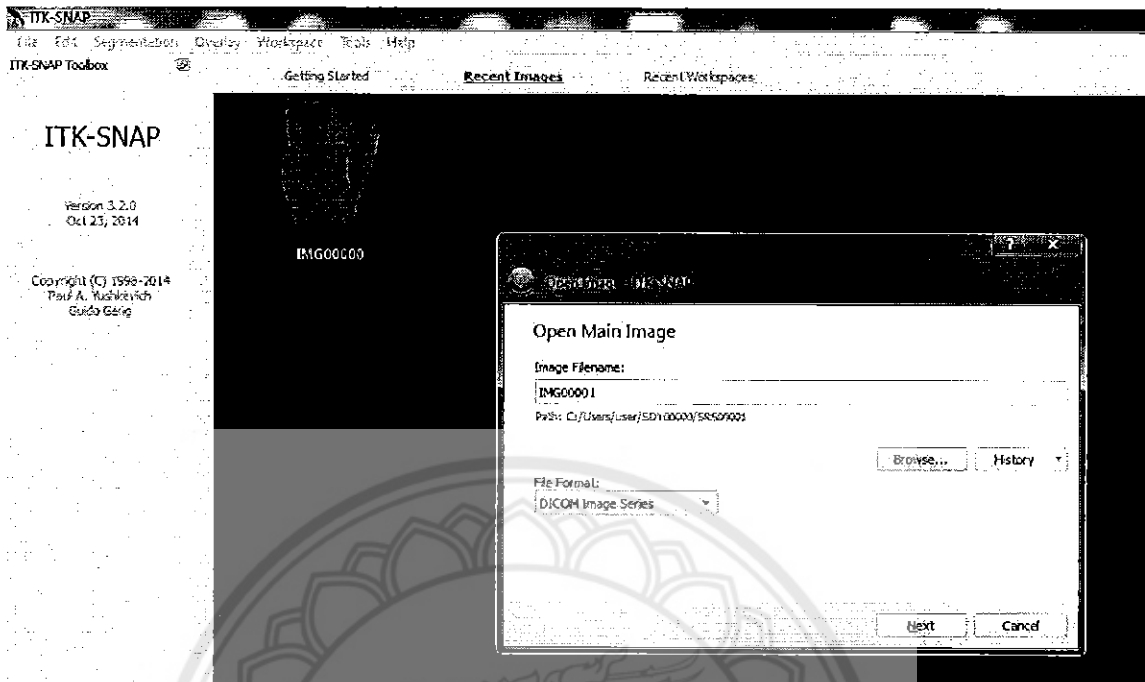
1. ขั้นตอนการนำเข้าสู่ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์



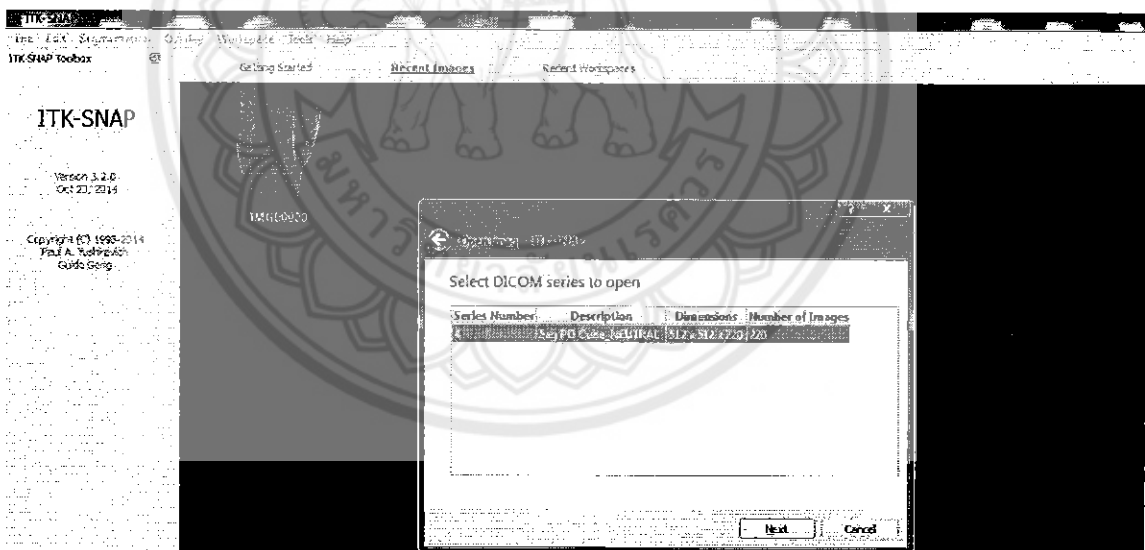
รูปที่ ก.1 คลิก File เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการนำชุดภาพถ่ายทางการแพทย์เข้าสู่ซอฟต์แวร์



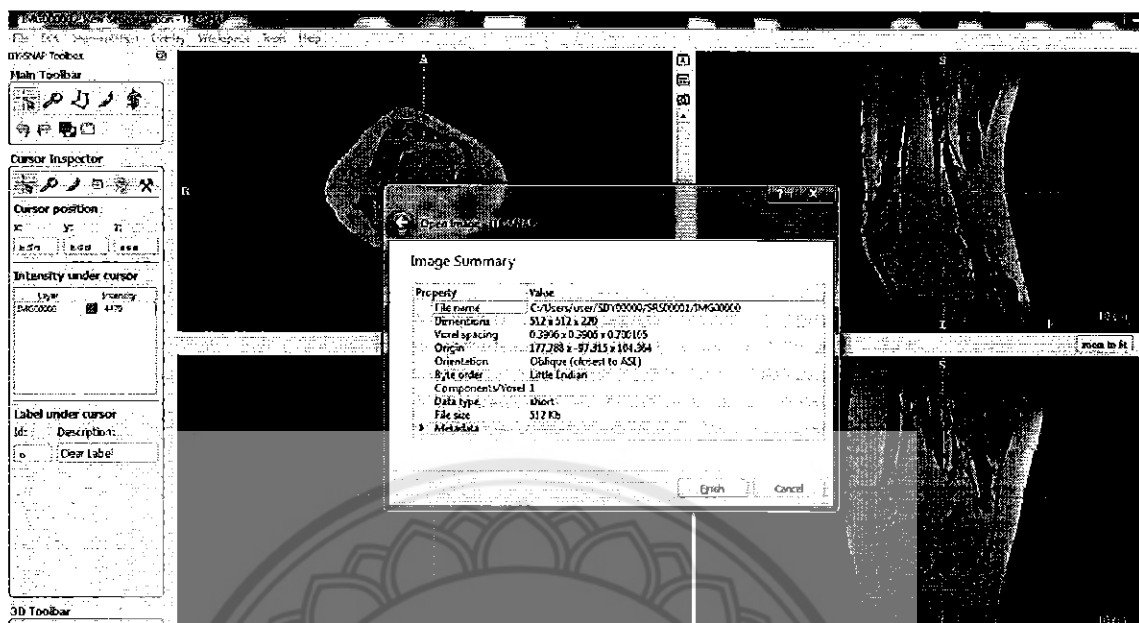
รูปที่ ก.2 คลิก Browse เพื่อเลือกที่ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์



รูปที่ ก.3 คลิก Next



รูปที่ ก.4 คลิก Next



รูปที่ ก.5 คลิก Next เพื่อสิ้นสุดขั้นตอนการนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์

2. ขั้นตอนการแบ่งส่วนชุดภาพถ่ายทางการแพทย์และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ



รูปที่ ก.6 หน้าจอหลักของซอฟต์แวร์ ITK-SNAP

หน้าจอสีต่างๆ มีคำอธิบายดังนี้

ก. แสดงให้เห็นถึงภาพถ่ายทางการแพทย์ด้วยมุมมองที่เรียกว่า Axial เป็นระนาบที่แบ่งอวัยวะออกตามขวาง แบ่งเป็นส่วนบนและส่วนล่าง

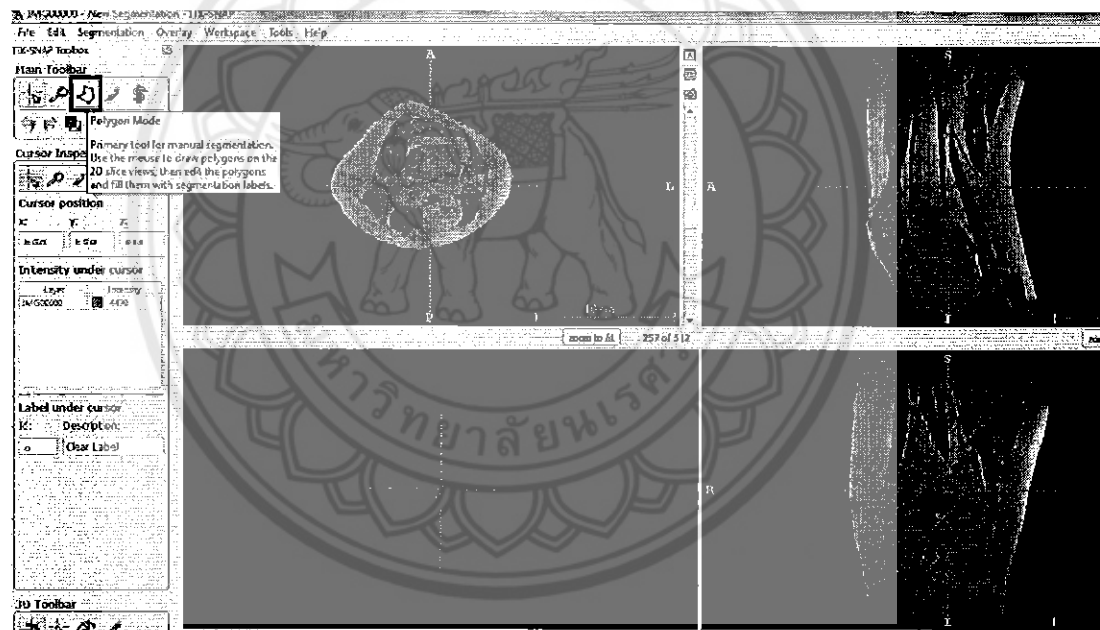
ข. แสดงให้เห็นถึงภาพถ่ายทางการแพทย์ด้วยมุมมองที่เรียกว่า sagittal เป็นระนาบที่แบ่งอวัยวะจากข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง แบ่งให้เป็นข้างซ้ายและข้างขวา

ค. แสดงให้เห็นถึงภาพถ่ายทางการแพทย์ด้วยมุมมองที่เรียกว่า coronal เป็นระนาบที่แบ่งอวัยวะจากด้านหน้ามาด้านหลัง แบ่งเป็นด้านหน้าและด้านหลัง

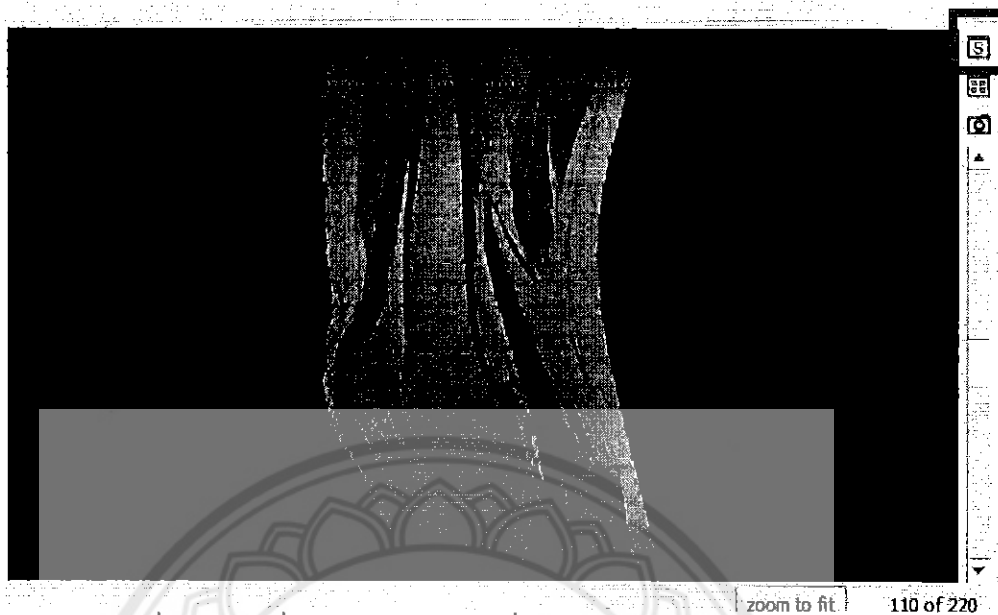
ง. หน้าต่างแสดงโมเดลสามมิติที่ได้จากการสร้าง

จ. แถบเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปโมเดลสามมิติจากภาพถ่ายทาง

การแพทย์



รูปที่ ก.7 เลือกใช้เครื่องมือ Polygon mode เพื่อใช้ในการแบ่งส่วนภาพถ่ายทางการแพทย์

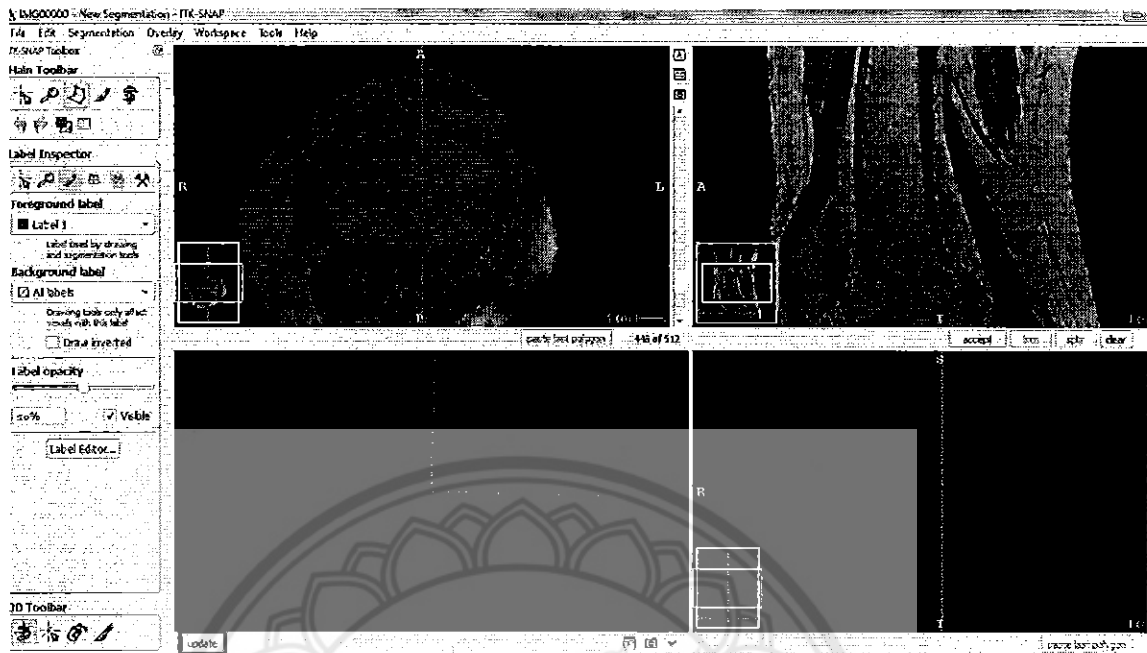


รูปที่ ก.8 คลิกที่บริเวณกรอบสี่แดงเพื่อขยายหน้าจอของระนาบ sagittal

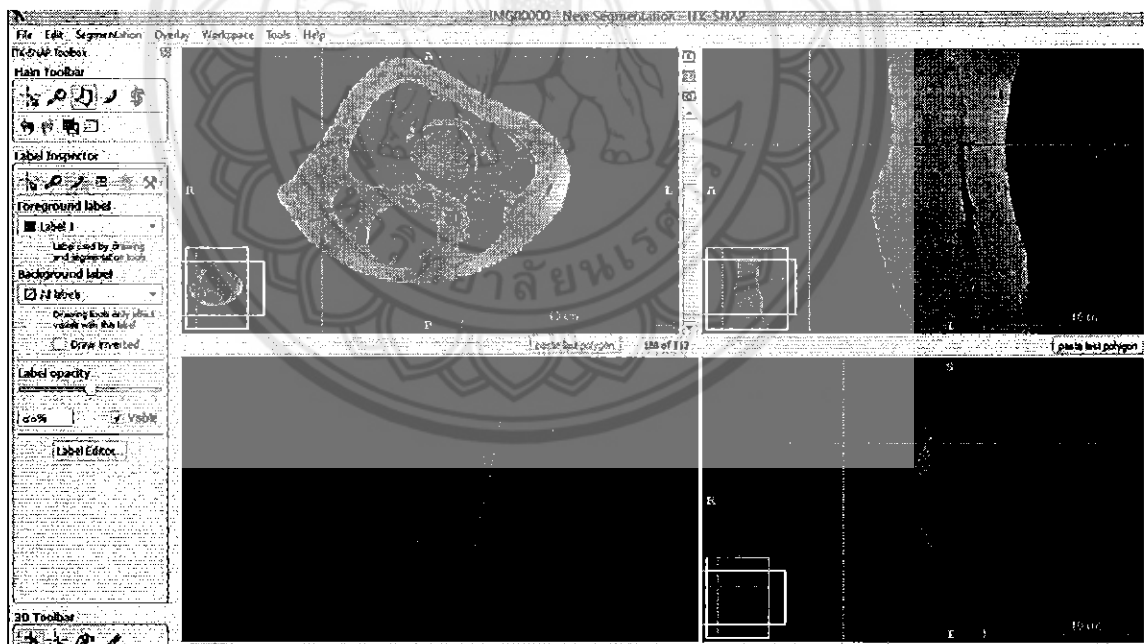
ในการดำเนินโครงการนี้ได้ใช้ระนาบ sagittal ในการแบ่งส่วนชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ เนื่องจากในการแบ่งส่วนของกระดูกต้นขาและกระดูกหน้าแข้ง การใช้ระนาบนี้เหมาะสมและง่ายต่อการทำงานมากที่สุด



รูปที่ ก.9 คลิกเพื่อลากขอบเขตที่ต้องการจะแบ่งส่วนภาพ => คลิก accept ทำเช่นในทุกรูปของชุดภาพถ่ายทางการแพทย์

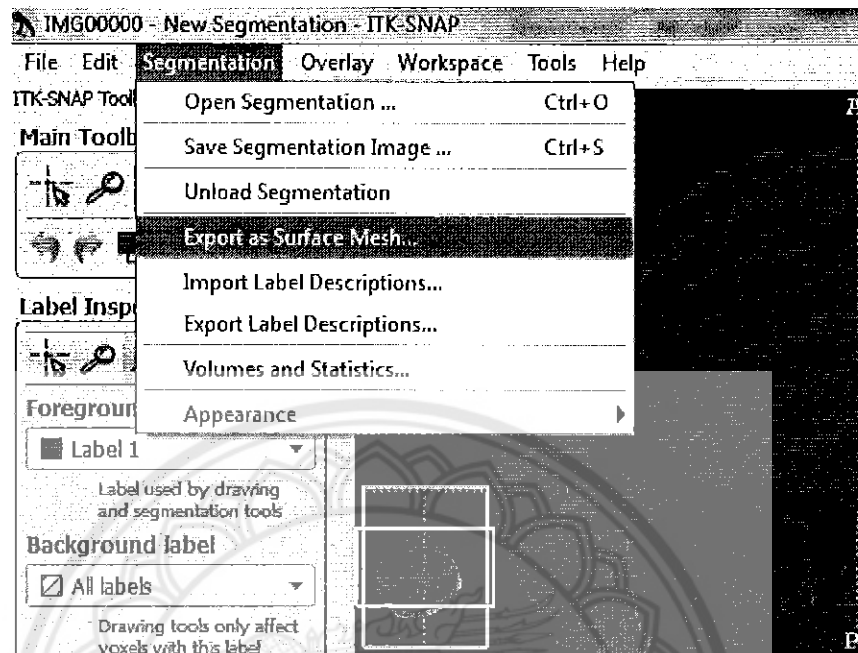


รูปที่ ก.10 คลิก update ที่หน้าต่างของโมเดลสามมิติเพื่อขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

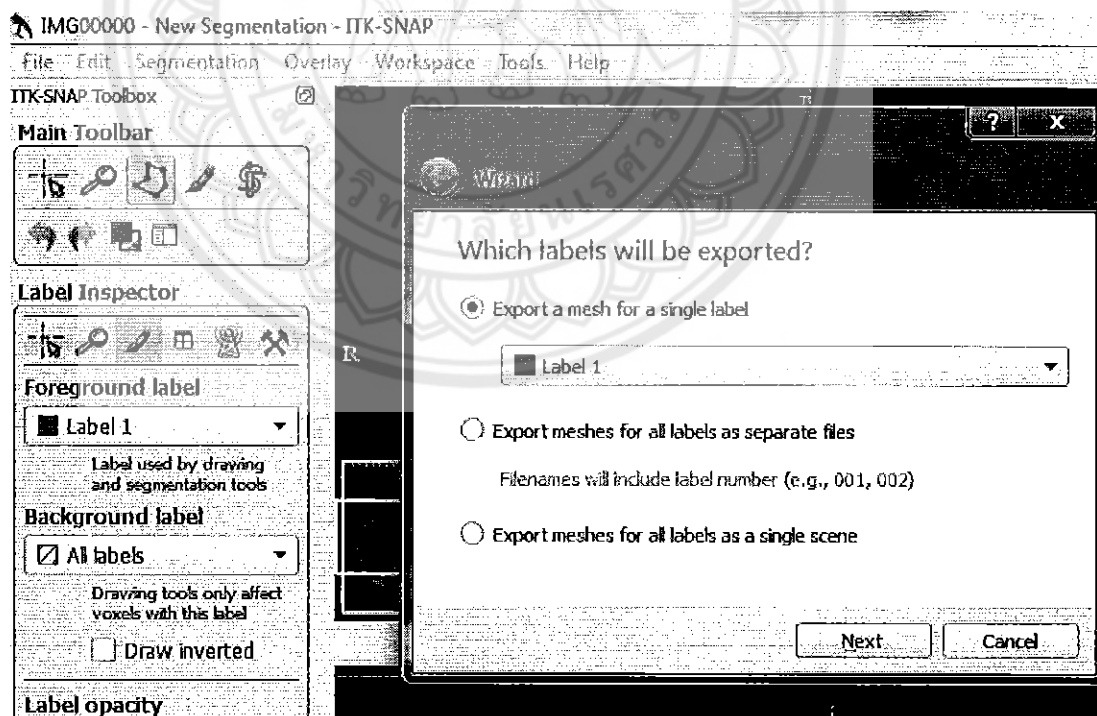


รูปที่ ก.11 โมเดลสามมิติหลังจากการแบ่งส่วนภาพ

3. การส่งออกภาพโมเดลสามมิติ



รูปที่ ก.12 คลิกที่ Segmentation => Export as Surface Mesh



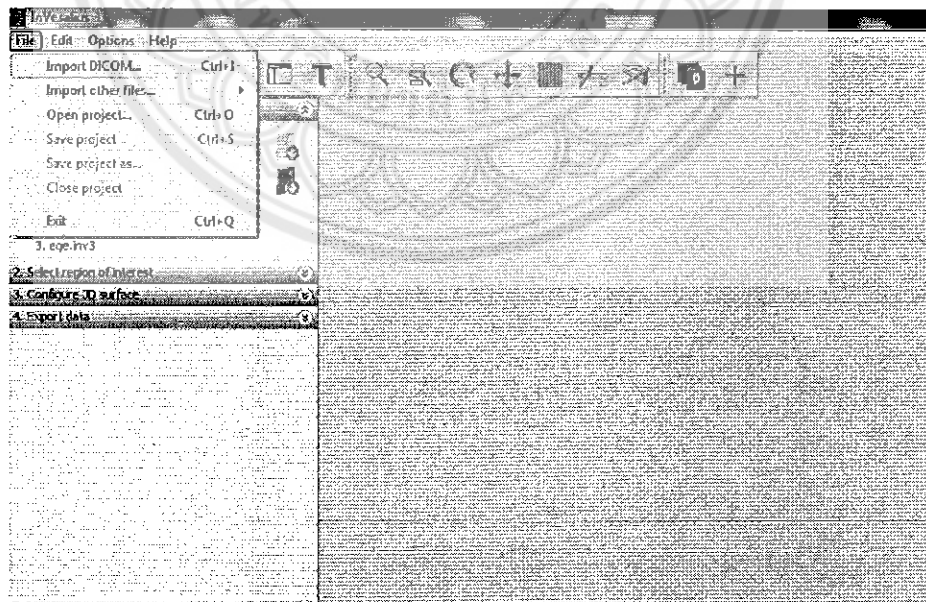
รูปที่ ก.13 คลิก Next



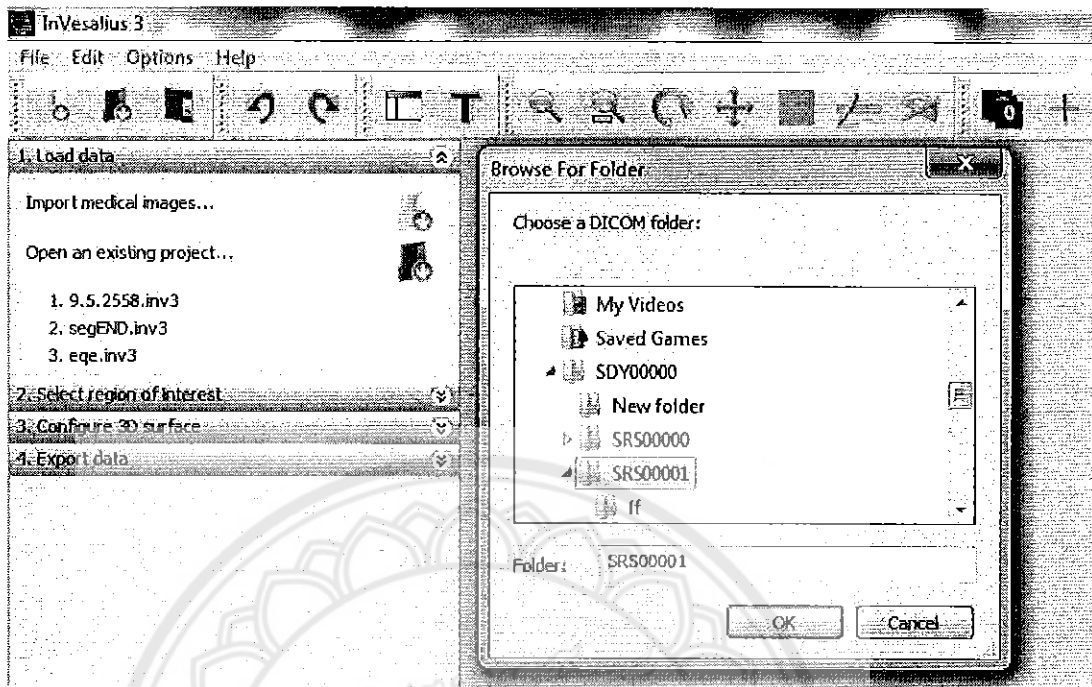
รูปที่ ก.14 ตั้งชื่อไฟล์ => เลือก Browse เพื่อเลือกตำแหน่งที่จะเซฟไฟล์ => เลือกนามสกุลไฟล์ .STL จากนั้นคลิก Finish เพื่อเสร็จสิ้น

ก. 2 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ Invesalius 3.0

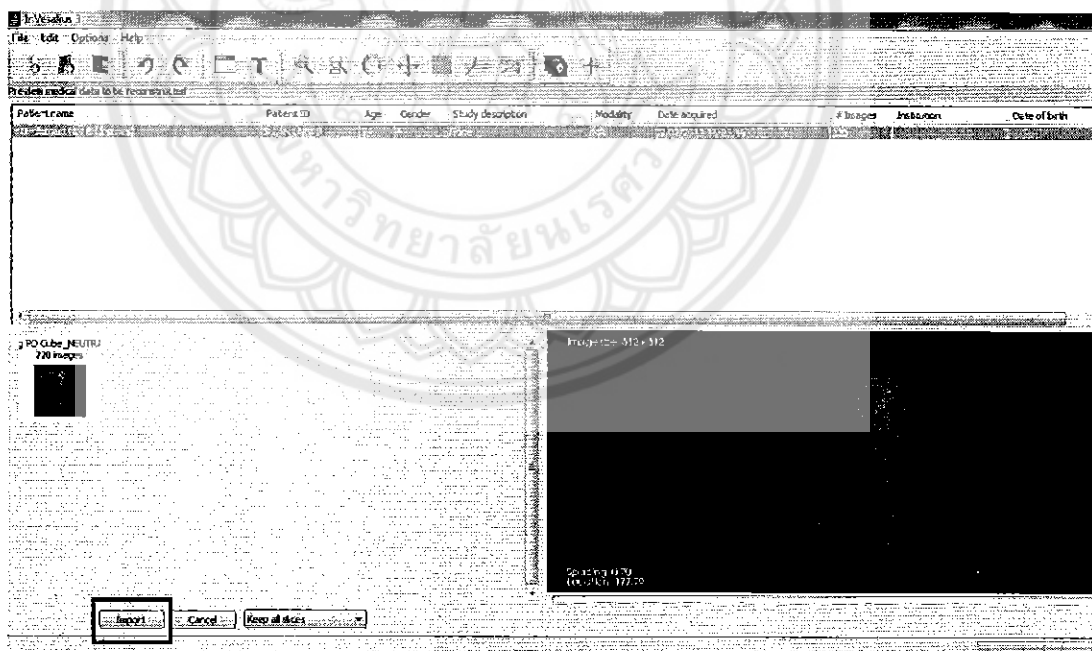
1. ขั้นตอนการนำเข้าชุดภาพถ่ายทางการแพทย์



รูปที่ ก.15 คลิก File => Import DICOM

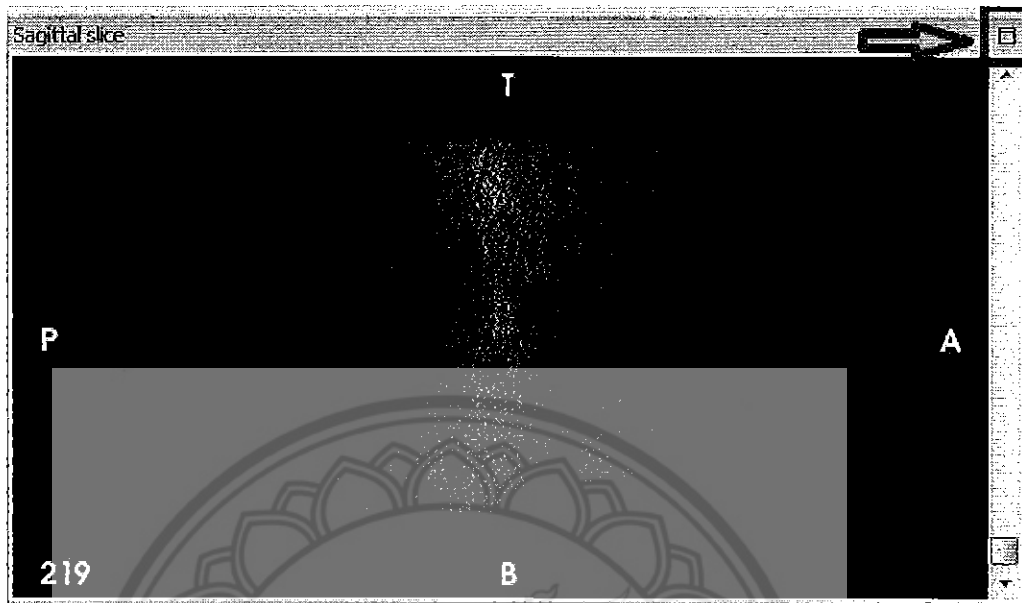


รูปที่ ก.16 เลือกโฟลเดอร์ของชุดภาพถ่ายทางการแพทย์ => คลิก OK

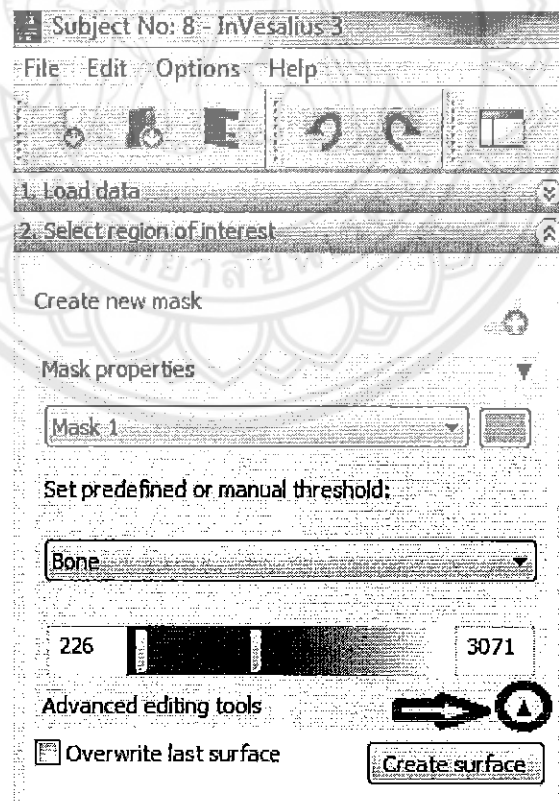


รูปที่ ก.17 คลิก Import

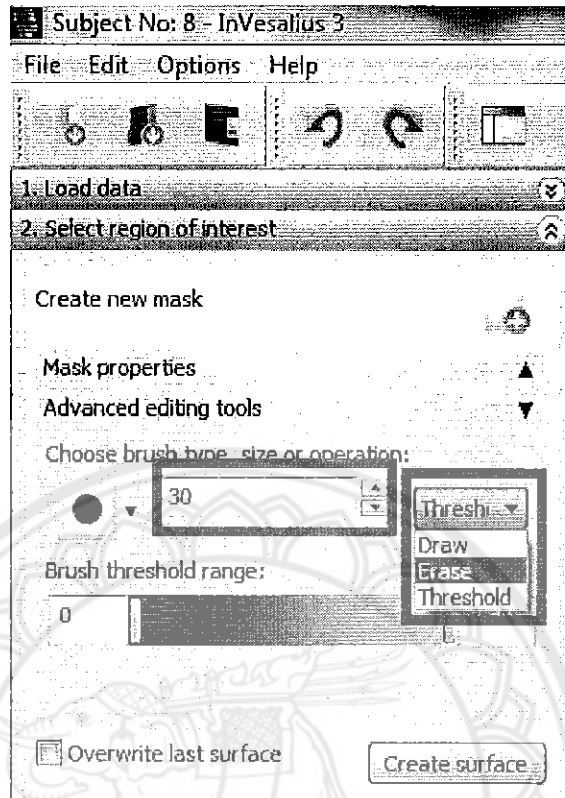
2. ขั้นตอนการแบ่งส่วนชุดภาพถ่ายทางการแพทย์และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ



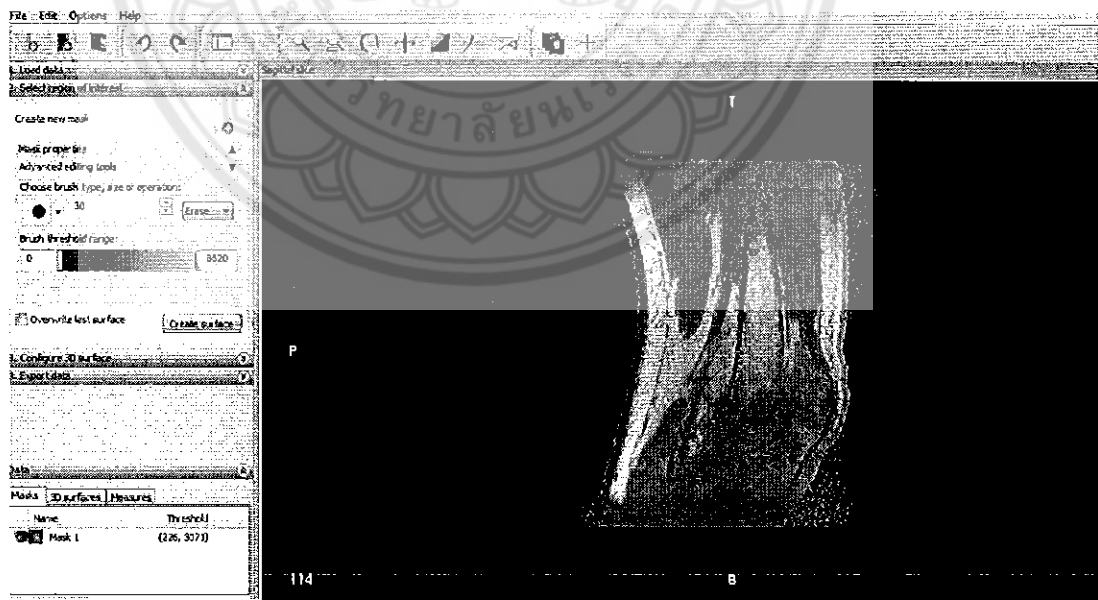
รูปที่ ก.18 ที่ระนาบ sagittal คลิกที่ลูกศรสีแดงเพื่อขยายหน้าต่างของระนาบ



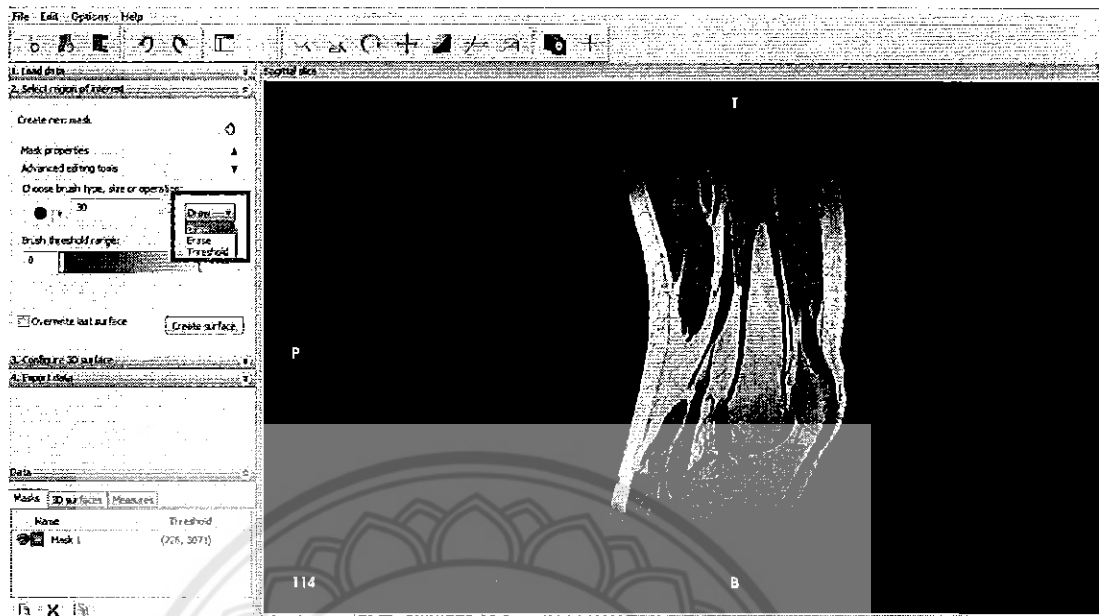
รูปที่ ก.19 คลิกที่สามเหลี่ยมตามลูกศร



รูปที่ ก.20 เลือกคำสั่ง Erase ในบริเวณช่องสี่แดง => เลือกขนาดของคำสั่งในช่องสี่เหลี่ยม



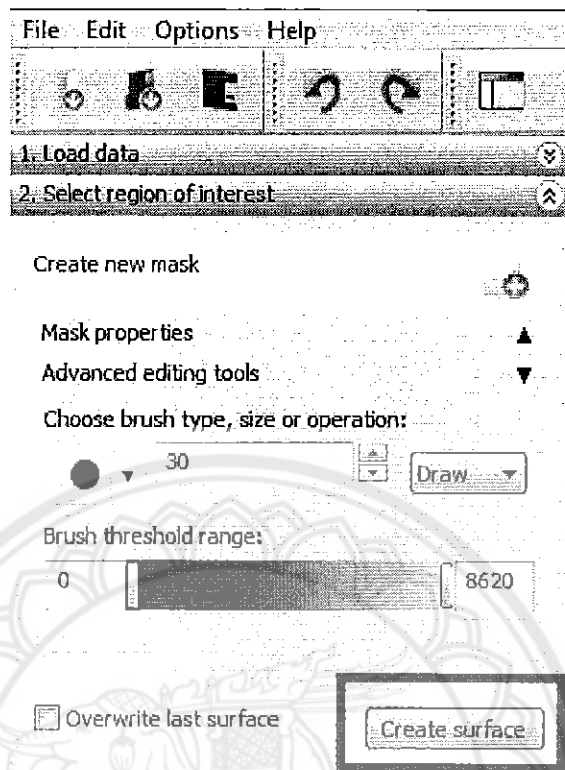
รูปที่ ก.21 ทำการลบบริเวณที่เป็นสีเขียวก่อนทำการแบ่งส่วนภาพ



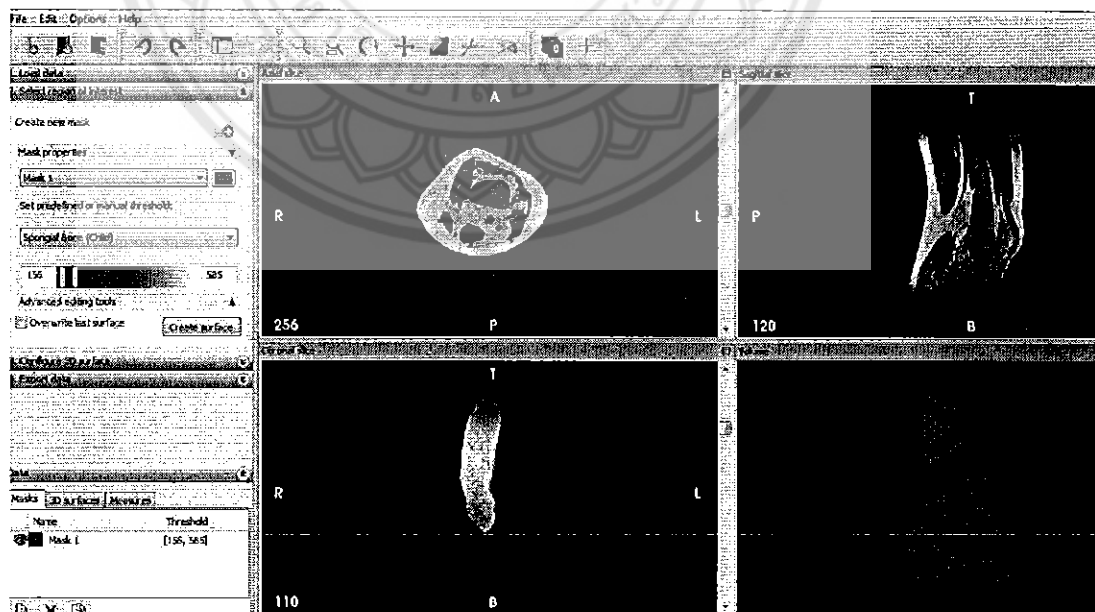
รูปที่ ก.22 เลือกคำสั่ง Draw เพื่อระบายสีของขอบเขตที่ต้องการจะแบ่งส่วนภาพ



รูปที่ ก.23 ระบายสีขอบเขตของกระดูก Femur ทำแบบนี้จนครบทั้งหมดของชุดภาพถ่ายทางการแพทย์

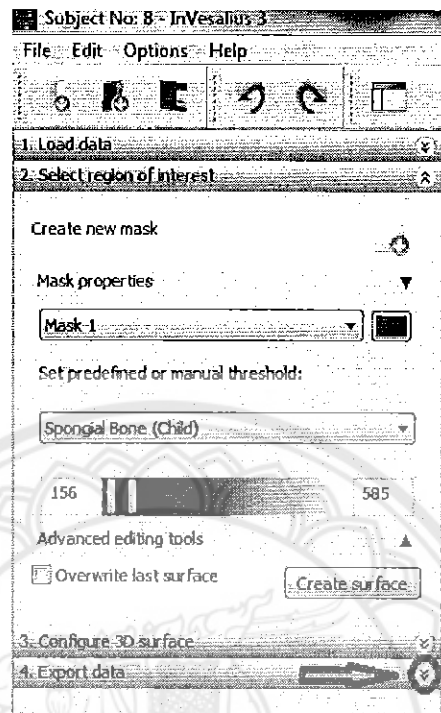


รูปที่ ก.24 เมื่อทำการแบ่งส่วนภาพเสร็จแล้ว คลิกที่ Create surface เพื่อทำการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ

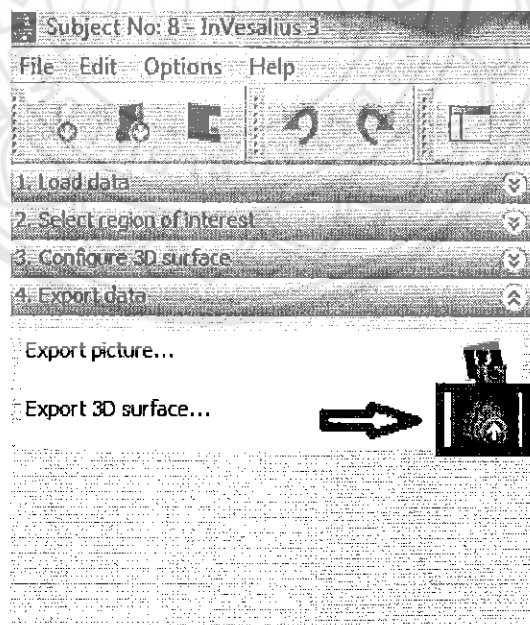


รูปที่ ก.25 โมเดลสามมิติที่ได้จากการแบ่งส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้ว

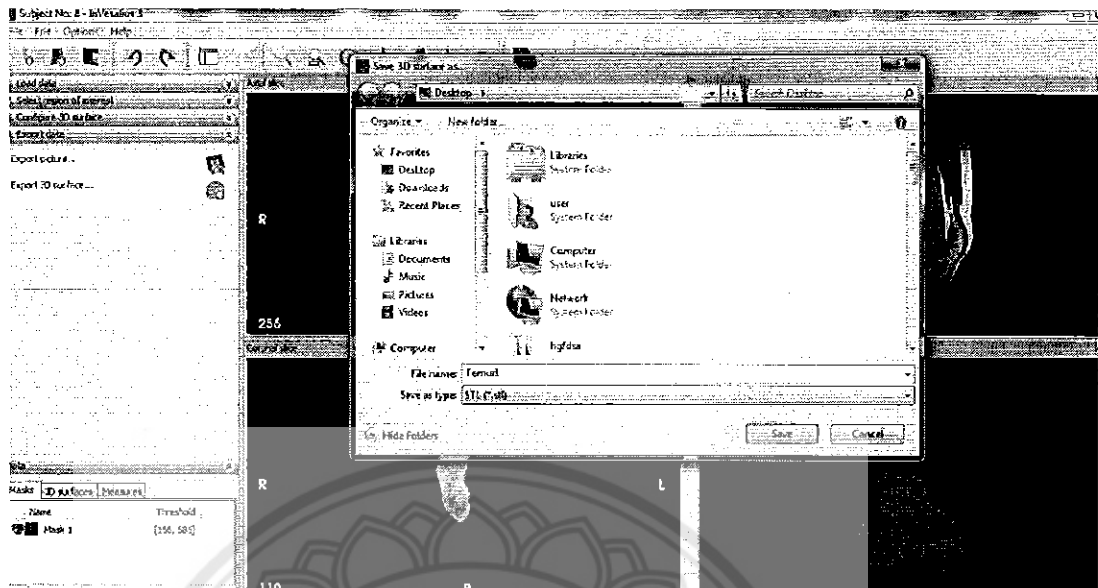
3. การส่งออกภาพโมเดลสามมิติ



รูปที่ ก.26 เมื่อได้รูปโมเดลสามมิติแล้ว คลิกที่ตามลูกศรชี้



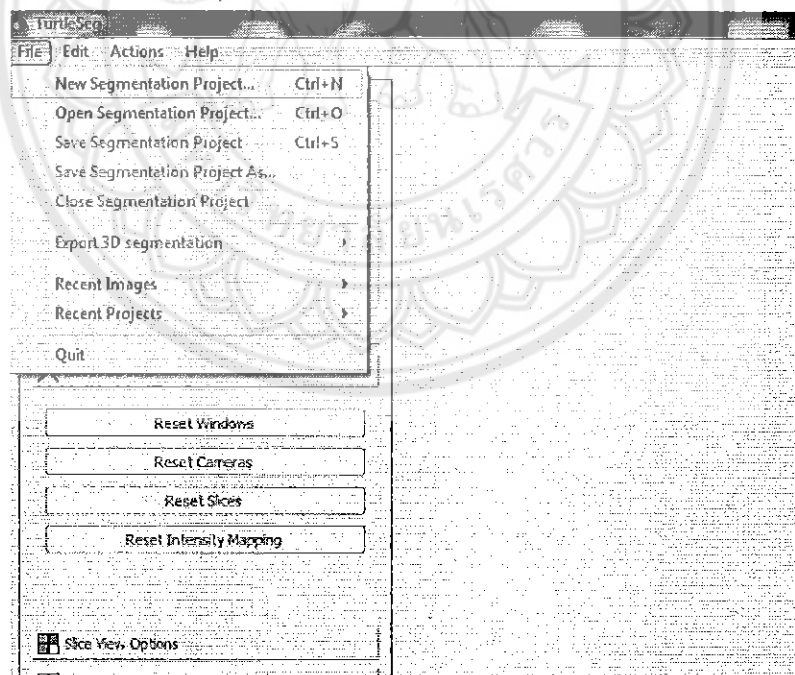
รูปที่ ก.27 คลิกตามที่ลูกศรชี้



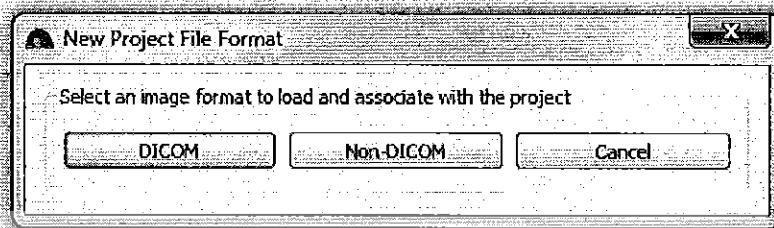
รูปที่ ก.28 ตั้งชื่อไฟล์ =>เลือกนามสกุลเป็น .STL => คลิก save

ก. 3 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ Turtleseg

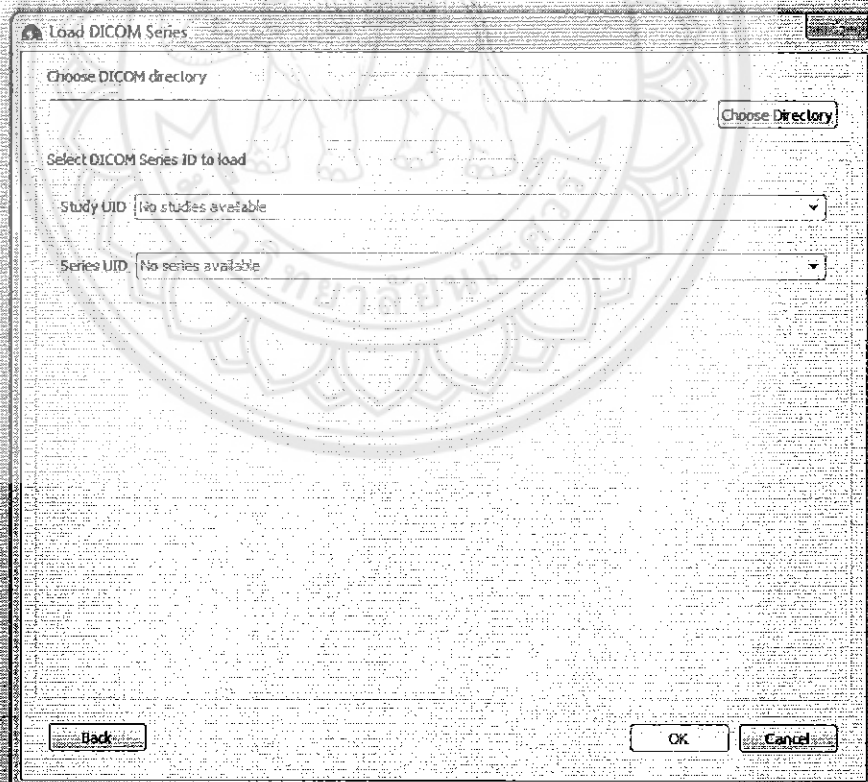
1. ขั้นตอนการนำเข้าสู่ชุดภาพถ่ายทางการแพทย์



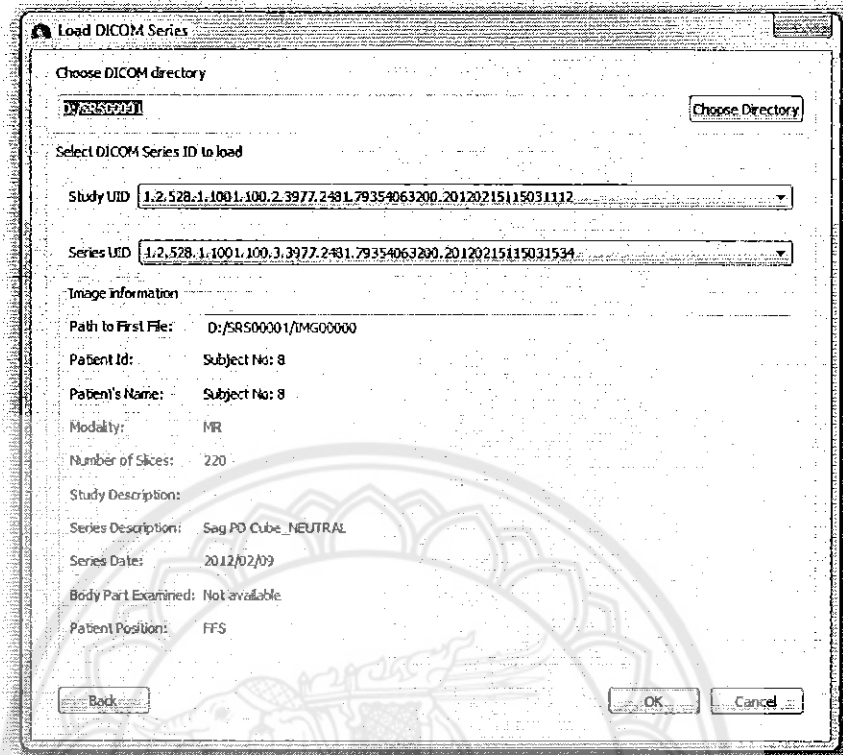
รูปที่ ก.29 คลิก File => New Segmentation Project



รูปที่ ก.30 คลิก DIOM

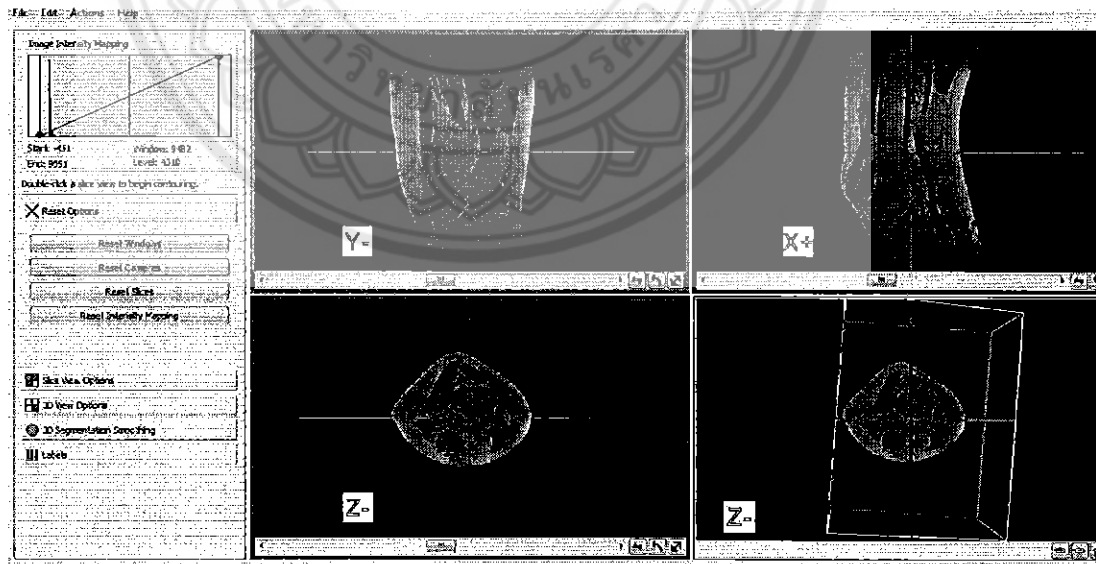


รูปที่ ก.31 คลิก Choose Directory เพื่อเลือกโฟลเดอร์ของชุดภาพถ่ายทางการแพทย์

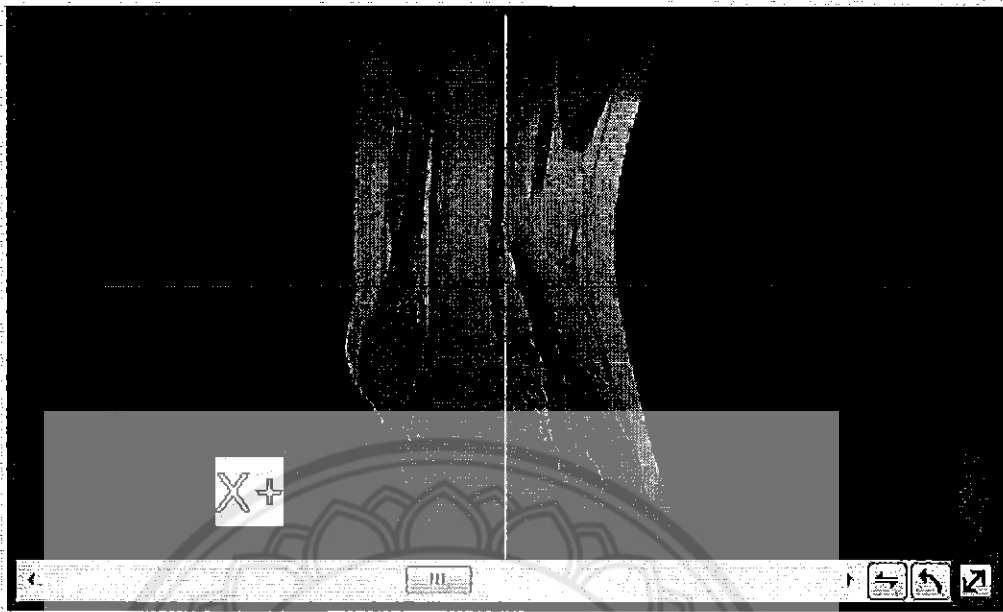


รูปที่ ก.32 คลิก OK

2. ขั้นตอนการแบ่งส่วนชุดภาพถ่ายทางการแพทย์และการขึ้นรูปโมเดลสามมิติ



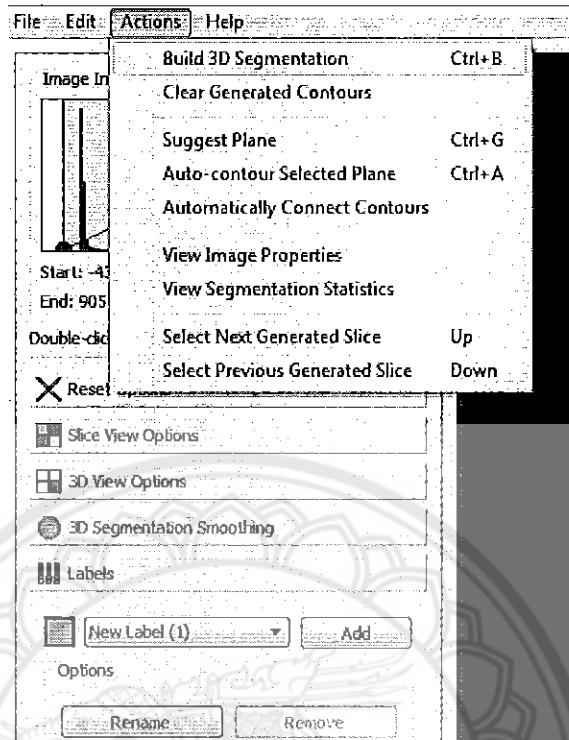
รูปที่ ก.33 หน้าต่างการใช้งานทั่วไป



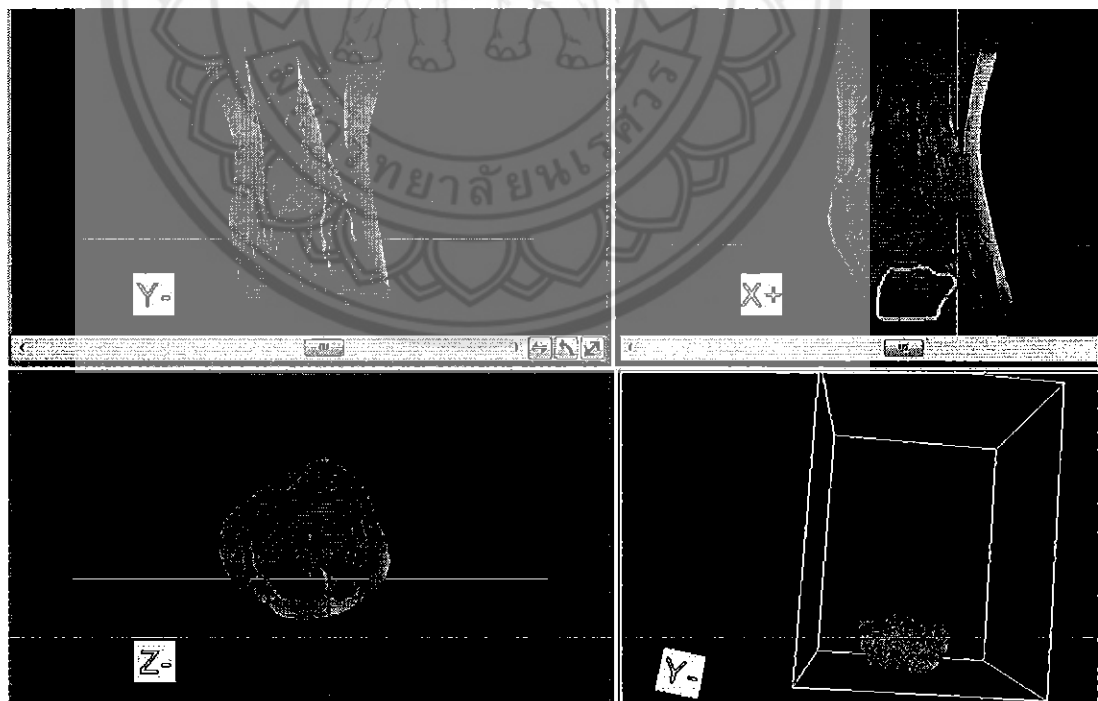
รูปที่ ก.34 ที่ ที่ระนาบ sagittal คลิกที่ลูกศรสีแดงเพื่อขยายหน้าต่างของระนาบ



รูปที่ ก.35 ดับเบิลคลิกแล้วลากเส้นเพื่อเริ่มที่จะสร้างขอบเขตเพื่อทำการแบ่งส่วนภาพ

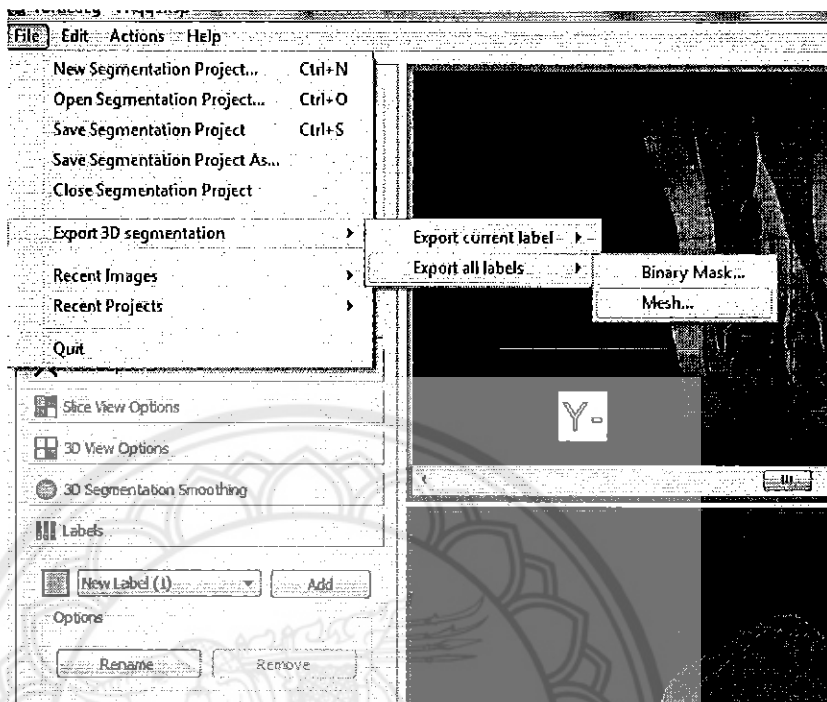


รูปที่ ก.36 คลิก Action => Build 3D Segmentation

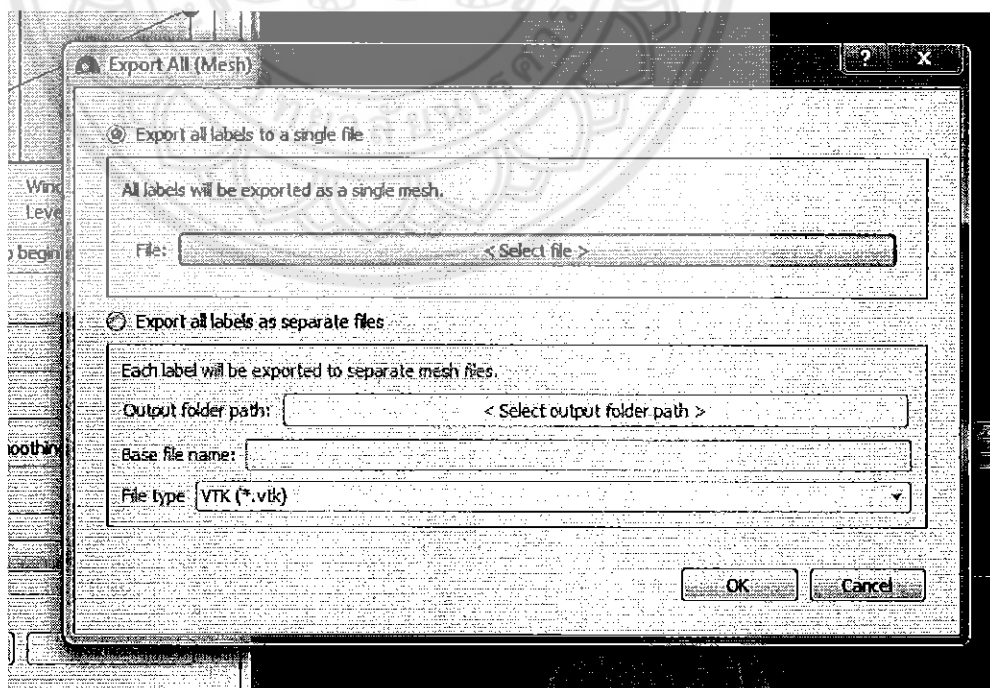


รูปที่ ก.37 โมเดลสามมิติที่ได้จากการแบ่งส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3. การส่งออกภาพโมเดลสามมิติ



รูปที่ ก.38 คลิก File => Export 3D segmentation => Export all labels => Mesh



รูปที่ ก.39 คลิก Select file



รูปที่ ก.40 ตั้งชื่อไฟล์ => เปลี่ยนนามสกุลไฟล์เป็น .STL => เลือกที่จะเซฟไฟล์ =>
คลิก Save



ตารางที่ ข.1 แสดงผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสเรียบ

ความละเอียดของ Element	ขนาดของ Element	Stress คำนวณจาก ทฤษฎี (N/m ²)	Stressที่ได้จาก SOLIDWORKS (N/m ²)	Deformation คำนวณจาก จากทฤษฎี (m)	Deformation คำนวณจาก SOLIDWORKS (m)	ค่าความผิดพลาด จากการคำนวณ Stress	ค่าความผิดพลาดจาก การคำนวณ Deformation
191,157 Element	2.4 mm	-59,683	-63,948	-8.53x10 ⁻⁹	-8.279x10 ⁻⁹	6.67%	3.01%
157,421 Element	2.6 mm	-59,683	-61,846	-8.53x10 ⁻⁹	-8.278x10 ⁻⁹	3.49%	3.04%
127,622 Element	2.8 mm	-59,683	-60,974	-8.53x10 ⁻⁹	-8.278x10 ⁻⁹	2.11%	3.04%
104,789 Element	3.0 mm	-59,683	-58,490	-8.53x10 ⁻⁹	-8.276x10 ⁻⁹	2.04%	3.07%

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแบบจำลองที่มีหน้าสัมผัสโค้ง

ความละเอียดของ Element	ขนาดของ Element	Stress คำนวณจาก ทฤษฎี (N/m ²)	Stressที่ได้จาก SOLIDWORKS (N/m ²)	Deformation คำนวณจาก จากทฤษฎี (m)	Deformation คำนวณจาก SOLIDWORKS (m)	ค่าความผิดพลาด จากการคำนวณ Stress	ค่าความผิดพลาดจาก การคำนวณ Deformation
269,454 Element	2.0 mm	-77,953	-78,096	-7.42x10 ⁻⁹	-7.258x10 ⁻⁹	0.18%	2.28%
234,135 Element	2.1 mm	-77,953	-78,274	-7.42x10 ⁻⁹	-7.262x10 ⁻⁹	0.41%	2.23%
199,945 Element	2.2 mm	-77,953	-77,998	-7.42x10 ⁻⁹	-7.261x10 ⁻⁹	0.057%	2.24%
182,246 Element	2.3mm	-77,953	-77,911	-7.42x10 ⁻⁹	-7.259x10 ⁻⁹	0.054%	2.27%

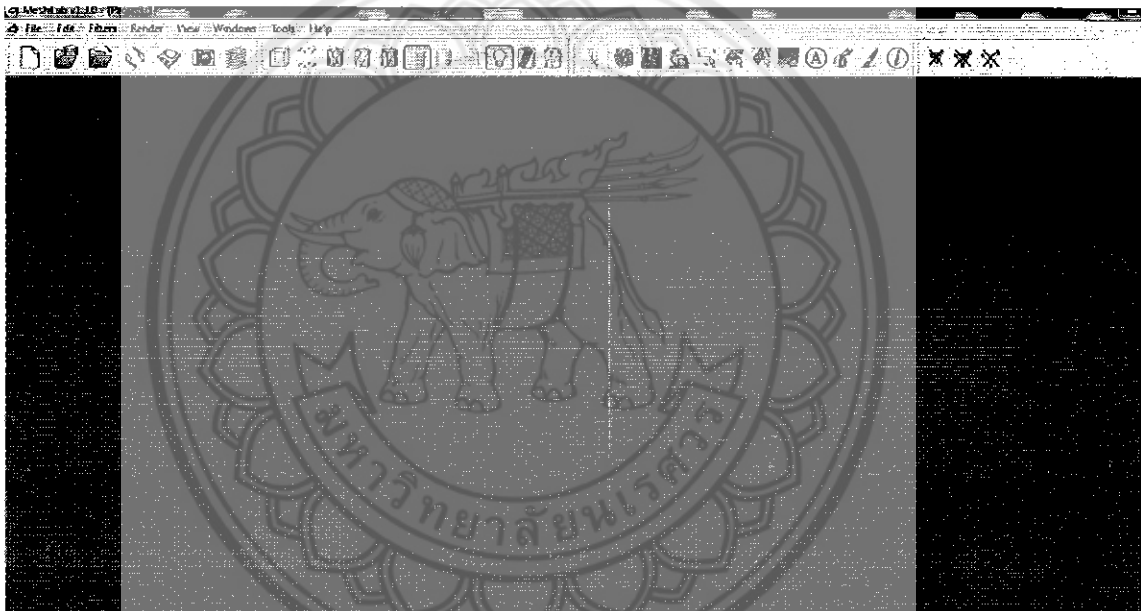


การใช้งานซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการปรับความเรียบเนียนที่พื้นผิวของโมเดลสามมิติ

หลังจากได้โมเดลสามมิติจากซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการ segmentation จะยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จะต้องมีส่วนเสริมในการปรับความเรียบเนียนให้กับพื้นผิวโมเดลสามมิติโดยใช้ซอฟต์แวร์อยู่ 3 ซอฟต์แวร์ดังนี้

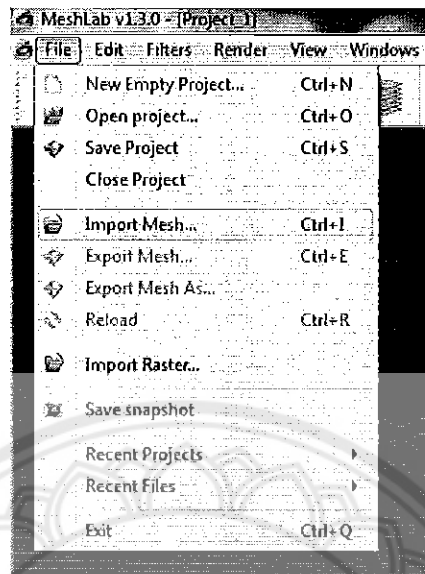
1. Meshlab
2. Blender
3. netfabb basic

ค.1 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ Meshlab v1.3.0

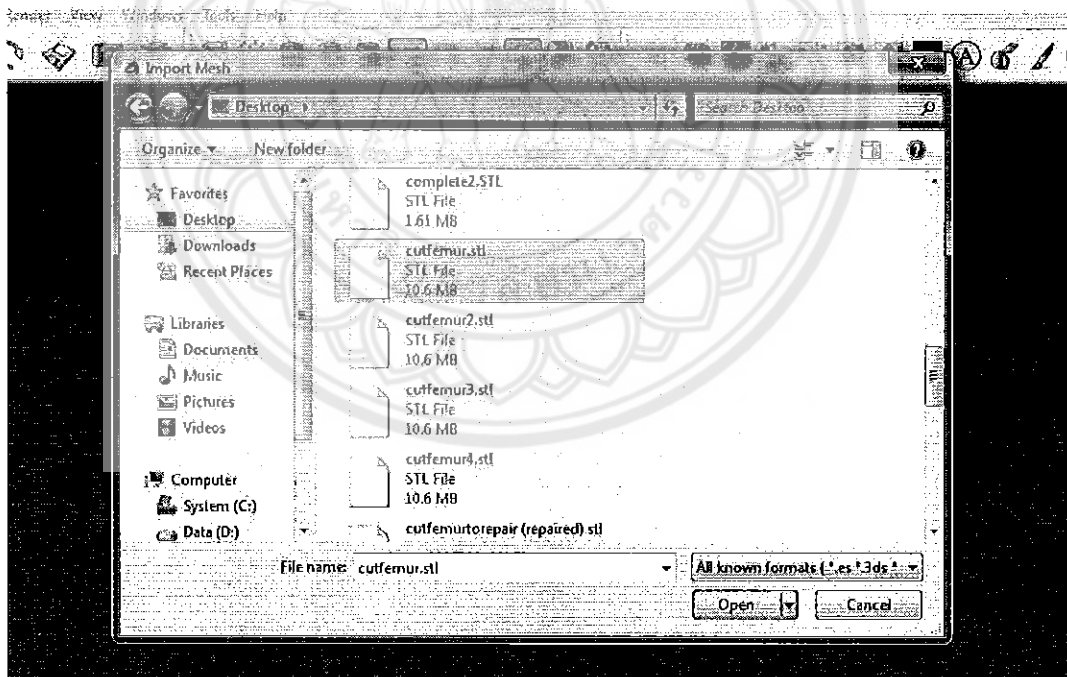


รูปที่ ข.1 หน้าต่างการใช้งานทั่วไปของซอฟต์แวร์

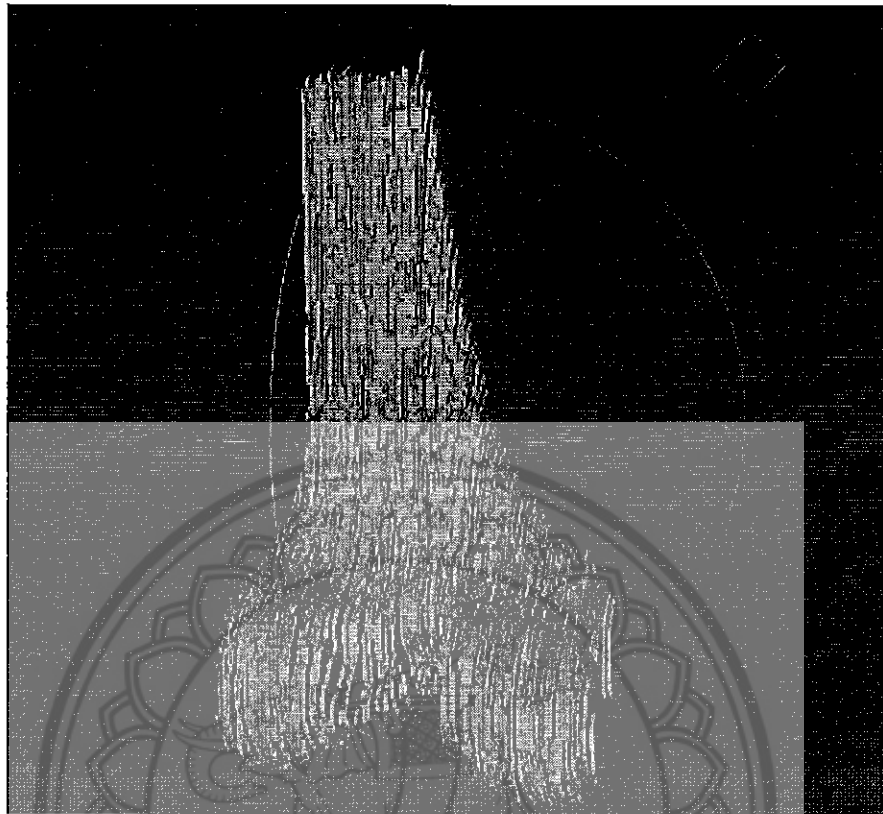
1. การนำเข้าโมเดลสามมิติ



รูปที่ ข.2 คลิก File => Import Mesh

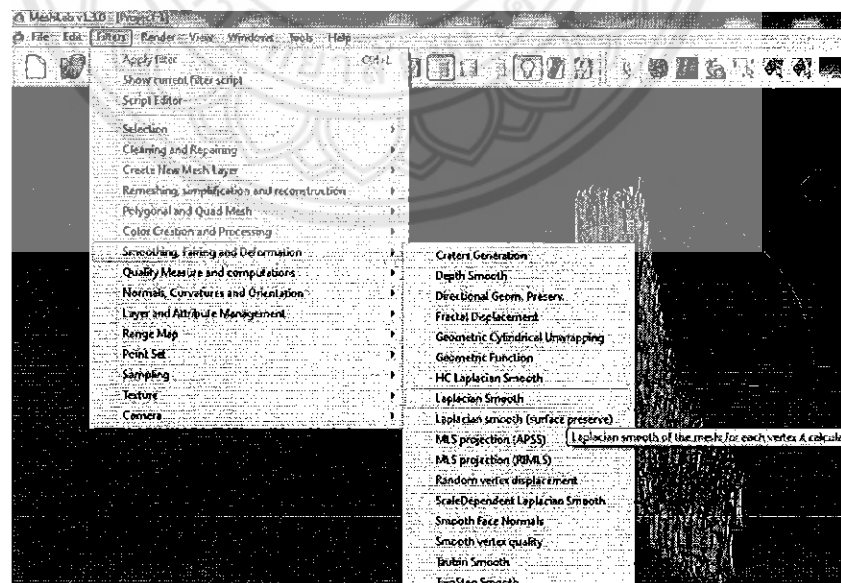


รูปที่ ข.3 เลือกไฟล์โมเดลสามมิติ => คลิก open

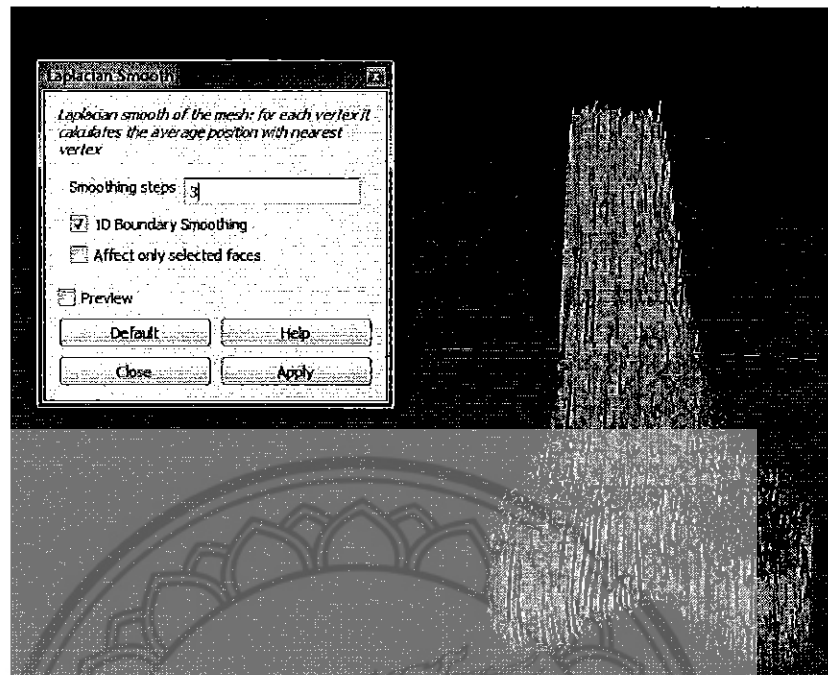


รูปที่ ข.4 รูปร่างก่อนทำการปรับพื้นผิวให้ราบเรียบ

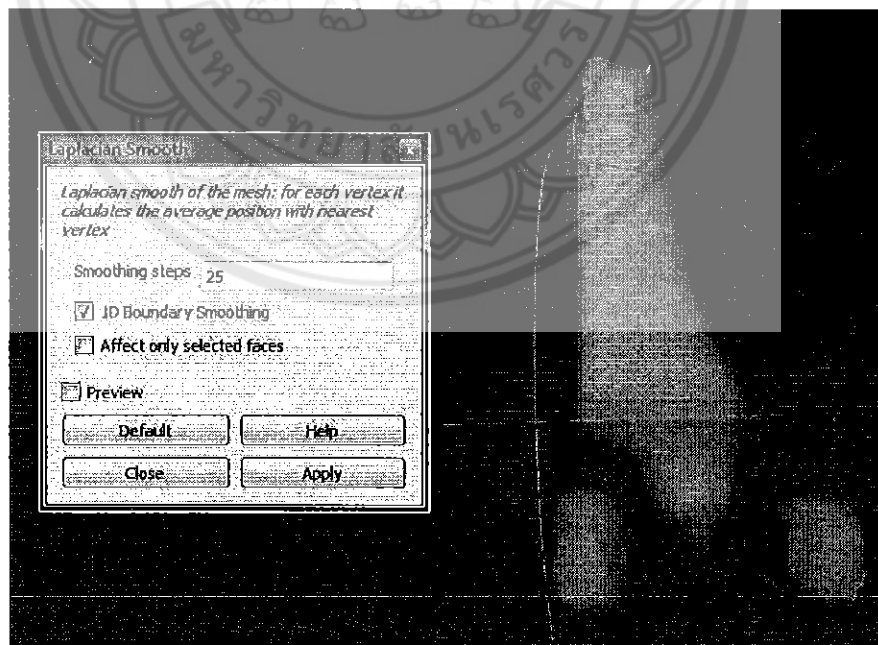
2. ขั้นตอนการปรับพื้นผิวของโมเดลสามมิติให้มีความเรียบเนียน



รูปที่ ข.5 คลิก Filters => Smoothing, Fairing and Deformation => Laplacian Smooth

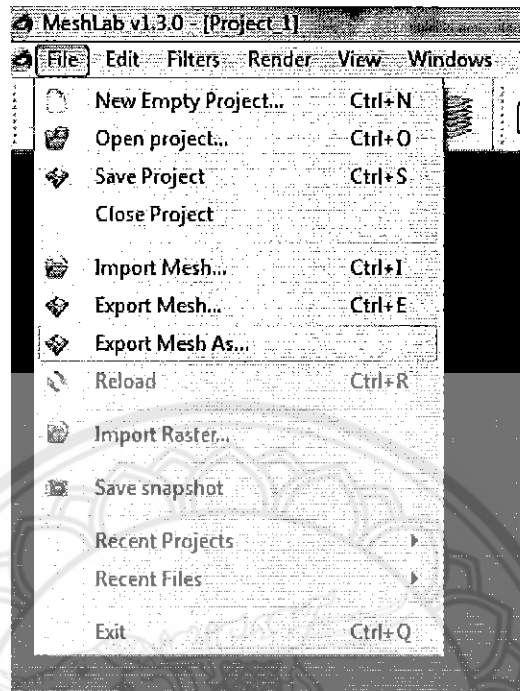


รูปที่ ข.6 คลิก Apply จะเห็นได้ว่าโมเดลสามมิติมีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นเพิ่มสเต็ปเพื่อให้พื้นผิวดูเรียบเนียนมากขึ้นโดยเพิ่มสเต็ปทีละ 1 จากนั้นคลิก Apply ทำเช่นนี้จนโมเดลมีพื้นผิวเรียบเนียนตามที่ต้องการ

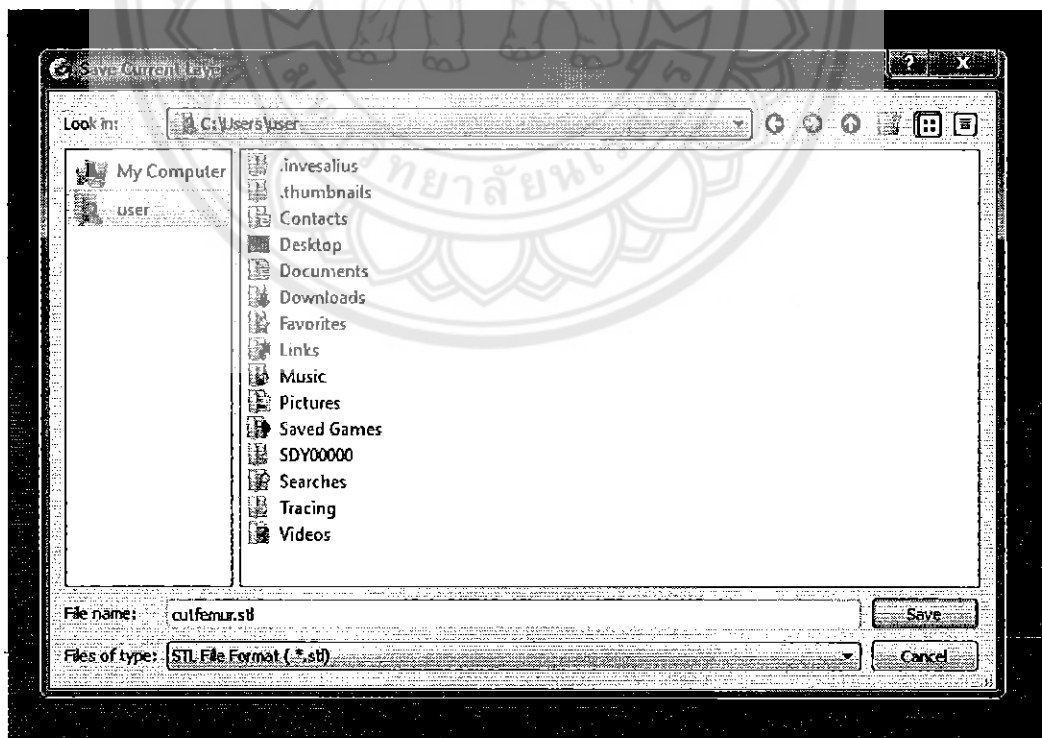


รูปที่ ข.7 เมื่อโมเดลมีความเรียบเนียนแล้วคลิก Close เพื่อปิดคำสั่ง

3. ขั้นตอนการส่งออกโมเดลสามมิติหลังจากปรับแต่งเสร็จแล้ว

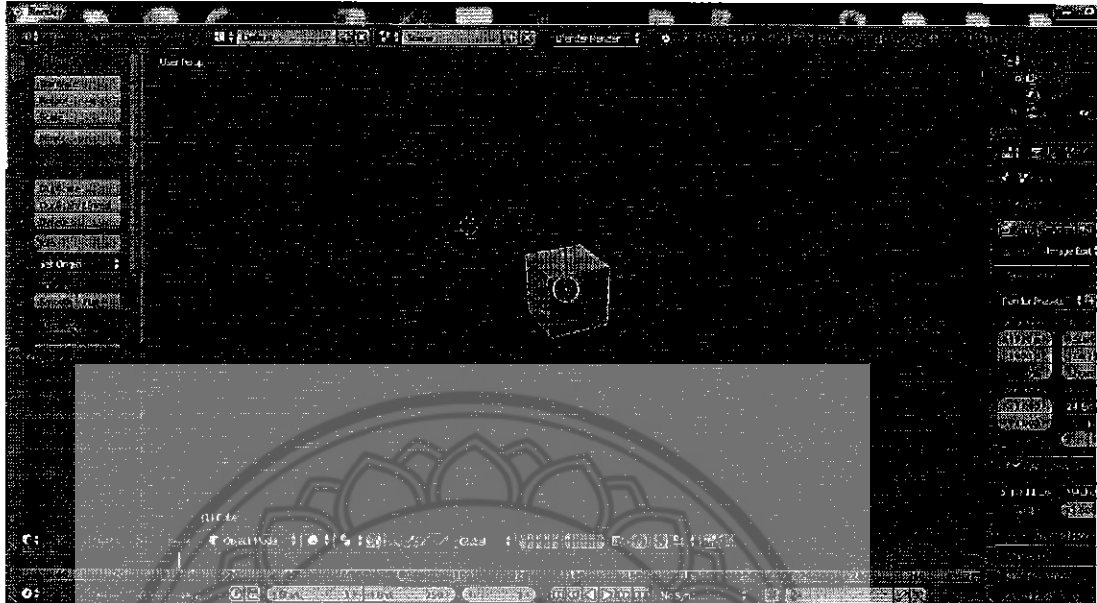


รูปที่ ข. 8 คลิก File => Export Mesh As



รูปที่ ข.9 เลือกที่เซฟไฟล์ => ตั้งชื่อไฟล์ => เปลี่ยนนามสกุลไฟล์เป็น .STL => คลิก Save

ค. 2 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ Blender v 2.70



รูปที่ ข.10 หน้าต่างการใช้งานทั่วไปของซอฟต์แวร์

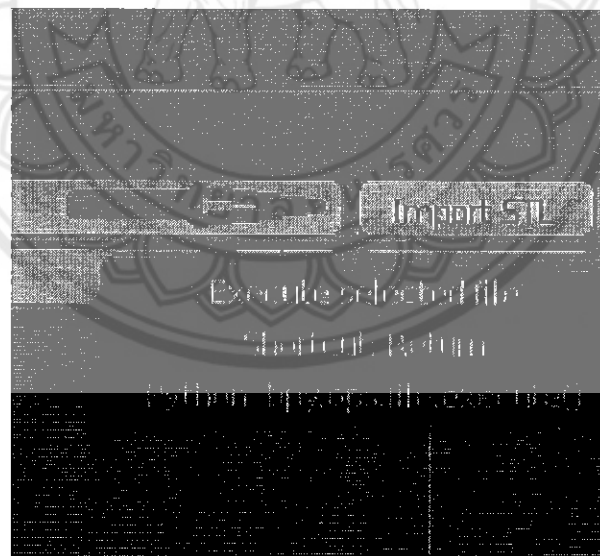
1. การนำเข้าโมเดลสามมิติ



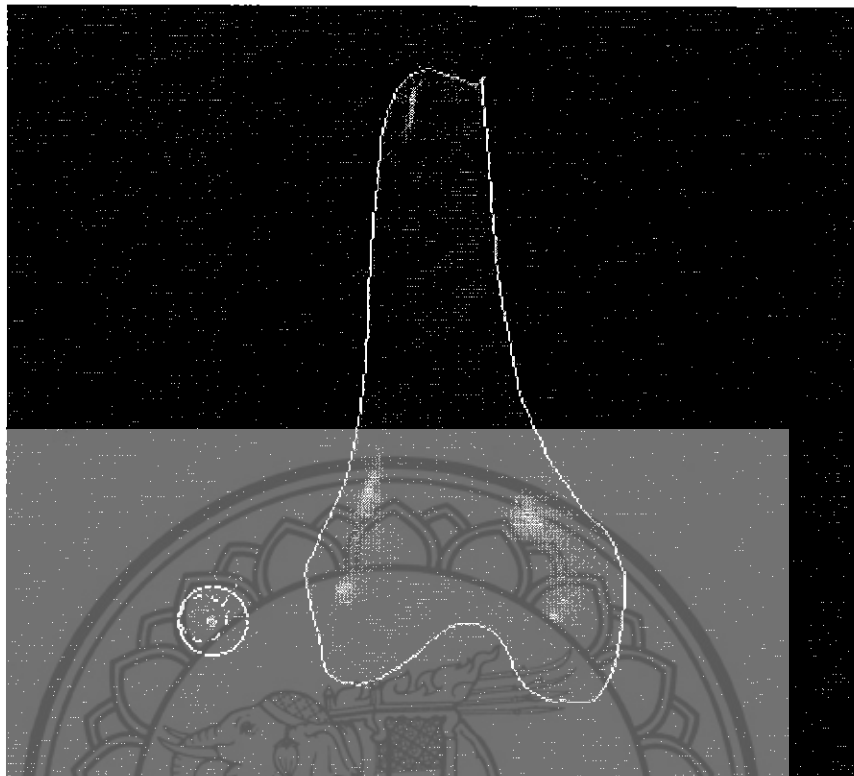
รูปที่ ข.11 คลิก File => Import => STL



รูปที่ ข.12 คลิกเลือกไฟล์โมเดลสามมิติจากโฟลเดอร์

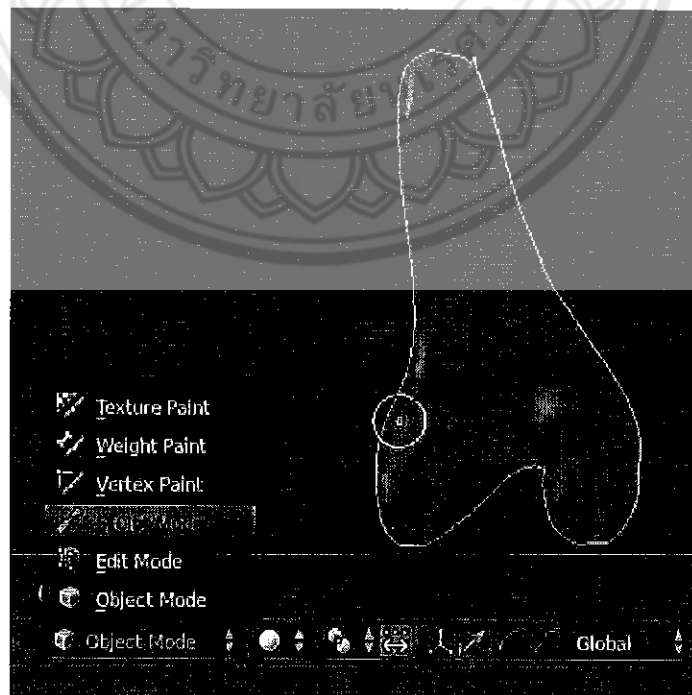


รูปที่ ข.13 คลิก Import STL



รูปที่ ข.14 รูปร่างหลังจากนำเข้าโมเดลสามมิติเสร็จ

2. ขั้นตอนการปรับความเรียบเนียนเฉพาะจุด



รูปที่ ข.15 คลิก Object Mode => Sculpt Mode



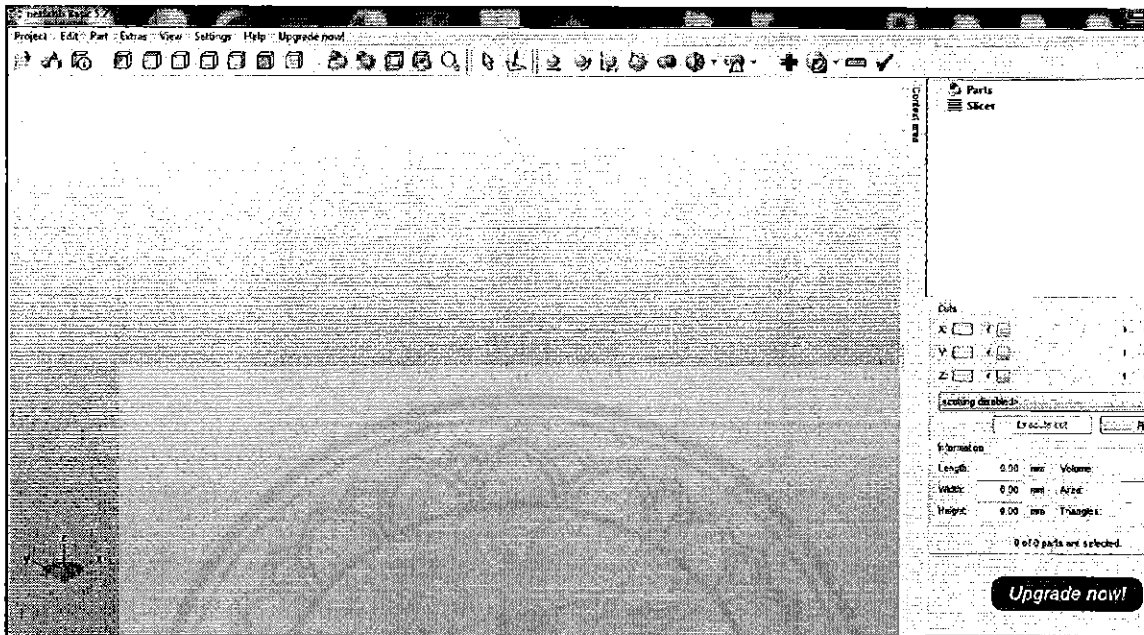
รูปที่ ข.16 คลิกที่ช่องสีแดงจะปรากฏแถบเครื่องมือให้เลือกใช้ในการปรับแต่งพื้นผิวโมเดลสามมิติ

3. ขั้นตอนการส่งออกโมเดลสามมิติหลังจากปรับแต่งเสร็จแล้ว



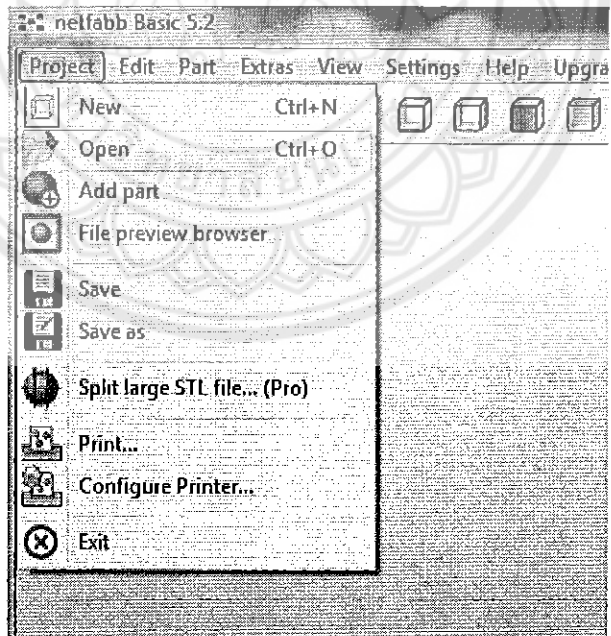
รูปที่ ข.17 คลิก File => Export => STL

ค. 3 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ Netfabb (Basic)

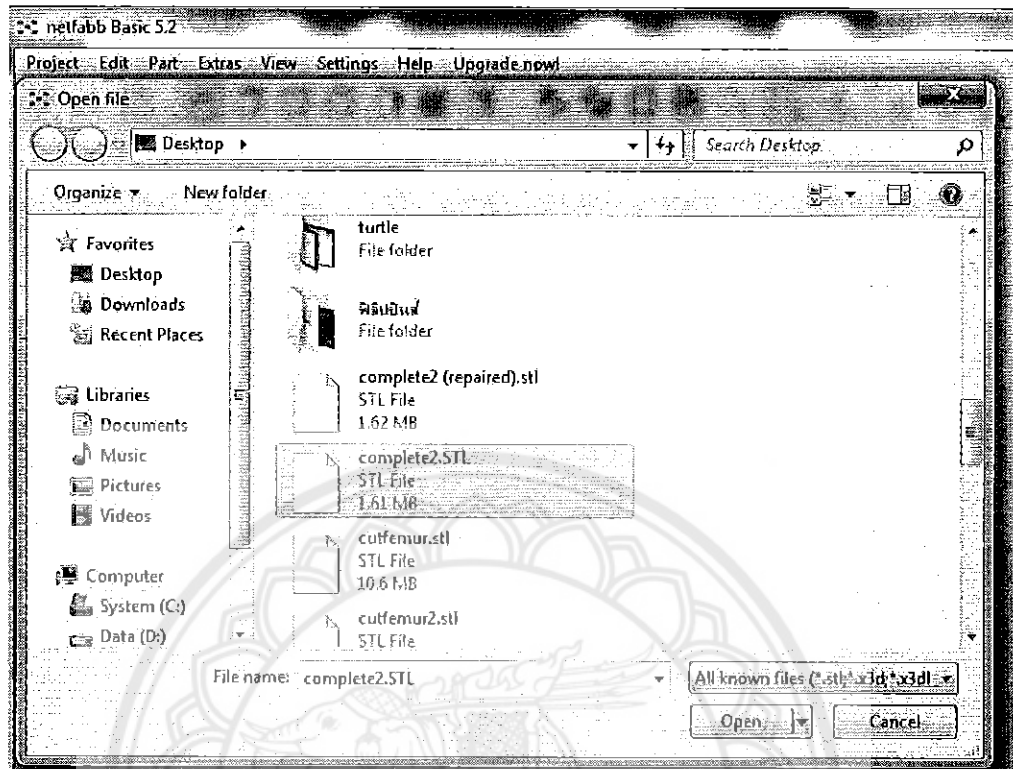


รูปที่ ข.20 หน้าต่างการใช้งานทั่วไปของซอฟต์แวร์

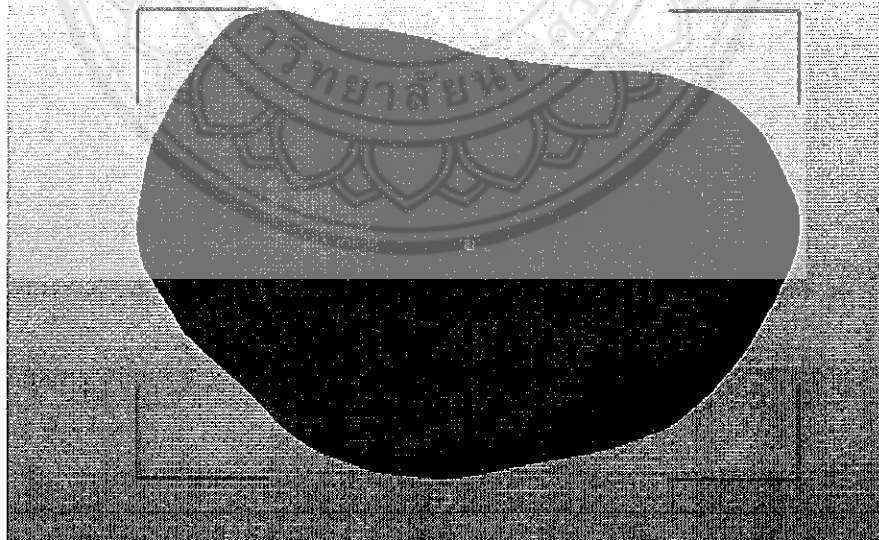
1. การนำเข้าโมเดลสามมิติ



รูปที่ ข.21 คลิก Project => Open

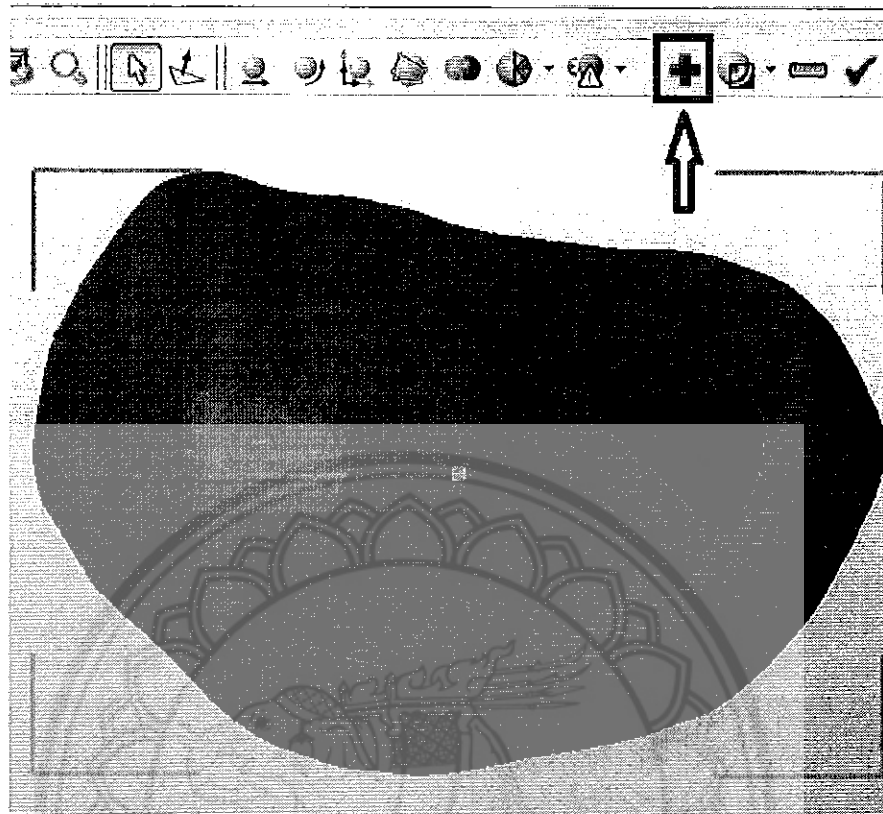


รูปที่ ข.22 เลือกไฟล์โมเดลสามมิติที่ต้องการจะซ่อมแซม

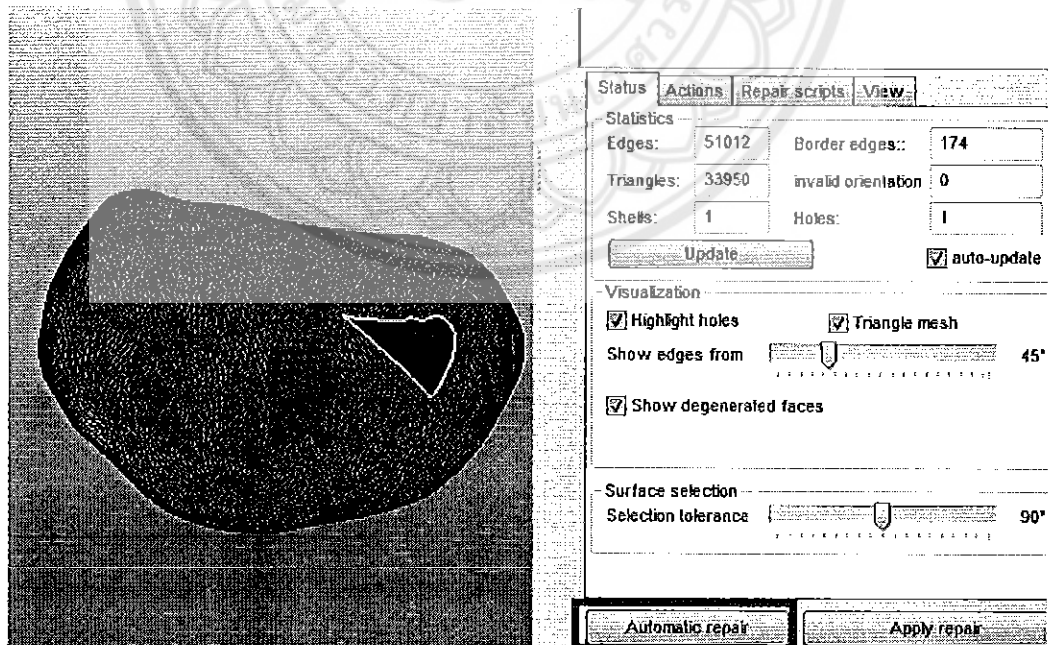


รูปที่ ข.23 โมเดลสามมิติที่เกิดความเสียหายหลังจากการสร้าง mesh surface

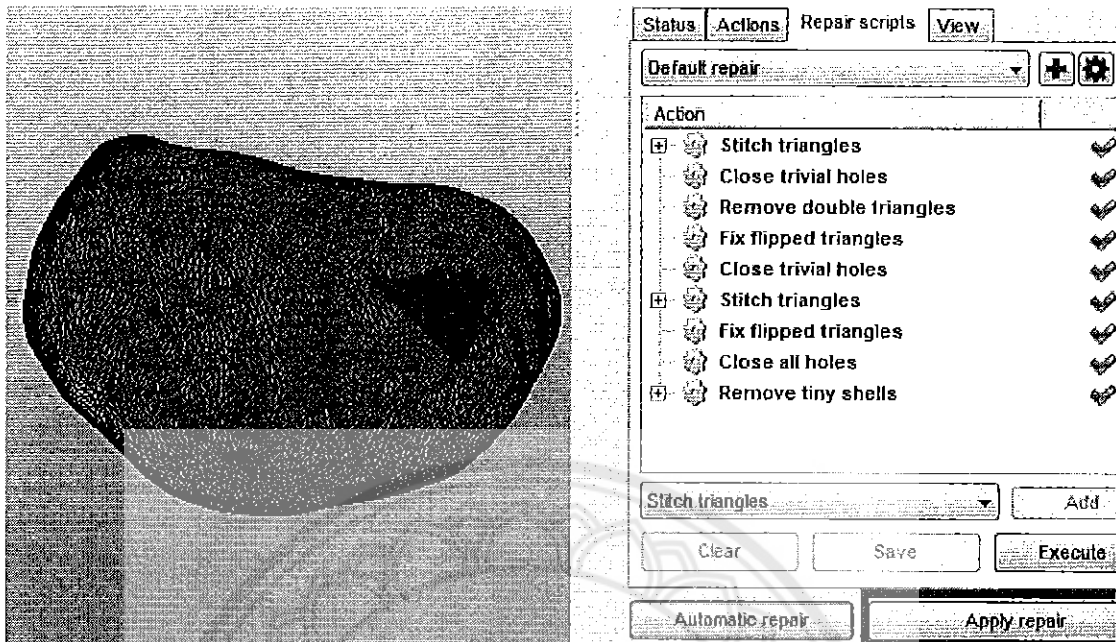
2. ขั้นตอนการซ่อม mesh surface ของโมเดลสามมิติ



รูปที่ ข.24 คลิกที่เครื่องหมายบวกตามที่ลูกศรชี้

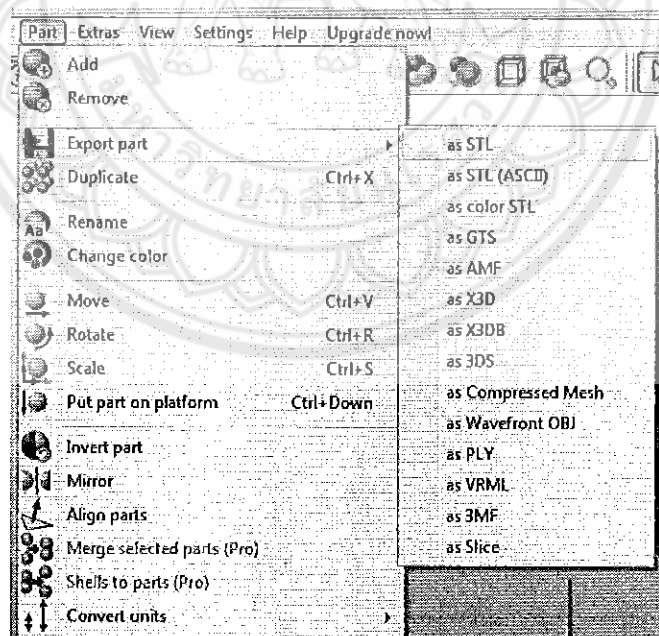


รูปที่ ข.25 คลิก Automatic repair => Execute



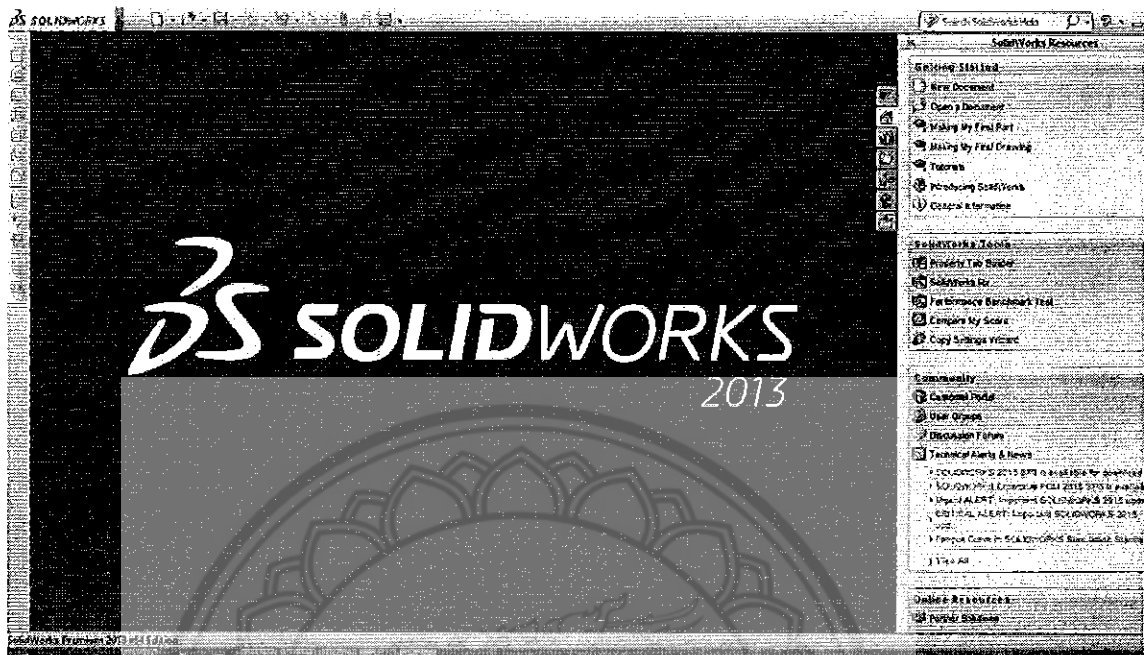
รูปที่ ข.26 จะเห็นได้ว่า mesh surface ถูกซ่อมแซมแล้ว จากนั้นคลิก Apply repair

3. ขั้นตอนการส่งออกโมเดลสามมิติหลังจากซ่อมแซมแล้ว



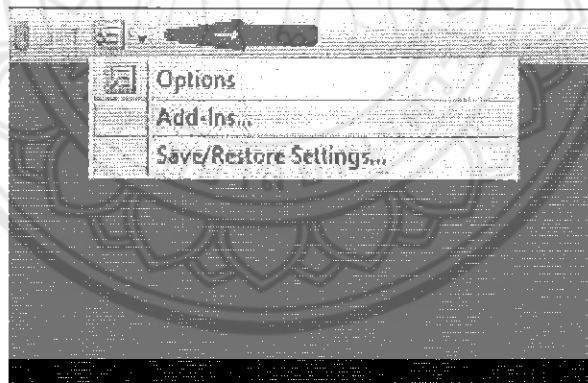
รูปที่ ข.27 คลิก Part => Export part => as STL

ค.4 ขั้นตอนการใช้งานซอฟต์แวร์ SOLIDWORKS Simulation

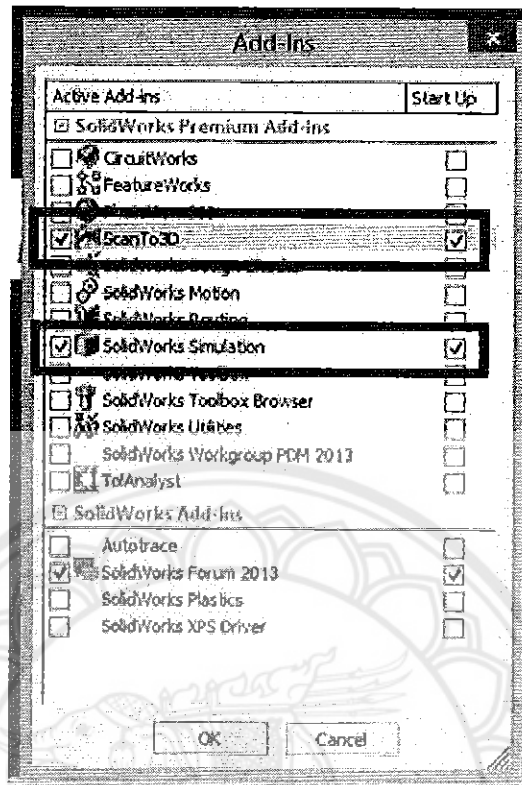


รูปที่ ข.28 หน้าต่างการใช้งานทั่วไปของซอฟต์แวร์

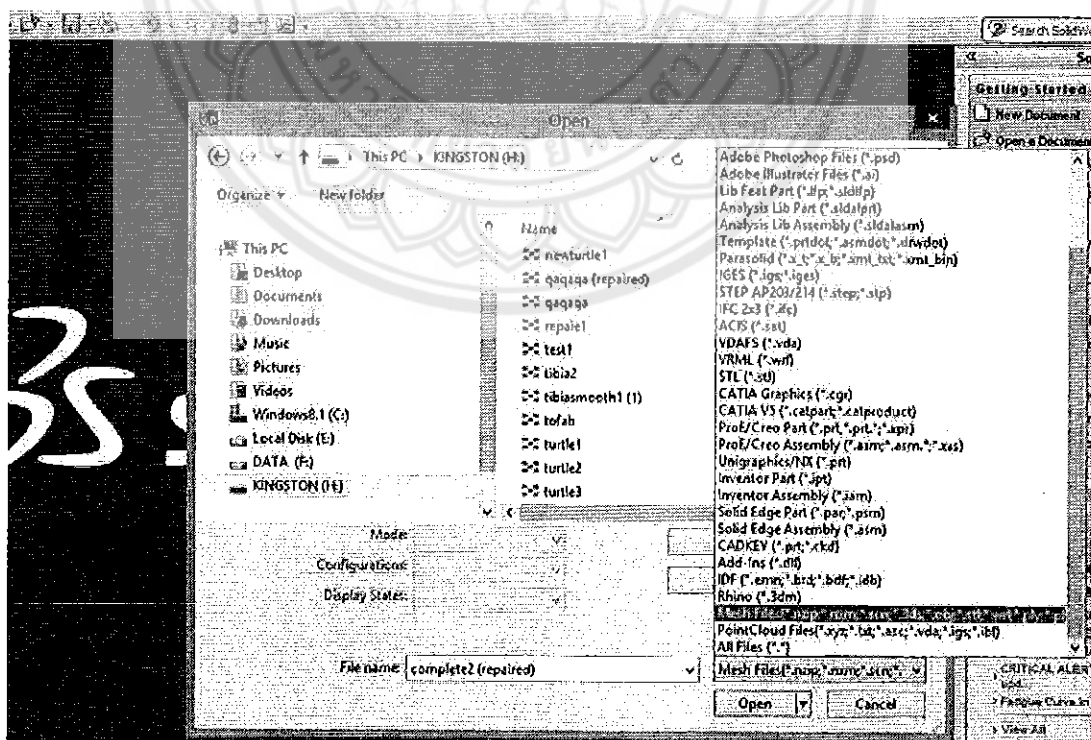
1. การนำเข้าโมเดลสามมิติ



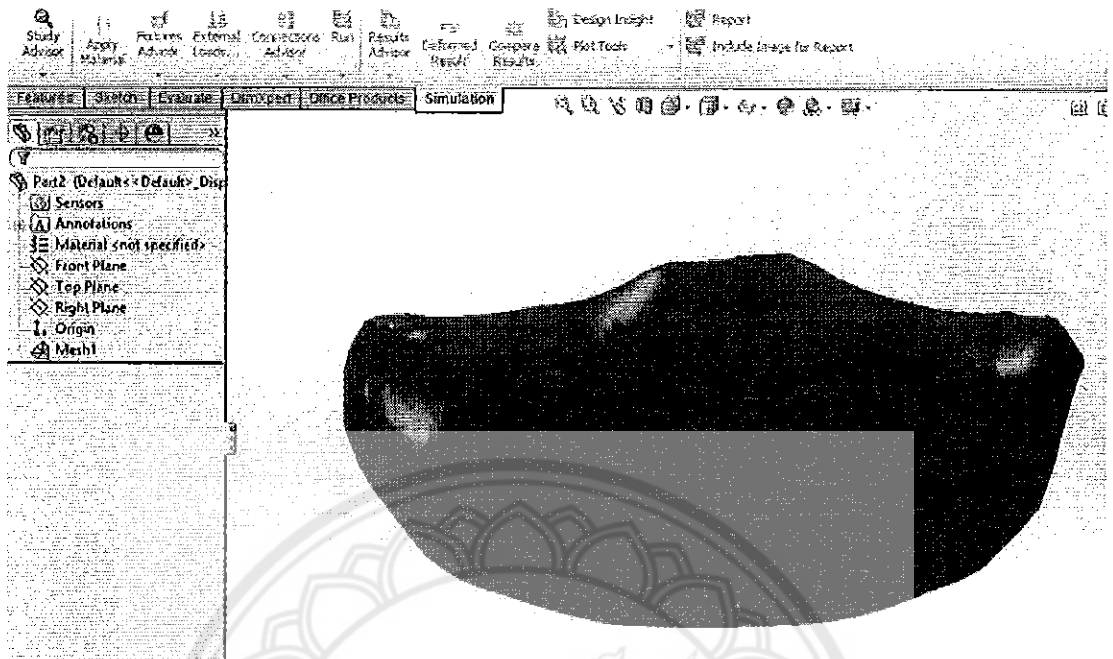
รูปที่ ข.29 คลิกตามลูกศรชี้ => คลิก Add-Ins



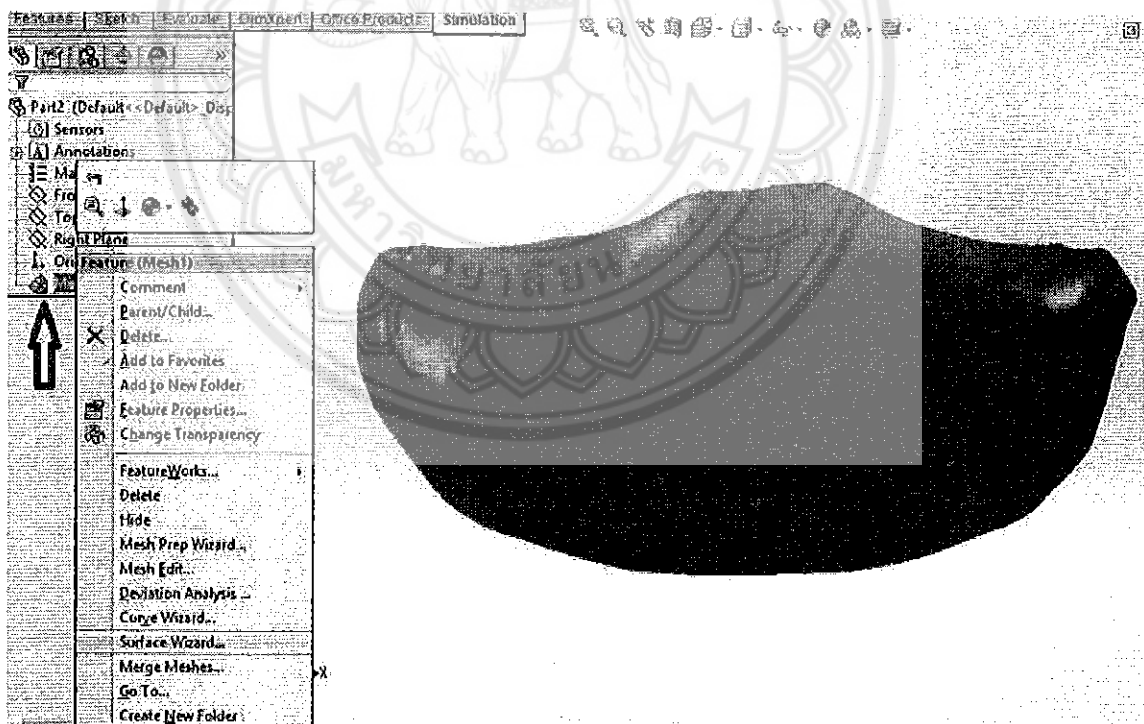
รูปที่ ข.30 Add-Ins ScanTo3D และ SolidWorks Simulation => คลิก OK



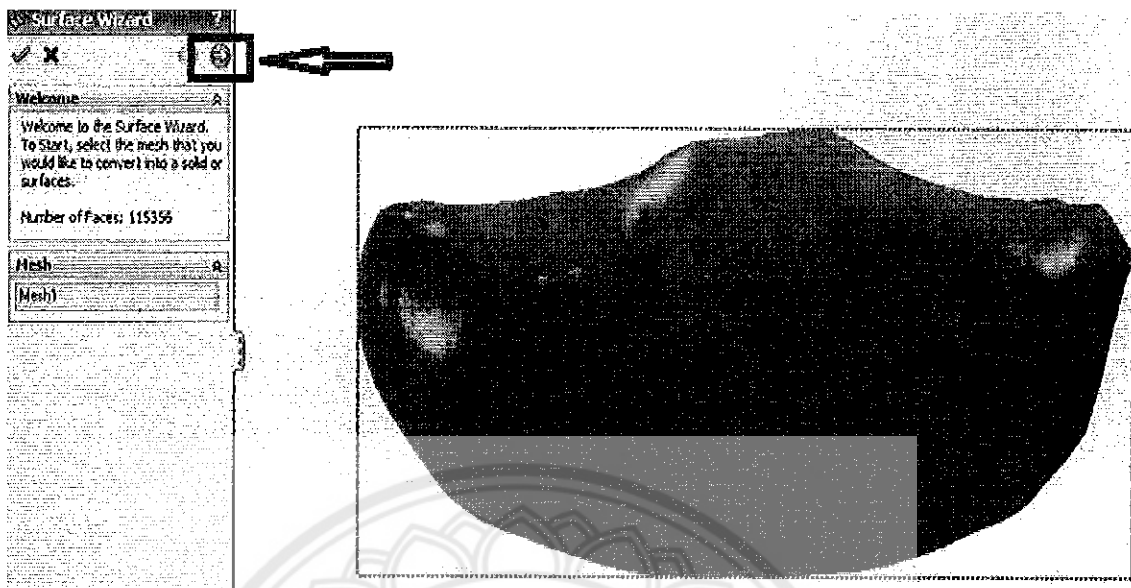
รูปที่ ข. 31 คลิก Open ตามลูกศรชี้ => เลือกนามสกุลไฟล์เป็น Mesh File



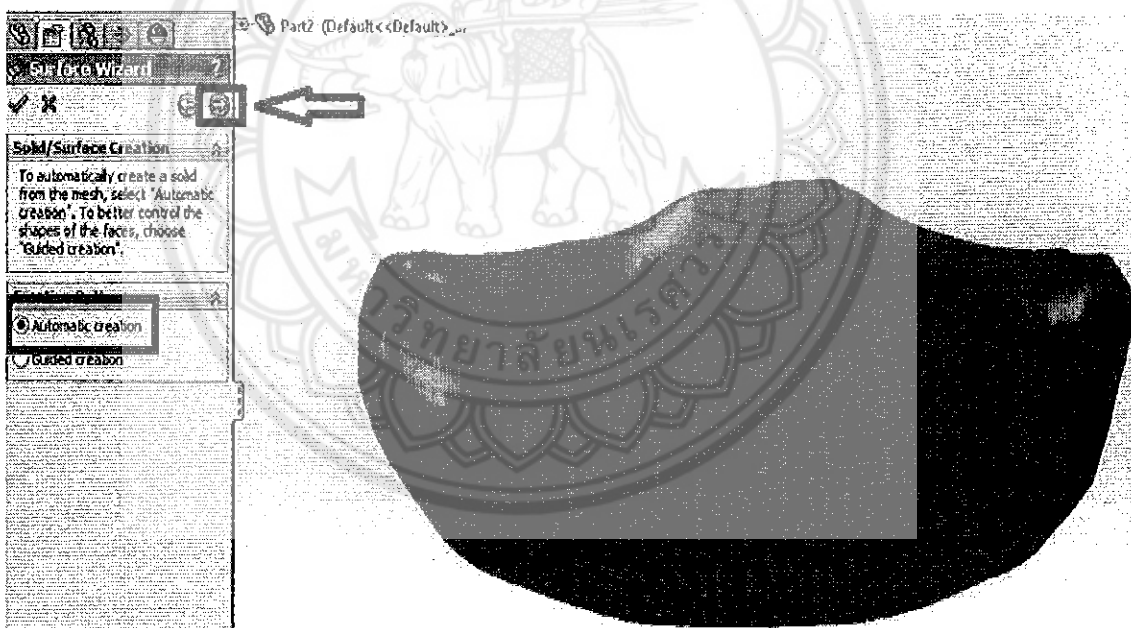
รูปที่ ข.32 โมเดลสามมิติหลังจากขั้นตอนการนำเข้า



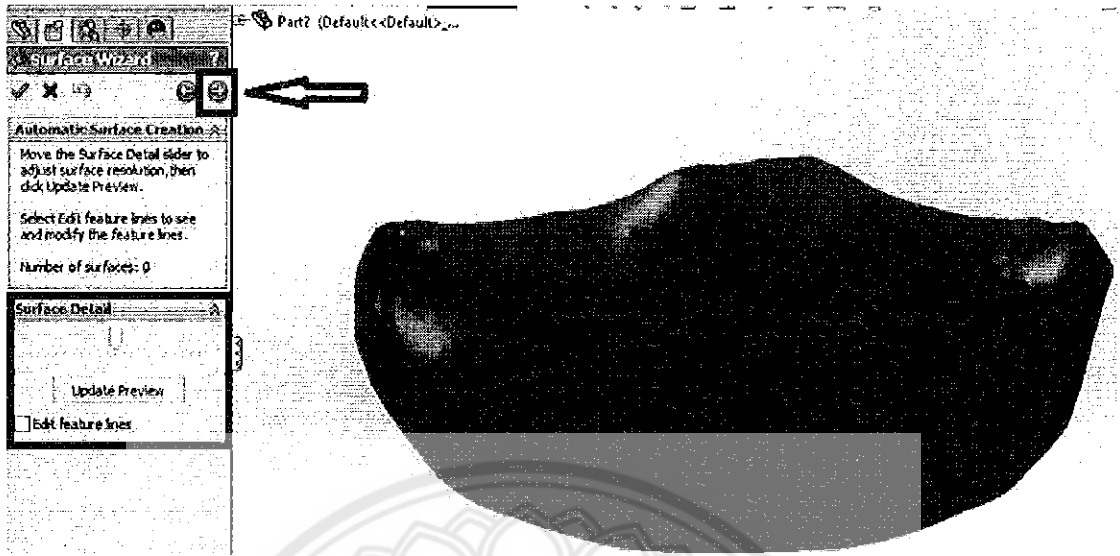
รูปที่ ข.33 คลิกขวาที่ Mesh ตามลูกศรชี้ => surface Wizard



รูปที่ ข.34 คลิกตามลูกศรชี้



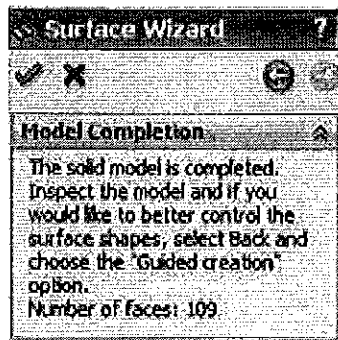
รูปที่ ข.35 เลือก Automatic creation => คลิกตามลูกศรชี้



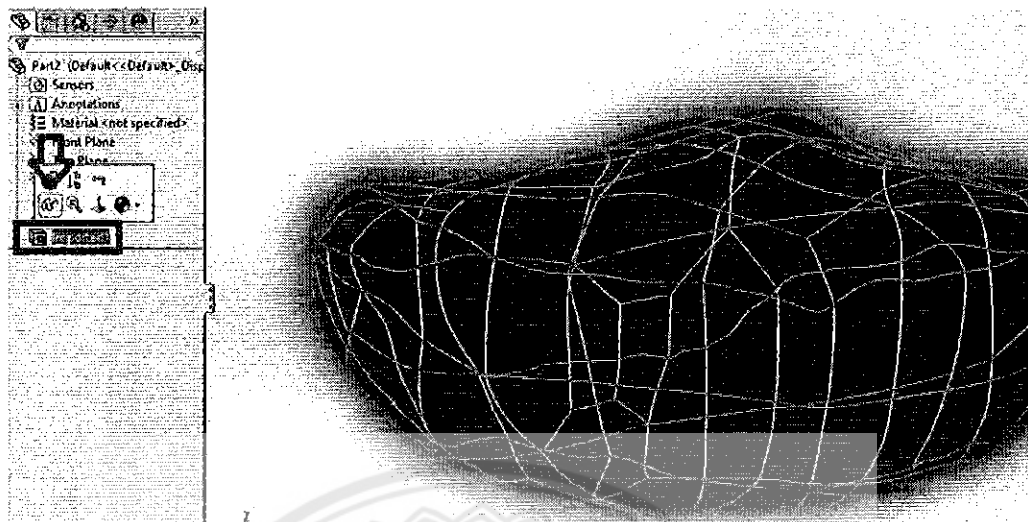
รูปที่ ข.36 ปรับความละเอียดของ surface ที่ surface Detail => คลิกตามลูกศรชี้



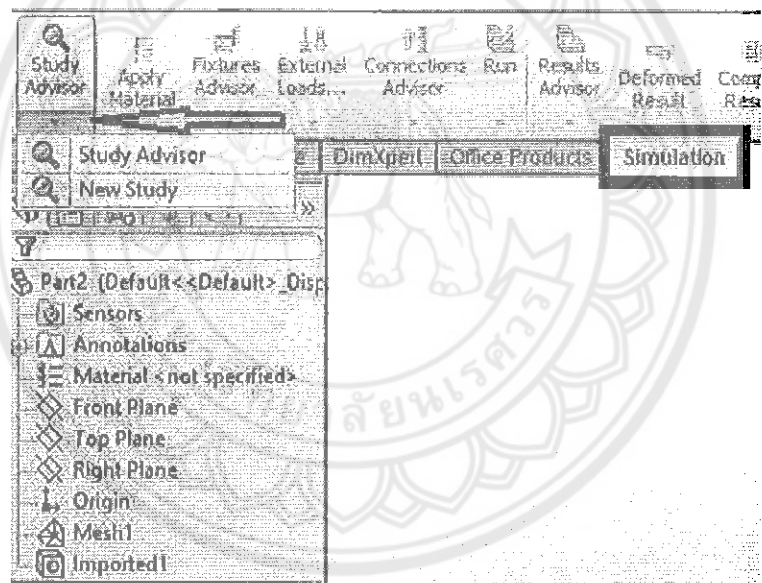
รูปที่ ข.37 คลิก No => คลิกตามลูกศรชี้



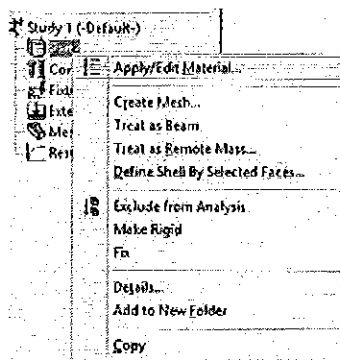
รูปที่ ข. 38 คลิกเครื่องหมายถูก



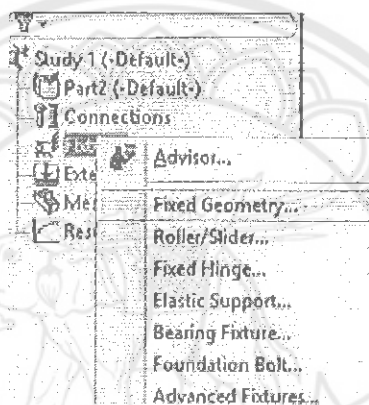
รูปที่ ข.39 คลิกที่ช่องช่องสี่เหลี่ยม => คลิกที่ลูกศรชี้เพื่อเปิดการมองเห็นโมเดลสามมิติ



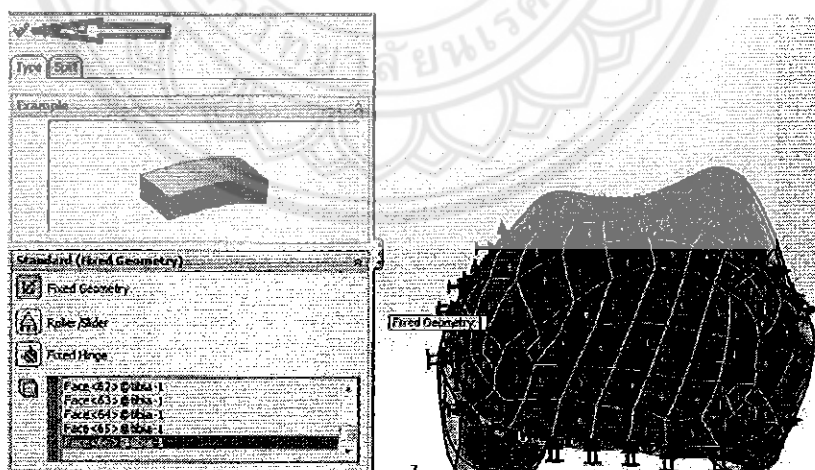
รูปที่ ข.40 คลิก Simulation => คลิกตามลูกศรชี้ => New Study



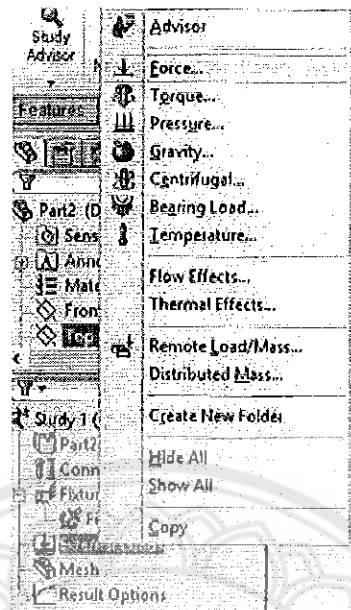
รูปที่ ข.41 คลิกขวาที่ Part => คลิก Apply/Edit Material เพื่อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ



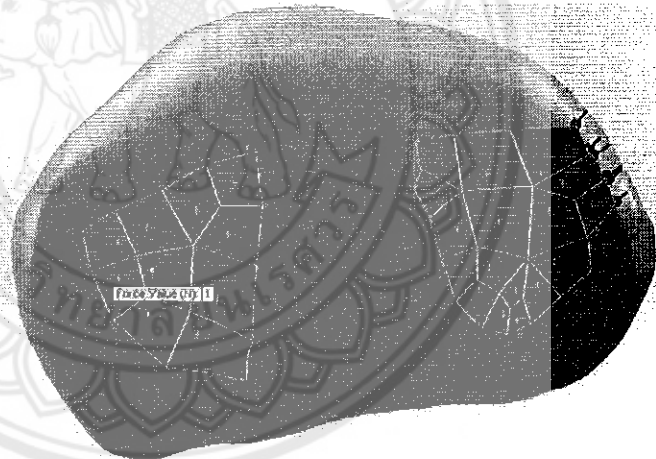
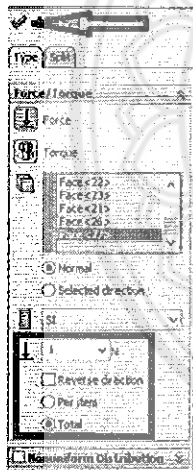
รูปที่ ข.42 คลิกขวาที่ Fixtures => คลิก Fixed Geometry



รูปที่ ข.43 Fix ที่ฐานของโมเดลสามมิติ => คลิกตามที่ลูกศรชี้



รูปที่ ข.44 คลิกขวาที่ External Loads => คลิก Force



รูปที่ ข.45 คลิกที่ surface โมเดลสามมิติเพื่อเลือกพื้นที่ที่ต้องการจะกำหนดภาระกระทำแรงกด => คลิก Total => ใส่ค่าแรงกระทำหน่วยเป็น N => คลิกตามที่ถูกครี



รูปที่ ข. 46 กระดูก Tibia หลังจากการประมวลผลเพื่ออ่านค่า Stress Y

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายบัณฑิต พุฒิกานนท์
 ภูมิลำเนา 296 หมู่ 6 ต.วังทอง อ.วังทอง จ.พิษณุโลก
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : bunditt_men@hotmail.com



ชื่อ นายประสิทธิ์ เมืองบุญมา
 ภูมิลำเนา 199/4 หมู่ 12 ต.วังแดง อ.ตรอน จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : prasit.mu.1535@gmail.com



ชื่อ นายสุริยา คุ่มวา
 ภูมิลำเนา 60 หมู่ 9 ต.ดงประจำ อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวัดประตู่ในทรงธรรม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : bird_27988@hotmail.com