

การศึกษาซากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี โดยการจำลองทาง  
คอมพิวเตอร์

SIMULATION STUDY OF POWERED EXOSKELETON FOR TACTICAL  
LOWERED-BODY



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-011-599

การศึกษาซากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี โดยการจำลองทาง  
คอมพิวเตอร์

SIMULATION STUDY OF POWERED EXOSKELETON FOR TACTICAL  
LOWERED-BODY



สรณ์ยธร ดวงดีกมลทัศน์  
SARANTORN DUANGDEEKAMOLTAT

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันประเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-011-509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIMULATION STUDY OF POWERED EXOSKELETON FOR TACTICAL  
LOWERED-BODY



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN DEFENCE ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2016  
KMITL-2016-EN-M-011-509

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016




FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองการค้นคว้าอิสระ

หัวข้อ การศึกษาซากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์  
Title Simulation Study of Powered Exoskeleton for Tactical Lower-Body  
นักศึกษา นายสรณ์ธร ดวงดีกมลทัศน์  
รหัสประจำตัว 55614057  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมป้องกันประเทศ  
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ รศ.ประภาช ไพรสวรรณา  
หมายเลขการค้นคว้าอิสระ KMITL-2016-EN-M-011-509

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	
ผศ.ดร.วรชาติ	สุวรรณงาม	
รศ.ประภาช	ไพรสวรรณา	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 เวลา 10.00-11.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONSIEUR INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.คมสัน มาลีสี)  
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
วันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การศึกษาซากสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์
นักศึกษา	นายสรณ์ยธร ดวงดีกมลทัศน์
รหัสนักศึกษา	55614057
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมป้องกันประเทศ
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รศ.ประภาช ไพรสวรรณา

### บทคัดย่อ

การศึกษาอิสระนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบซากสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยยกของหนัก หรือเพื่อเพิ่มน้ำหนักสัมภาระในการเดินทางสำหรับเจ้าหน้าที่ทหารในการเดินทัพ ส่งผลให้กำลังพลภาคพื้นดินมีศักยภาพในการรบและการเคลื่อนย้ายสูงขึ้น

ในการศึกษานี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบซาก โดยใช้วัสดุแตกต่างกัน 2 ประเภท เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง และเพื่อทดสอบเสถียรภาพของซากที่ได้รับการออกแบบ ซึ่งผลการออกแบบสามารถนำไปสร้างเป็นซากต้นแบบสำหรับกองทัพต่อไป

Title	Simulation Study of Powered Exoskeleton for Tactical Lowered-Body
Student	Mr.Sarantorn Duangdeekamolrat
Student ID	55614057
Degree	Master of Engineering
Program	Engineering defence
Year	2016
Advisor	Assoc.Prof.Prapart Prisuwana

### Abstract

The aim of this independent study is to design the powered exoskeleton for tactical lowered-body for lifting the heavy weight equipment. It also helps increase the weight of the baggage of the platoon resulting in increasing the battle potentiality.

In this study, the computer simulation program is applied to design the powered exoskeleton for tactical lowered-body. Two different materials are studied for the possibility and stability of the designed powered exoskeleton for tactical lowered-body. The design can then be constructed as the prototype for the military.

## กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาและวิจัยได้รับความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ประภาช ไพรสวรรณา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ สั่งสอน และช่วยเหลือเป็นอย่างดี ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณเพื่อนๆ ในรุ่นที่ให้คำปรึกษา และทำหน้าที่ประสานงานต่างๆ ให้เป็นอย่างดี จนผู้ทำการศึกษาวิจัยได้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจให้ในวันที่ท้อแท้ หม่นหมอง และเลี้ยงดูส่งเสริม สนับสนุนเป็นอย่างดีตลอดมา ผู้ทำการค้นคว้านี้ ขอมอบคุณความดีต่างๆ ให้แก่บิดา มารดา ผู้ซึ่งเป็นทีเคารพรักยิ่ง ตลอดจนครูบาอาจารย์ ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาต่างๆ ให้แก่ตัวผู้ทำการศึกษาวิจัยเป็นอย่างดีเสมอมา

สรณ์ยัธรร ดวงดีกมลทัศน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิด.....	4
2.2 หลักการทำงานของชา.....	6
2.3 โครงสร้างของชากล.....	7
2.3.1 ระบบการเคลื่อนที่.....	8
2.3.1.1 ระบบไฮดรอลิก.....	8
2.3.1.2 ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า.....	8
2.4 สมการที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.5 ตัวอย่างผลงานวิจัยที่มีมาแล้ว.....	10
2.6 รูปตัวอย่างผลงานวิจัย.....	11
บทที่ 3 การจำลองทางคอมพิวเตอร์และการออกแบบการทดสอบ.....	14
3.1 การออกแบบ.....	14
3.2 ความแตกต่าง.....	14
3.3 การจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ.....	14
3.3.1 ตัวอย่างการออกแบบต่างๆ.....	15
3.3.2 การออกแบบคุณสมบัติสำหรับเพื่อทำการศึกษา.....	16
3.4 การจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์.....	18
4.1 อลูมิเนียม 6061-T6.....	18
4.1.1 ผลของความเค้น.....	18
4.1.2 ผลของการขจัด.....	20
4.1.3 ผลของความเครียด.....	22
4.1.4 การคำนวณค่าที่เหมาะสมของวัสดุอลูมิเนียม.....	24
4.2 วัสดุไทเทเนียม R50700-Grade 4.....	27
4.2.1 ผลของความเค้น.....	27
4.2.2 ผลของขจัด.....	29
4.2.3 ผลของความเครียด.....	31
4.2.4 การคำนวณค่าที่เหมาะสมของวัสดุไทเทเนียม.....	33
4.3 การนำวัสดุทั้ง 2 ชนิด มาประยุกต์เข้าด้วยกัน.....	36
4.4 ผลการทดลอง.....	39
4.4.1 ผลค่าความเค้นที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f.....	39
4.4.2 ผลค่าระยะขจัดที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f.....	39
4.4.3 ผลค่าความเครียดที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f.....	40
4.4.4 ผลของการทำการคำนวณค่าที่เหมาะสมของวัสดุอลูมิเนียมและไทเทเนียม ที่ภาระ 200 kg.f.....	41
บทที่ 5 บทสรุป.....	42
5.1 บทสรุป.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
5.3 แนวทางการวิจัยต่อ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	45
ประวัติผู้เขียน.....	47

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างผลงานวิจัยที่มีมาแล้ว.....	10
3.1 แสดงคุณสมบัติเพื่อทำการศึกษา.....	16
4.1 แสดงผลความเค้นของวัสดุอลูมิเนียม.....	18
4.2 แสดงผลของการขจัดของวัสดุอลูมิเนียม.....	20
4.3 แสดงผลความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม.....	22
4.4 แสดงผลความเค้น, ระยะเวลาจัด และความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม ที่ทำการคำนวณค่าที่เหมาะสมแล้ว.....	24
4.5 แสดงผลความเค้นของวัสดุไทเทเนียม.....	27
4.6 แสดงผลระยะเวลาจัดของวัสดุไทเทเนียม.....	29
4.7 แสดงผลความเครียดของวัสดุไทเทเนียม.....	31
4.8 แสดงผลความเค้น, ระยะเวลาจัด และความเครียดของวัสดุไทเทเนียม ที่ทำการคำนวณค่าที่เหมาะสมแล้ว.....	33
4.9 แสดงผลความเค้น, ระยะเวลาจัด และความเครียดของวัสดุไทเทเนียม-อลูมิเนียม ที่ทำการประยุกต์เข้าด้วยกัน.....	36
5.1 แสดงราคาวัสดุอลูมิเนียม และไทเทเนียมชนิดต่างๆ.....	42

# สารบัญรูป

รูปประกอบที่	หน้า
2.1 แสดงซากสำหรับช่วยในการเดิน.....	4
2.2 แสดงซากสำหรับช่วยในการยกของ.....	5
2.3 แสดงชุดซากสำหรับช่วยเดินทางยุทธวิธี.....	5
2.4 แสดงภาพมุมมองด้านข้างของขาขวาในการก้าวเดิน.....	6
2.5 แสดงภาพซากที่ได้ทำการออกแบบ.....	7
2.6 แสดงระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System).....	8
2.7 แสดงระบบมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor System).....	8
2.8 สมการเกณฑ์ความเสียหายครากของ Von Mises.....	9
2.9 แสดงซากแบบ XOS.....	11
2.10 แสดงซากแบบ HULC.....	11
2.11 แสดงลักษณะซาก BLEEX.....	12
2.12 แสดงลักษณะซาก ExoHiker.....	12
2.13 แสดงลักษณะซาก PLL.....	13
2.14 แสดงลักษณะซาก ReWalk.....	13
3.1 แสดงรูปโมเดลต้นแบบ และรูปโมเดลที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้ว.....	15
3.2 แสดงข้อต่อ Contact Set ด้านหน้า.....	15
3.3 แสดงข้อต่อ Contact Set ด้านหลัง.....	16
3.4 แสดง Support ด้านหลัง.....	16
4.1 แสดงค่าสูงสุดของความเค้นของวัสดุ 2 ชนิด ที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f.....	39
4.2 แสดงค่าสูงสุดของระยะขจัดของวัสดุ 2 ชนิด ที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f. ....	40
4.3 แสดงค่าสูงสุดของความเครียดของวัสดุ 2 ชนิด ที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f. ....	41

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันไม่ว่าจะในทางการทหาร หรือทางอุตสาหกรรม สิ่งสำคัญที่สุดก็คือเครื่องมือทุ่นแรง โดยปัจจัยหนึ่งของการใช้เครื่องมือทุ่นแรง นั่นก็คือเพื่อลดการเสียหาย หรือแม้กระทั่งลดการใช้กำลัง เพื่อแบกยกสัมภาระในการเดินทาง ปัญหาในปัจจุบันของเจ้าหน้าที่ทหารในการเดินทางไกล คือไม่มีความสะดวกรวดเร็วในการขนย้ายสัมภาระ หรือแบกสัมภาระได้เป็นจำนวนไม่มาก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นสิ่งที่คาดหวังว่าจะเข้ามามีบทบาทในการช่วยเหลือเจ้าหน้าที่ในการช่วยแบกสัมภาระแก่เจ้าหน้าที่

ปัญหาและการพินิจพิจารณาภาระทางกล (Load) นั่นก็คือร่างกายของมนุษย์ไม่สามารถรับน้ำหนักให้เกินขนาดน้ำหนักตัวได้ เป็นเพราะธรรมชาติได้สร้างสรรค์ให้อัตราส่วนของกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักของมนุษย์นั้นจำกัด ทำให้ไม่สามารถแบกรับของที่มีภาระหนักๆ เกินครึ่งหนึ่งของน้ำหนักตัวไปได้ ซึ่งถ้าหากรับน้ำหนักที่มากขึ้น จะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ หรือได้รับอันตรายได้ง่ายจากการที่เพิ่มภาระโหลดแก่ตัวของผู้ที่ทำการยกของหรือสัมภาระ

การวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาถึงเทคโนโลยีต่างๆ ได้แก่ ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของมนุษย์ในส่วนของขาเป็นหลัก โดยจะให้อุปกรณ์ที่จำลองขึ้นมีความสามารถในการแบกสัมภาระได้มากกว่า 50 กิโลกรัม มีความคล่องตัวสูง สามารถแสดงผลการจำลองของวัสดุที่ใช้งานในการจำลองแบบได้ เปรียบเทียบข้อมูลสำหรับนำไปพัฒนา หรือวิจัยออกมาเป็นงานจริงต่อไป

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะทำการออกแบบการจำลองการใช้งาน การใช้อุปกรณ์ขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี ให้เป็นอุปกรณ์ช่วยรับน้ำหนักในขณะเดินของเจ้าหน้าที่เพื่อช่วยในการยกของที่มีน้ำหนักที่มากขึ้น โดยใช้การขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอาศัยการก้าวขาของคนเจ้าหน้าที่มาเป็นตัวควบคุมให้อุปกรณ์ช่วยเดินอัตโนมัติเคลื่อนที่แทนการยกนั่นเอง ทางผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะนำเทคโนโลยีต่างๆ มาทำการวิจัยสร้างแบบจำลองที่เรียกว่า “ขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี” ขึ้นมา วัตถุประสงค์คือทำให้เป็นแบบจำลองเพื่อการศึกษา และยังสามารถต่อยอดการผลิตได้ในราคาที่ไม่สูงเกินไป และตอบสนองตามความต้องการของกำลังพลในอนาคต

### 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อทำแบบจำลองพัฒนาสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี ให้สอดคล้องกับความต้องการของเจ้าหน้าที่

1.2.2 เพื่อศึกษาการยกน้ำหนักของอุปกรณ์ และขีดจำกัดของอุปกรณ์

1.2.3 เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มศักยภาพในการรบ ทำให้ทหารสามารถแบกสัมภาระได้มากขึ้น ไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัม ลดการใช้พลังงานในการเคลื่อนที่ของมนุษย์ซึ่งสามารถปฏิบัติหน้าที่ได้มากกว่า 24 ชั่วโมง

- 1.2.4 สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อการสาธิตความเป็นไปได้ของรูปแบบของอุปกรณ์
- 1.2.5 สามารถใส่ภาระทางกลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินทางไกลของเจ้าหน้าที่ได้
- 1.2.6 เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้ออกแบบ
- 1.2.7 เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่สามารถเพิ่มศักยภาพในการรบทำให้ทหารสามารถแบกสัมภาระได้

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 ขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธีจะสามารถรับน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นได้โดยไม่มี การพังเสียหายตามที่กำหนดไว้
- 1.3.2 วัสดุที่นำมาทำการทดสอบจากการจำลองสามารถรับภาระน้ำหนักที่กำหนดในการ ทดสอบได้
- 1.3.3 ขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธีจะช่วยลดการใช้คนในการขนสัมภาระได้เพิ่มขึ้น อันเป็นผลต่อเนื่องทางยุทธวิธี
- 1.3.4 ขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธีจะช่วยลดความเสียหายจากการบรรทุกของเกิน น้ำหนักที่ร่างกายของเจ้าหน้าที่ที่จะรับน้ำหนักได้
- 1.3.5 ขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขนย้ายสัมภาระ

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.4.1 หลักการทำงานของขามนุษย์
- 1.4.2 แนวคิดในการแบกสัมภาระที่มีน้ำหนักเกินขนาดหรือน้ำหนักตัว

### 1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 ออกแบบขากลสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธีจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์
- 1.5.2 กำหนดลักษณะเฉพาะของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในเรื่องของวัสดุที่จะทำการ ทดลอง
- 1.5.3 ทำการทดสอบวิเคราะห์ความเสียหายของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เมื่อได้รับแรง กระทำ โดยการรับแรง (Stress) ที่ตำแหน่งต่างๆ ของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และดูการบิดงอ (Displacement) โดยการใช้การวิเคราะห์ทางไฟไนท์ เอเลเมนต์ (Finite Element Analysis)

### 1.6 ขั้นตอนการศึกษา

- 1.6.1 ศึกษารายละเอียดที่สนใจเพื่อรวบรวมข้อมูล และกำหนดหัวข้อวิจัย
- 1.6.2 กำหนดขอบเขตงานวิจัย
- 1.6.3 ทำการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และกำหนดวัสดุ, คุณสมบัติของวัสดุที่ เลือกใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.4 ทำการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธีการทางไฟไนท์ เอเลเมนต์ (Finite Element Analysis)

1.6.5 เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ แล้วสรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แนวคิด

ปัจจุบันซากกลสำหรับช่วยในการเดิน หรือการกระโดดที่ใช้สำหรับช่วยในการเคลื่อนไหว ได้ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1890 หรือ ปี พ.ศ. 2433 โดยนักวิจัยชาวรัสเซีย นามว่า นิโคลัส ยักน์ (Nicolas Yagn) โดยยุคแรกนั้นจะใช้ถุงแก๊สอัดอากาศสำหรับจัดการพลังงานเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวดังกล่าว ในปี 1917 เลสลีย์ ซี.เคลลีย์ Leslie C. Kelley ได้ทำการพัฒนาสิ่งที่เรียกว่า พีโดมอเตอร์ (Pedomotor) ที่ได้ทำการใช้งานที่ สวมใส่กับร่างกายผู้ที่ทำการเดินทดสอบเดิน

สำหรับชุดซากกลชุดแรกที่ใช้ร่วมกับเครื่องจักรที่ถูกลำมาผนวกเข้ากับร่างกายมนุษย์ ได้ถูกพัฒนาเพิ่มเติมโดยบริษัท General Electric และกองทัพสหรัฐอเมริกา ในปี 1960 โดยชุดที่ได้ใช้นั้น มีชื่อเรียกว่า ฮาร์ดี้แมน (Hardiman) โดยสามารถทำการช่วยยกในการแบกของที่มีขนาดหนัก 250 ปอนด์ (110 กิโลกรัม) ได้ โดยสามารถหยักน้ำหนักของที่ 10 ปอนด์ (4.5 กิโลกรัม) ในเบื้องต้น โดยการใช้หลักการของการใช้ไฮดรอลิกส์ และพลังงานไฟฟ้า โดยชุดสามารถยกของได้ทีละหลายๆ เหมาะสำหรับการทำงานในการขนย้ายสิ่งของที่น้ำหนักมาก และไม่สะดวกแก่การยกของขึ้นได้ในคราวเดียว



รูปที่ 2.1 แสดงซากกลสำหรับช่วยในการเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงซากกลสำหรับช่วยในการยกของ



รูปที่ 2.3 แสดงชุดซากกลสำหรับช่วยเดินทางยุทธวิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 หลักการทำงานของขา

ขาของมนุษย์ (Human leg) หมายถึง รางค์ล่าง (Lower limb) ของร่างกายมนุษย์ นับตั้งแต่สะโพก (Hip) ไปจนถึงข้อเท้า (Ankle) ได้แก่ ต้นขา (Thigh), เข่า (Knee), ปลายขา (Cnemis) [16] กระดูกที่ใหญ่ที่สุดในร่างกายมนุษย์คือ กระดูกต้นขา (femur) ก็อยู่ในขาด้วย ในทางกายวิภาคศาสตร์มนุษย์ ขาเป็นส่วนหนึ่งของรางค์ล่าง[17] ที่อยู่ระหว่างเข่าและข้อเท้า[18] (ส่วนที่อยู่เหนือขึ้นไปจนถึงสะโพกจะเรียกว่า ต้นขา) ส่วนบริเวณที่เราเรียกกันทั่วไปว่า ขา คือนับตั้งแต่สะโพกตลอดถึงข้อเท้าจะใช้ว่า "รางค์ล่าง" (Lower limb) ซึ่งในบทความนี้จะใช้นิยามของ ขา ตามที่เรียกกันทั่วไป ส่วนของขาที่นับจากเข่าถึงข้อเท้าเรียกว่า ปลายขา (Cnemis หรือ Crus) [19] โดยส่วนหลังเรียกว่า น่อง (Calf) และส่วนหน้าเรียกว่า แข้ง (Shin) ในหลายวัฒนธรรม ขาเป็นอุปมาถึงความแข็งแรงหรือการเคลื่อนไหวที่

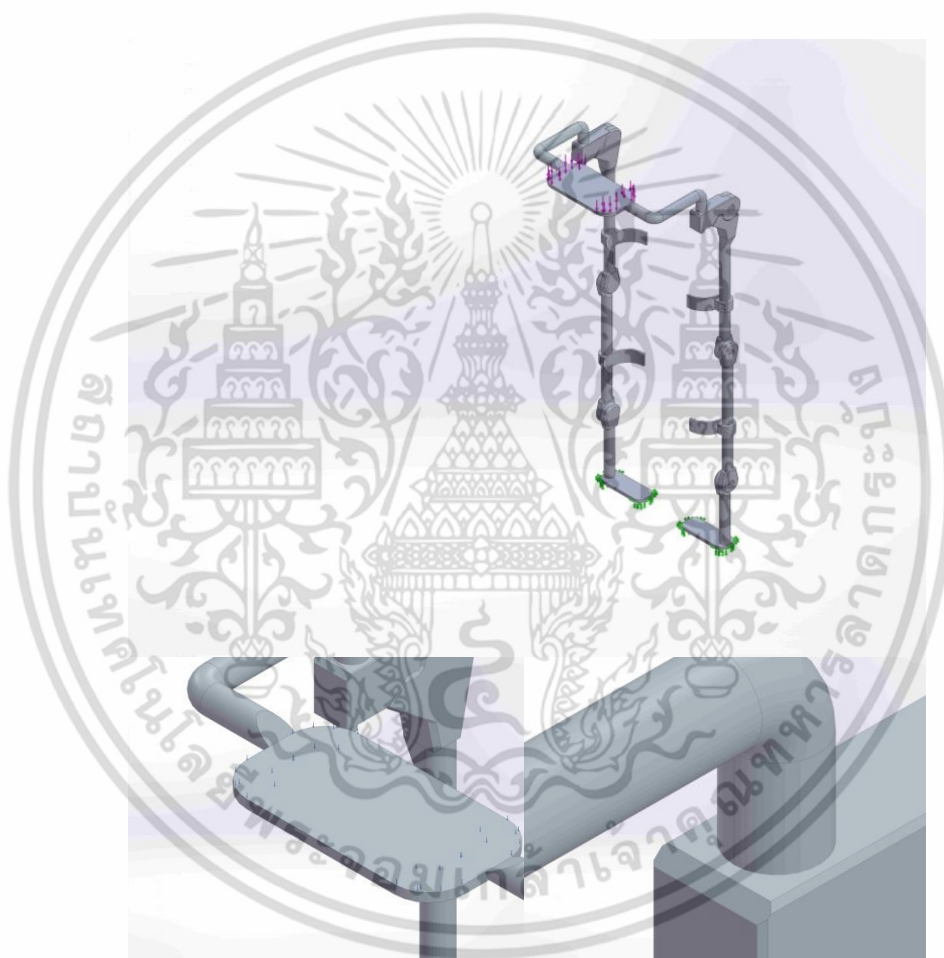


รูปที่ 2.4 แสดงภาพมุมมองด้านข้างของขาขวาในการก้าวเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 โครงสร้างของซากล

ในการออกแบบโครงสร้างของซากล จะเน้นการทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรมสำหรับออกแบบ โดยใช้โปรแกรมประยุกต์คือโปรแกรม SolidWorks เพื่อทำการจำลองระบบการทำงาน เพื่อเปรียบเทียบการใช้วัสดุสำหรับการออกแบบ ซึ่งในที่นี้จะใช้วัสดุ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยใช้ อลูมิเนียม 6061-T6 (Aluminum 6061-T6) และวัสดุไทเทเนียม R50700 เกรด 4 (Titanium Alloys R50700 Grade 4) ในการออกแบบ และคำนวณค่าความเค้น, ระยะขจัด และความเครียดออกมา โดยรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทถัดไป



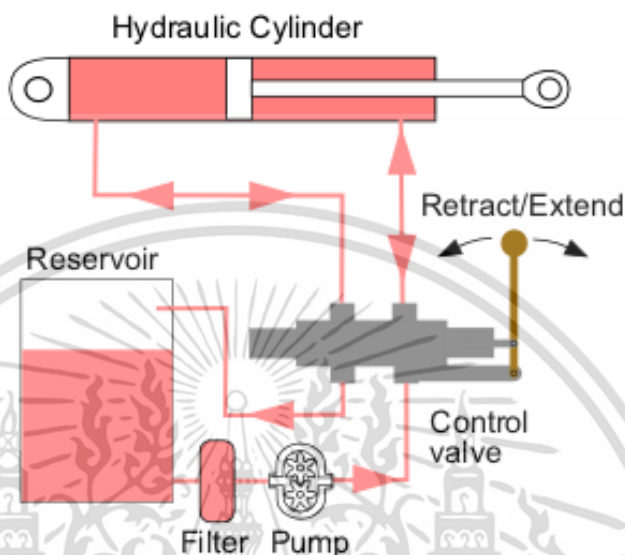
รูปที่ 2.5 แสดงภาพซากลที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 ระบบการเคลื่อนที่

ในทฤษฎีการเคลื่อนที่นั้น ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบที่เป็นที่นิยมไว้ 2 แบบ คือ

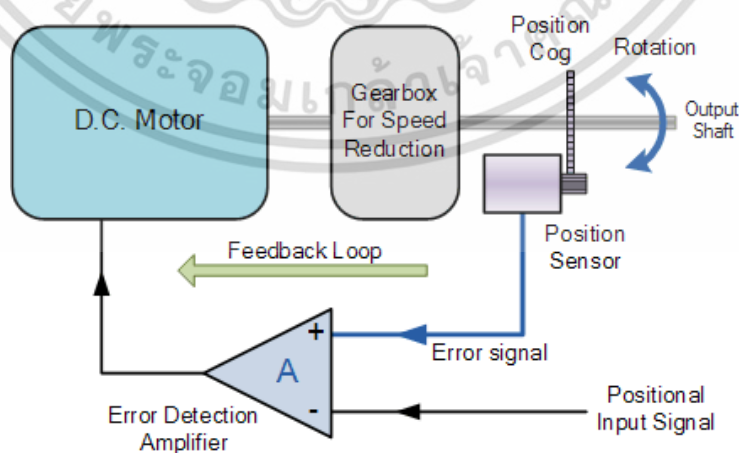
#### 2.3.1.1 ระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)



รูปที่ 2.6 แสดงระบบไฮดรอลิก (Hydraulic System)

การใช้ระบบ Hydraulics ในการขับเคลื่อน หลักการทำงานจะใช้ลูกสูบเป็นตัวดันและรับเลื่อน โดยใช้การควบคุมจังหวะโดย Retract/Extend เพื่อควบคุมการไหลของน้ำมันในระบบ มี Control Valve ผ่าน Filter และ Pump ในการควบคุม จะส่งผลให้สามารถผลักดันให้ขากลเดินได้

#### 2.3.1.2 ระบบมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor)



รูปที่ 2.7 แสดงระบบมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric Motor System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้มอเตอร์ไฟฟ้า จะใช้ DC Motor เพื่อขับเคลื่อนและมีวงจรในการเปรียบเทียบตำแหน่งผ่านสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งเข้ามา ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และทำให้ซัพพอร์ตแรงให้ดียิ่งขึ้น

## 2.4 สมการที่เกี่ยวข้อง

สำหรับโหมตความเสียหายโหมตเดียวกัน อาจจะมีเกณฑ์ความเสียหายหลายเกณฑ์ให้เลือก ขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ใช้พัฒนาเกณฑ์ความเสียหาย ยกตัวอย่างเช่น การคราก (yielding) ของวัสดุเหนียว จะมีเกณฑ์การคราก (Yield Criteria) ที่นิยมใช้คือ เกณฑ์ของ Tresca และเกณฑ์ของ Von Mises เป็นต้น เกณฑ์ของ Tresca กำหนดให้ความเค้นเฉือนสูงสุดเป็นพารามิเตอร์แสดงสถานะของชิ้นส่วน ส่วนเกณฑ์ของ Von Mises กำหนดให้ความเค้นเฉือนบนระนาบออกตะฮีดรัล (octahedral plane) เป็นพารามิเตอร์แสดงสถานะของชิ้นส่วน เป็นต้น

แม้ว่าจะออกแบบชิ้นส่วนด้วยเกณฑ์ความเสียหายที่สอดคล้องกับโหมตความเสียหายแล้วก็ตาม ผู้ออกแบบยังไม่ควรมั่นใจว่าชิ้นส่วนไม่มีโอกาสเสียหายในโหมตนั้น หรือใช้งานได้ตลอดไป เนื่องจากชิ้นส่วนอาจได้รับผลจากโหมตความเสียหายแบบอื่นก่อนจะเสียหายในโหมตที่คิดว่าป้องกันไว้แล้ว ยกตัวอย่างเช่น การพังโค่นของโครงเหล็กติดแผ่นป้ายโฆษณา ในตอนแรกโครงเหล็กนี้สามารถรับแรงลมที่มาปะทะได้ แต่เมื่อใช้งานไปนานๆ สลักเกลียวหรือรอยเชื่อมเกิดการผุกร่อน โครงเหล็กจึงพังลงได้เมื่อปะทะกับแรงลมขนาดเท่าเดิม ในบางกรณี สภาพแวดล้อมทำให้เกิดการผุกร่อนเป็นหลุม (pit) จากนั้นหลุมทำให้เกิดรอยร้าวล้า (fatigue crack) รอยร้าวนี้จะเติบโตไปเรื่อยๆ จนกระทั่งชิ้นส่วนแตกหัก

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \leq \sigma_T$$

$f(\sigma)$  ↓ ความต้านแรงดึงคราก

รูปที่ 2.8 สมการเกณฑ์ความเสียหายครากของ Von Mises

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ตัวอย่างผลงานวิจัยที่มีมาแล้ว

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างผลงานวิจัยที่มีมาแล้ว

No.	SPEC					
1	Model	XOS [10]	HULC [11]	ExoHiker [13]	PLL [14]	ReWalk [15]
2	Brand	Rathen Sacross	Berkeley Robotics	Berkeley Robotics	Panasonic	Argo Medical Technology
3	Country	USA	USA	USA	Japan	Israel
4	Purpose	Military	Military	Military	Military	Medical
5	Driver Unit Type	Hydraulic	Hydraulic	Hydraulic	Motor	
6	Controller Type		Force Sensor : Foot	Force Sensor : Foot	6 Axis Force Sensor	
7	Leg Unit	Y	Y	Y	Y	Y
8	Payload	NA	90 Kg	68 Kg	40 Kg	NA
9	Carry Load	90 Kg	NA	NA	NA	NA
10	Operation Time		72 Hrs	21 Hrs		
11	Weight					
12	Price	Research			3,345,000 THB	2,500,000 THB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 รูปตัวอย่างผลงานวิจัย



รูปที่ 2.9 แสดงขากลแบบ XOS



รูปที่ 2.10 แสดงขากลแบบ HULC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะซากด BLEEX



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะซากด ExoHiker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะขากล PLL



รูปที่ 2.14 แสดงลักษณะขากล ReWalk

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การจำลองทางคอมพิวเตอร์และการออกแบบการทดสอบ

### 3.1 การออกแบบ

การออกแบบการใช้งาน จะเน้นใช้งานสำหรับช่วยในการยกของที่มีขนาดน้ำหนักที่มาก โดยการออกแบบ จะทำการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุ 2 ประเภท ที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อดูค่าความเค้น ความเครียด และค่าระยะขจัด เพื่อการทำงาน

### 3.2 ความแตกต่าง

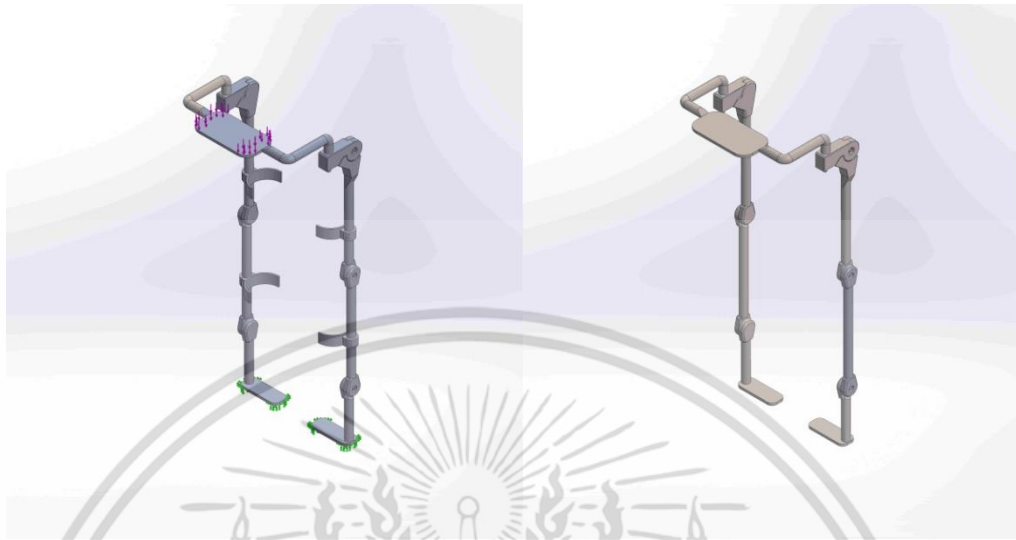
ในการทดลองทำการจำลองโครงสร้างของซากสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี ทางผู้ทำการทดลองได้เลือกแบบโมเดลการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการออกแบบ เนื่องจากมีระบบที่ไม่ซับซ้อน และง่ายต่อการออกแบบ โดยจะเน้นการเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ ก็คือวัสดุอลูมิเนียม (Aluminum 6061 T6) และวัสดุไทเทเนียม (Titanium R50700 Grade 4) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่า Stress, Displacement และ Strain เป็นหลัก

ระบบขับเคลื่อน (System Driver) ถือเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากซึ่งระบบมอเตอร์ไฟฟ้าจะเหมาะสมมากกว่าสำหรับการออกแบบแขนกลหุ่นยนต์ เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีมอเตอร์ได้มีการพัฒนาในการเพิ่มกำลังขับให้มากขึ้นในขณะที่ขนาดเล็กลง หรืออัตราส่วนของกำลังต่อน้ำหนักสูง (Power-to-weight ratio) อีกทั้งยังมีราคาถูก แต่ลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีความเร็วสูง แต่แรงบิดต่ำเมื่อเทียบกับระบบอื่น แต่ความต้องการของแขนหุ่นยนต์นั้นต้องการความเร็วต่ำแต่แรงบิดสูง แต่ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยระบบส่งผ่านกำลังแบบต่างๆ เพื่อลดความเร็วและเพิ่มแรงบิด ในขณะที่ระบบ ไฮดรอลิก (Hydraulic) จุดเด่นจะอยู่ที่ มีแรงบิดและกำลังสูงมาก เหมาะกับระบบขนาดใหญ่ มีความแข็งแรง (High stiffness) สร้างแรงหยิบจับได้สูงมาก (High Grasp Force) เป็นระบบที่มีความเงียบ (Low Hissing Sound) และที่สำคัญคือใช้พลังงานต่ำ (Low Power Consumption) เมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ

### 3.3 การจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ

การออกแบบได้แบ่งการออกแบบให้รับโหลดที่แตกต่างกัน โดยจะทำการแบ่งน้ำหนักภาระทางกล (Loads) เป็น 3 ระดับ คือ 100, 150 และ 200 กิโลกรัมตามลำดับ

### 3.3.1 ตัวอย่างการออกแบบต่างๆ

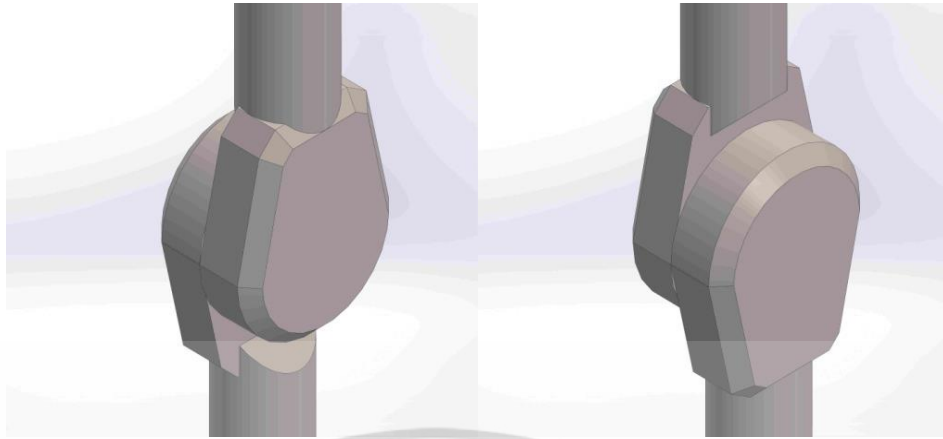


รูปที่ 3.1 แสดงรูปโมเดลต้นแบบ และรูปโมเดลที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้ว



รูปที่ 3.2 แสดงข้อต่อ Contact Set ด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงข้อต่อ Contact Set ด้านหลัง



รูปที่ 3.4 แสดง Support ด้านหลัง

### 3.3.2 การออกแบบคุณสมบัติสำหรับการทำการศึกษา

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติเพื่อทำการศึกษ

Study name	Static 1
Analysis type	Static
Mesh type	Solid Mesh
Thermal Effect:	On
Thermal option	Include temperature loads
Zero strain temperature	298 Kelvin
Include fluid pressure effects from SOLIDWORKS Flow Simulation	Off
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off
Incompatible bonding options	Automatic
Large displacement	On
Compute free body forces	On
Friction	Off
Use Adaptive Method:	Off

### 3.4 การจำลองทางคอมพิวเตอร์

การจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยทำการปล่อยภาระทางกลเข้าไปที่วัสดุตัวอย่างทั้งสองตัวอย่าง คือวัสดุอลูมิเนียม 6067, และวัสดุไทเทเนียม เกรด 4 เพื่อทำการทดสอบที่สถานะ และทำการวัดค่าความเค้น, ระยะขจัด และความเครียดออกมา และทำการพล็อตกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบภาระทางกลที่ได้รับ แล้วพิจารณาว่าวัสดุใดเหมาะสมสำหรับการใช้งาน โดยผ่านการทำการจำลองผ่านโปรแกรมประยุกต์ที่ได้ออกแบบเอาไว้

## บทที่ 4 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์

### 4.1 อลูมิเนียม 6061-T6

4.1.1 ผลของความเค้น (ค่า Yield Strength ของอลูมิเนียม =  $2.750 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ )

ตารางที่ 4.1 แสดงผลความเค้นของวัสดุอลูมิเนียม

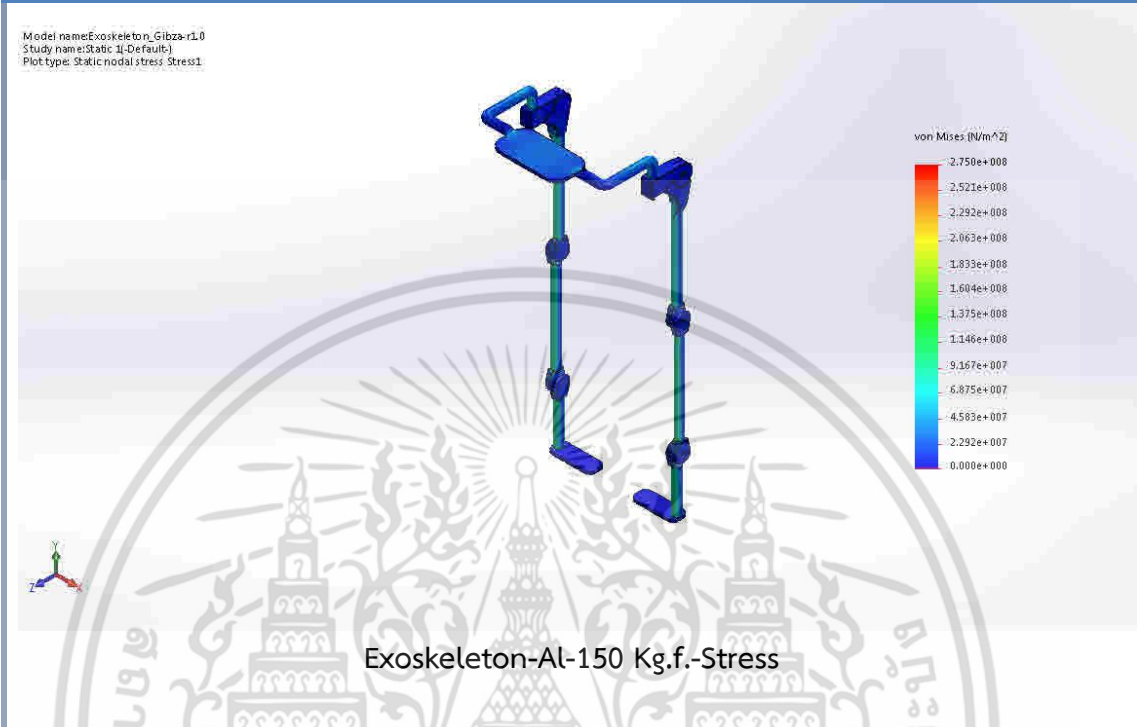
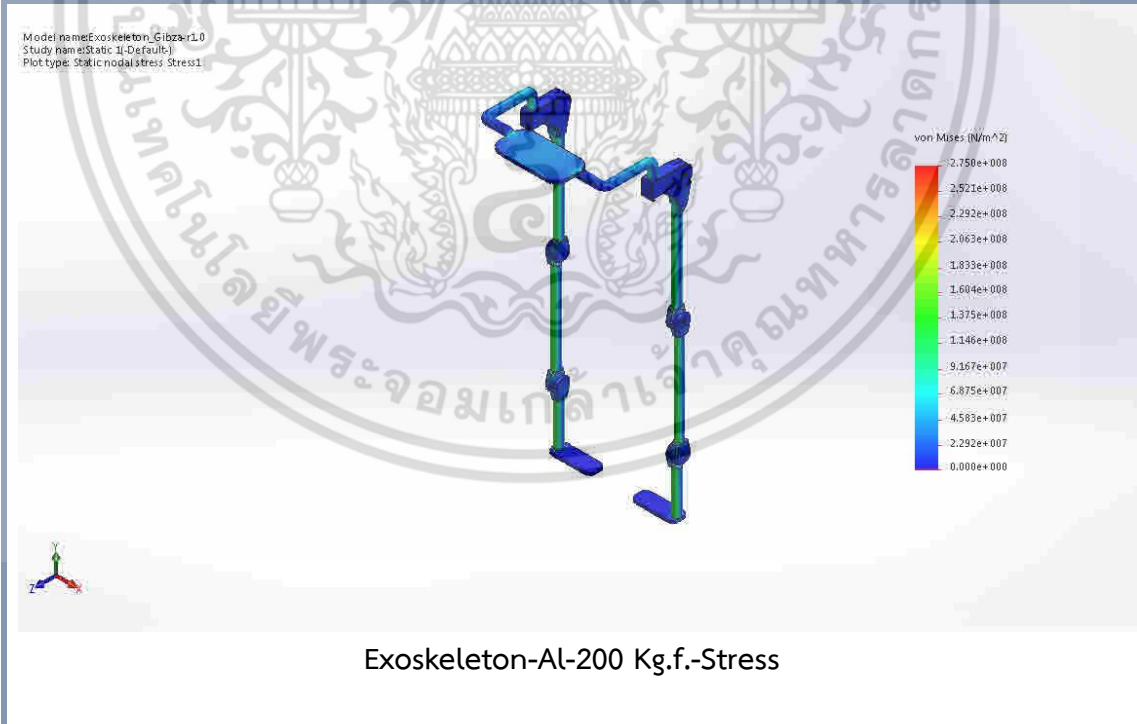
ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (N/m <sup>2</sup> )	ค่าสูงสุด (N/m <sup>2</sup> )
100	VON: von Mises Stress	$2.622 \times 10^{-1}$ Node: 178920	$1.517 \times 10^9$ Node: 215301
150	VON: von Mises Stress	$4.451 \times 10^{-1}$ Node: 275548	$2.382 \times 10^9$ Node: 367731
200	VON: von Mises Stress	$7.272 \times 10^{-1}$ Node: 269906	$3.327 \times 10^9$ Node: 367731

Exoskeleton-Al-100 kg.f.-Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (N/m <sup>2</sup> )	ค่าสูงสุด (N/m <sup>2</sup> )
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1I-Default-I Plot type: Static nodal stress: Stress1</p>  <p style="text-align: center;">Exoskeleton-Al-150 Kg.f.-Stress</p>			
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1I-Default-I Plot type: Static nodal stress: Stress1</p>  <p style="text-align: center;">Exoskeleton-Al-200 Kg.f.-Stress</p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


#### 4.1.2 ผลของการขจัด

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการขจัดของวัสดุอลูมิเนียม

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (mm)	ค่าสูงสุด (mm)
100	URES: Resultant Displacement	0 Node: 178395	41.6698 Node: 452927
150	URES: Resultant Displacement	0 Node: 269900	65.4309 Node: 755645
200	URES: Resultant Displacement	0 Node: 269900	91.4255 Node: 755645


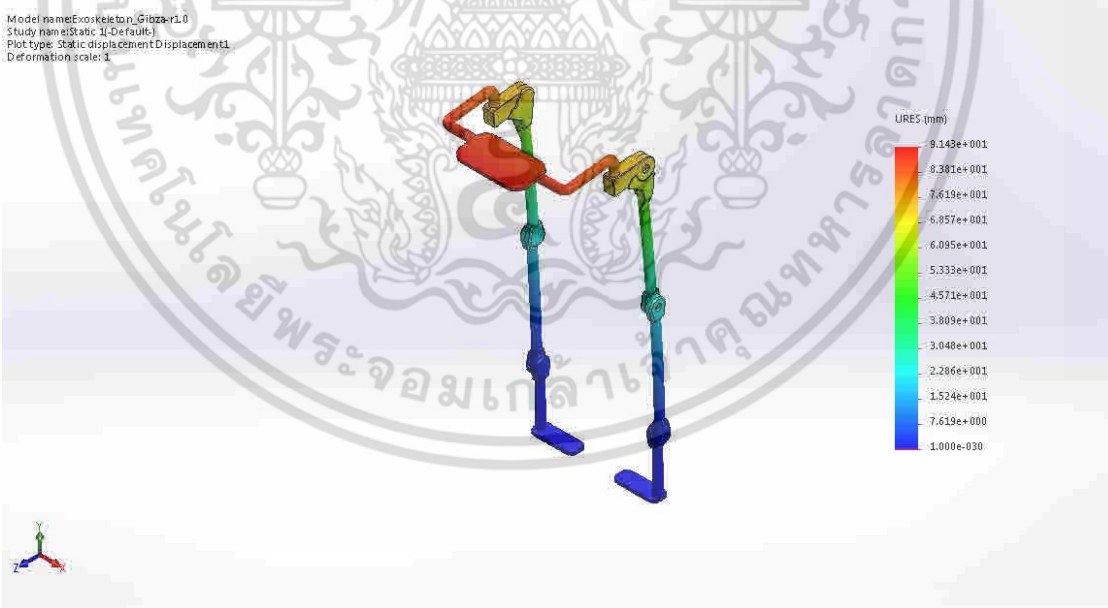
Model name: Exoskeleton\_Gibza-1.0  
Study name: Static 1 (Default)  
Plot type: Static displacement: Displacement1  
Deformation scale: 1



Exoskeleton-AI-100 kg.f.-Displacement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (mm)	ค่าสูงสุด (mm)
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1L-Default1 Plot type: Static displacement Displacement1 Deformation scale: 1</p>  <p>Exoskeleton-AI-150 kg.f.-Displacement</p>			
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1L-Default1 Plot type: Static displacement Displacement1 Deformation scale: 1</p>  <p>Exoskeleton-AI-200 kg.f.-Displacement</p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

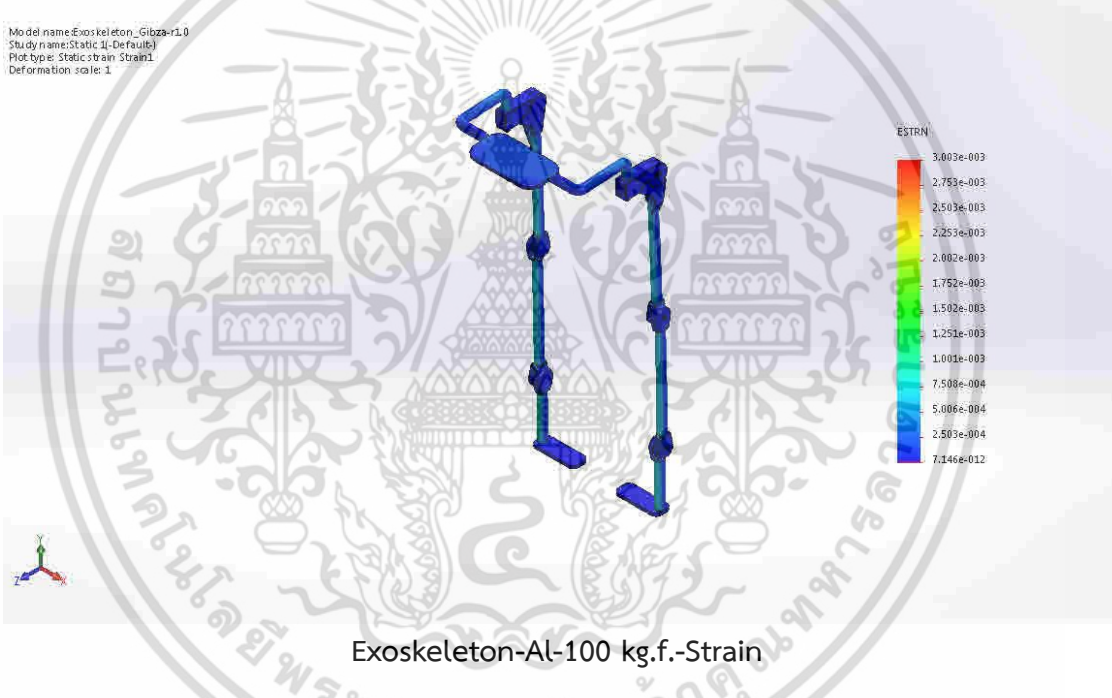
### 4.1.3 ผลของความเครียด

ตารางที่ 4.3 แสดงผลความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
100	ESTRN: Equivalent Strain	$7.146 \times 10^{12}$ Element: 198430	$3.000 \times 10^{-3}$ Element: 250368
150	ESTRN: Equivalent Strain	$1.033 \times 10^{11}$ Element: 198430	$4.535 \times 10^{-3}$ Element: 250368
200	ESTRN: Equivalent Strain	$1.678 \times 10^{12}$ Element: 190614	$6.089 \times 10^{-3}$ Element: 250368

Model name: Exoskeleton\_Gibza-v1.0  
 Study name: Static II-Default1  
 Plot type: Static strain Strain1  
 Deformation scale: 1



ESTRN

3.003e-003

2.753e-003

2.503e-003

2.253e-003

2.002e-003

1.752e-003

1.502e-003

1.251e-003

1.001e-003

7.508e-004

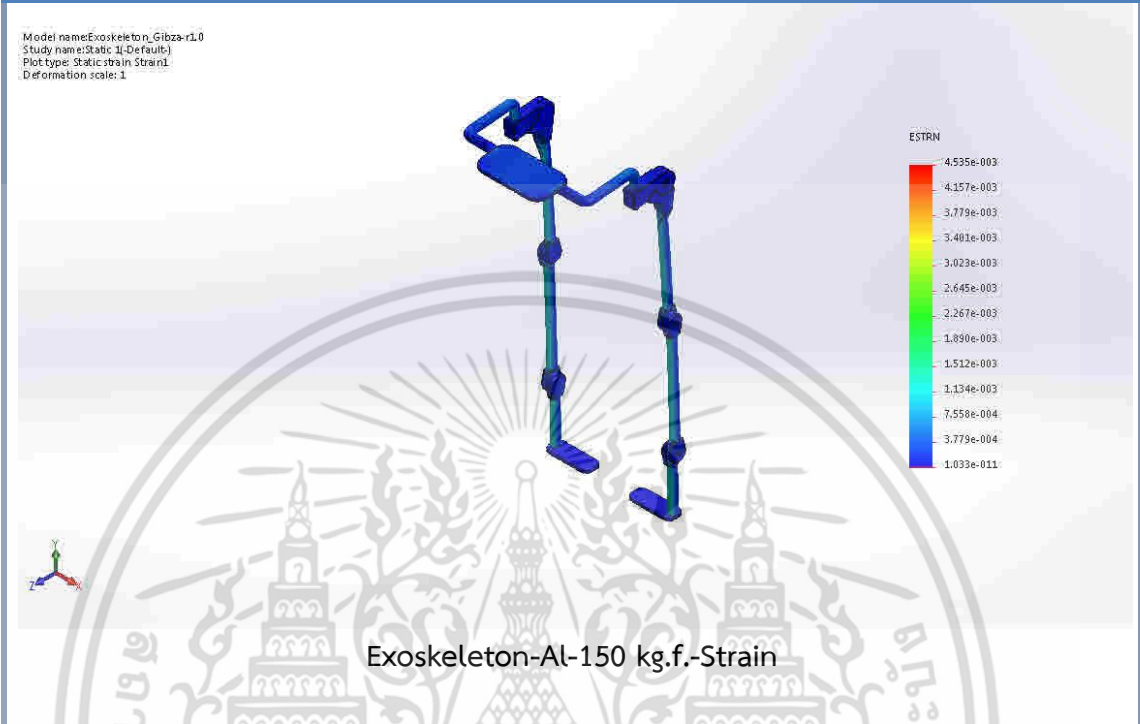
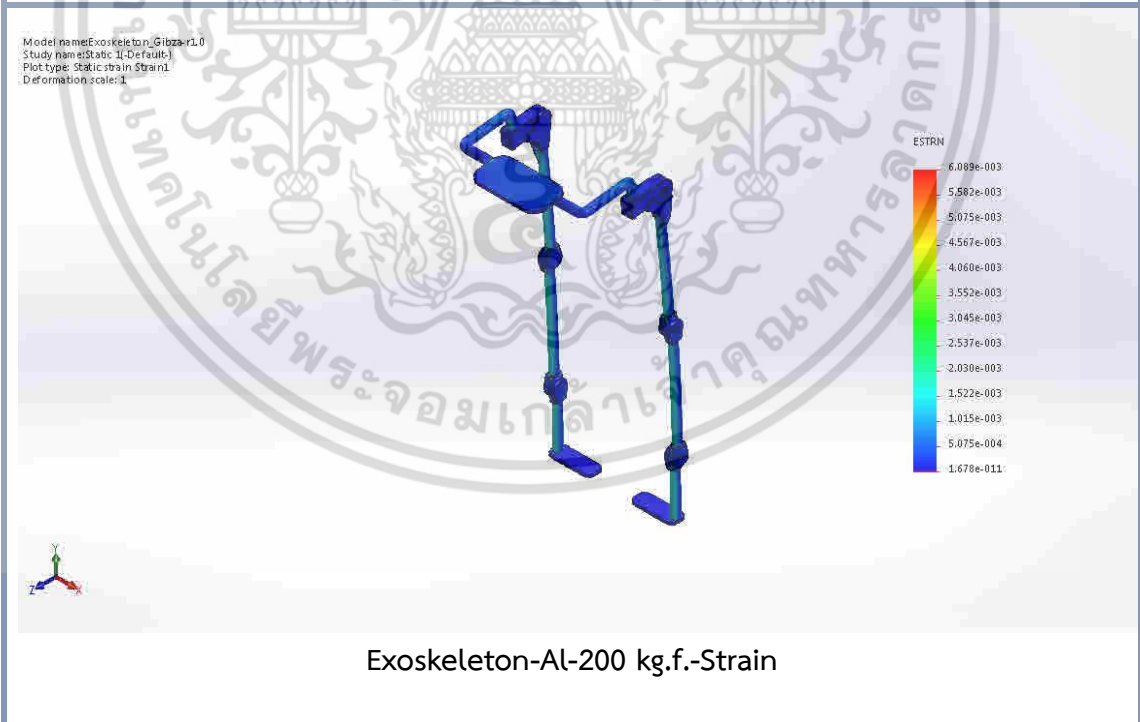
5.006e-004

2.503e-004

7.146e-012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

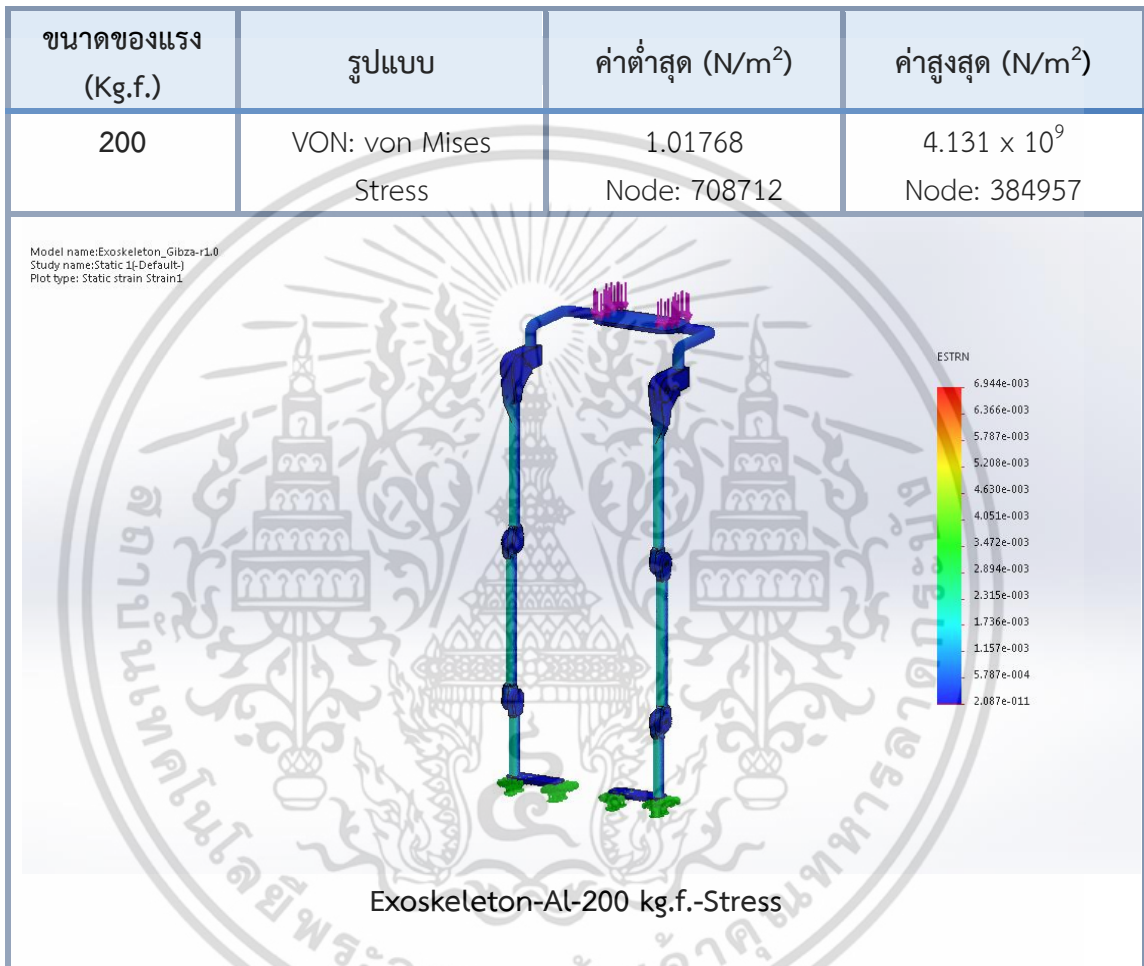
ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1-Default1 Plot type: Static strain Strain1 Deformation scale: 1</p>  <p>Exoskeleton-Al-150 kg.f.-Strain</p>			
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1-Default1 Plot type: Static strain Strain1 Deformation scale: 1</p>  <p>Exoskeleton-Al-200 kg.f.-Strain</p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.4 การคำนวณค่าที่เหมาะสมของวัสดุอลูมิเนียม

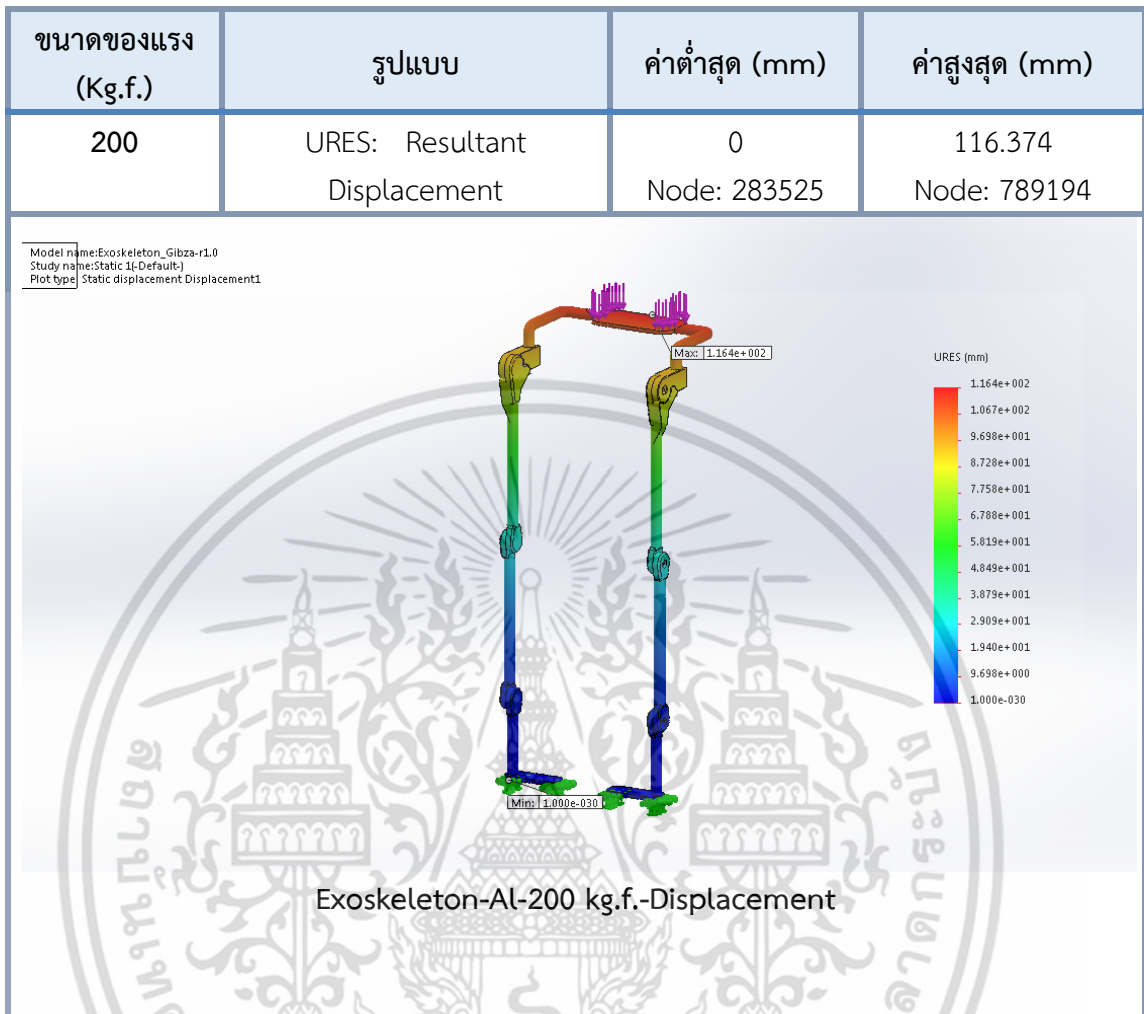
ในที่นี้จะพิจารณาที่ภาระ 200 กิโลกรัมเป็นหลัก เนื่องจากเป็นน้ำหนักสูงสุดที่วัสดุจะรับได้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลความเค้น, ระยะขจัดและความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม ที่ทำการคำนวณค่าที่เหมาะสมแล้ว



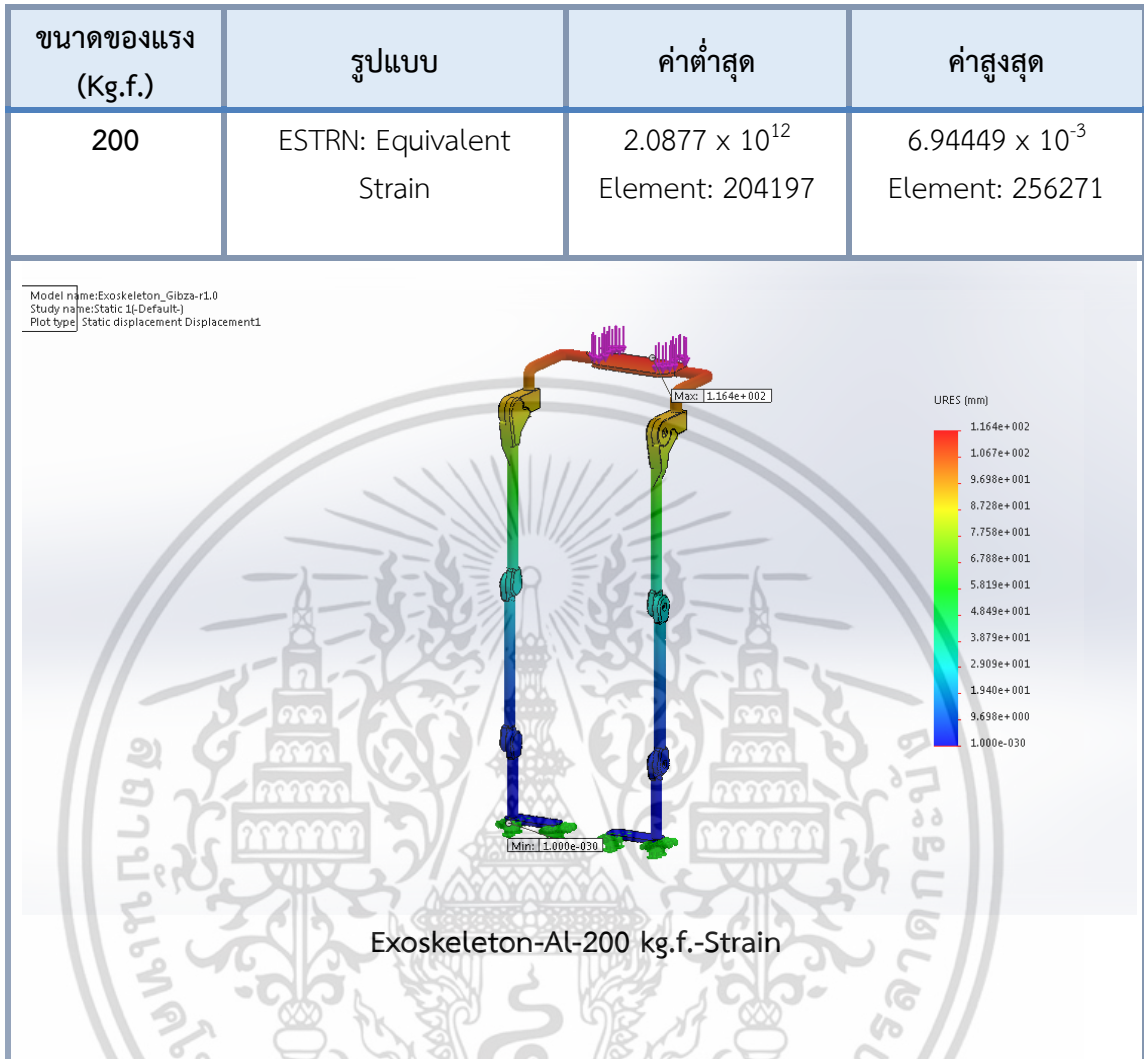
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 วัสดุไทเทเนียม R50700 - Grade 4

4.2.1 ผลของความเค้น (ค่า Yield Strength ของอลูมิเนียม =  $5.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ )

ตารางที่ 4.5 แสดงผลความเค้นของวัสดุไทเทเนียม

ขนาดของแรง (kg.f)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (N/m <sup>2</sup> )	ค่าสูงสุด (N/m <sup>2</sup> )
100	VON: von Mises Stress	$4.400 \times 10^{-1}$ Node: 270365	$1.094 \times 10^9$ Node: 367731
150	VON: von Mises Stress	$6.77562 \times 10^{-1}$ Node: 270365	$1.691 \times 10^9$ Node: 367731
200	VON: von Mises Stress	$10.9173 \times 10^{-1}$ Node: 269906	$2.323 \times 10^9$ Node: 367731

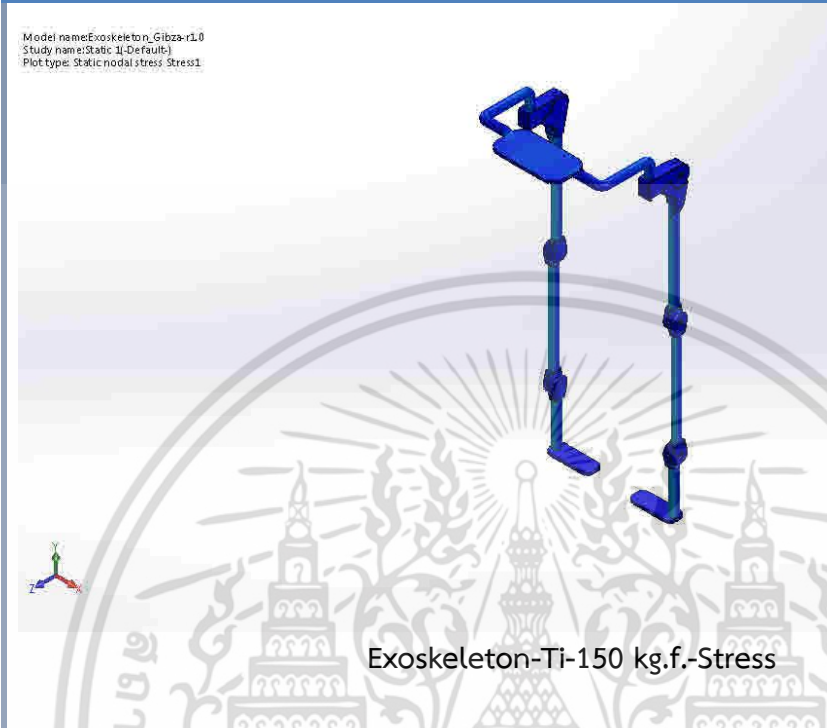
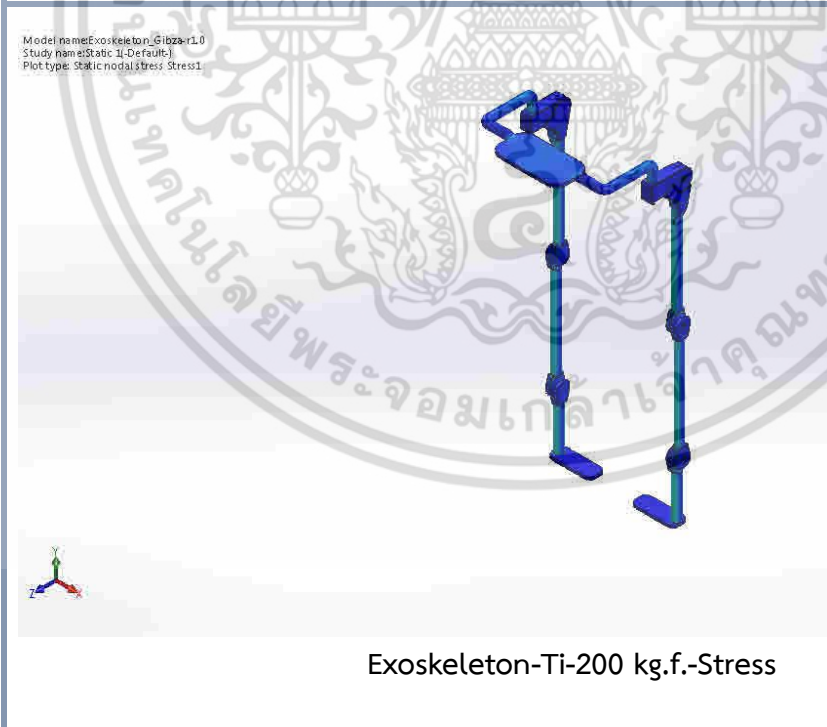
Model name: Exoskeleton\_Gioza-1.0  
Study name: Static II - Default  
Plot type: Static nodal stress Stress1

von Mises (N/m<sup>2</sup>):  
5.000e+008  
4.583e+008  
4.167e+008  
3.750e+008  
3.333e+008  
2.917e+008  
2.500e+008  
2.083e+008  
1.667e+008  
1.250e+008  
8.333e+007  
4.167e+007  
0.000e+000

Exoskeleton-Ti-100 kg.f.-Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ขนาดของแรง (kg.f)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (N/m <sup>2</sup> )	ค่าสูงสุด (N/m <sup>2</sup> )
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1I-Default1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>  <p style="text-align: center;">Exoskeleton-Ti-150 kg.f.-Stress</p>			
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1I-Default1 Plot type: Static nodal stress Stress1</p>  <p style="text-align: center;">Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Stress</p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


## 4.2.2 ผลของการขจัด

ตารางที่ 4.6 แสดงผลระยะขจัดของวัสดุไทเทเนียม

ขนาดของแรง (kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (mm)	ค่าสูงสุด (mm)
100	URES: Resultant Displacement	0 Node: 269900	26.5432 Node: 755645
150	URES: Resultant Displacement	0 Node: 269900	41.0011 Node: 755645
200	URES: Resultant Displacement	0 Node: 269900	56.3272 Node: 755645

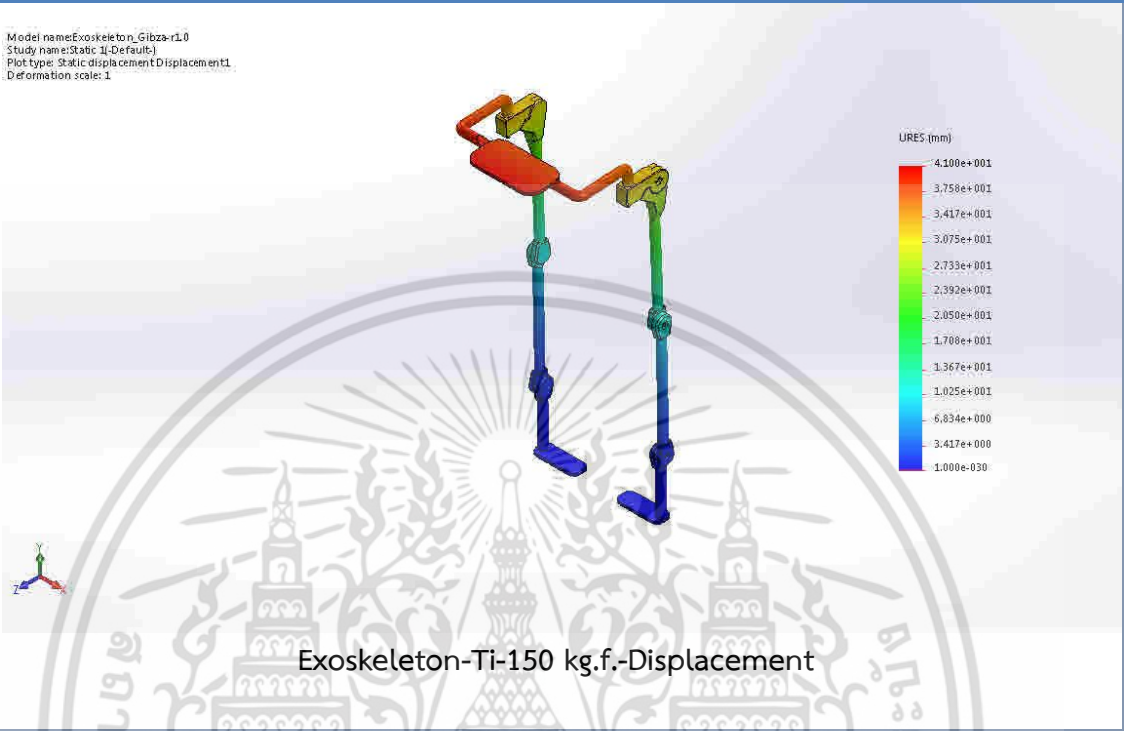
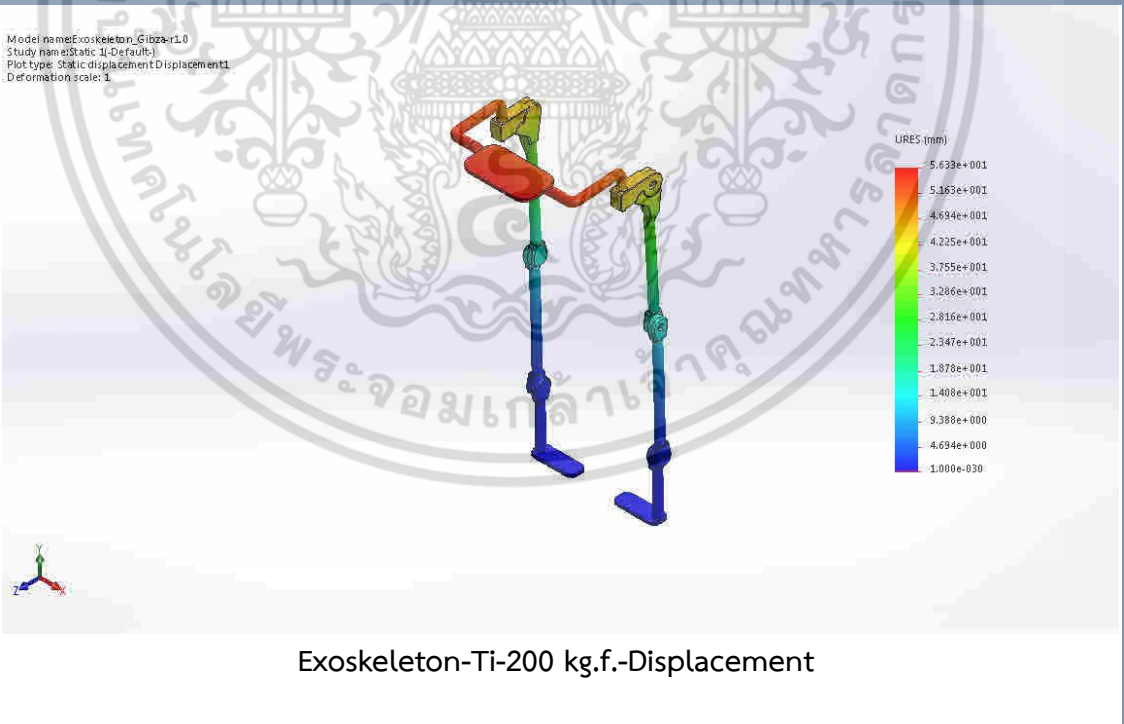
Model name: Exoskeleton\_Gibza-v1.0  
Study name: Static II-Default1  
Plot type: Static displacement Displacement1  
Deformation scale: 1



Exoskeleton-Ti-100 kg.f.-Displacement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

ขนาดของแรง (kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (mm)	ค่าสูงสุด (mm)
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static_1-Default1 Plot type: Static displacement Displacement1 Deformation scale: 1</p>  <p>Exoskeleton-Ti-150 kg.f.-Displacement</p>			
<p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static_1-Default1 Plot type: Static displacement Displacement1 Deformation scale: 1</p>  <p>Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Displacement</p>			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ผลของความเครียด

ตารางที่ 4.7 แสดงผลความเครียดของวัสดุไทเทเนียม

ขนาดของแรง (kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
100	ESTRN: Equivalent Strain	$7.146 \times 10^{-11}$ Element: 198430	$3.003 \times 10^{-3}$ Element: 250368
150	ESTRN: Equivalent Strain	$1.091 \times 10^{-11}$ Element: 198430	$3.81851 \times 10^{-3}$ Element: 250368
200	ESTRN: Equivalent Strain	$1.503 \times 10^{-11}$ Element: 198430	$5.12046 \times 10^{-3}$ Element: 250368

Model name: Exoskeleton\_Gibza-v1.0  
Study name: Static\_II\_(Default)  
Plot type: Static strain Strain1  
Deformation scale: 1



ESTRN

2.536e-003  
2.325e-003  
2.113e-003  
1.902e-003  
1.691e-003  
1.479e-003  
1.268e-003  
1.057e-003  
8.454e-004  
6.340e-004  
4.227e-004  
2.113e-004  
7.298e-012

Exoskeleton-Ti-100 kg.f.-Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

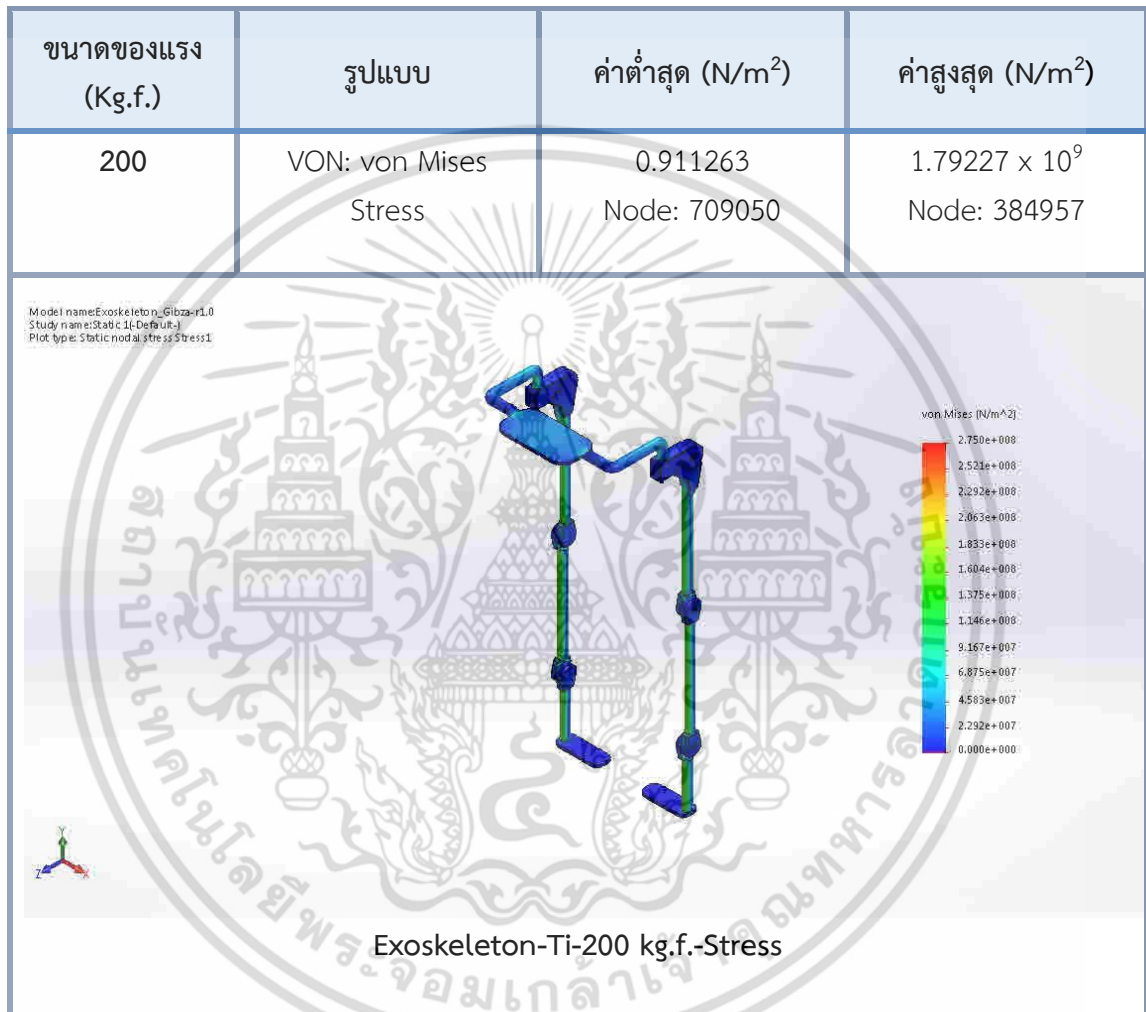
ขนาดของแรง (kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
	 <p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1-Default1 Plot type: Static strain Strain1 Deformation scale: 1</p> <p>Exoskeleton-Ti-150 kg.f.-Strain</p>	<p>ค่าต่ำสุด</p>	<p>ค่าสูงสุด</p>
	 <p>Model name: Exoskeleton_Gibza-r1.0 Study name: Static 1-Default1 Plot type: Static strain Strain1 Deformation scale: 1</p> <p>Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Strain</p>	<p>ค่าต่ำสุด</p>	<p>ค่าสูงสุด</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 การคำนวณค่าที่เหมาะสมของวัสดุไทเทเนียม

ในที่นี้จะพิจารณาที่ภาระ 200 กิโลกรัมเป็นหลัก เนื่องจากเป็นน้ำหนักสูงสุดที่วัสดุจะรับได้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลความเค้น, ระยะขจัด และความเครียดของวัสดุไทเทเนียม ที่ทำการคำนวณค่าที่เหมาะสมแล้ว




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (mm)	ค่าสูงสุด (mm)
200	URES: Resultant Displacement	0 Node: 283525	70.5423 Node: 789194

Model name: Exoskeleton\_Gibza-v1.0  
Study name: Static 1(-Default-1)  
Plot type: Static displacement Displacement1



Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Displacement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
200	ESTRN: Equivalent Strain	$1.61453 \times 10^{-11}$ Element: 460471	$6.232 \times 10^{-3}$ Element: 254588

Model name: Exoskeleton\_Gibza-r1.0  
Study name: Static 1 (Default-1)  
Plot type: Static strain Strain1

ESTRN

- 6.232e-003
- 5.713e-003
- 5.193e-003
- 4.674e-003
- 4.155e-003
- 3.635e-003
- 3.116e-003
- 2.597e-003
- 2.077e-003
- 1.558e-003
- 1.039e-003
- 5.193e-004
- 1.615e-011

Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การนำวัสดุทั้ง 2 ชนิด มาประยุกต์เข้าด้วยกัน


ในการทดลอง ผู้ทำการทดลองได้นำวัสดุทั้ง 2 ชนิด มาทำการทดลองเพื่อให้ได้ข้อสรุปเรื่องการจัดหาอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการออกแบบ โดยได้ทำการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับการนำไปออกแบบทดลองใช้ ซึ่งการทดลองนั้น ได้นำส่วนของวัสดุไทเทเนียมและอลูมิเนียม มาทำการประกอบเข้าด้วยกัน ดังผลของการจำลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลความเค้น, ระยะขจัด และความเครียดของวัสดุไทเทเนียม-อลูมิเนียม ที่ทำการประยุกต์เข้าด้วยกัน

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (N/m <sup>2</sup> )	ค่าสูงสุด (N/m <sup>2</sup> )
200	VON: von Mises Stress	890483 Node: 283531	1.964 x 10 <sup>9</sup> Node: 384957

Model name: Exoskeleton\_Gibza-r1.0  
Study name: Static 1(-Default)  
Plot type: Static nodal stress Stress1



Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Stress

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด (mm)	ค่าสูงสุด (mm)
200	URES: Resultant Displacement	0 Node: 283525	115.813 Node: 789194

Model name: Exoskeleton\_Gibza-r1.0  
Study name: Static 1I-Default  
Plot type: Static displacement Displacement1

Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Displacement


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

ขนาดของแรง (Kg.f.)	รูปแบบ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
200	ESTRN: Equivalent Strain	$1.889 \times 10^{-11}$ Element: 384957	$1.2274 \times 10^{-3}$ Element: 283531

Model name: Exoskeleton\_Gibza-r1.0  
Study name: Static 11-Default1  
Plot type: Static strain Strain1



Exoskeleton-Ti-200 kg.f.-Strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.4 ผลการทดลอง

### 4.4.1 ผลค่าความเค้นที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f

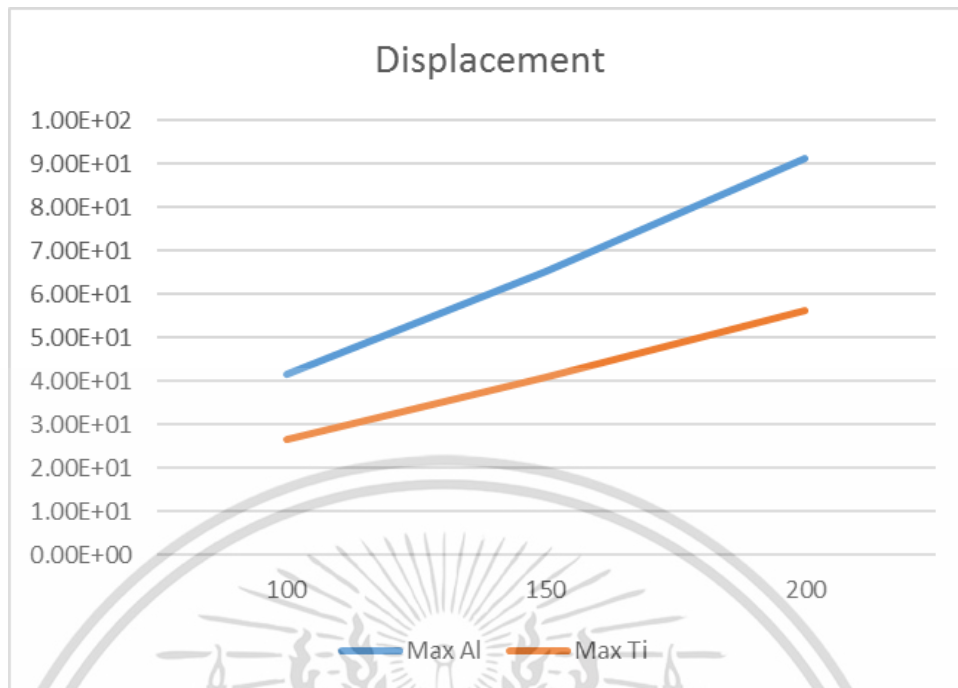
เมื่อนำค่าความเค้นมาพล็อตเป็นกราฟ จะพบว่าภาระทางกลที่เพิ่มมากขึ้น โดยค่าความเค้นที่ภาระทางกลขนาด 100, 150 และ 200 กิโลกรัม จากขากลๆ ที่ได้ทำการจำลองค่าแล้ว ค่าความเค้นที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยพิจารณาจากค่าสุดของวัสดุอลูมิเนียมที่มีความเค้นขนาด  $1.517 \times 10^9$ ,  $2.382 \times 10^9$  และ  $3.327 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> ตามลำดับ ส่วนของวัสดุไทเทเนียมที่มีความเค้นขนาด  $1.094 \times 10^9$ ,  $1.691 \times 10^9$  และ  $2.323 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> ตามลำดับ สามารถสังเกตได้จากค่าความเค้นที่เพิ่มขึ้น โดยค่าของความเค้นที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค้นของวัสดุทั้ง 2 ชนิด เมื่อมีภาระทางกลกระทำ ค่าความเค้นของวัสดุไทเทเนียม จะน้อยกว่าอลูมิเนียม หมายความว่า วัสดุไทเทเนียม สามารถรับภาระทางกล ได้มากกว่า อลูมิเนียม



รูปที่ 4.1 แสดงค่าสูงสุดของความเค้นของวัสดุ 2 ชนิด ที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f. ตามลำดับ

### 4.4.2 ผลค่าระยะขจัด ที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f.

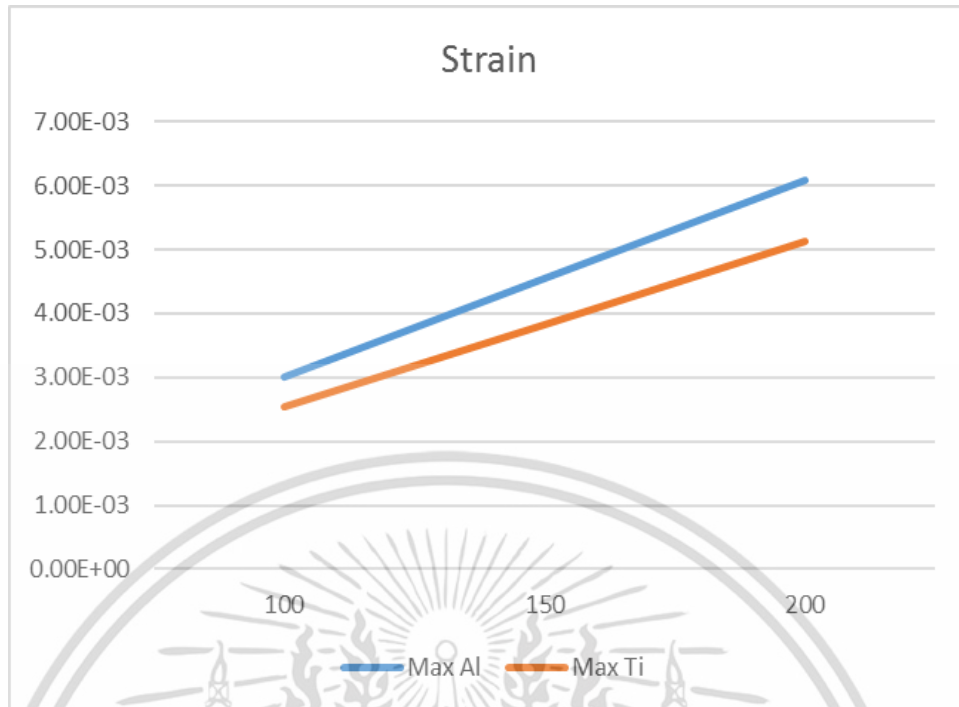
เมื่อนำค่าระยะขจัดมาพล็อตเป็นกราฟ จะพบว่าเมื่อมีภาระทางกลเพิ่มมากขึ้น ค่าระยะขจัดที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบระยะขจัดของวัสดุทั้ง 2 ชนิด เมื่อมีภาระทางกลกระทำที่ระยะขจัดสูงสุด พบว่าระยะขจัดของไทเทเนียมมีค่าน้อยกว่าอลูมิเนียม ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงว่าวัสดุไทเทเนียมสามารถรับภาระทางกลได้มากกว่าวัสดุอลูมิเนียม



รูปที่ 4.2 แสดงค่าสูงสุดของระยะขจัดของวัสดุ 2 ชนิดที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f. ตามลำดับ

#### 4.4.3 ผลค่าของความเครียดที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f.

เมื่อนำค่าความเครียดมาพล็อตเป็นกราฟ จะพบว่าภาระทางกลเพิ่มมากขึ้น ค่าความเครียดที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดของวัสดุทั้ง 2 ชนิด โดยวัสดุอลูมิเนียมมีค่าความเครียด  $3.000 \times 10^{-3}$ ,  $4.535 \times 10^{-3}$  และ  $6.089 \times 10^{-3}$  ส่วนวัสดุไทเทเนียมมีค่าความเครียด  $3.003 \times 10^{-3}$ ,  $3.819 \times 10^{-3}$  และ  $5.120 \times 10^{-3}$  ตามลำดับ เมื่อมีภาระทางกลกระทำ ค่าความเครียดของไทเทเนียม จะน้อยกว่าค่าความเครียดของวัสดุอลูมิเนียม ตามกราฟการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงค่าสูงสุดของความเครียดของวัสดุ 2 ชนิด ที่ภาระทางกล 100, 150 และ 200 kg.f. ตามลำดับ

#### 4.4.4 ผลค่าของการทำการคำนวณค่าที่เหมาะสมของวัสดุอลูมิเนียมและไทเทเนียมที่ภาระ 200 kg.f.

เมื่อนำวัสดุต่างๆ มาทำการทดสอบที่ค่าต่างๆ เพื่อทำการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม พบว่าที่ค่าความเค้น ระยะขจัด และความเครียด ของวัสดุอลูมิเนียม มีค่า  $4.131 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ,  $116.374 \text{ mm}$  และ  $6.945 \times 10^{-3}$  ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความเค้น ระยะขจัด และความเครียด ของวัสดุไทเทเนียม มีค่า  $1.792 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ ,  $70.542 \text{ mm}$  และ  $6.232 \times 10^{-3}$  ตามลำดับ พบว่าการคำนวณค่าที่เหมาะสมทำให้ซากสามารถรับภาระที่ 200 kg.f. ได้

## บทที่ 5 บทสรุป

### 5.1 บทสรุป

จากการศึกษาสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี โดยการทดลองสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ทางไฟไนต์ เอเลเมนต์ (Finite Element) โดยการนำวัสดุ 2 ชนิด คือ อลูมิเนียม 6061-T6 และ ไทเทเนียม R50700 - Grade 4 มาทำการทดสอบการรับภาระทางกลที่ 100 kg., 150 kg. และ 200 kg. ตามลำดับ จะพบว่าทั้งอลูมิเนียมและไทเทเนียม สามารถรับภาระทางกลที่ค่าดังกล่าวได้โดยไม่เกิดการแตกหักพังเสียหาย ทั้งบริเวณข้อต่อและแกนรองรับภาระของขาสำหรับช่วยเสริมแรงทางยุทธวิธี รวมถึงมีค่าระยะขจัดและความเครียดไม่เกินค่าที่กำหนดของวัสดุทั้งอลูมิเนียมและ ไทเทเนียม

เมื่อนำค่าจากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์ เอเลเมนต์ มาทำการพล็อตกราฟจะพบว่า ค่าความเค้น, ค่าระยะขจัด และ ค่าความเครียด ของวัสดุไทเทเนียม เมื่อมีการรับภาระทางกลที่ 100 kg., 150 kg. และ 200 kg. จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับอลูมิเนียม แต่ทั้งนี้ในการเลือกใช้วัสดุเพื่อสร้างอุปกรณ์นี้ ยังมีปัจจัยด้านอื่นอีก เช่น ราคาต้นทุนของวัสดุ รวมถึงการขึ้นรูป และกระบวนการในการสร้างอุปกรณ์

ในส่วนของการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม พบว่าหลังจากทำการนำวัสดุต่างๆ ทั้ง 2 ประเภท มาทำการคำนวณหาค่าความเค้น ค่าระยะขจัด และค่าความเครียด ทำให้พบข้อสรุปว่า การจำลองที่ภาระ 200 กิโลกรัม ไม่เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง

ในกรณีที่ขากลทำจากวัสดุ 2 ประเภท พบว่าวัสดุที่ควรจะรองรับน้ำหนักในด้านหลัง ควรจะเป็นวัสดุที่แข็งแรง และทนทาน นั่นก็คือ ไทเทเนียม นั่นเอง ส่วนของขารับน้ำหนักนั้น ผู้ทำการวิจัยได้เลือกใช้วัสดุอลูมิเนียม เนื่องจากสามารถรับน้ำหนักและการโค้งงอได้ดีพอๆ กันกับวัสดุไทเทเนียม ซึ่งผลการทำการจำลองนั้น พบว่าไม่เกิดความเสียหายภายใต้การรับภาระ 200 กิโลกรัม นอกจากนี้เมื่อนำวัสดุทั้ง 2 ประเภทมาทำการเปรียบเทียบเกี่ยวกับราคาแล้วพบว่าการประยุกต์ใช้วัสดุ 2 ประเภท ช่วยลดต้นทุนจากการใช้วัสดุไทเทเนียมเพียงอย่างเดียว และยังเสริมความแข็งแรงจากการใช้วัสดุอลูมิเนียมเพียงอย่างเดียวเช่นกัน

ตารางที่ 5.1 แสดงราคาวัสดุอลูมิเนียม และไทเทเนียมชนิดต่างๆ

อลูมิเนียม ชนิด	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)	ไทเทเนียม ชนิด	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
5083	150	R50400 – Grade 2	600
6061	210	R50700 - Grade 4	840
7075	330	Ti-6Al-4V – Grade 5	1,320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณค่าต่างๆ พบว่าการใช้งานนั้น ขึ้นอยู่กับการเลือกวัสดุต่างๆ ในการนำมาประกอบและคิดราคาเบื้องต้น โดยทั้งนี้ยังไม่รวมถึงราคาของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะนำมาพิจารณา โดยการขึ้นรูปวัสดุต่างๆ จำเป็นต้องคิดและคำนวณความเสียหายต่างๆ ออกมา และจึงนำมาออกแบบใช้งานจริง เพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการนำไปผลิตใช้งานต่อไป

โดยกรณีใช้วัสดุไทเทเนียม ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงานที่ทำจากอลูมิเนียม แต่ปัญหาที่ต้องพิจารณาอีกด้านคือน้ำหนัก จะมีน้ำหนักที่สูงกว่ามาก รวมถึงราคาอีกด้วย และจากผลการใช้โปรแกรมจำลองทำการคำนวณค่าที่เหมาะสม จะทราบว่าเราไม่จำเป็นจะต้องใช้วัสดุที่เป็นไทเทเนียมทั้งหมด เราใช้วัสดุสองชนิดทำชิ้นงานที่มีความเหมาะสมกว่าได้ ทั้งในแง่ของคุณภาพและราคา

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนั้นอาจจะมีค่าที่ไม่ได้แปรไปตามที่คาดการณ์ไว้ โดยข้อเสนอแนะในการทำการทดลองนั้นให้ทำการทดลองสำหรับการใช้วัสดุอื่นๆ ในการทดลองเพิ่มเติม เพื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆ ก่อนจะนำไปทดลองและออกแบบจริง ดังนั้น การทำแบบจำลองนั้น จะต้องทำภายใต้สภาวะต่างๆ ที่อยู่หลากหลายเงื่อนไขที่แตกต่างกัน แล้วนำค่าที่ได้มาเพื่อเปรียบเทียบ และทำการวิจัยต่างๆ เพื่อพัฒนาในทางด้านการแพทย์ การทหาร หรือการอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติต่อไปในอนาคต

รูปแบบการทดสอบต่างๆ ล้วนแต่มีความน่าสนใจที่หลากหลาย สามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ ตามรูปแบบที่เหมาะสมได้

## 5.3 แนวทางการวิจัยต่อ

ข้อเสนอแนะในการทำการวิจัยต่อ นั้น สามารถนำไปพัฒนาเพื่อวิจัยต่อเพื่อทำการผลิตออกมาใช้งานจริง โดยสามารถประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานต่างๆ และสามารถคำนวณราคา ความเหมาะสมในการออกแบบพัฒนา โดยจะนำมาซึ่งประโยชน์ และผลการทดสอบต่างๆ ที่เป็นรูปธรรมตามในอนาคต เพื่อให้เกิดการนำไปใช้งานจริง และหาความเหมาะสมต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Dollar, Aaron M. // **Lower Extremity Exoskeletons and Active Orthoses: Challenges and State-of-the-Art** // IEEE // 2008
- [2] Buijs, Ko // **Characteristics and uses of titanium** // stainless steel world // 2008
- [3] Walsh, Conor James // **Biomimetic Design of an Under-Actuated Leg Exoskeleton For Load-Carrying Augmentation** // Massachusetts Institute of Technology, MIT Media Lab, 20 Ames Street, Cambridge, MA, 02139
- [4] Van der Kooij, H. // **Compliant Actuation of Exoskeletons** // University of Twente the Netherlands // InTech Magazine // 2006
- [5] Jansen, John // **Exoskeleton for Soldier Enhancement Systems Feasibility Study** // Oak Ridge National Laboratory // U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Under contract DE-AC05-OR22725 // 2000
- [6] Pons, J.L. // **Lower-Limb Wearable Exoskeleton** // Bioengineering Group, Instituto de Automática Industrial – CSIC // 2007
- [7] Hasami, Walid // **Real-Time EMG driven Lower Limb Actuated Orthosis for Assistance As Needed Movement Strategy** // LISSI Lab, University Paris Est Créteil (UPEC) // 2000
- [8] Laura Marchal-Crespo and David J Reinkensmeyer. **Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury.** Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 6(1):20, 2009.
- [9] F.E. Zajac et al. **Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control.** Critical reviews in biomedical engineering, 17(4):359, 1989.
- [10] <http://www.army-technology.com/projects/raytheon-xos-2-exoskeleton-us/>
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_Universal\\_Load\\_Carrier](https://en.wikipedia.org/wiki/Human_Universal_Load_Carrier)
- [12] <http://bleex.me.berkeley.edu/research/exoskeleton/bleex/>
- [13] <http://bleex.me.berkeley.edu/research/exoskeleton/exohiker/>
- [14] <http://blogs.wsj.com/japanrealtime/2014/06/03/panasonic-targets-cheaper-wearable-robots-for-2015/>
- [15] <http://rewalk.com/>
- [16] <http://www.merriam-webster.com/dictionary/leg>
- [17] [http://www.mercksource.com/pp/us/cns/cns\\_hl\\_dorlands.jspzQzpgzEzzSzppdocszSzuszSzcommonzSzdorlandzSzdorlandzSzdmd\\_l\\_10zPzhtm#12493851](http://www.mercksource.com/pp/us/cns/cns_hl_dorlands.jspzQzpgzEzzSzppdocszSzuszSzcommonzSzdorlandzSzdorlandzSzdmd_l_10zPzhtm#12493851)
- [18] <http://www.emedicine.com/asp/dictionary.asp?keyword=leg>
- [19] <https://www.merckengage.com/home?source=MerckSource#12267973>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Gray1240.png>

---



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสรณ์ธร ดวงดีกมลทัศน์
วัน-เดือน-ปี เกิด	25 มีนาคม 2513 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	76/43,45,47,49 ถนนแจ้งวัฒนะ, แขวงอนุสาวรีย์, เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 โทร.0-2522-6686
ประวัติการศึกษา	2534 วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนโครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถ พิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.) ตั้งแต่ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จนจบระดับปริญญาตรี
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ. 2534-2535	งานที่ธนาคารกรุงไทย
พ.ศ. 2535-2542	บริษัท เคหะรัตน์ เร็ลเอสเตท จำกัด ดำรงตำแหน่ง กรรมการผู้จัดการ
พ.ศ. 2542-ปัจจุบัน	ก่อตั้ง บริษัท กันโน ซีสเต็มส์ อินทีเกรชั่น จำกัด ดำรง ตำแหน่งกรรมการผู้จัดการ
ผลงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EOD Robot and Disruptor for Ordnance Department of Royal Thai Army.</li> <li>- Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Counter Terrorist Operation Center.</li> <li>- Z-Backscatter Vehicle (ZBV) for Ordnance Department of Royal Thai Army.</li> <li>- Parcel X-Ray for Ordnance Department of Royal Thai Army.</li> <li>- ZBV Preventive and Corrective Maintenance for Narcotics Suppression Bureau Police</li> <li>- Security Systems for Ordnance Ammunition Battalion 22, 2nd Army Support Command.</li> <li>- Radio Broadcast Station for Armed Forces Development Command.</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Special equipment for security and Intelligence mission for Operation units of Royal Thai Armed Forces Headquarter.
- CCTV Systems for Royal Thai Armed Forces Headquarter.
- CCTV Systems for Post Engineer Department.
- Security Systems for Army Armament Storage.
- War Room Renovation for Army Operation Center HQ.
- War Room Renovation for Internal Security Operation Command.
- Hi-Speed Camera for Royal Thai Air force Weapon Research HQ.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้