



การพัฒนาชิ้นส่วนรับแรงรถคีบอ้อยด้วยการออกแบบ  
และวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์

DEVELOPMENT OF SUGARCANE LOADER PARTS BY CAD AND CAE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2556

DEVELOPMENT OF SUGARCANE LOADER PARTS BY CAD AND CAE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**COPYRIGHT 2013**

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FACULTY OF ENGINEERING**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาชิ้นส่วนรับแรงรถสิบล้อด้วยการออกแบบและวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์

DEVELOPMENT OF SUGARCANE LOADER PARTS BY CAD AND CAE

ผู้จัดทำ

1. นาย โชคชัย จันแดง รหัสประจำตัว 53010387
2. นาย ทรงชัย แสนคำอ้วน รหัสประจำตัว 53010565
3. นาย ธนวัต วงษ์มณีเทศ รหัสประจำตัว 53010662

*Precha Ka-*

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ปรีชา การินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การพัฒนาชิ้นส่วนรับแรงรถคิบบ้อยด้วยการออกแบบและวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์

|           |            |                                     |
|-----------|------------|-------------------------------------|
| นายโชคชัย | จันแดง     | 53015387                            |
| นายทรงชัย | แสนคำอ้วน  | 53010565                            |
| นายธนวัต  | วงษ์มณีเทศ | 53010662                            |
| ดร.ปรีชา  | การินทร์   | อาจารย์ที่ปรึกษา<br>ปีการศึกษา 2556 |

### บทคัดย่อ

บทความนี้จะนำเสนอและวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของรถคิบบ้อยทางด้านวิศวกรรมและปรับปรุงให้เหมาะสมกับการทำงาน ตัวถังและห้องโดยสารของรถคิบบ้อยจะออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (CAE) ในการออกแบบตัวถังรถแทรกเตอร์ที่มีขนาด 45 แรงม้า ที่ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับคิบบ้อยซึ่งยกน้ำหนักของอ้อยได้ถึง 300 กิโลกรัม ยกได้สูง 5 เมตร โดยน้ำหนักรวมจะอยู่ที่ประมาณ 4.4 ตัน ใช้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการทำงานในไร่ ในอีกแง่หนึ่ง การสร้างองค์ความรู้ในการออกแบบและพัฒนาโครงสร้างรถคิบบ้อยด้านวิศวกรรมและปรับปรุงให้เหมาะสมกับการทำงาน ความรู้ที่ได้จากการศึกษานี้สามารถส่งต่อไปยังบริษัทที่มีการออกแบบและพัฒนาการทำงานของรถคิบบ้อย ในรูปแบบของการออกแบบโครงสร้างรถคิบบ้อยโดยวิเคราะห์ตามหลักสถิติศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DEVELOPMENT OF SUGARCANE LOADER PARTS BY CAD AND CAE

|             |               |          |
|-------------|---------------|----------|
| Chockchai   | Jantang       | 53010387 |
| Songchai    | Sankhamoun    | 53010565 |
| Tanawat     | Wongmaneethad | 53010662 |
| Dr.Preechar | Karin         | Advisor  |
| Year 2013   |               |          |

### ABSTRACT

This paper presents and research on the design and development a sugarcane loader part structure base on engineering and ergonomic. The chassis and cabin of sugarcane loader will design by using Computer Aided Design (CAD) and Computer Aided Engineering (CAE) to design chassis for the tractor with a 45 horsepower ,which can install grab equipment to lift the 300 kilogram of Sugarcane on 5 meter, that total load is approximately 4.4 tons and to obtain lightweight structure with the sufficient structural strength to operate on the farm. On the other hand ,To create knowledge about the design and development of sugarcane loader structure base on engineering and ergonomic.The knowledge gained from this study can be transferred to the companies and to be design and development of sugarcane loader proceeding. The model of sugarcane loader structure design and analyzed static.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากความช่วยเหลือดูแลเอาใจใส่จาก ดร.ปรีชา การินทร์ ที่คอยชี้แนะถึงแนวทางการดำเนินการอย่างเป็นระบบ มีแบบแผน ทำให้งาน ออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องขอบพระคุณและสำนึกในบุญคุณครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณบริษัท T.S.P. Metal Works Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ งบประมาณ และมอบหมายงานที่ก่อให้เกิดการพัฒนาความรู้ความสามารถของนักศึกษา อีกทั้งยังส่งผลต่อการ พัฒนาประเทศไทย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมยานาชาติที่เอื้อเฟื้อสถานที่และคอมพิวเตอร์ในการออกแบบ และคำนวณและขอขอบคุณที่ กนต์พิชญ์ มีแต่้ม ที่คอยดูแลและให้ความรู้ อีกทั้งยังเป็นพี่ที่คอยให้ คำปรึกษาในการทำปริญญาานิพนธ์

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าลาดกระบัง ที่ได้มอบความรู้ตลอดจนสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ได้กับการทำงานจริง อีกทั้งยังหล่อหลอมข้าพเจ้าให้เป็นวิศวกรที่ดีมีโลกทัศน์สามารถเผชิญโลกชีวิตการทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ที่คอยให้กำลังใจตลอดมา คอยอบรมสั่งสอน สนับสนุนและมอบโอกาสให้มีการศึกษาที่สูง ให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี มีการดำเนินชีวิต อย่างมั่นคง ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

โชคชัย จันแดง

ทรงชัย แสนคำอ้วน

ธนวัต วงษ์มณีเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

|   |      |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | I    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | II   |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | III  |
| สารบัญ.....   | IV   |
| สารบัญตาราง.....  | VII  |
| สารบัญรูป.....  | VIII |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ.....  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....  | 1    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....  | 2    |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....  | 2    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....   | 3    |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบถังถ่วงน้ำหนักสมดุล.....                          | 3    |
| 2.1.1 สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง .....  | 3    |
| 2.1.2 จุดศูนย์ถ่วง.....   | 3    |
| 2.2 แรงดึงในข้อต่อตัวผู้ภายใต้แรงสถิตยศาสตร์.....                                   | 5    |
| 2.3 การกำหนดตัวแปรค่าความแข็งข้อต่อ.....  | 7    |
| 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขับเคลื่อนที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน..... | 8    |
| 2.5 ความเค้นหลัก.....   | 9    |
| 2.6 ความเค้นวอนมิส.....   | 10   |
| 2.7 Specification ของรถแทรกเตอร์ Kubota Reverse.....                                | 12   |
| บทที่ 3 การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....                                 | 14   |
| 3.1 ลำดับขั้นตอนและข้อจำกัดในการออกแบบ.....   | 14   |
| 3.1.1 ลำดับขั้นตอนในการออกแบบ.....  | 14   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง 3.1.1 ลำดับขั้นตอนในการออกแบบ.....

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.1.2   | ข้อกำหนดในการออกแบบ.....   | 14 |
| 3.1.2.1 | ภาพรวมขอบเขตการออกแบบชิ้นงาน.....  | 15 |
| 3.1.2.2 | ชิ้นส่วนหลักที่สนใจในการออกแบบ.....  | 16 |
| 3.2     | การวาดแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....   | 17 |
| 3.2.1   | ขั้นตอนการใช้คำสั่งSketchในการวาดแบบสองมิติ.....                                     | 17 |
| 3.2.2   | ขั้นตอนการใช้คำสั่งExtrudeในการสร้างความหนาให้ชิ้นงานเป็นสามมิติ.....                | 17 |
| 3.3     | แบบชิ้นงานที่จะนำไปทำการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....                             | 19 |
| บทที่ 4 | การคำนวณเพื่อหาสมดุทธและแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึด.....                          | 22 |
| 4.1     | การคำนวณเพื่อหาสมดุทธ.....   | 22 |
| 4.1.1   | การคำนวณหาหน้าหนักของถังถ่วงสมดุทธ.....  | 22 |
| 4.1.2   | การออกแบบถังถ่วงน้ำหนักสมดุทธ.....   | 25 |
| 4.2     | การคำนวณเพื่อหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึด.....                                   | 26 |
| 4.2.1   | การหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดตัวถัง.....                                    | 26 |
| 4.2.2   | การหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคียบ้อย.....                                | 29 |
| 4.3     | การตั้งค่าเพื่อการทดสอบแบบจำลองในโปรแกรมSOLIDWORKS.....                              | 34 |
| บทที่ 5 | ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....  | 37 |
| 5.1     | การทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถัง.....  | 37 |
| 5.1.1   | ผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถัง.....  | 37 |
| 5.1.1.1 | แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 1.....                               | 37 |
| 5.1.1.2 | แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 2.....                               | 40 |
| 5.1.1.3 | แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นท้าย.....  | 43 |
| 5.1.2   | การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ<br>แบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... | 45 |
| 5.1.2.1 | การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้.....  | 45 |
| 5.1.2.2 | การคำนวณหาค่าความปลอดภัยของน็อตตัวผู้.....   | 48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ผู้ใช้เผยแพร่หรือจำหน่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำเนื้อหาไปใช้ในการอื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 5.2 การทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อย.....                                     | 50   |
| 5.2.1 ผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อย.....                                 | 50   |
| 5.2.1.1 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1.....                              | 50   |
| 5.2.1.2 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 2.....                              | 53   |
| 5.2.2 การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ<br>แบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... | 56   |
| 5.2.2.1 การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้ที่ตำแหน่ง A.....                                | 56   |
| 5.2.2.2 การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้ที่ตำแหน่ง B.....                                | 57   |
| บทที่ 6 วิจารณ์และสรุปผล.....  | 58   |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง.....  | 58   |
| 6.2 อุปสรรคและปัญหาระหว่างการดำเนินงาน.....  | 59   |
| 6.3 แนวทางในการแก้ไขและพัฒนาการออกแบบชิ้นส่วนจุดจับยึดในรถแทรกเตอร์.....                   | 59   |
| เอกสารอ้างอิง.....   | 60   |
| ภาคผนวก.....   | 61   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.1 พารามิเตอร์ (Parameters) สำหรับสมการ (2.17).....                                  | 8    |
| 2.2 แฟกเตอร์น็อตตัวเมีย (Nut factor) สำหรับการหล่อลื่นแบบต่าง.....                    | 9    |
| 2.3 ค่าความปลอดภัย (Safety factor) ที่ใช้สำหรับวัตถุแบบเหนียว.....                    | 11   |
| 2.4 แสดงข้อมูลเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ Kubota Sunshine ZL-1-445.....                 | 13   |
| 4.1 แสดงพิกัดจุดศูนย์กลางของจุด A B และ C เมื่อแกนคียบยกตัวขึ้นเป็นมุม $\theta$ ..... | 27   |
| 4.2 แสดงค่าแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังแต่ละตัว.....                          | 28   |
| 4.3 แสดงมุมมองคาที่เปลี่ยนแปลงหลังจากยกแกนคียบ้อยเป็นมุม 0-5 องศา.....                | 30   |
| 4.4 แสดงมุมมองคาที่เปลี่ยนแปลงหลังจากยกแกนคียบ้อยเป็นมุม 10-45 องศา.....              | 31   |
| 4.5 แสดงมุมมองคาที่เปลี่ยนแปลงหลังจากยกแกนคียบ้อยเป็นมุม 50-75 องศา.....              | 32   |
| 4.6 แสดงแรงที่เกิดขึ้นในจุด A และ B .....   | 33   |
| 4.7 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ ASTM A36 Steel .....                                       | 34   |
| 5.1 ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกนของน็อตตัวผู้ในแต่ละตำแหน่ง .....                          | 42   |
| 5.2 ค่าตัวแปรที่สำคัญของน็อตตัวผู้ในหน่วย ISO .....                                   | 49   |
| 5.3 รายละเอียดและค่าความแข็งของน็อตตัวผู้.....  | 50   |
| 5.4 ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกนของน็อตตัวผู้ในแต่ละตำแหน่ง .....                          | 56   |
| 6.1 แสดงการสรุปผล ปัญหาและการแก้ไขในการออกแบบชิ้นงาน .....                            | 58   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ระบบของอนุภาค (ก) ระบบพิกัดที่อนุภาคอยู่   |      |
| (ข) ระบบพิกัดที่อนุภาคอยู่โดยหมุน 90 องศารอบแกน x.....                                 | 4    |
| 2.2 ชิ้นงานที่มีแรงภายนอกมากกระทำ.....   | 5    |
| 2.3 ผลกระทบต่อน็อตตัวผู้และชิ้นงาน เนื่องจากแรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน..... | 5    |
| 2.4 ผลกระทบต่อน็อตตัวผู้และชิ้นงาน เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ.....                       | 6    |
| 2.5 เภนธ์การแตกหักบนพื้นฐานของทฤษฎีวอนมิส.....   | 10   |
| 2.6 แสดงรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota L4200.....  | 12   |
| 2.7 ข้อมูลตัวรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota L4200.....   | 12   |
| 2.8 แสดงรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota Sunshine ZL-1-445.....                                  | 13   |
| 3.1 แสดงลำดับขั้นตอนในการออกแบบ.....   | 14   |
| 3.2 การศึกษาตัวรถแทรกเตอร์รุ่นเก่าของโรงงาน.....                                       | 15   |
| 3.3 จุดสีแดงแสดงถึงจุดที่มีจุดยึดน็อตจุดสีน้ำเงินคือจุดที่มีเพลาดิมรองรับ.....         | 15   |
| 3.4 แสดงตัวอย่างจุดยึดน็อตสำหรับชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลาง.....                    | 16   |
| 3.5 แสดงชิ้นงานที่สนใจในการออกแบบ.....   | 16   |
| 3.6 ชุดคำสั่งSketch .....  | 17   |
| 3.7 แสดงการกำหนดขนาดเพื่อวาดชิ้นงาน.....   | 17   |
| 3.8 แสดงชุดคำสั่งExtrude.....  | 17   |
| 3.9 แสดงขั้นตอนการใช้คำสั่งExtrude .....   | 18   |
| 3.10 แสดงชิ้นงานที่ทำการกำหนดความหนาเรียบร้อยแล้ว.....                                 | 18   |
| 3.11 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่1.....                         | 19   |
| 3.12 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่2.....                         | 19   |
| 3.13 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นท้าย.....                                   | 20   |
| 3.14 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่1.....                          | 20   |
| 3.15 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่2.....                          | 21   |
| 3.16 แสดงแบบจำลองชิ้นงานน้ำหนักถ่วง.....   | 21   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--------|------|
| 4.1    | 22   |
| 4.2    | 23   |
| 4.3    | 25   |
| 4.4    | 26   |
| 4.5    | 27   |
| 4.6    | 28   |
| 4.7    | 29   |
| 4.8    | 29   |
| 4.9    | 30   |
| 4.10   | 31   |
| 4.11   | 32   |
| 4.12   | 33   |
| 4.13   | 34   |
| 4.14   | 35   |
| 4.15   | 35   |
| 4.16   | 36   |
| 4.17   | 36   |
| 5.1    | 37   |
| 5.2    | 37   |
| 5.3    | 38   |
| 5.4    | 38   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 5.5 แสดงบริเวณที่เกิดความเค้นมากกว่าบริเวณอื่น.....                            | 39   |
| 5.6 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 2.....                 | 40   |
| 5.7 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS .....                         | 40   |
| 5.8 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 2.....       | 41   |
| 5.9 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 2.....       | 41   |
| 5.10 แสดงตำแหน่งของน็อตตัวผู้.....   | 42   |
| 5.11 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นท้าย.....                           | 43   |
| 5.12 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS .....                        | 43   |
| 5.13 แสดงตำแหน่งการกำหนดแรงให้กับชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นท้าย.....           | 44   |
| 5.14 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นท้าย.....                 | 44   |
| 5.15 ผังวัตถุอิสระของจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลาง.....                              | 45   |
| 5.16 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1.....                 | 50   |
| 5.17 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS .....                        | 51   |
| 5.18 แสดงตำแหน่งการกำหนดแรงให้กับชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1..... | 51   |
| 5.19 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1.....       | 52   |
| 5.20 แสดงบริเวณที่เกิดความเค้นมากกว่าบริเวณอื่น.....                           | 52   |
| 5.21 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 2.....                 | 53   |
| 5.22 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS.....                         | 54   |
| 5.23 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 2.....       | 54   |
| 5.24 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 2.....       | 55   |
| 5.25 แสดงตำแหน่งของน็อตตัวผู้.....   | 56   |
| 6.1 แสดงตัวอย่างการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์(Statics).....                           | 59   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านการเกษตรสำหรับการผลิตทั้งพืชอาหารและเชื้อเพลิง เช่นข้าวปาล์มและน้ำตาลทรายในด้านของอ้อยมีการบริโภคในประเทศสูงถึง1.6 ล้านตันต่อปีและมีมูลค่าเป็น19,000 ล้านบาทปริมาณการส่งออกมากกว่า3 ล้านตันต่อปีซึ่งมีมูลค่ากว่า30,000 ล้านบาท [1] ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการที่สูงของประชากรเครื่องจักรทางเกษตรกรรมจึงเป็นทางออกที่ดีในการเพิ่มศักยภาพและลดเวลาในการเก็บเกี่ยวถึงแม้ว่าผู้ประกอบการในองค์กรขนาดเล็กและขนาดกลาง (SME) มีประสบการณ์ในการสร้างเครื่องจักรทางการเกษตรมาเป็นเวลานานแต่ก็ยังไม่ได้รับการพัฒนาด้วยเทคโนโลยีทางวิศวกรรมอย่างเพียงพอและเหมาะสม อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการยังจำเป็นต้องนำเข้าเครื่องจักรกลการเกษตรดังกล่าวจากต่างประเทศในราคาที่สูงส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตทางการเกษตรสูง การวิจัยและพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรในประเทศเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถลดต้นทุนการผลิตของภาคเกษตรกรรมได้

การพัฒนาเครื่องจักรกลการเกษตรร่วมกันระหว่างภาคอุตสาหกรรมและภาคการศึกษาเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะสามารถพัฒนาประเทศให้ก้าวข้ามไปสู่ประเทศที่มีศักยภาพทางการพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตรภายในประเทศได้

งานวิจัยชิ้นนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ(CAD) ในการสร้างชิ้นส่วนหรือเรียกว่าแบบจำลองของรถคิบบอ้อยและคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม(CAE) เพื่อประเมินความสำเร็จของการออกแบบชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบค้นหาจุดอ่อนก่อนที่จะลงมือทำต้นแบบรวมถึงหาสาเหตุและทำการแก้ไขชิ้นส่วนที่ล้มเหลว

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนของรถคิบบอ้อยด้วยคอมพิวเตอร์โดยหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนของรถคิบบอ้อยด้วยคอมพิวเตอร์โดยหาค่าที่เหมาะสม

สำหรับการพัฒนารถต้นแบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดทอนอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้โดยนำรถแทรกเตอร์ที่มีอยู่แล้วมาดัดแปลงให้เกิดประโยชน์

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดทั้งสองมิติและสามมิติโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)

1.3.2 ทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(CAE) และเปรียบเทียบผลกับการคำนวณเพื่อยืนยันความถูกต้องของการทดสอบแบบจำลองชิ้นงาน

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 รวบรวมข้อมูล ทำการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดรวมถึงถึงถ่วงน้ำหนักสมดุล

1.4.2 ศึกษาการใช้โปรแกรมAnsys และโปรแกรม SolidWorks

1.4.3 กำหนดน้ำหนักของถ่วงสมดุลที่เหมาะสม และออกแบบถ่วงสมดุลด้วยโปรแกรม SolidWorks

1.4.4 กำหนดหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึด ด้วยทฤษฎีและโปรแกรม Ansysเพื่อมาใช้ในการ Simulation ด้วยโปรแกรม SolidWorks

1.4.5 ออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดด้วยโปรแกรมSolidWorksและคำนวณความแข็งแรงของน็อตตัวผู้ที่ใช้ในการยึดชิ้นงาน พร้อมเปรียบเทียบกับผลการ Simulation

1.4.6 ปรับปรุงชิ้นงานจุดจับยึด โดยใช้ผลจากการSimulationของชิ้นงานที่ได้ออกแบบไว้ก่อนการปรับปรุง เป็นเกณฑ์ในการปรับปรุงชิ้นงานจุดจับยึดให้เหมาะสม

1.4.7 วิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุปผลการศึกษา

1.4.8 เขียนแบบสองมิติพร้อมกำหนดขนาดสำหรับการผลิตชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบถังถ่วงน้ำหนักสมดุล

ในการติดตั้งชุดขับเคลื่อนเข้ากับรถแทรกเตอร์ จะต้องคำนึงถึงการทรงตัวของรถคืบอ้อยขณะจอดนิ่งบนพื้นระดับ เพื่อไม่ให้รถคืบอ้อยเกิดการพลิกคว่ำในกรณีที่แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้าเป็นศูนย์หรือแรงปฏิกิริยาที่ล้อหลังเป็นศูนย์

#### 2.1.1 สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง[2]

การสมดุลมีทั้งสมดุลของแรง (Balance of Forces) เพื่อป้องกันวัตถุจากการเคลื่อนที่เนื่องจากความเร่ง และสมดุลของโมเมนต์ (Balance of Moment) เพื่อป้องกันวัตถุเกิดการหมุน วัตถุแข็งเกร็งจะอยู่ในระบบสมดุลเมื่อผลรวมของแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์ และผลรวมของโมเมนต์ของแรงภายนอกรอบจุดใดๆมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยสมการสมดุลสำหรับวัตถุแข็งเกร็งจะมีลักษณะดังสมการที่ (2.1) และ (2.2)

$$\sum F = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum M_o = 0 \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\sum F$  คือ ผลรวมของแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุ

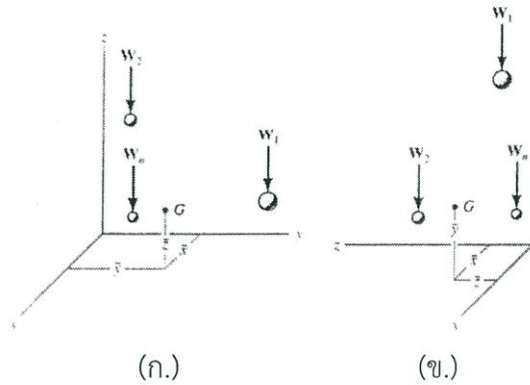
$\sum M_o$  คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงภายนอกรอบจุดใดๆ

#### 2.1.2 จุดศูนย์ถ่วง

จุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity)[2] พิจารณาระบบของ  $n$  ที่อยู่ในขอบเขตของอาณาบริเวณแสดงในรูปที่ 2.1 (ก) น้ำหนักของอนุภาคประกอบด้วยระบบของแรงคู่ขนาน ซึ่งถูกแทนที่ด้วยน้ำหนักลัพธ์ค่าเดียว (เทียบเท่า) และ จุดที่กระทำ จุดนี้เรียกว่า จุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity,  $G$ ) น้ำหนักลัพธ์จะเท่ากับน้ำหนักทั้งหมดของอนุภาค  $n$  อนุภาคทั้งหมด นั่นคือ

$$W_R = \sum W \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ระบบของอนุภาค (ก.) ระบบพิกัดที่อนุภาคอยู่ (ข.) ระบบพิกัดที่อนุภาคอยู่ โดยหมุน 90 องศา รอบแกน x

ผลรวมของโมเมนต์ของน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดรอบแกน x, y, และ z เท่ากับโมเมนต์ของน้ำหนักลัพธ์รอบแกนดังกล่าว ดังนั้น หาค่าพิกัด  $\bar{x}$  ของ G โดยผลรวมโมเมนต์รอบแกน y จะได้ว่า

$$\bar{x}W_R = \bar{x}_1W_1 + \bar{x}_2W_2 + \dots + \bar{x}_nW_n \quad (2.4)$$

ในทำนองเดียวกัน ผลรวมโมเมนต์รอบแกน x จะได้ค่าพิกัด  $\bar{y}$  นั่นคือ

$$\bar{y}W_R = \bar{y}_1W_1 + \bar{y}_2W_2 + \dots + \bar{y}_nW_n \quad (2.5)$$

ถึงแม้ว่าน้ำหนักจะไม่ก่อให้เกิดโมเมนต์รอบแกน z จะได้ค่าพิกัด z ของ G ที่จินตนาการในระบบพิกัดที่อนุภาคอยู่ โดยหมุน 90 องศา รอบแกน x หรือ y ดังรูปที่ 2.1 (ข) ผลรวมของโมเมนต์รอบแกน x จะได้ว่า

$$\bar{z}W_R = \bar{z}_1W_1 + \bar{z}_2W_2 + \dots + \bar{z}_nW_n \quad (2.6)$$

ดังนั้น สามารถเขียนในรูปสมการทั่วไปได้ว่า

$$\bar{x} = \frac{\sum \bar{x}W}{\sum W} \quad \bar{y} = \frac{\sum \bar{y}W}{\sum W} \quad \bar{z} = \frac{\sum \bar{z}W}{\sum W} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

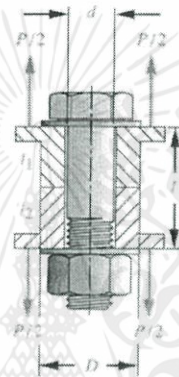
เมื่อ  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  แทน พิกัดของจุดศูนย์กลาง  $G$  ของระบบของอนุภาค โดยไม่คำนึงถึงทิศทางของแกน  $x, y$  และ  $z$

$\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$  แทน พิกัดของแต่ละอนุภาคในระบบ

$W_R = \sum W$  แทน ผลรวมของน้ำหนักของอนุภาคทั้งหมดในระบบ

## 2.2 แรงดึงในน็อตตัวผู้ภายใต้แรงสถิตยศาสตร์

การนำน็อตตัวผู้มาใช้ยึดชิ้นงานโดยมีแรงภายนอก ( $P$ ) มากระทำต่อน็อตตัวผู้ และ ชิ้นงานโดยแสดงดังรูปที่ 2.2 [3]

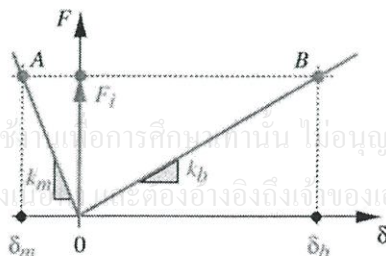


รูปที่ 2.2 ชิ้นงานที่มีแรงภายนอกมากระทำ

โดยที่แรงภายนอก ( $P$ ) แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ แรงภายในชิ้นงาน ( $P_m$ ) และ แรงภายในน็อตตัวผู้ ( $P_b$ ) ดังสมการที่ (2.8)

$$P = P_m + P_b \quad (2.8)$$

แรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน (Preload) ทำให้เกิดการเสียรูปของน็อตตัวผู้ (Deflection of bolt,  $\delta_b$ ) และ ชิ้นงาน (Deflection of material,  $\delta_m$ ) ซึ่งมีพฤติกรรมตามกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรง ( $F$ ) และ การเสียรูป ( $\delta$ ) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลกระทบต่อน็อตตัวผู้และชิ้นงาน เนื่องจากแรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน



แทนสมการ (2.12) ในสมการ (2.8) สามารถจัดรูปได้ ดังสมการที่ 2.13

$$P_b = \frac{k_b}{k_m + k_b} P \quad (2.13)$$

หรือ

$$P_b = CP \quad (2.14)$$

เมื่อ C คือ ค่าคงที่ความแข็งข้อต่อ (Joint's stiffness constant)

### 2.3 การกำหนดตัวแปรค่าความแข็งข้อต่อ

คอร์นเวล(Cornwell) [4]กำหนดค่าอัตราส่วนลักษณะข้อต่อ (Joint aspect ratio) ดังสมการที่ (2.15)

$$j = \frac{d}{l} \quad (2.15)$$

เมื่อ j คือ อัตราส่วนลักษณะข้อต่อ (Joint aspect ratio)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน็อตตัวผู้

l คือ ความยาวชิ้นงานที่บีบอัด (Clamped length)

สำหรับอัตราส่วนค่ามอดุลัสของยัง (Young's modulus) ระหว่างชิ้นงานกับน็อตตัวผู้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.16)

$$r = \frac{E_{\text{material}}}{E_{\text{bolt}}} \quad (2.16)$$

เมื่อ r คือ อัตราส่วนมอดุลัส(Modulus ratio)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น  $E_{\text{material}}$  คือ มอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของชิ้นงาน

$E_{\text{bolt}}$  คือ มอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของน็อตตัวผู้

สำหรับข้อต่อที่มีวัสดุเดียวกัน ค่าคงที่ความแข็งข้อต่อ (Joint's stiffness constant, C) จะเท่ากับ  $C_r$  โดยคำนวณได้จากสมการที่ (2.17)

$$C_r = p_3 r^3 + p_2 r^2 + p_1 r + p_0 \quad (2.17)$$

เมื่อ  $p_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นฟังก์ชัน (Function) ของอัตราส่วนลักษณะข้อต่อ (Joint aspect ratio, j)

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ (Parameters) สำหรับสมการ (2.17)

| $j$  | $p_0$  | $p_1$   | $p_2$  | $p_3$   |
|------|--------|---------|--------|---------|
| 0.10 | 0.4389 | -0.9197 | 0.8901 | -0.3187 |
| 0.20 | 0.6118 | -1.1715 | 1.0875 | -0.3806 |
| 0.30 | 0.6932 | -1.2426 | 1.1177 | -0.3845 |
| 0.40 | 0.7351 | -1.2612 | 1.1111 | -0.3779 |
| 0.50 | 0.7580 | -1.2632 | 1.0979 | -0.3708 |
| 0.60 | 0.7709 | -1.2600 | 1.0851 | -0.3647 |
| 0.70 | 0.7773 | -1.2543 | 1.0735 | -0.3595 |
| 0.80 | 0.7800 | -1.2503 | 1.0672 | -0.3571 |
| 0.90 | 0.7797 | -1.2458 | 1.0620 | -0.3552 |
| 1.00 | 0.7774 | -1.2413 | 1.0577 | -0.3537 |
| 1.25 | 0.7667 | -1.2333 | 1.0548 | -0.3535 |
| 1.50 | 0.7518 | -1.2264 | 1.0554 | -0.3550 |
| 1.75 | 0.7350 | -1.2202 | 1.0581 | -0.3574 |
| 2.00 | 0.7175 | -1.2133 | 1.0604 | -0.3596 |

#### 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขันดันท่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขันดันท่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน[5] ดังสมการที่ (2.18)

$$T = KdF_i \quad (2.18)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดที่ใช้

K คือ แฟกเตอร์น็อตตัวเมีย (Nut factor)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางน็อตตัวผู้

$F_i$  คือ แรงขันดันท่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน (Preload)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกรณีนี้ที่ นี้อัตตัวผู้ยึดชิ้นงานโดยไม่ใช่เนื้อตัวเมีย สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขันตันทันที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน ดังสมการที่ (2.19) [6]

$$T = 1.2KdF_i \tag{2.19}$$

ตารางที่ 2.2 แฟกเตอร์เนื้อตัวเมีย (Nut factor) สำหรับการหล่อลื่นแบบต่างๆ

| Lubricant                   | Nut Factor  |             |
|-----------------------------|-------------|-------------|
|                             | Mean        | Range       |
| Cadmium Plating             | 0.194-0.246 | 0.153-0.328 |
| Zinc Plate                  | 0.332       | 0.262-0.398 |
| Black Oxide                 | 0.163-0.194 | 0.109-0.279 |
| Baked on PTFE               | 0.092-0.112 | 0.064-0.142 |
| Molydisulfide Paste         | 0.155       | 0.14-0.17   |
| Machine Oil                 | 0.21        | 0.20-0.225  |
| Carnaba Wax (5% Emulsion)   | 0.148       | 0.12-0.165  |
| 60 Spindle Oil              | 0.22        | 0.21-0.23   |
| As Received Steel Fasteners | 0.20        | 0.158-0.267 |
| Molydisulfide Grease        | 0.137       | 0.10-0.16   |
| Phosphate and Oil           | 0.19        | 0.15-0.23   |
| Plated Fasteners            | 0.15        |             |
| Grease, Oil, or Wax         | 0.12        |             |

### 2.5 ความเค้นหลัก[7]

ความเค้นที่จุดใดจุดหนึ่งนั้นจะมีขนาดแตกต่างกันเมื่อมันถูกพิจารณาให้อยู่ในเพลนที่วางตัวต่างกัน ความเค้นที่สูงที่สุดที่เป็นไปได้ (ทั้งความเค้นดึงฉาก และ ความเค้นเฉือน) และ เพลนที่เกิดความเค้นสูงสุดนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะการแตกหักในเชิงโครงสร้างมักเกิดในกรณีนี้

เพลนที่ค่าความเค้นดึงฉากสูงสุด ซึ่งความเค้นเฉือนในเพลนนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ เรียกว่า เพลนหลัก (Principle plane) และ ความเค้นที่กระทำบนเพลนนั้นทั้งความเค้นดึงฉากที่มากที่สุด และ น้อยที่สุด เรียกว่า ความเค้นหลัก (Principle stress) ความเค้นหลักแบบสองมิติ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.20)

$$\sigma_{\max,\min} = \sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \tag{2.20}$$

เมื่อ  $\sigma_1$  คือ ความเค้นหลักสูงสุด

$\sigma_2$  คือ ความเค้นหลักต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 ความเค้นวอนมิส[3]

ทฤษฎี Distortion-Energy หรือ ที่รู้จักกันว่า ทฤษฎีวอนมิส(Von Mises) เป็นหนึ่งในทฤษฎีที่ใช้อธิบายการแตกหักของวัสดุแบบเหนียว ทฤษฎีนี้อธิบายว่า Yielding เกิดขึ้นเมื่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square) ของผลต่างระหว่าง ความเค้นหลักในระบบสามมิติ เข้าใกล้ค่าเดียวกันในการทดสอบแรงดึงดั่งสมการที่ (2.21)

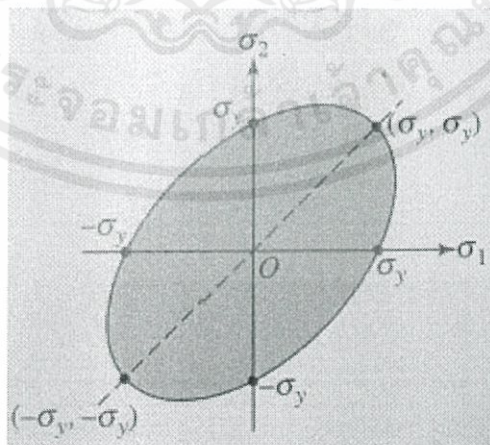
$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (2.21)$$

ในกรณีที่วิเคราะห์แบบ 2 มิติ สามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) สามารถเปลี่ยนความเค้นหลัก (Principle stress) ให้อยู่ในรูปของตัวแปร  $\sigma_x, \sigma_y$  และ  $\tau_{xy}$  ดังสมการที่ (2.23) โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการความเค้นหลักแบบสองมิติ จากสมการที่ (2.20)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.23)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.5 เกลนซ์การแตกหักบนพื้นฐานของทฤษฎีวอนมิส[7]

ในการออกแบบชิ้นงาน ต้องคำนึงถึงค่าความปลอดภัย (Safety factor) ดังสมการที่ (2.24)

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (2.24)$$

เมื่อ N คือ ค่าความปลอดภัย (Safety factor)

$S_y$  คือ ความเค้นวิกฤติที่ทำให้เกิดการครากของวัสดุ (Yield Strength)

$\sigma'$  คือ ความเค้นวอนมิส (Von Mises)

ตารางที่ 2.3 ค่าความปลอดภัย (Safety factor) ที่ใช้สำหรับวัสดุแบบเหนียว [3]

| Factors Used to Determine a Safety Factor for Ductile Materials |  |                  |
|---|--|------------------|
| Information   | Quality of Information                                 | Factor           |
| Material-property data available from tests                     | The actual material used was tested                    | <u>F1</u><br>1.3 |
|   | Representative material test data are available        | 2                |
|   | Fairly representative material test data are available | 3                |
|   | Poorly representative material test data are available | 5+               |
|   |  | <u>F2</u>        |
| Environmental conditions in which it will be used               | Are identical to material test conditions              | 1.3              |
|   | Essentially room-ambient environment                   | 2                |
|   | Moderately challenging environment                     | 3                |
|   | Extremely challenging environment                      | 5+               |
| Analytical models for loading and stress                        |  | <u>F3</u>        |
|   | Models have been tested against experiments            | 1.3              |
|   | Models accurately represent system                     | 2                |
|   | Models approximately represent system                  | 3                |
|   | Models are crude approximations                        | 5+               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 Specification ของรถแทรกเตอร์ Kubota Reverse

อ้างอิงรุ่นที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดโดยอ้างอิงจากปีที่สร้างขนาดแรงม้าเครื่องยนต์และกำลังการขับเคลื่อนพบว่ารุ่นที่ใกล้เคียงกับรุ่น ZL1-455 ก็คือรุ่น L4200 และ KUBOTA SUNSHINE ZL-1-455 ซึ่งรายละเอียดข้อมูลของรถมีดังนี้

### (1) Kubota L4200



รูปที่ 2.6 แสดงรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota L4200

ข้อมูลของรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota L4200 ดังรูปที่ 2.7

|                                |                      |                            |   |
|--------------------------------|----------------------|----------------------------|---|
| <b>Production:</b>             |                      | <b>Kubota L4200 Power:</b> |   |
| Manufacturer:                  | Kubota               | Engine (gross):            | 45.3 hp [33.6 kW]   |
| <b>Kubota L4200 Engine:</b>    |                      | Engine (net):              | 42 hp [31.3 kW]   |
| Kubota 2.2L 4-cyl diesel       |                      | PTO (claimed):             | 37 hp [27.6 kW]   |
| <i>full engine details</i>     |                      | Plows:                     | 2 (14-inch)   |
| <b>Capacity:</b>               |                      | <b>Mechanical:</b>         |   |
| Fuel:                          | 9.2 gal [34.8 L]     | Chassis:                   | 4x2 2WD   |
| Hydraulic system:              | 10.3 gal [39.0 L]    |                            | 4x4 MFWD 4WD (optional)                                     |
| <b>3-Point Hitch:</b>          |                      | Steering:                  | hydrostatic power   |
| Rear Type:                     | I                    | Brakes:                    | wet disc  |
| Control:                       | position control     | Cab:                       | Two-post ROPS. Cab optional with heat and air-conditioning. |
| Rear lift (at ends):           | 2,870 lbs [1301 kg]  | <b>Hydraulics:</b>         |   |
| Rear lift (at 24"/610mm):      | 2,310 lbs [1047 kg]  | Type:                      | open center   |
| <b>Power Take-off (PTO):</b>   |                      | Capacity:                  | 10.3 gal [39.0 L]   |
| Rear PTO:                      | independent          | Pressure:                  | 2490 psi [171.7 bar]  |
| Rear RPMs:                     | 540 (1.375)          | Pump flow:                 | 7.8 gpm [29.5 lpm]  |
| Engine RPMs:                   | 540@2447             | <b>Electrical:</b>         |   |
| <b>Dimensions &amp; Tires:</b> |                      | Ground:                    | negative  |
| 2WD Wheelbase:                 | 71.3 inches [181 cm] | <b>Battery:</b>            |   |
| 4WD Wheelbase:                 | 71.1 inches [180 cm] | Number:                    | 1   |
| Weight:                        | 2875 to 3500 pounds  | Cold-cranking amps:        | 447   |
| Front tire:                    | 6.00-16 14.9-24      | Volts:                     | 12  |

รูปที่ 2.7 ข้อมูลตัวรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota L4200[8]

## (2) Kubota Sunshine ZL-1-455



รูปที่ 2.8 แสดงรถแทรกเตอร์รุ่น Kubota Sunshine ZL-1-445

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ Kubota Sunshine ZL-1-445[9]

| KUBOTA SUNSHINE ZL-1-455 ENGINE SPECIFICATION |                      |
|---|----------------------|
| MODEL YEAR                                    | 1990                 |
| FUEL TYPE                                     | DIESEL               |
| ENGINE MODEL                                  | F2402-DI-A           |
| NO. OF CYLINDER                               | 5                    |
| DISPLACEMENT                                  | 148.7 CI [2.4 LITRE] |
| COOLING TYPE                                  | LIQUID COOLED        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

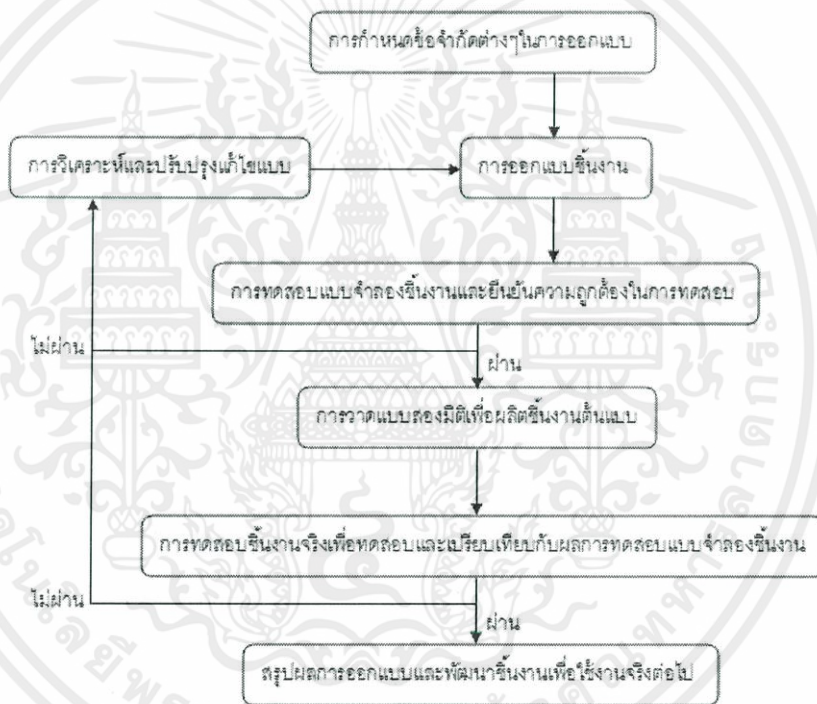
### บทที่ 3

## การออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 3.1 ลำดับขั้นตอนและข้อจำกัดในการออกแบบ

#### 3.1.1 ลำดับขั้นตอนในการออกแบบ

ในการออกแบบชิ้นส่วนจุดจับยึดต่างๆของรถคีบอ้อยต้องมีการลำดับขั้นตอนการออกแบบเพื่อให้การออกแบบทำได้ง่ายขึ้นและเป็นระบบโดยลำดับขั้นตอนในการออกแบบแสดงได้ดังแผนผังรูปต่อไปนี้



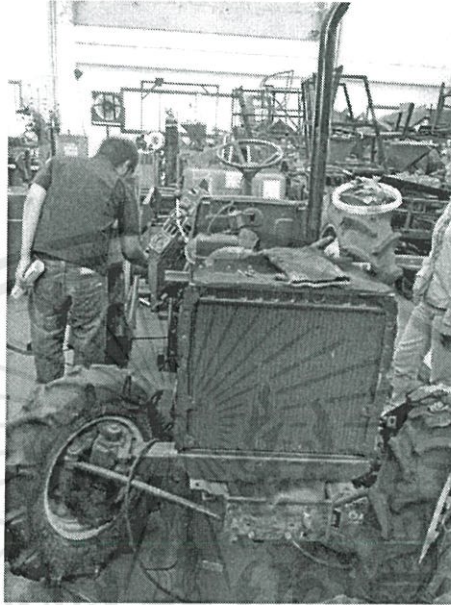
รูปที่ 3.1 แสดงลำดับขั้นตอนในการออกแบบ

#### 3.1.2 ข้อจำกัดในการออกแบบ

ในการออกแบบชิ้นส่วนจุดจับยึดต่างๆของรถคีบอ้อยจะมีข้อจำกัดหลายอย่างด้วยกันโดยระยะในการออกแบบจุดจับยึดนั้นจะถูกจำกัดโดยขนาดและตำแหน่งของรถแทรกเตอร์หลักในการออกแบบจะคำนึงถึงระยะที่ใช้ยึดชิ้นส่วนต่างๆระยะของชิ้นส่วนต่างๆที่จะมีผลต่อการกำหนดขนาดการก่อสร้างสมดุลของน้ำหนักตัวรวมไปถึงกรรมวิธีในการผลิตให้มีต้นทุนต่ำสามารถสร้างชิ้นงานได้ง่ายและต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของชิ้นงานไม่ให้เกิดความเสียหายโดยค่าความปลอดภัยของชิ้นงานจะใช้ค่ามากกว่า 5 จากตารางที่ 2.3

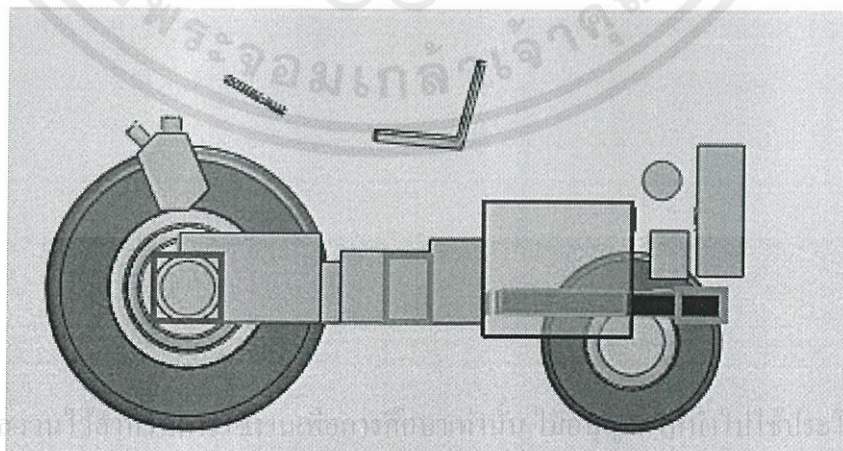
### 3.1.2.1 ภาพรวมขอบเขตการออกแบบชิ้นงาน

จากการศึกษารถแทรกเตอร์รุ่นที่จะนำมาพัฒนาจะพบว่าตัวรถแทรกเตอร์นั้นมีจุดจับยึดอยู่ที่จุดใดบ้างสามารถพัฒนาชิ้นส่วนต่อจากเดิมได้อย่างไรบ้าง



รูปที่ 3.2 การศึกษาตัวรถแทรกเตอร์รุ่นเก่าของโรงงาน

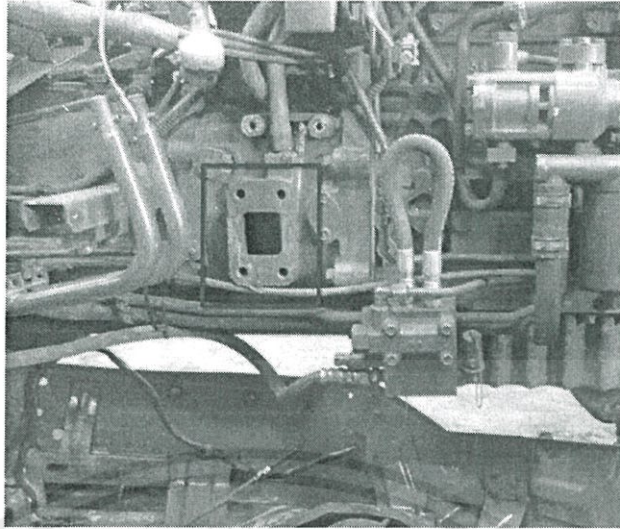
สำหรับรถแทรกเตอร์Kubota รุ่นที่จะนำมาพัฒนาเพื่อทำเป็นรถคืบอ้อยตัวต้นแบบนั้นพบว่า มีจุดจับยึดกับตัวรถทั้งหมด3 จุดด้วยกันคือส่วนหน้าส่วนกลางและส่วนท้ายของรถส่วนกลางและส่วนท้ายของรถนั้นมีจุดยึดนี้ोट ซึ่งสามารถพัฒนาชิ้นส่วนเพื่อนำมาต่อเติมกับตัวรถได้แต่จุดจับยึดด้านหน้ารถนั้นจะมีชุดเพลามารองรับจึงไม่ต้องพัฒนาชิ้นส่วนเพื่อรับภาระในส่วนนี้ดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ถึงลิขสิทธิ์และเพื่อทรงลิขสิทธิ์ฉบับนี้ ไม่ขอให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 จุดสีแดงแสดงถึงจุดที่มีจุดยึดนี้ोटจุดสีน้ำเงินคือจุดที่มีเพลารองรับ

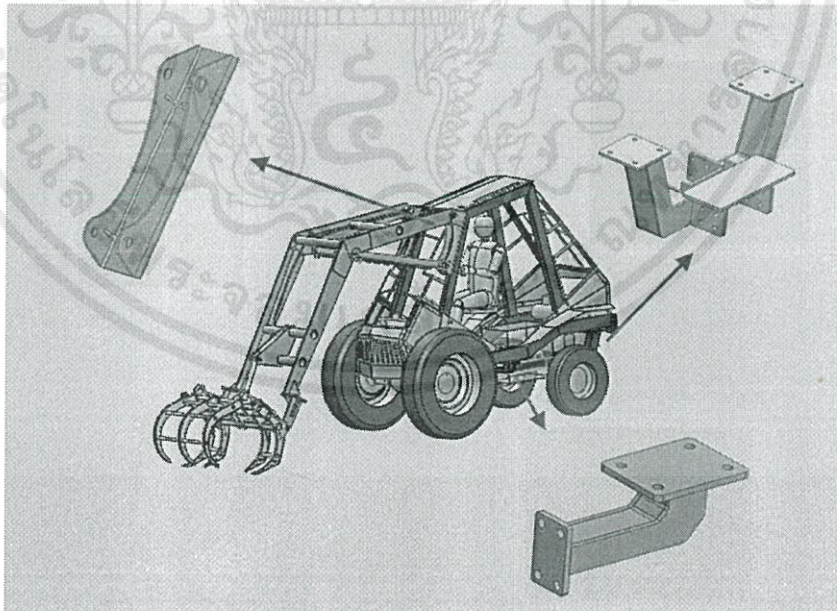


รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างจุดยึดน็อตสำหรับชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลาง

### 3.1.2.2 ชิ้นส่วนหลักที่สนใจในการออกแบบ

ชิ้นส่วนหลักที่สนใจในการออกแบบนั้นแบ่งเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

- (1) ชิ้นส่วนจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลาง
- (2) ชิ้นส่วนจุดจับยึดตัวถังชิ้นท้าย
- (3) ชิ้นส่วนจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อย

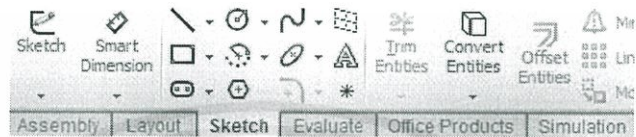


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.5 แสดงชิ้นงานที่สนใจในการออกแบบ เพื่อใช้ในการออกแบบนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การวาดแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการวาดแบบชิ้นงานต่าง ๆ นั้นจะเลือกใช้โปรแกรม SOLIDWORKS [10] โดยวิธีการวาดแบบสามมิติทั่วไปจะมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอนด้วยกัน

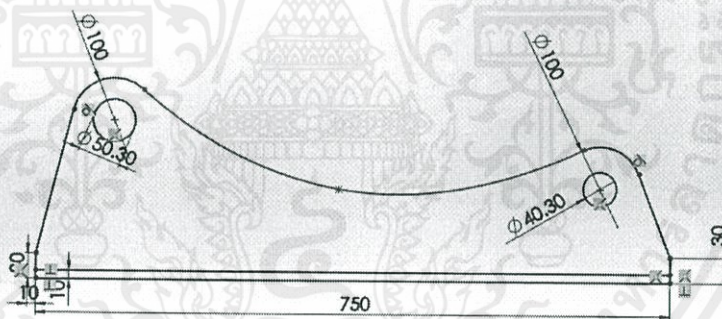
#### 3.2.1 ขั้นตอนการใช้คำสั่ง Sketch ในการวาดแบบสองมิติ



รูปที่ 3.6 ชุดคำสั่ง Sketch

การใช้คำสั่ง Sketch สามารถทำได้จากขั้นตอนต่อไปนี้

1. เลือกเครื่องมือการเขียนเส้นตามความเหมาะสมในการวาด
2. กำหนดขนาดของเส้นต่างๆตามต้องการ



รูปที่ 3.7 แสดงการกำหนดขนาดเพื่อวาดชิ้นงาน

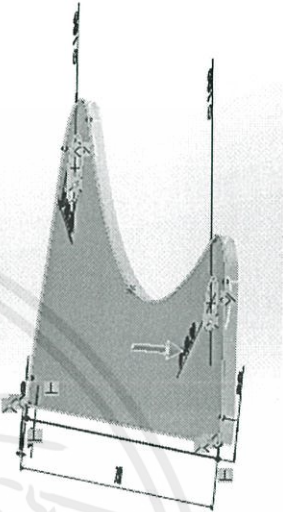
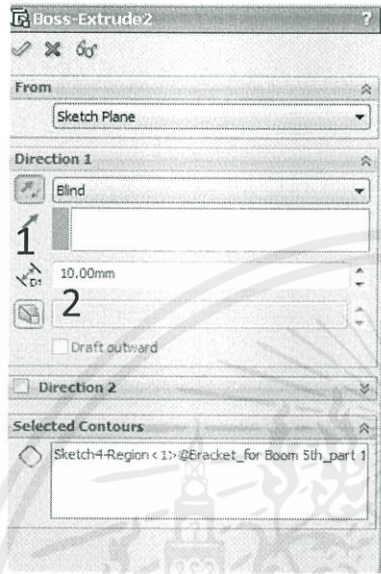
#### 3.2.2 ขั้นตอนการใช้คำสั่ง Extrude ในการสร้างความหนาให้ชิ้นงานเป็นสามมิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 3.8 แสดงชุดคำสั่ง Extrude ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้คำสั่งExtrude สามารถทำได้จากขั้นตอนต่อไปนี้

- (1) เลือกระนาบที่ต้องการเพิ่มความหนาของชิ้นงาน
- (2) กำหนดขนาดของความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการใช้คำสั่งExtrude

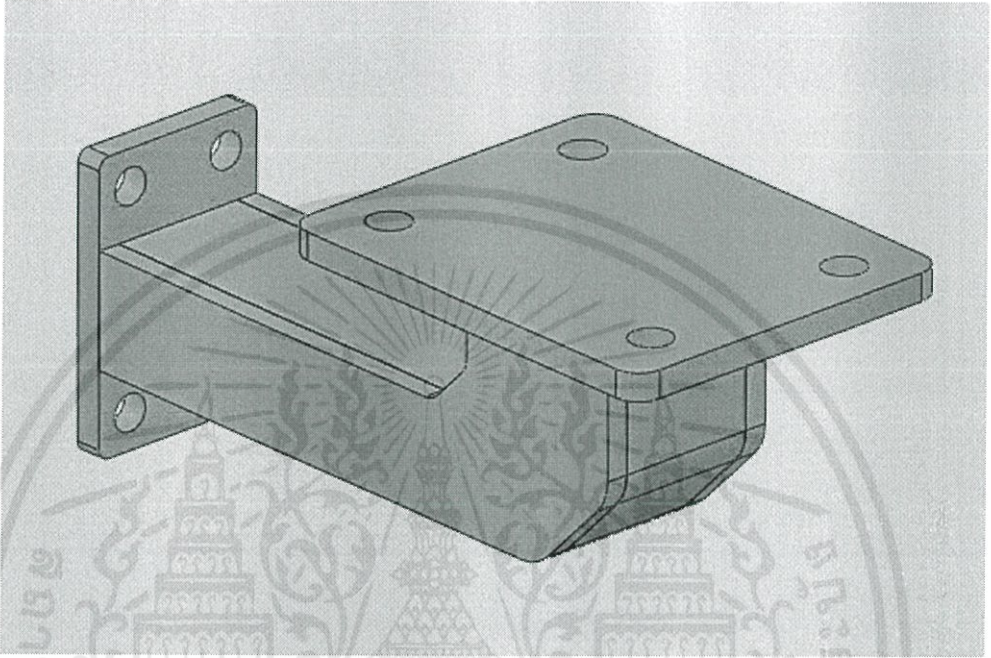


รูปที่ 3.10 แสดงชิ้นงานที่ทำการกำหนดความหนาเรียบร้อยแล้ว

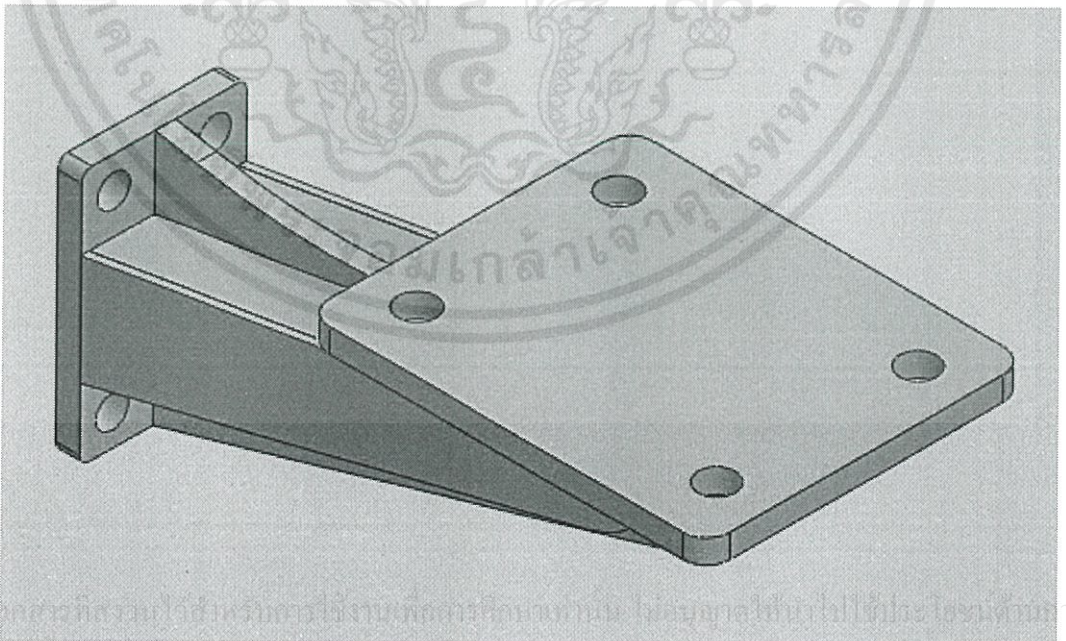
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 แบบชิ้นงานที่จะนำไปทำการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

หลังจากที่ได้ทำการวาดแบบเรียบร้อยแล้วชิ้นงานทั้งหมดที่จะทำการทดสอบมีทั้งหมด 5 แบบด้วยกันแสดงดังรูปต่อไปนี้



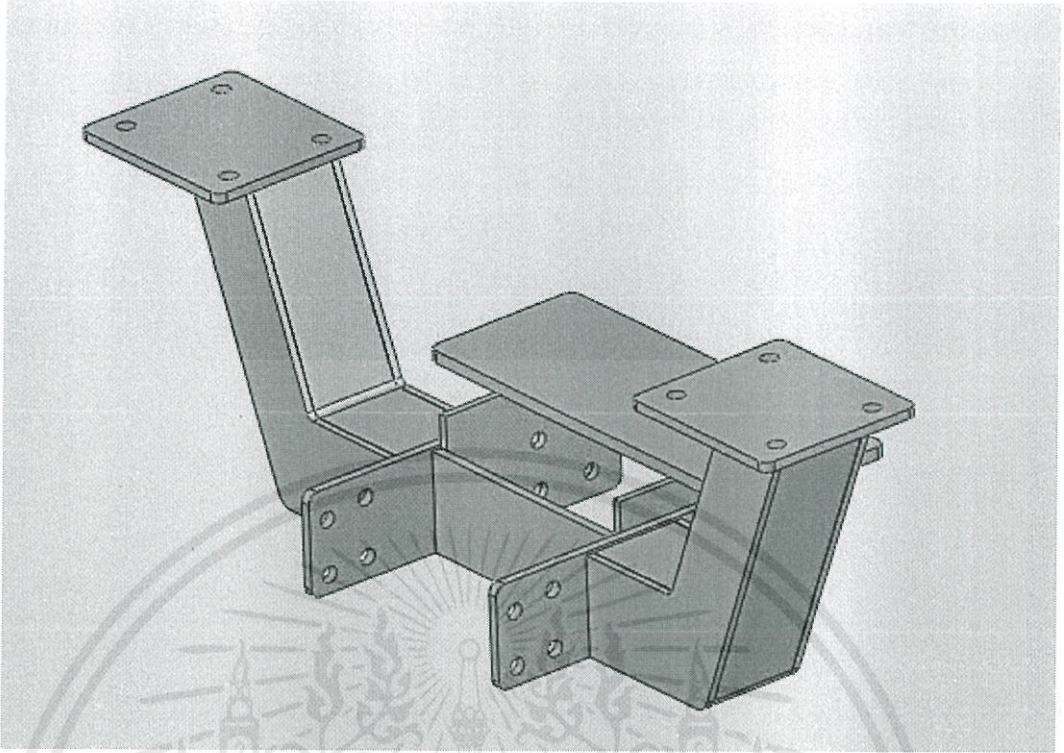
รูปที่ 3.11 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่1



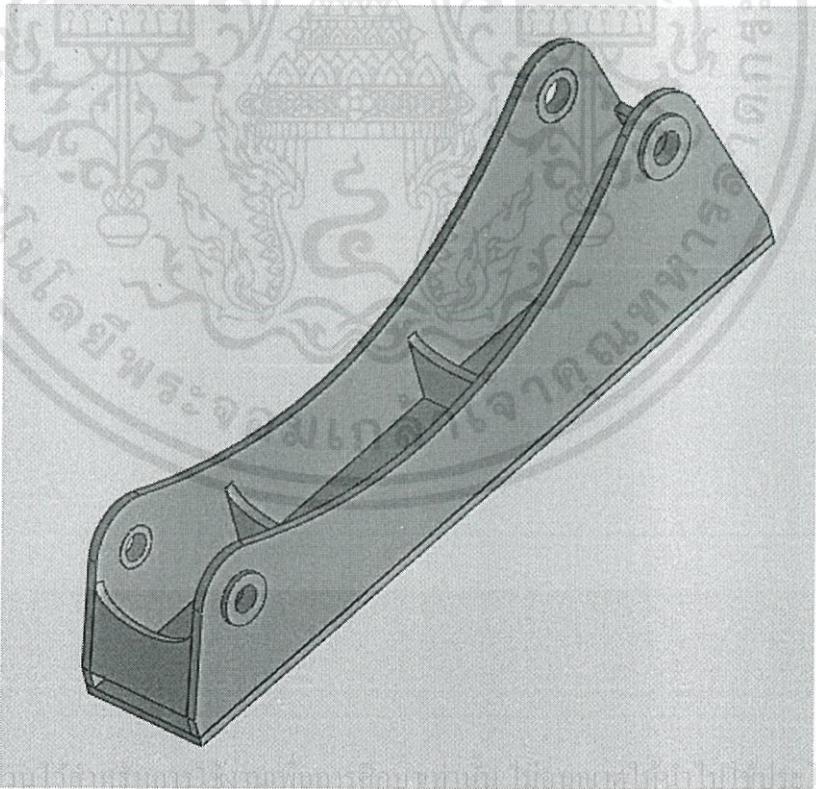
รูปที่ 3.12 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่2

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของวิศวกรรมโรงงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



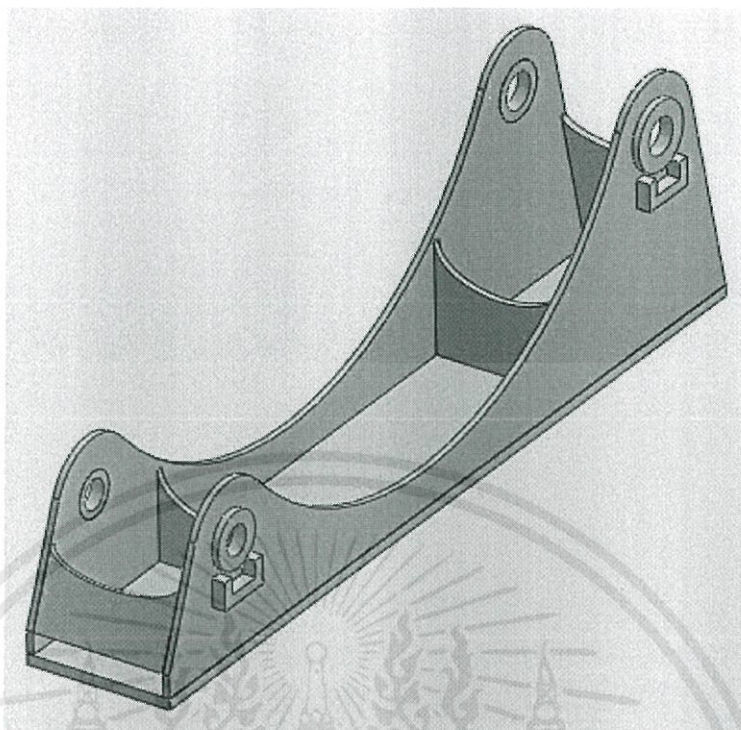
รูปที่ 3.13 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้าย



รูปที่ 3.14 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1

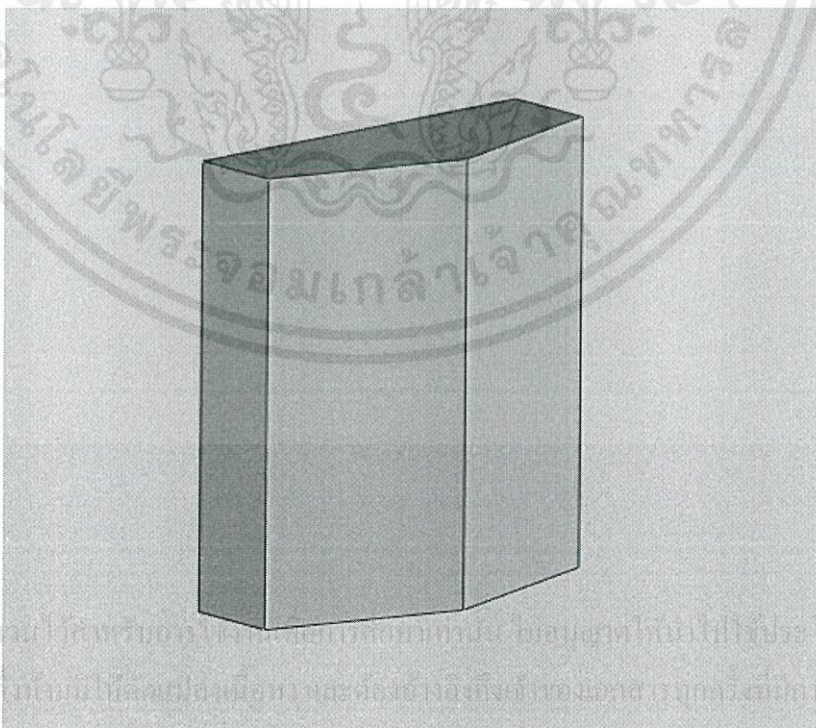
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังสงวนลิขสิทธิ์ไว้ด้วย



รูปที่ 3.15 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2

นอกจากชิ้นงานที่วาดแบบสามมิติเพื่อทำการทดสอบชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แล้วยังมีชิ้นงานสำหรับถ่วงน้ำหนักที่ได้ออกแบบขึ้นมาเพื่อสร้างสมดุลให้กับตัวรถคิบบ้อยดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงแบบจำลองชิ้นงานน้ำหนักถ่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครู อาจารย์และบุคลากรเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปยังประชาชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์และสงวนอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกฉบับที่นำมาไปใช้

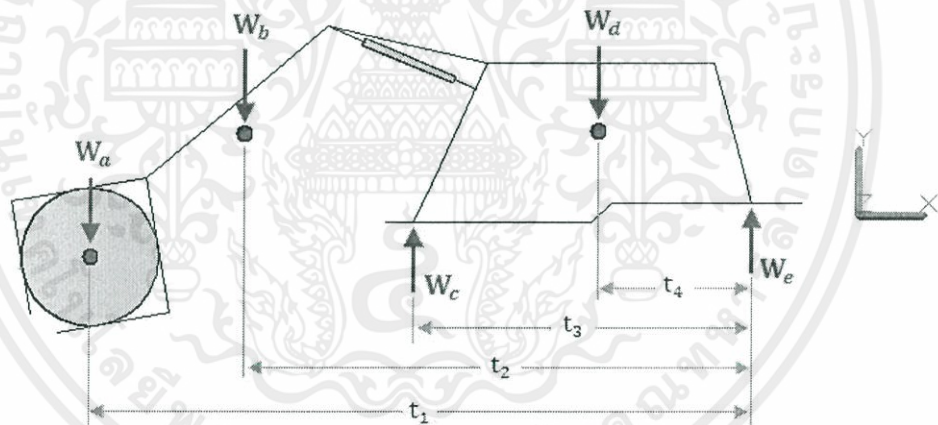
## การคำนวณเพื่อหาสมดุลและแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึด

### 4.1 การคำนวณเพื่อหาสมดุล

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของรถคิบบ้อยคือเรื่องการทรงตัว เพราะการทรงตัวของรถคิบบ้อยเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ เนื่องจากการทรงตัวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพลิกคว่ำของรถคิบบ้อย ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับการทรงตัวของรถคิบบ้อย เพื่อให้สามารถออกแบบถังถ่วงน้ำหนักสมดุลได้อย่างเหมาะสม [11]

#### 4.1.1 การคำนวณหาน้ำหนักของถังถ่วงสมดุล

ในการคำนวณหาน้ำหนักของถังถ่วงสมดุล เราคำนวณตามหลักการของสมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง โดยน้ำหนักที่นำมาใช้ในการคำนวณจะเป็นน้ำหนักที่จุดศูนย์กลางถ่วงของส่วนประกอบนั้น



รูปที่ 4.1 ผังวัตถุอิสระของ อ้อย, ชุดแชนคิบบ และ ตัวถัง

กำหนดให้ น้ำหนักของอ้อยที่สามารถคิบดีสูงสุด  $W_a = 2,943$  นิวตัน(N)

น้ำหนักของชุดแชนคิบบ  $W_b = 6,867$  นิวตัน(N)

น้ำหนักของตัวถัง  $W_d = 4,807$  นิวตัน(N)

$t_1 = 4,925$  มิลลิเมตร

$t_2 = 3,500$  มิลลิเมตร

$t_3 = 1,975$  มิลลิเมตร

$t_4 = 867$  มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลรวมของโมเมนต์จากรูปที่ 4.1 ดังสมการที่ (4.1)และ (4.2)

$$\sum M_{W_e} = 0 \quad (4.1)$$

$$W_a(t_1) + W_b(t_2) - W_c(t_3) + W_d(t_4) = 0 \quad (4.2)$$

ทำการแก้สมการหาแรงปฏิกิริยา  $W_c$  มีค่าเท่ากับ 21,618 นิวตัน(N)

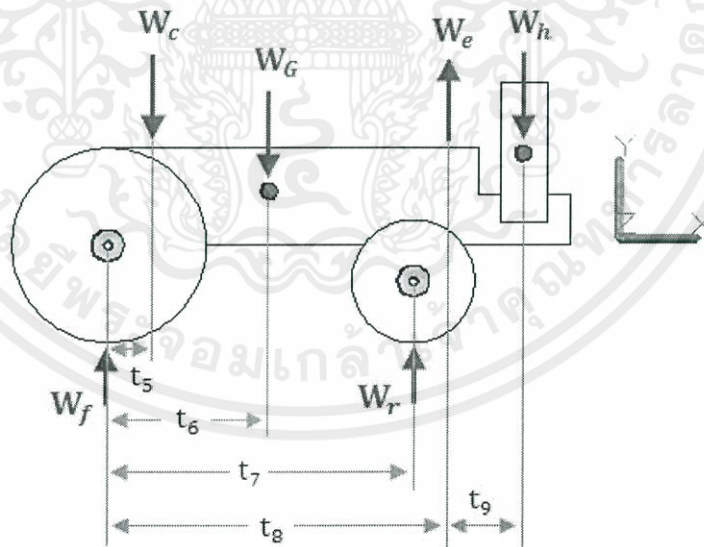
หาแรงปฏิกิริยา  $W_e$  ได้จากสมการที่ (4.3) และ (4.4)

$$\sum F_y = 0 \quad (4.3)$$

$$W_c + W_e - W_a - W_b - W_d = 0 \quad (4.4)$$

จากสมการที่ (4.4) สามารถคำนวณหาแรงปฏิกิริยา  $W_e$  เท่ากับ -7,001 นิวตัน(N) ดังนั้นทิศทางของแรงปฏิกิริยา  $W_e$  จึงมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่แสดงในรูปที่ 4.1

เมื่อทราบแรงปฏิกิริยา  $W_c$  และ  $W_e$  เราสามารถนำมาเขียนผังวัตถุอิสระ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผังวัตถุอิสระของ รถแทรกเตอร์ และ ถังถ่วงน้ำหนักสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ น้ำหนักของรถแทรกเตอร์  $W_G = 1,575$  นิวตัน(N)

$$t_5 = 50 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_6 = 848 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_7 = 1,980 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_8 = 2,025 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$t_9 = 587 \text{ มิลลิเมตร}$$

ผลรวมของโมเมนต์จากรูปที่ 4.2 ดังสมการที่ (4.5) และ (4.6)

$$\sum M_{W_f} = 0 \quad (4.5)$$

$$W_e(t_8) + W_r(t_7) - W_c(t_5) - W_G(t_6) - W_h(t_8 + t_9) = 0 \quad (4.6)$$

จัดรูปใหม่

$$W_r = \frac{W_c(t_5) + W_G(t_6) + W_h(t_8 + t_9) - W_e(t_8)}{t_7} \quad (4.7)$$

และจากสมดุลของแรง

$$\sum F_y = 0 \quad (4.3)$$

$$W_f + W_r + W_e - W_c - W_G - W_h = 0 \quad (4.8)$$

จัดรูปใหม่

$$W_f + W_r = W_c + W_G + W_h - W_e \quad (4.9)$$

โดยเราต้องการอัตราส่วนระหว่างแรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า ( $W_f$ ) กับ แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง ( $W_r$ ) เท่ากับ 60 : 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่(4.10) และ (4.11)

$$W_f = 0.6(W_c + W_G + W_h - W_e) \quad (4.10)$$

และ

$$W_r = 0.4(W_c + W_G + W_h - W_e) \quad (4.11)$$

จากความสัมพันธ์ระหว่าง สมการที่ (4.7) และ สมการที่ (4.11) ทำการแก้สมการจะได้

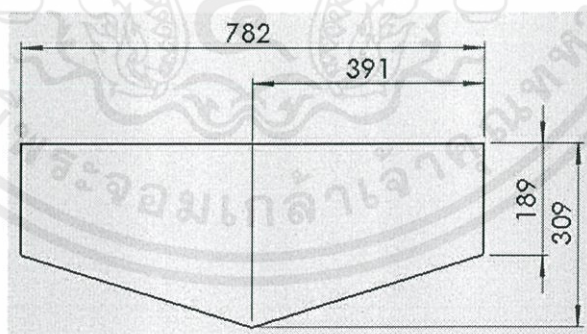
$$W_h = 13,076 \text{ นิวตัน(N)}$$

จากความสัมพันธ์  $W_h = m_h g$  (4.12)

ดังนั้น มวลของถังว่างสมดุล ( $m_h$ )ที่ได้จากการแก้สมการ คือ  $1,332.97 \cong 1,335$  กิโลกรัม

#### 4.1.2 การออกแบบถังว่างน้ำหนักสมดุล

ในการออกแบบถังว่างน้ำหนักสมดุล มีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ฐานของถังว่างน้ำหนักสมดุล ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กำหนดขนาดของพื้นที่ฐานถังว่างน้ำหนักสมดุล

จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้น้ำหนักที่เราต้องการนั้นแปรผันตรงกับความสูงของถังว่างน้ำหนักสมดุลที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น สำหรับวัสดุที่ใช้สร้างถังว่างน้ำหนักสมดุลพิจารณาเลือกใช้ ASTM A36 Steel โดยมีค่าความหนาแน่น ( $\rho$ ) เท่ากับ  $7,860$  กิโลกรัมต่อเมตร<sup>3</sup> ( $\text{kg/m}^3$ ) [7]

จากความสัมพันธ์

$$\rho = \frac{m_h}{V} \quad (4.13)$$

เมื่อ ปริมาตร(V) = พื้นที่ฐาน(A) x ความสูง(h)

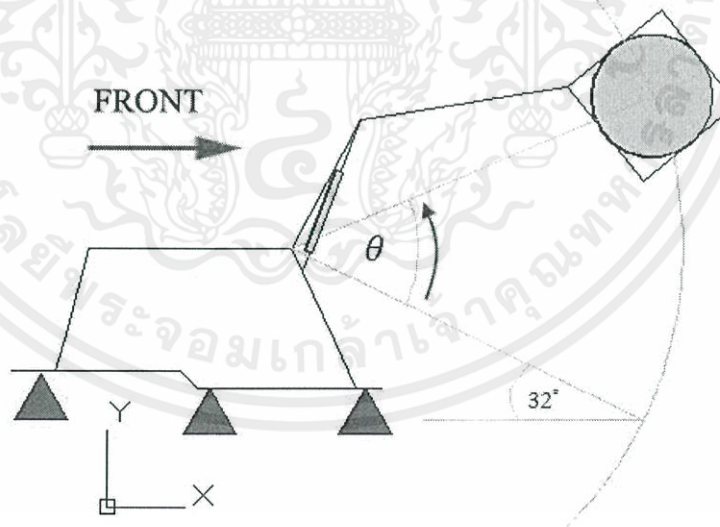
ทำการแก้สมการหาความสูงของถังวงน้ำหนักรวม จะมามีค่าเท่ากับ 871 มิลลิเมตร

## 4.2 การคำนวณเพื่อหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึด

จากการคำนวณหาสมดุลและน้ำหนักถ่วงของรถคิบบ้อยทำให้เราสามารถคำนวณหาภาระที่ชิ้นงานจุดจับยึดแต่ละตัวจะได้รับ โดยแบ่งการคำนวณเป็น 2 กรณีด้วยกัน

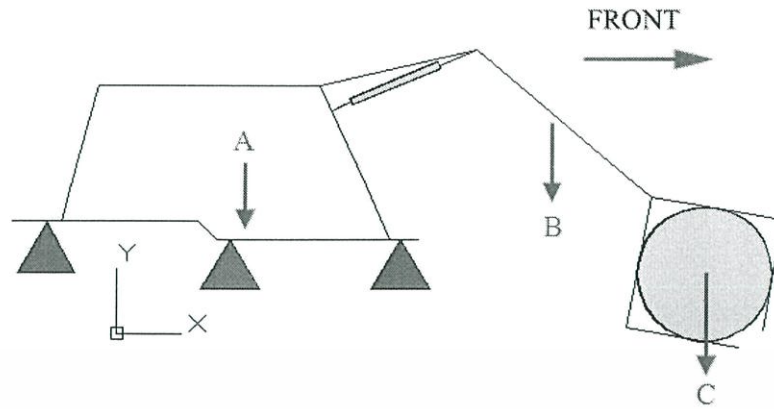
### 4.2.1 การหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดตัวถัง

ขณะที่รถคิบบ้อยทำการคิบบ้อยและยกขึ้นมาจะทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อจุดจับยึดชุดตัวถัง โดยแรงที่กระทำต่อจุดจับยึดชุดตัวถังจะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ เราจะทำการหาค่าแรงที่สูงที่สุดที่กระทำต่อจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลาง และขึ้นท้าย โดยหาค่าแรงที่กระทำในขณะที่ยกแขนคิบบ้อยครั้งละ 5 องศา ดังรูปที่ 4.4 ส่วนขึ้นหน้าเราจะไม่สนใจเนื่องจากตัวรถแทรกเตอร์มีโครงสร้างสำหรับรองรับแรงด้านหน้าอยู่แล้วจึงไม่ต้องทำการออกแบบจุดจับยึดตัวถังขึ้นหน้า



รูปที่ 4.4 แสดงระยะตั้งแต่แขนคิบบ้อยต่ำสุดและขยับขึ้นมาเป็นมุม  $\theta$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงจำนวนของภาระที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานชุดจับยึดตัวถัง

กำหนดให้  $A = 4,807$  นิวตัน(N)

$B = 6,867$  นิวตัน(N)

$C = 2,943$  นิวตัน(N)

จากโปรแกรม SOLIDWORKS ทำการวัดค่าหาจุดศูนย์กลางเพื่อหาพิกัด X และ Y ของจุด A, B และ C จะได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงพิกัดจุดศูนย์กลางของจุด A B และ C เมื่อแกนคียบยกตัวขึ้นเป็นมุม  $\theta$

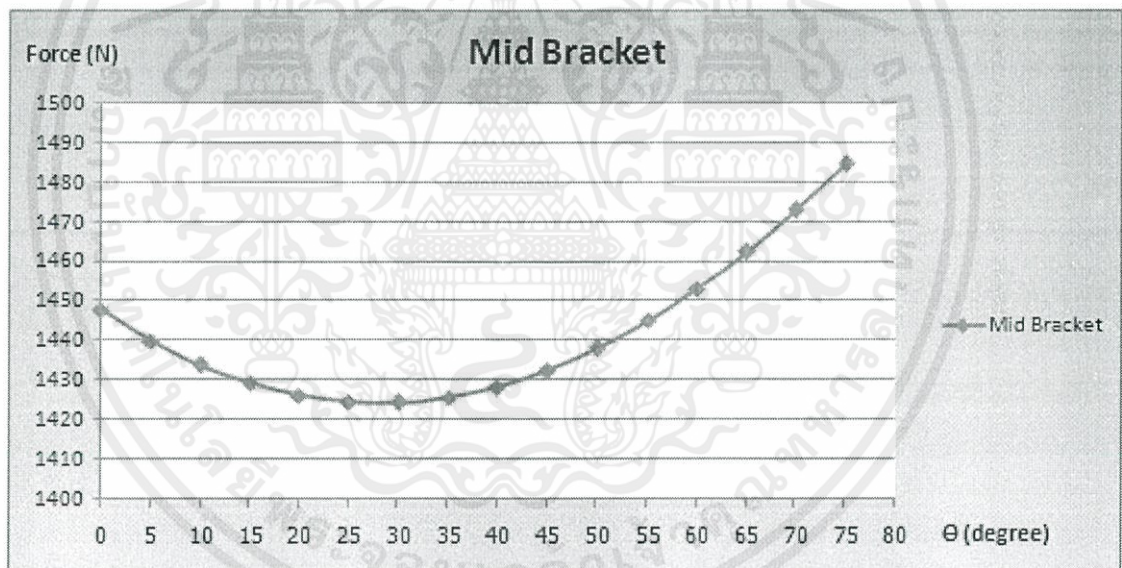
| Center of gravity point |        |      |        |      |        |      |                    |         |
|-------------------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------------------|---------|
| $\theta$                | A (mm) |      | B (mm) |      | C (mm) |      | A and B and C (mm) |         |
|                         | x      | y    | x      | y    | x      | y    | x                  | y       |
| 0                       | 892    | 1507 | 3525   | 1500 | 4962   | 354  | 2948.44            | 1271.56 |
| 5                       | 892    | 1507 | 3603   | 1678 | 5158   | 660  | 3024.55            | 1416.80 |
| 10                      | 892    | 1507 | 3665   | 1858 | 5303   | 979  | 3082.87            | 1565.59 |
| 15                      | 892    | 1507 | 3708   | 2056 | 5421   | 1311 | 3126.83            | 1725.46 |
| 20                      | 892    | 1507 | 3734   | 2248 | 5509   | 1651 | 3156.77            | 1884.11 |
| 25                      | 892    | 1507 | 3743   | 2447 | 5567   | 1997 | 3172.67            | 2047.27 |
| 30                      | 892    | 1507 | 3736   | 2645 | 5595   | 2347 | 3175.02            | 2210.76 |
| 35                      | 892    | 1507 | 3712   | 2846 | 5591   | 2693 | 3162.94            | 2374.85 |
| 40                      | 892    | 1507 | 3671   | 3041 | 5559   | 3048 | 3137.23            | 2537.94 |
| 45                      | 892    | 1507 | 3613   | 3231 | 5494   | 3394 | 3096.90            | 2696.87 |
| 50                      | 892    | 1507 | 3540   | 3417 | 5400   | 3732 | 3043.68            | 2852.30 |
| 55                      | 892    | 1507 | 3447   | 3602 | 5277   | 4061 | 2975.22            | 3005.46 |
| 60                      | 892    | 1507 | 3346   | 3766 | 5126   | 4379 | 2897.37            | 3146.53 |
| 65                      | 892    | 1507 | 3230   | 3924 | 4947   | 4681 | 2806.83            | 3281.56 |
| 70                      | 892    | 1507 | 3103   | 4069 | 4743   | 4967 | 2706.09            | 3407.27 |
| 75                      | 892    | 1507 | 2956   | 4207 | 4515   | 5234 | 2591.13            | 3525.86 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.1 เราจะนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลในโปรแกรม ANSYS เพื่อหาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ค่าแรงที่กระทำต่อชิ้นงานชุดจับยึดตัวถังแต่ละจุดจะได้ค่าออกมาตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังแต่ละตัว

| θ  | Force (N)  |             |             |          |           |           |           |            |            |
|----|------------|-------------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
|    | Front left | Front right | Front (avg) | Mid left | Mid right | Mid (avg) | Rear left | Rear right | Rear (avg) |
| 0  | 9511.30    | 9519.50     | 9515.40     | 1445.70  | 1450.30   | 1448.00   | -3533.60  | -3526.60   | -3530.10   |
| 5  | 9747.50    | 9755.70     | 9751.60     | 1437.80  | 1442.40   | 1440.10   | -3761.90  | -3754.90   | -3758.40   |
| 10 | 9927.80    | 9935.90     | 9931.85     | 1431.80  | 1436.30   | 1434.05   | -3936.10  | -3929.10   | -3932.60   |
| 15 | 10063.00   | 10072.00    | 10067.50    | 1427.20  | 1431.80   | 1429.50   | -4067.20  | -4060.20   | -4063.70   |
| 20 | 10156.00   | 10164.00    | 10160.00    | 1424.10  | 1428.70   | 1426.40   | -4156.60  | -4149.60   | -4153.10   |
| 25 | 10205.00   | 10213.00    | 10209.00    | 1422.50  | 1427.10   | 1424.80   | -4203.90  | -4196.90   | -4200.40   |
| 30 | 10212.00   | 10220.00    | 10216.00    | 1422.30  | 1426.80   | 1424.55   | -4211.10  | -4204.10   | -4207.60   |
| 35 | 10175.00   | 10183.00    | 10179.00    | 1423.50  | 1428.10   | 1425.80   | -4174.90  | -4168.00   | -4171.45   |
| 40 | 10096.00   | 10104.00    | 10100.00    | 1426.20  | 1430.70   | 1428.45   | -4098.20  | -4091.30   | -4094.75   |
| 45 | 9970.80    | 9979.00     | 9974.90     | 1430.30  | 1434.90   | 1432.60   | -3977.60  | -3970.70   | -3974.15   |
| 50 | 9806.50    | 9814.70     | 9810.60     | 1435.80  | 1440.40   | 1438.10   | -3818.90  | -3811.90   | -3815.40   |
| 55 | 9595.40    | 9603.60     | 9599.50     | 1442.90  | 1447.50   | 1445.20   | -3614.80  | -3607.80   | -3611.30   |
| 60 | 9354.80    | 9363.00     | 9358.90     | 1450.90  | 1455.50   | 1453.20   | -3382.20  | -3375.30   | -3378.75   |
| 65 | 9075.30    | 9083.50     | 9079.40     | 1460.30  | 1464.90   | 1462.60   | -3112.20  | -3105.20   | -3108.70   |
| 70 | 8764.10    | 8772.30     | 8768.20     | 1470.70  | 1475.30   | 1473.00   | -2811.30  | -2804.40   | -2807.85   |
| 75 | 8409.30    | 8417.50     | 8413.40     | 1482.60  | 1487.10   | 1484.85   | -2468.40  | -2461.40   | -2464.90   |

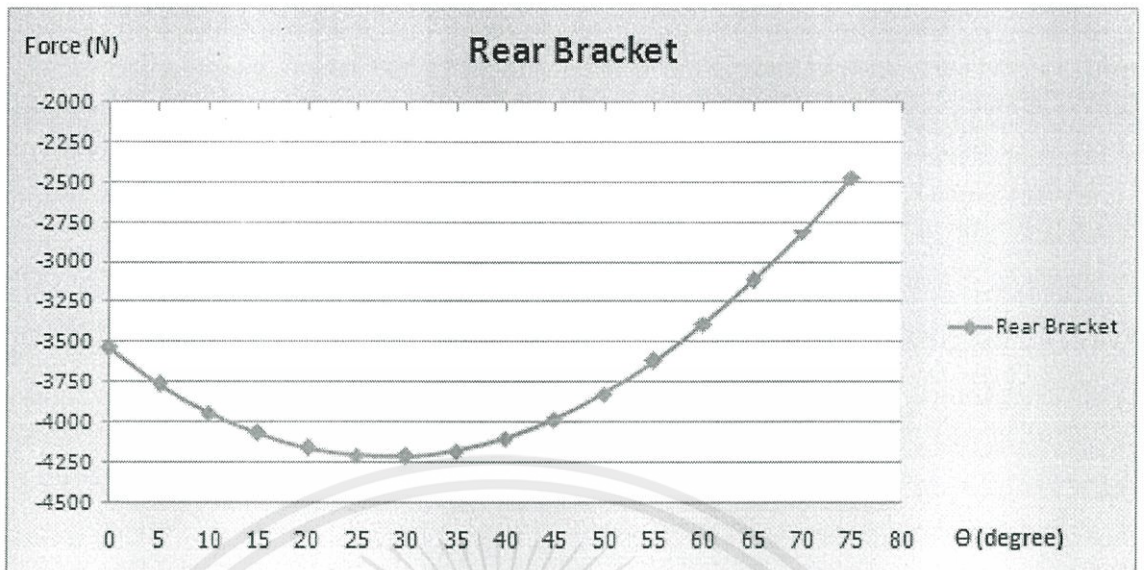
หลังจากที่ได้ผลการวิเคราะห์หามาแล้ว จึงนำผลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมองศาที่แขนคืบอ้อยยกขึ้นกับแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน จะได้กราฟดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมองศาที่เปลี่ยนไปกับแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลาง

จากรูปที่ 4.6 ค่าแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางที่มีค่ามากที่สุด มีค่าเท่ากับ 1,485 นิวตัน(N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

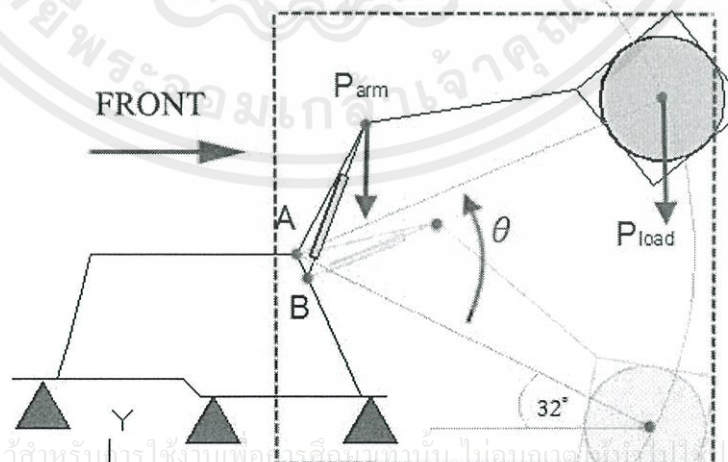


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมองศาที่เปลี่ยนไปกับแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้าย

จากรูปที่ 4.7 ค่าแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้ายที่มีค่ามากที่สุด มีค่าเท่ากับ 4,210 นิวตัน(N) โดยเป็นแรงดึง

#### 4.2.2 การหาแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อย

ขณะที่รถคิบบ้อยทำการคิบบ้อยและยกขึ้นมาจะทำให้เกิดแรงที่กระทำต่อจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อย โดยแรงที่กระทำต่อจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยจะเปลี่ยนไปเรื่อยๆ เราจะทำการหาค่าแรงที่สูงที่สุดที่กระทำต่อจุด A และ B ตามรูปที่ 4.4 โดยหาค่าแรงที่กระทำในขณะที่ยกแขนคิบบ้อยครั้งละ 5 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

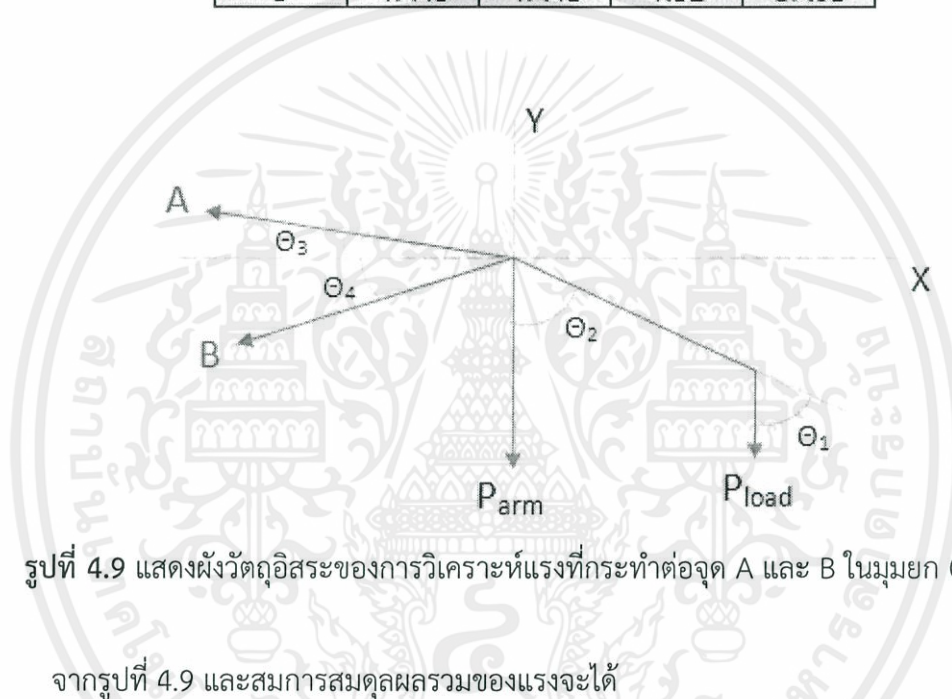
รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนไปของมุม  $\theta$  เมื่อแขนมีการยกตัวขึ้น

จากการวิเคราะห์ผังวัตถุอิสระเราจะได้สมการมาทั้งหมด 6 สมการ เพื่อใช้ในการหาค่าแรงที่กระทำต่อจุด A และ B ดังต่อไปนี้

(1) ใช้สำหรับมุมยก 0-5 องศา ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงมุมมองศาที่เปลี่ยนแปลงหลักจากยกแขนคิบบ้อยเป็นมุม 0-5 องศา

| θ | Angle |       |      |       |
|---|-------|-------|------|-------|
|   | θ1    | θ2    | θ3   | θ4    |
| 0 | 42.40 | 42.40 | 9.56 | 12.91 |
| 5 | 47.43 | 47.43 | 4.52 | 17.93 |



รูปที่ 4.9 แสดงผังวัตถุอิสระของการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อจุด A และ B ในมุมยก 0-5 องศา

จากรูปที่ 4.9 และสมการสมดุลผลรวมของแรงจะได้

$$\Sigma F_x = 0$$

$$2.943 \cos \theta_1 \sin \theta_2 - A \cos \theta_3 - B \cos \theta_4 = 0 \quad (4.1)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

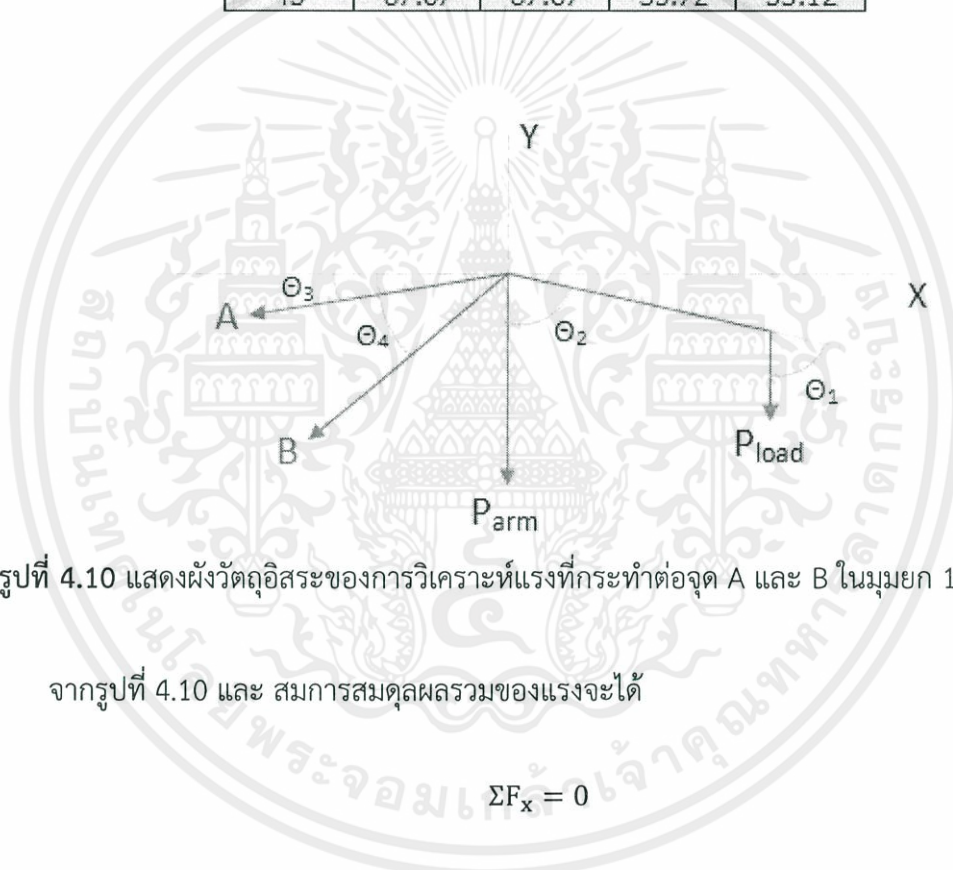
$$-2.943 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - 6.867 + A \sin \theta_3 - B \sin \theta_4 = 0 \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ใช้สำหรับมุมยก 10-45 องศา ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงมุมมองคาที่เปลี่ยนแปลงหลักจากยกแขนคืบอ้อยเป็นมุม 10-45 องศา

| ๑  | Angle |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|
|    | ๑1    | ๑2    | ๑3    | ๑4    |
| 10 | 50.50 | 50.50 | 0.54  | 22.80 |
| 15 | 57.61 | 57.61 | 5.66  | 27.57 |
| 20 | 62.52 | 62.52 | 10.56 | 32.01 |
| 25 | 67.54 | 67.54 | 15.59 | 36.44 |
| 30 | 72.50 | 72.50 | 20.54 | 40.70 |
| 35 | 77.64 | 77.64 | 25.68 | 45.02 |
| 40 | 82.65 | 82.65 | 30.70 | 49.15 |
| 45 | 87.67 | 87.67 | 35.72 | 53.12 |



รูปที่ 4.10 แสดงผังวัตถุอิสระของการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อจุด A และ B ในมุมยก 10-45 องศา

จากรูปที่ 4.10 และ สมการสมดุลผลรวมของแรงจะได้

$$\Sigma F_x = 0$$

$$2.943 \cos \theta_1 \sin \theta_2 - A \cos \theta_3 - B \cos \theta_4 = 0 \quad (4.3)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

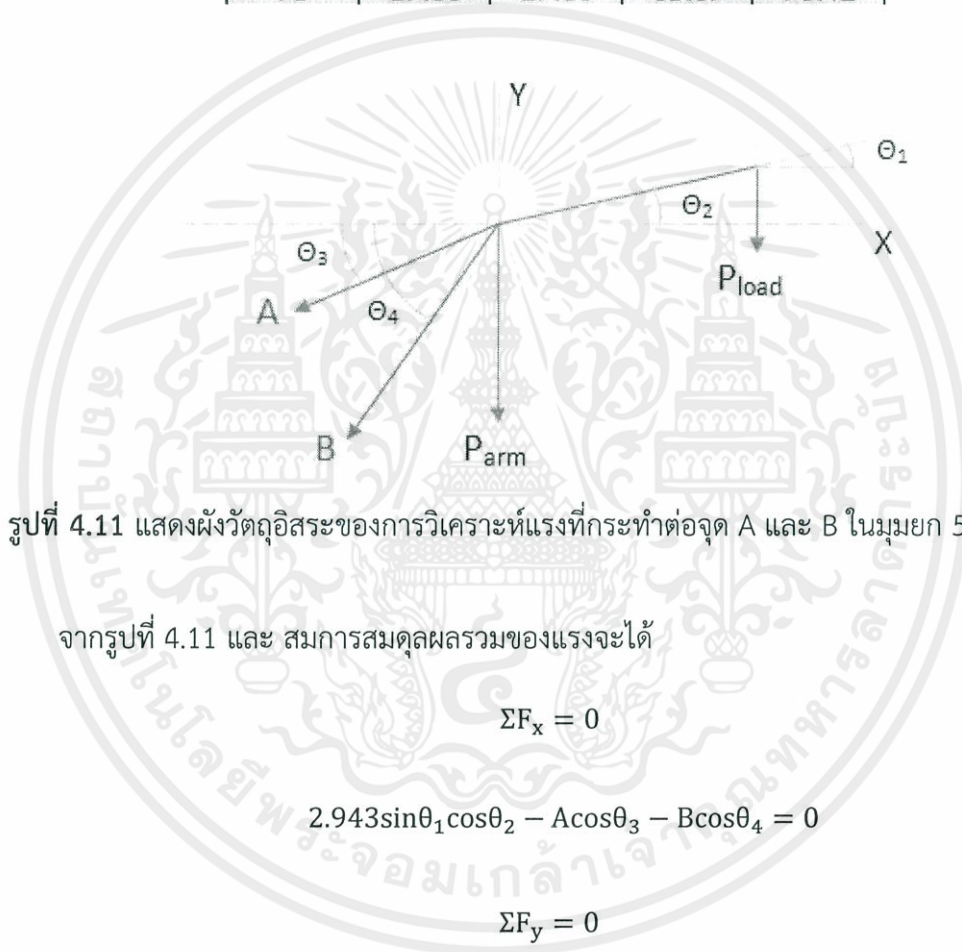
$$-2.943 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - 6.867 - A \sin \theta_3 - B \sin \theta_4 = 0 \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) ใช้สำหรับมุมยก 50-75 องศา ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงมุมมองค่าที่เปลี่ยนแปลงหลักจากยกแขนคืบอ้อยเป็นมุม 50-75 องศา

| อ  | Angle |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|
|    | θ1    | θ2    | θ3    | θ4    |
| 50 | 2.71  | 2.71  | 40.77 | 57.22 |
| 55 | 7.95  | 7.95  | 46.01 | 61.33 |
| 60 | 12.85 | 12.85 | 50.91 | 65.10 |
| 65 | 17.82 | 17.82 | 55.89 | 68.91 |
| 70 | 22.79 | 22.79 | 60.81 | 72.63 |
| 75 | 27.80 | 27.80 | 65.87 | 76.42 |



รูปที่ 4.11 แสดงผังวัตถุอิสระของการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อจุด A และ B ในมุมยก 50-75 องศา

จากรูปที่ 4.11 และ สมการสมดุลผลรวมของแรงจะได้

$$\Sigma F_x = 0$$

$$2.943 \sin \theta_1 \cos \theta_2 - A \cos \theta_3 - B \cos \theta_4 = 0 \quad (4.5)$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$-2.943 \sin \theta_1 \sin \theta_2 - 6.867 - A \sin \theta_3 - B \sin \theta_4 = 0 \quad (4.6)$$

จากสมการทั้ง 6 สมการนี้

กำหนดให้  $P_{load} = 2.9$  กิโลนิวตัน (kN)

$P_{arm} = 6.9$  กิโลนิวตัน (kN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

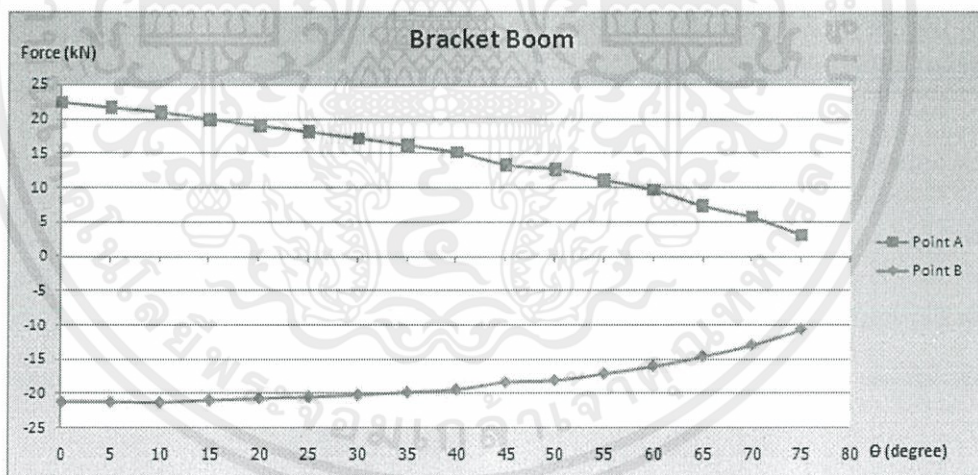
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาแก้สมการหาค่าแรงที่กระทำต่อจุด A และ B จะได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงแรงที่เกิดขึ้นในจุด A และ B

| $\theta$ | Force (kN) |         |
|----------|------------|---------|
|          | Point A    | Point B |
| 0        | 22.49      | -21.24  |
| 5        | 21.74      | -21.22  |
| 10       | 21.09      | -21.32  |
| 15       | 20.02      | -20.98  |
| 20       | 19.08      | -20.72  |
| 25       | 18.22      | -20.53  |
| 30       | 17.26      | -20.20  |
| 35       | 16.23      | -19.84  |
| 40       | 15.21      | -19.40  |
| 45       | 13.37      | -18.33  |
| 50       | 12.74      | -18.08  |
| 55       | 11.21      | -17.08  |
| 60       | 9.69       | -16.02  |
| 65       | 7.38       | -14.60  |
| 70       | 5.73       | -12.92  |
| 75       | 3.15       | -10.68  |

เมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณมาวาดกราฟเราจะสามารถหาค่าแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานได้จากรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมองศาที่เปลี่ยนไปกับแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นงานจุดจับยึด แขนคิบบ้อย

จากรูปที่ 4.12 จะหาค่าแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยในจุด A และจุด B

สูงสุดคือ

ที่จุด A = 22.49 กิโลนิวตัน(kN)

ที่จุด B = -21.24 กิโลนิวตัน(kN)

#### 4.3 การตั้งค่าเพื่อการทดสอบแบบจำลองในโปรแกรมSOLIDWORKS

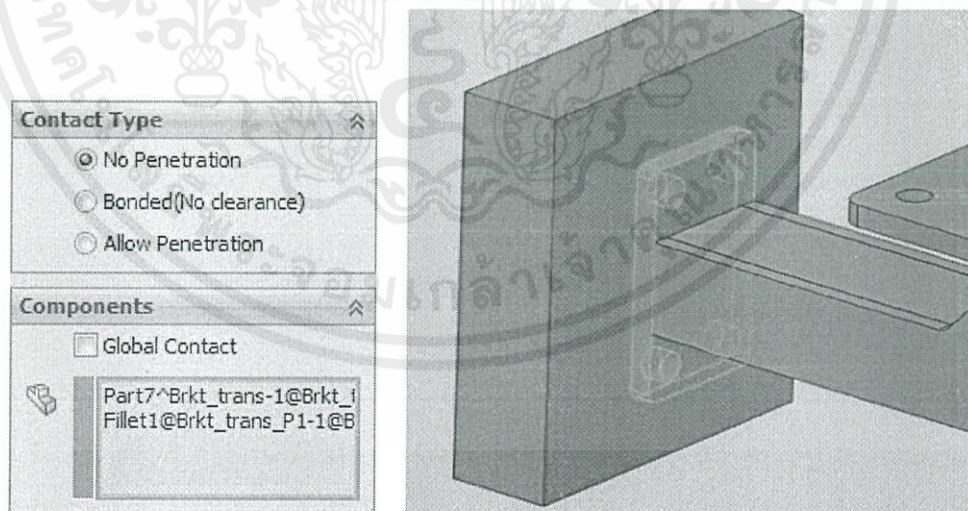
ในการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ [10]จะเลือกใช้โปรแกรมSOLIDWORKS โดยต้องมีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุลักษณะรูปแบบของหน้าสัมผัสในแต่ละชิ้นงานรวมถึงการกำหนดแรงและทิศทางแรงต่างๆให้ถูกต้องตามลักษณะการใช้งานจริงซึ่งได้กำหนดดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำหนดคุณสมบัติของวัสดุโดยเลือกใช้วัสดุ ASTM A36 Steel ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางนี้

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางกลของวัสดุASTM A36 Steel [12]

| Mechanical Properties            | Metric        | Imperial          |
|----------------------------------|---------------|-------------------|
| Tensile Strength, Ultimate       | 400 - 550 MPa | 58000 - 79800 psi |
| Tensile Strength, Yield          | 250 MPa       | 36300 psi         |
| Elongation at Break (in 200 mm)  | 20.0 %        | 20.0 %            |
| Elongation at Break (in 50 mm)   | 23.0 %        | 23.0 %            |
| Modulus of Elasticity            | 200 GPa       | 29000 ksi         |
| Bulk Modulus (typical for steel) | 140 GPa       | 20300 ksi         |
| Poissons Ratio                   | 0.260         | 0.260             |
| Shear Modulus                    | 79.3 GPa      | 11500 ksi         |

2. กำหนดลักษณะผิวสัมผัสของชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังในส่วนที่ผิวงานสัมผัสกันเป็นแบบผิวงานสัมผัสกันโดยไม่เป็นเนื้อเดียวกัน(No Penetration)



(ก)

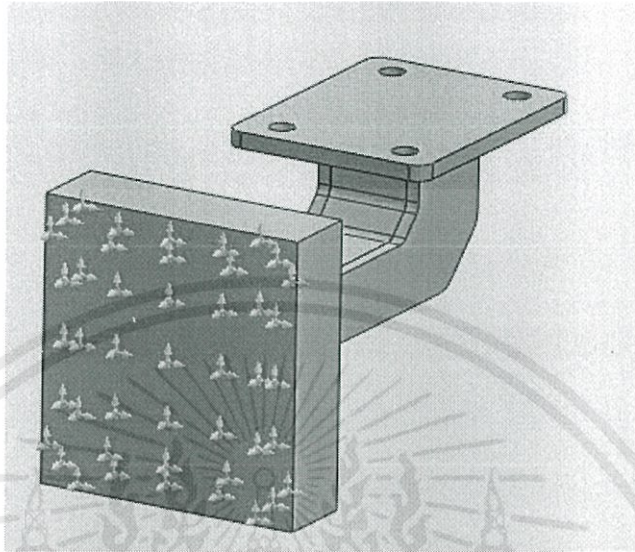
(ข)

รูปที่ 4.13 (ก)แสดงการกำหนดลักษณะของชิ้นงานเป็นแบบผิวงานสัมผัสกันโดยไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

(No Penetration) (ข) ลักษณะของชิ้นงานที่ทำการกำหนดผิวสัมผัสแล้ว

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กำหนดลักษณะชิ้นงานยึดติดสำหรับชิ้นส่วนของตัวรถแทรกเตอร์โดยกำหนดให้ผิวงานยึดติดอยู่นิ่งไม่สามารถขยับได้(Fixed Geometry)



รูปที่ 4.14 แสดงการกำหนดลักษณะของชิ้นงานเป็นแบบผิวงานยึดติดอยู่นิ่ง(Fixed Geometry)

4. กำหนดการยึดน็อตซึ่งมีสองลักษณะคือ

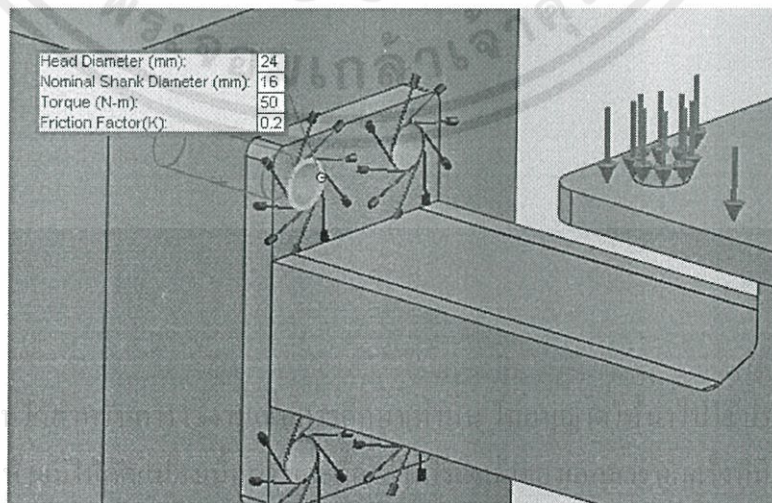
(1) เป็นแบบขันน็อตตัวผู้เข้ากับชิ้นงานโดยไม่มีน็อตตัวเมีย(Counterbore Screw)

(2) เป็นแบบขันน็อตตัวผู้เข้ากับชิ้นงานโดยมีน็อตตัวเมีย(Counterbore with Nut)

โดยกำหนดแรงขันและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังนี้

(1) แรงขันน็อตขนาด 50 นิวตันเมตร(N-m)

(2) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 0.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน

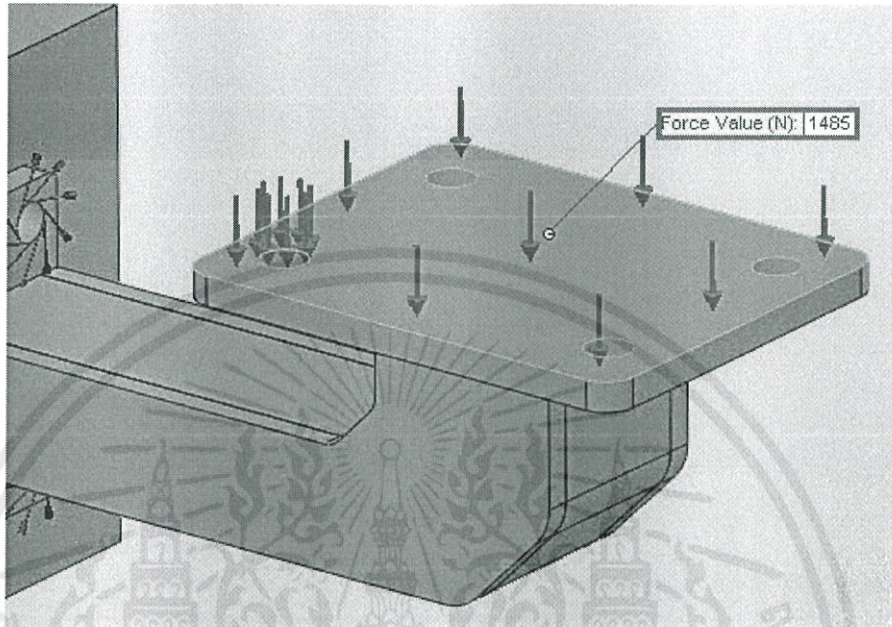
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง

โดยขึ้นด้านการค้า

การนำไปใช้

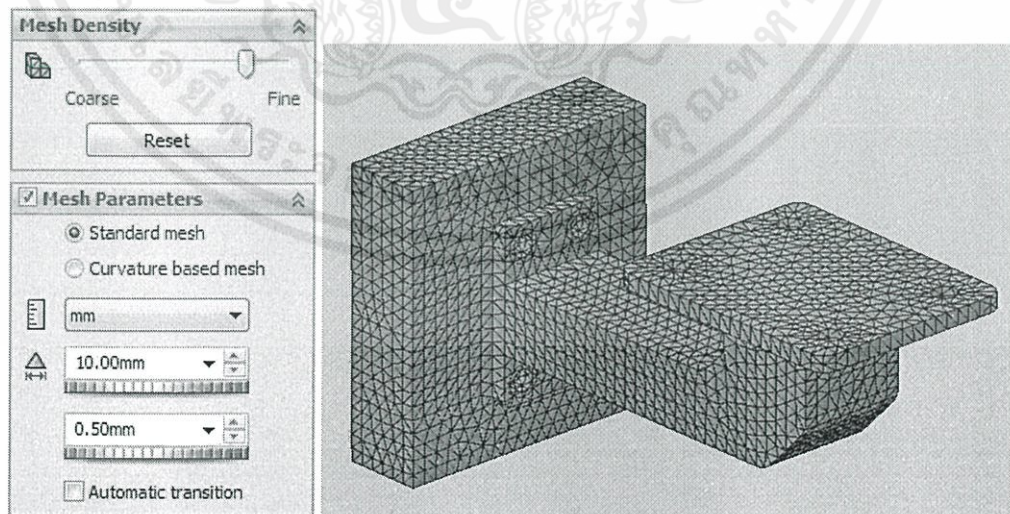
รูปที่ 4.15 แสดงการกำหนดแรงขันและค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของน็อตตัวผู้

5. กำหนดขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังโดยกำหนดให้มีแรงกระทำกับชิ้นงานในทิศทางตั้งฉากกับผิวชิ้นงานดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังถึงชั้นกลาง

6. กำหนดขนาดของMesh เพื่อทำการทดสอบชิ้นงานโดยกำหนดMesh ให้มีขนาดเพียง10 มิลลิเมตรเพื่อความแม่นยำในการทดสอบชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.17 (ก)แสดงการกำหนดขนาดของMesh และ (ข)ลักษณะของชิ้นงานที่ทำการสร้างMesh

## บทที่ 5

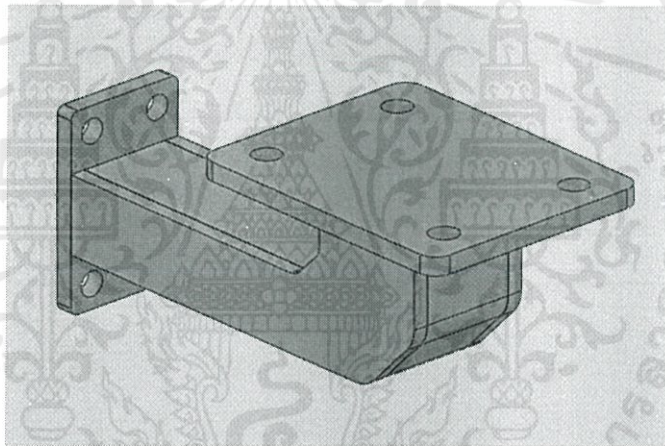
# ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 5.1 การทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถัง

#### 5.1.1 ผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถัง

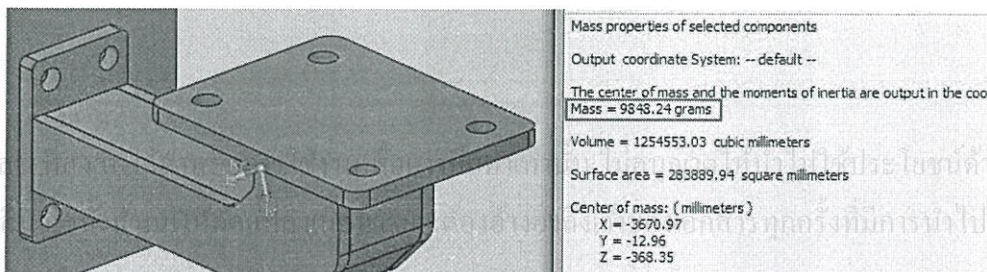
จากการกำหนดพื้นผิวสัมผัสและแรงกระทำต่างๆบนชิ้นงาน(จากหัวข้อ4.3) เมื่อนำมาทำการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมSOLIDWORKS จะได้ผลการทดสอบออกมาโดยแยกเป็น3 แบบจำลองดังนี้

##### 5.1.1.1 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.1 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 1

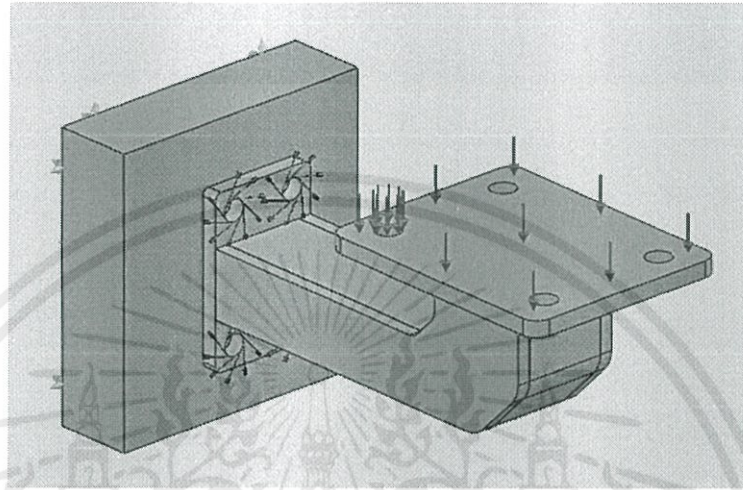
จากการออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 1 ทำการวัดน้ำหนักด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุ ASTM A36 Steel(ตารางที่4.7) จะได้น้ำหนักของชิ้นงาน คือ 9.8 กิโลกรัม(kg)



รูปที่ 5.2 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS

กำหนดขนาดของนอตตัวผู้และขนาดแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 1 ดังนี้

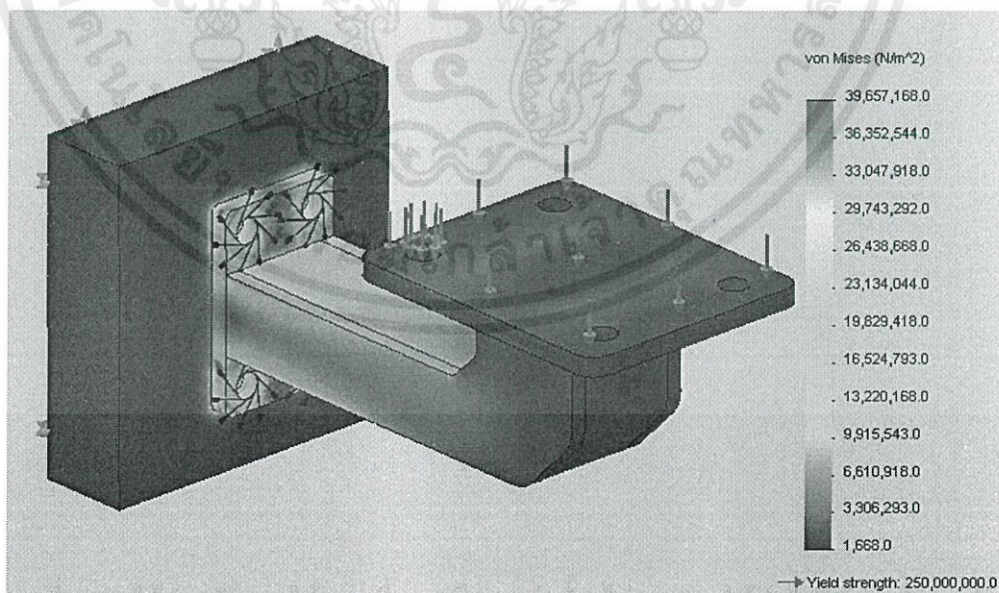
- (1) นอตตัวผู้ขนาด 16 มิลลิเมตรหัวนอตตัวผู้ขนาด 24 มิลลิเมตรตัวนอตยาว 60 มิลลิเมตร
- (2) แรงกระทำต่อชิ้นงานขนาด 1,485 นิวตัน (N) จากรูปที่ 4.6



รูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งการกำหนดแรงให้กับชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 1

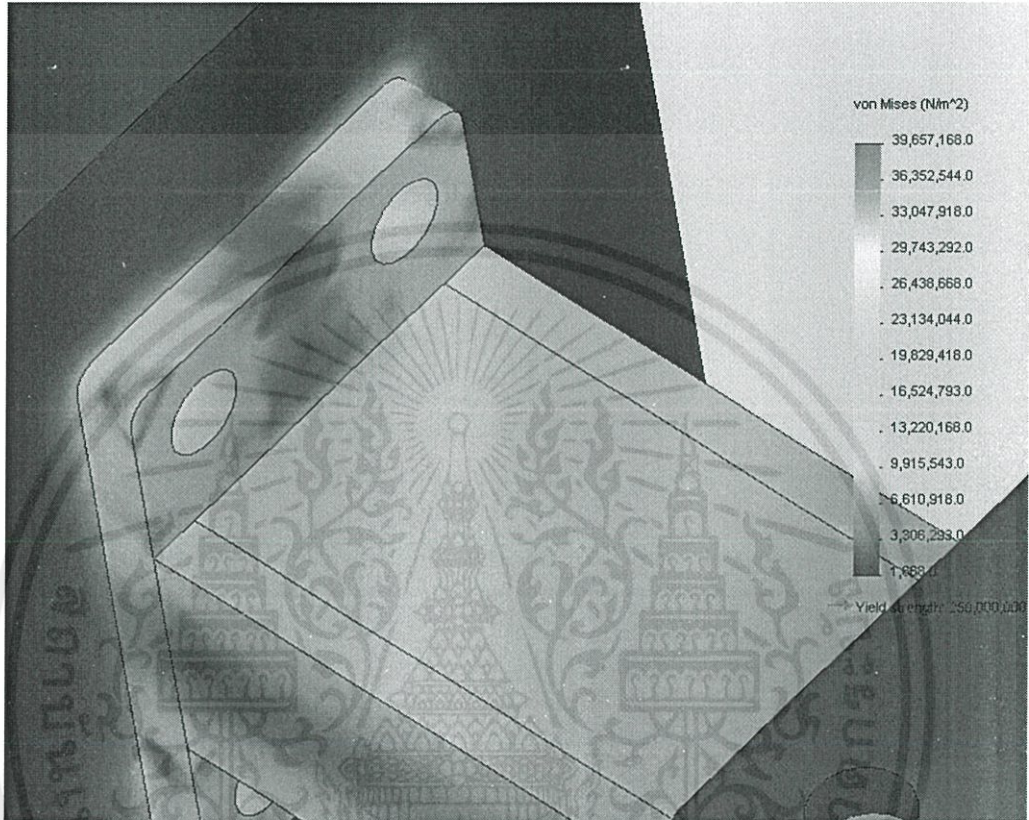
เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 1 จะได้ผลออกมาดังรูปที่

5.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไม่เหมาะสมจะสงวนการดำเนินการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 1 ไปใช้

จากรูปที่ 5.4 จะพบว่าค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าประมาณ 39.6 เมกะปาสคาล(MPa) และตำแหน่งของความเค้นที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณจุดจับยึดกับตัวถังกระจายมาถึงแขนจุดจับยึดดังรูป



รูปที่ 5.5 แสดงบริเวณที่เกิดความเค้นมากกว่าบริเวณอื่น

จากสมการค่าความปลอดภัย 
$$N = \frac{S_y}{\sigma_{von}} \quad (5.1)$$

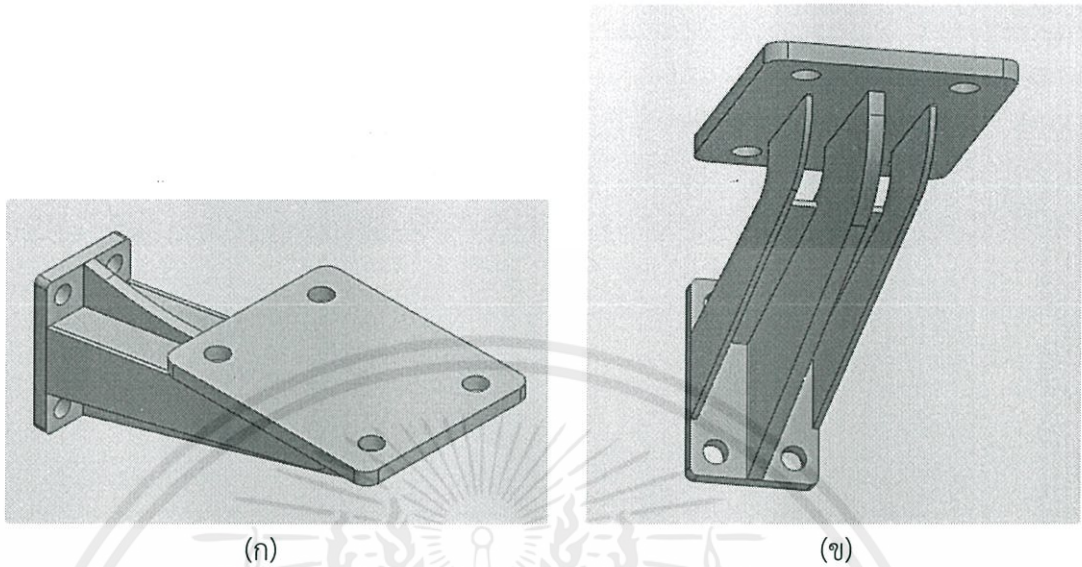
กำหนดให้  $S_y = 250$  เมกะปาสคาล(MPa)

$\sigma_{von} = 39.6$  เมกะปาสคาล(MPa)

จะได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 6.3

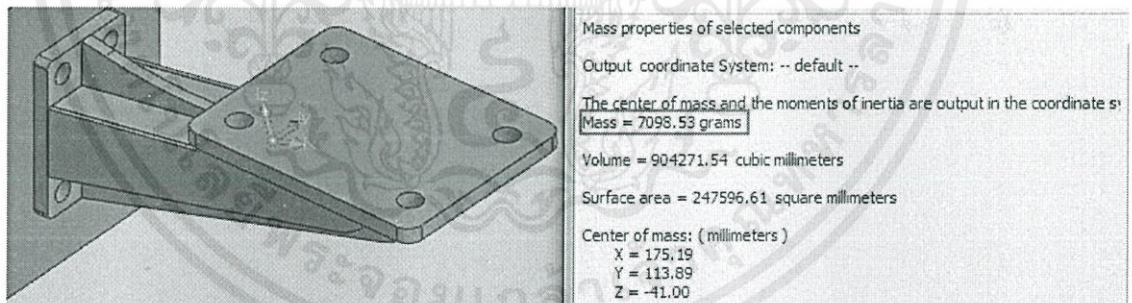
จากผลการทดสอบเนื่องจากค่าความปลอดภัยมีค่ามากกว่า 5 จึงสามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนี้สามารถรับภาระได้โดยไม่มีการเสียรูป(จากตารางที่ 2.3) แต่ทั้งนี้ชิ้นงานสามารถแก้ไขลดรูปให้มีน้ำหนักน้อยลงได้เนื่องจากหลายๆตำแหน่งในชิ้นงานไม่ได้รับภาระใดๆหรือรับภาระน้อยมาก(จากรูปที่ 5.10)อีกทั้งยังลดต้นทุนในการผลิตได้โดยค่าความปลอดภัยยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงได้ทำการพัฒนาชิ้นงานรูปแบบที่ 2 ขึ้นใหม่

### 5.1.1.2 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2



รูปที่ 5.6 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2

จากการออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2 ทำการวัดน้ำหนักด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุ ASTM A36 Steel(ตารางที่ 4.7) จะได้น้ำหนักของชิ้นงาน คือ 7.1 กิโลกรัม(kg)



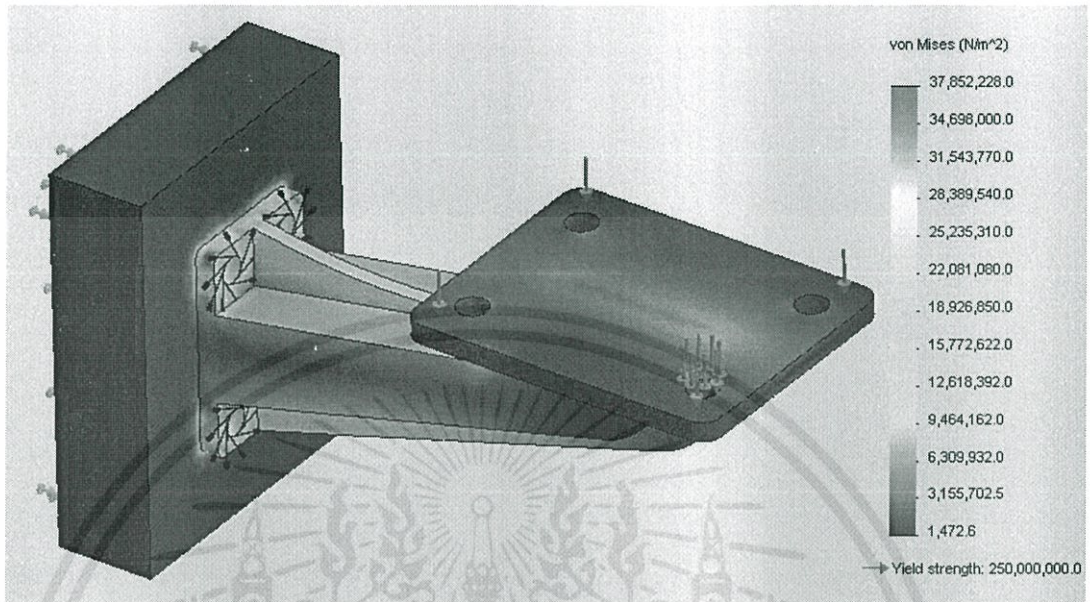
รูปที่ 5.7 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS

กำหนดขนาดของน็อตตัวผู้และขนาดแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2 ดังนี้

(1) น็อตตัวผู้ขนาด 16 มิลลิเมตร หัวน็อตตัวผู้ขนาด 24 มิลลิเมตร ตัวน็อตยาว 60 มิลลิเมตร

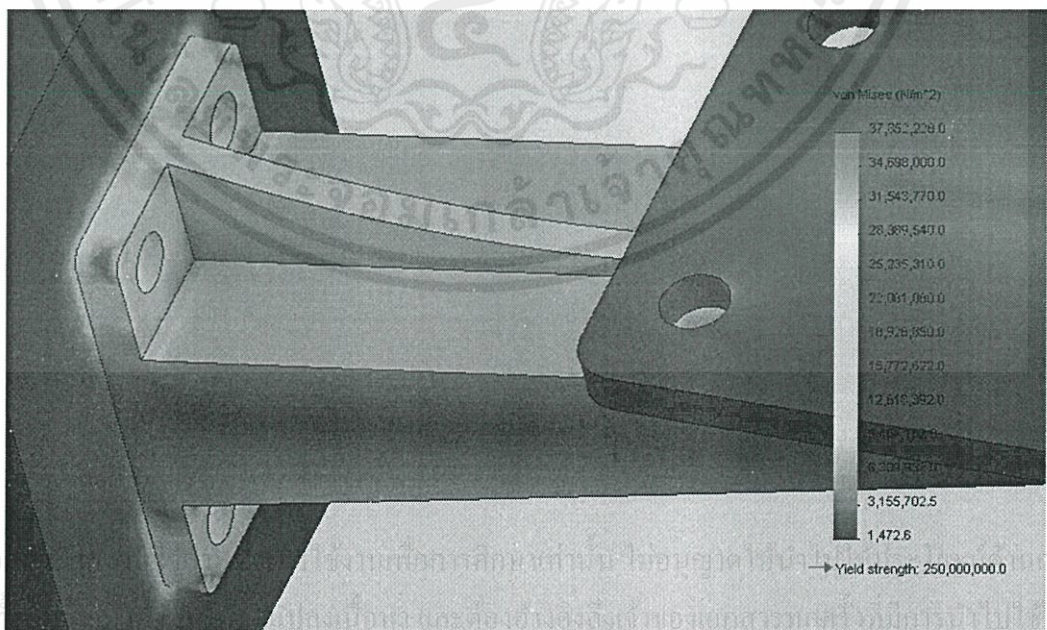
เอกสารนี้เป็นเอกสาร (2) แรงกระทำต่อชิ้นงานขนาด 1485 นิวตัน(N) จากรูปที่ 4.6 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณน้ำหนักชิ้นงาน ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2 จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.8 จะพบว่าค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าประมาณ 37.8 เมกะปาสคาล (MPa) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 1 (รูปที่ 5.4) และตำแหน่งของความเค้นที่เกิดขึ้นจะกระจายอยู่บริเวณแขนจุดจับยึดดังรูป



รูปที่ 5.9 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นกลางรูปแบบที่ 2

จากสมการค่าความปลอดภัย 
$$N = \frac{S_y}{\sigma_{von}} \quad (5.1)$$

กำหนดให้  $S_y = 250$  เมกะปาสคาล(MPa)

$\sigma_{von} = 37.8$  เมกะปาสคาล(MPa)

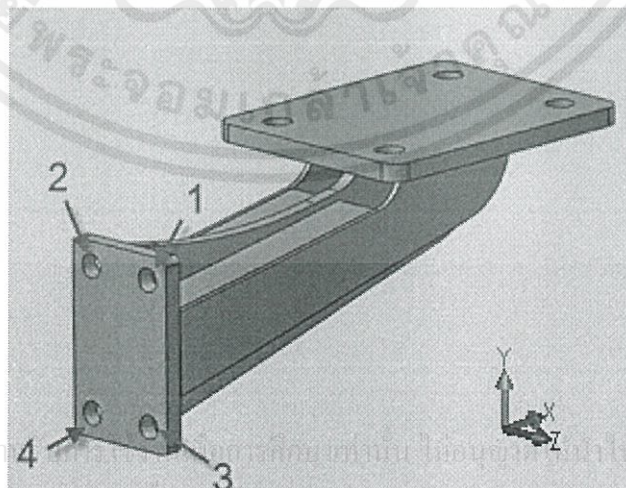
จะได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 6.6

จากผลจากการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 2 จะได้ค่าความปลอดภัยมากกว่า 5 จึงสามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนี้สามารถรับภาระได้โดยไม่มีการเสียรูป(จากตารางที่ 2.3) อีกทั้งชิ้นงานรูปแบบที่ 2 มีน้ำหนักลดน้อยลงจากชิ้นงานรูปแบบที่ 1 ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้เราจึงเลือกชิ้นงานแบบที่ 2 นี้เพื่อมาผลิตชิ้นงานต้นแบบ

และจากผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลางรูปแบบที่ 2 นี้สามารถทำให้เราทราบถึงค่าแรงที่กระทำตามแนวแกนของน็อตตัวผู้แต่ละตัวได้ดังตารางที่ 5.1 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้เท่ากับ 13,024 นิวตัน(N)

ตารางที่ 5.1 ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกนของน็อตตัวผู้ในแต่ละตำแหน่ง

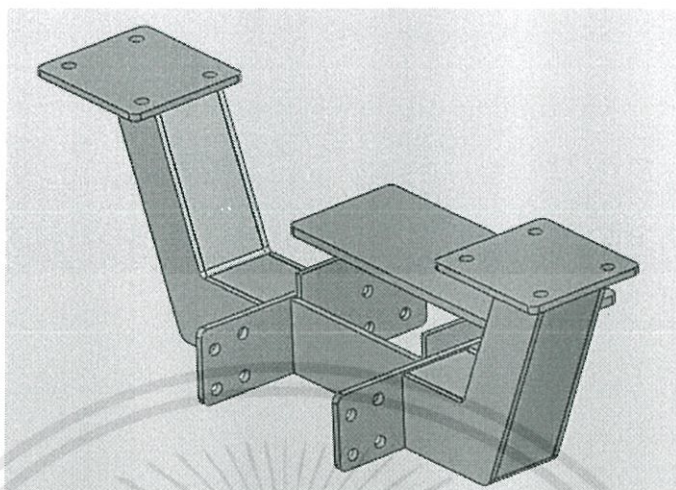
| Axial Force (N) |       |      |      |           |
|-----------------|-------|------|------|-----------|
| Position        | X     | Y    | Z    | Resultant |
| 1               | 13046 | 493  | 507  | 13065     |
| 2               | 13047 | 493  | -478 | 13065     |
| 3               | 12963 | -489 | 504  | 12982     |
| 4               | 12964 | -489 | -475 | 12982     |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

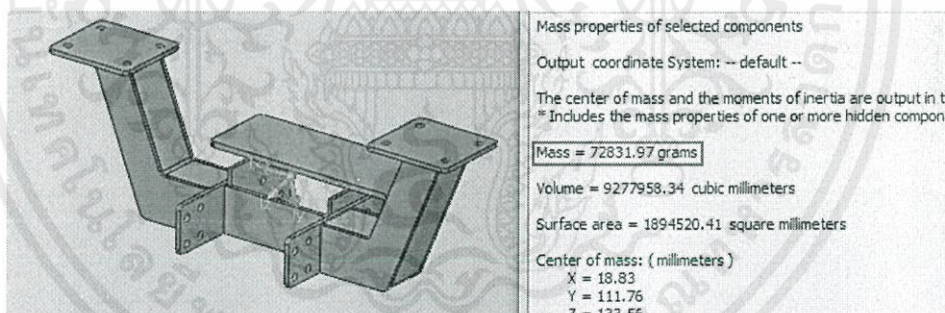
รูปที่ 5.10 แสดงตำแหน่งของน็อตตัวผู้

### 5.1.1.3 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้าย



รูปที่ 5.11 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้าย

จากการออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้ายทำการวัดน้ำหนักด้วยโปรแกรมSOLIDWORKS โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุASTM A36 Steel(ตารางที่4.7)จะได้น้ำหนักของชิ้นงานคือ72.8 กิโลกรัม (kg)



รูปที่ 5.12 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS

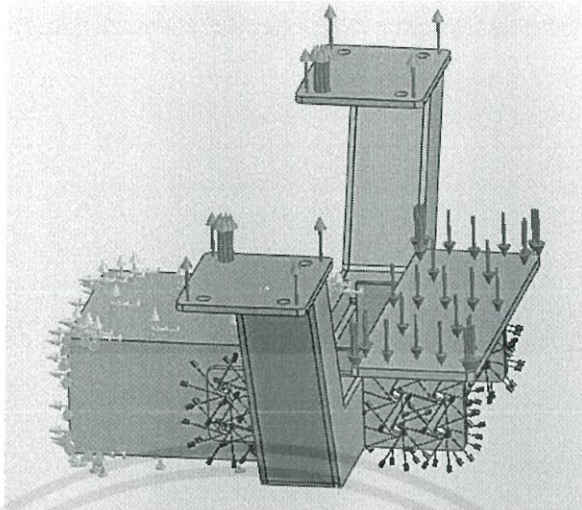
กำหนดขนาดของน็อตตัวผู้และขนาดแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้ายดังนี้

- (1) น็อตตัวผู้ขนาด 19 มิลลิเมตรหัวน็อตตัวผู้ขนาด 28.5 มิลลิเมตร ตัวน็อตยาว 60 มิลลิเมตร
- (2) แรงกระทำต่อชิ้นงานด้านข้างขนาด 4,210 นิวตัน(N) จากรูปที่4.7 เป็นแรงดึง
- (3) แรงกระทำต่อชิ้นงานจุดกลางเนื่องจากน้ำหนักถ่วงขนาด 13,076 นิวตัน(N) จากสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

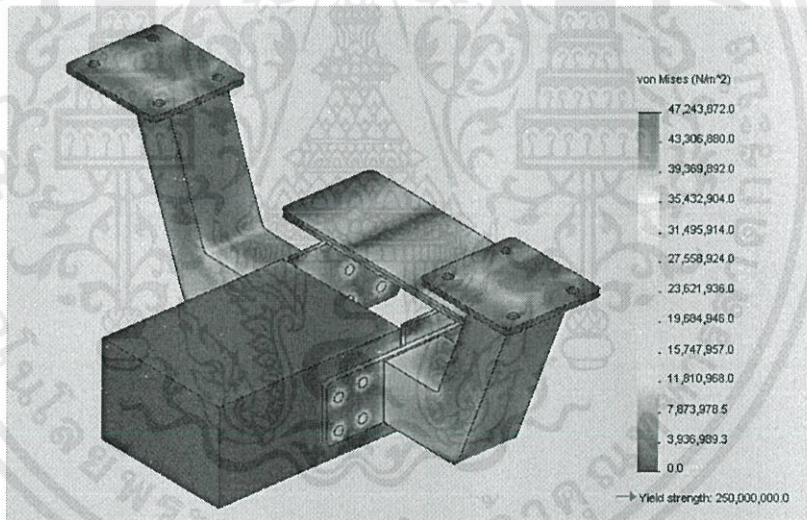
4.11 เป็นแรงกด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงตำแหน่งการกำหนดแรงให้กับชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้าย

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้ายจะได้ผลออกมาดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดตัวถังขึ้นท้าย

จากรูปที่ 5.14 จะพบว่าค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าประมาณ 47.2 เมกะปาสคาล (MPa)

จากสมการค่าความปลอดภัย 
$$N = \frac{S_y}{\sigma_{von}} \quad (5.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารกำหนดให้ไว้สำหรับ  $S_y$  ใช้ = 250 เมกะปาสคาล (MPa) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตี  $\sigma_{von}$  เป็น 47.2 เมกะปาสคาล (MPa) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

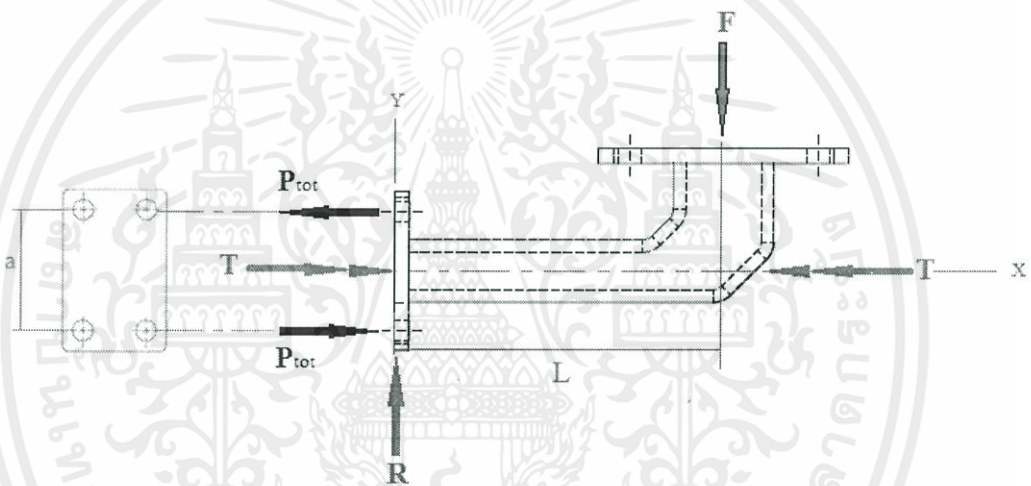
จะได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 5.3

จากผลการทดสอบเนื่องจากค่าความปลอดภัยมีค่ามากกว่า 5 จึงสามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนี้สามารถรับภาระได้โดยไม่มีการเสียรูป(จากตารางที่ 2.3) และชิ้นงานมีการกระจายของแรงอย่างสม่ำเสมอไม่พบจุดที่เสี่ยงต่อการแตกหรือหักเสียหาย เราจึงได้เลือกใช้ชิ้นงานนี้เพื่อมาผลิตชิ้นงานต้นแบบ

### 5.1.2 การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 5.1.2.1 การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้

สำหรับน็อตที่ใช้ยึดชิ้นงานคือ M16X1.5X60, Grade 8.8



รูปที่ 5.15 ผังวัตถุอิสระของจุดจับยึดตัวถังชิ้นกลาง

กำหนดให้ แรง  $F = 1485$  นิวตัน(N)

ความยาวระยะ  $L = 263$  มิลลิเมตร

ความยาวระยะ  $a = 95$  มิลลิเมตร

จากผลรวมโมเมนต์  $P_{tot}(a) - F(L) = 0(5.2)$

ดังนั้นแรงภายนอกทั้งหมดที่กระทำต่อน็อตตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแรงภายนอกที่กระทำต่อน็อตตัวผู้ 1 ตัวสามารถหาได้จากสมการที่(5.3)

$$P = \frac{P_{tot}}{N_{bolt}} \quad (5.3)$$

เมื่อ  $N_{bolt}$  คือจำนวนน็อตตัวผู้(บนหรือล่าง) เท่ากับ 2 ตัว

จากการคำนวณพบว่าแรงภายนอกที่กระทำต่อน็อตตัวผู้ 1 ตัวมีค่า 2,056 นิวตัน(N)

คำนวณหาอัตราส่วนลักษณะข้อต่อ(Joint aspect ratio)ดังสมการที่(5.4)

$$j = \frac{d}{l} \quad (5.4)$$

เมื่อ  $j$  คืออัตราส่วนลักษณะข้อต่อ(Joint aspect ratio)

$d$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางน็อตตัวผู้เท่ากับ 16 มิลลิเมตร

$l$  คือความยาวชิ้นงานที่บีบอัด(Clamped length) เท่ากับ 60 มิลลิเมตร

ดังนั้นอัตราส่วนลักษณะข้อต่อ(Joint aspect ratio) คือ 0.27

สำหรับวัสดุที่ใช้สร้างชิ้นงานจุดจับยึดพิจารณาเลือกใช้ ASTM A36 Steel (ตารางที่ 5.1)

กำหนดให้ ค่ามอดุลัสของยัง(Young's modulus)ของน็อตตัวผู้

$$E_{bolt} = 200 \text{ กิกะปาสกาล(GPa)}$$

พิจารณาอัตราส่วนค่ามอดุลัสของยัง(Young's modulus) ระหว่างชิ้นงานกับน็อตตัวผู้จากสมการที่(5.5)

$$r = \frac{E_{material}}{E_{bolt}} \quad (5.5)$$

พบว่าค่าอัตราส่วนมอดุลัส(Modulus ratio)  $r = 1$

สำหรับข้อต่อที่มีวัสดุเดียวกันค่าคงที่ความแข็งข้อต่อ(Joint's stiffness constant, C) จะ

เท่ากับ  $C_r$  โดยคำนวณได้จากสมการที่(5.6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_r = p_3 r^3 + p_2 r^2 + p_1 r + p_0 \quad (5.6)$$

สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์  $p_j$  ได้จากตารางที่ 2.1 เมื่อ  $j = 0.27$  โดยการ linear interpolation ดังสมการที่(5.7) ระหว่าง  $j_a = 0.20$  และ  $j_b = 0.30$

$$p(p_a, p_b) = \frac{(p_b - p_a)}{(j_b - j_a)}(j - j_a) + p_a \quad (5.7)$$

เราจะได้ค่า

$$\begin{aligned} p_0 &= p(0.6118, 0.6932) = 0.6688 \\ p_1 &= p(-1.1715, -1.2426) = -1.2212 \\ p_2 &= p(1.0875, 1.1177) = 1.1086 \\ p_3 &= p(-0.3806, -0.3845) = -0.3833 \end{aligned}$$

ดังนั้นจากสมการที่ 5.7 จะได้ค่าคงที่ความแข็งข้อต่อ (Joint's stiffness constant) คือ 0.172

คำนวณหาแรงภายในนอตตัวผู้ดังสมการที่(5.8)

$$P_b = CP \quad (5.8)$$

เมื่อ  $P_b$  คือแรงภายในนอตตัวผู้

$C$  คือค่าคงที่ความแข็งข้อต่อ (Joint's stiffness constant)

$P$  คือแรงภายนอกที่กระทำต่อนอตตัวผู้ 1 ตัว

จากการคำนวณพบว่าแรงภายในนอตตัวผู้มีค่าเท่ากับ 354 นิวตัน(N)

พิจารณาแรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน (Preload)

กำหนดให้ แรงบิดที่ใช้  $T = 50$  นิวตันเมตร (N-m)

แฟกเตอร์นอตตัวเมีย (Nut factor)  $K = 0.20$

เส้นผ่านศูนย์กลางนอตตัวผู้  $d = 16$  มิลลิเมตร

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกันสำหรับกรณีที่นอตตัวผู้ยึดชิ้นงานโดยไม่ใช้นอตตัวเมียดังสมการที่(5.9)

$$T = 1.2KdF_i \quad (5.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแก้สมการหาแรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน(Preload) จะได้

$$F_i = \frac{50}{1.2(0.20)(0.016)} = 13,021 \text{ นิวตัน(N)}$$

สุดท้ายคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้จากสมการที่(5.10)

$$F_b = F_i + P_b \quad (5.10)$$

เมื่อ  $F_b$  คือแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้

$F_i$  คือแรงขั้นต้นที่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกัน(Preload)

$P_b$  คือแรงภายในน็อตตัวผู้

จากสมการที่5.10 สามารถคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้มีค่าเท่ากับ 13,375 นิวตัน(N)

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ตารางที่

5.1) เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้

$$\frac{|13375 - 13024|}{13375} \times 100 = 2.6 \%$$

5.1.2.2 การคำนวณหาค่าความปลอดภัยของน็อตตัวผู้

ความเค้นแรงดึงสูงสุด(Maximum tensile stress) สามารถคำนวณได้จากสมการที่(5.11)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (5.11)$$

เมื่อ  $\sigma_b$  คือความเค้นแรงดึงสูงสุดในน็อตตัวผู้

$F_b$  คือแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้

$A_t$  คือพื้นที่ความเค้นแรงดึง(tensile stress area)

ดังนั้นความเค้นแรงดึงสูงสุดในน็อตตัวผู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้  $\sigma_b = \frac{13,375}{167.25 \times 10^{-3}} = 79.97$  เมกะปาสคาล(MPa) ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ค่าตัวแปรที่สำคัญของนอตตัวผู้ในหน่วยISO[3]

| Principal Dimensions of ISO Metric Standard Screw Threads<br>Data Calculated from Equations 15.1—See Reference 4 for More Information |                    |                              |   |                    |                              |   |
|---|--------------------|------------------------------|---|--------------------|------------------------------|---|
| Major Diameter<br>$d$ (mm)  | Coarse Threads     |                              |   | Fine Threads       |                              |   |
|   | Pitch<br>$p$<br>mm | Minor Diameter<br>$d_r$ (mm) | Tensile Stress Area<br>$A_t$ (mm <sup>2</sup> ) | Pitch<br>$p$<br>mm | Minor Diameter<br>$d_r$ (mm) | Tensile Stress Area<br>$A_t$ (mm <sup>2</sup> ) |
| 3.0   | 0.50               | 2.39                         | 5.03  |                    |                              |   |
| 3.5   | 0.60               | 2.76                         | 6.78  |                    |                              |   |
| 4.0   | 0.70               | 3.14                         | 8.78  |                    |                              |   |
| 5.0   | 0.80               | 4.02                         | 14.18   |                    |                              |   |
| 6.0   | 1.00               | 4.77                         | 20.12   |                    |                              |   |
| 7.0   | 1.00               | 5.77                         | 28.86   |                    |                              |   |
| 8.0   | 1.25               | 6.47                         | 36.61   | 1.00               | 6.77                         | 39.17   |
| 10.0  | 1.50               | 8.16                         | 57.99   | 1.25               | 8.47                         | 61.20   |
| 12.0  | 1.75               | 9.85                         | 84.27   | 1.25               | 10.47                        | 92.07   |
| 14.0  | 2.00               | 11.55                        | 115.44  | 1.50               | 12.16                        | 124.55  |
| 16.0  | 2.00               | 13.55                        | 156.67  | 1.50               | 14.16                        | 167.25  |
| 18.0  | 2.50               | 14.93                        | 192.47  | 1.50               | 16.16                        | 216.23  |
| 20.0  | 2.50               | 16.93                        | 244.79  | 1.50               | 18.16                        | 271.50  |
| 22.0  | 2.50               | 18.93                        | 303.40  | 1.50               | 20.16                        | 333.06  |
| 24.0  | 3.00               | 20.32                        | 352.50  | 2.00               | 21.55                        | 384.42  |
| 27.0  | 3.00               | 23.32                        | 459.41  | 2.00               | 24.55                        | 495.74  |
| 30.0  | 3.50               | 25.71                        | 560.59  | 2.00               | 27.55                        | 621.20  |
| 33.0  | 3.50               | 28.71                        | 693.55  | 2.00               | 30.55                        | 760.80  |
| 36.0  | 4.00               | 31.09                        | 816.72  | 3.00               | 32.32                        | 864.94  |
| 39.0  | 4.00               | 34.09                        | 975.75  | 3.00               | 35.32                        | 1028.39   |

จากสมการวอนมิส

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \quad (5.12)$$

ซึ่งในกรณีนี้เกิดความเค้นแกนเดียวดังนั้น

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_b^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{(79.97 \times 10^6)^2} = 79.97 \text{ MPa}$$

จากความสัมพันธ์

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (5.13)$$

$$N = \frac{660}{79.97}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
พบว่านอตตัวผู้มีความปลอดภัยสูงถึง 8

ตารางที่ 5.3 รายละเอียดและค่าความแข็งแรงของน็อตตัวผู้[3]

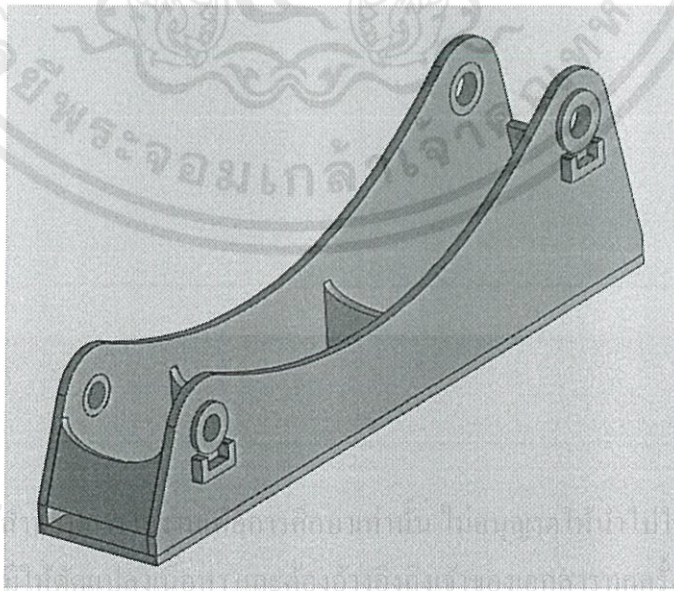
| Metric Specifications and Strengths for Steel Bolts |                                  |                              |                              |                                |                            |
|---|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Class Number  | Size Range Outside Diameter (mm) | Minimum Proof Strength (MPa) | Minimum Yield Strength (MPa) | Minimum Tensile Strength (MPa) | Material                   |
| 4.6   | M5–M36                           | 225                          | 240                          | 400                            | low or medium carbon       |
| 4.8   | M1.6–M16                         | 310                          | 340                          | 420                            | low or medium carbon       |
| 5.8   | M5–M24                           | 380                          | 420                          | 520                            | low or medium carbon       |
| 8.8   | M3–M36                           | 600                          | 660                          | 830                            | medium carbon, Q&T         |
| 9.8   | M1.6–M16                         | 650                          | 720                          | 900                            | medium carbon, Q&T         |
| 10.9  | M5–M36                           | 830                          | 940                          | 1 040                          | low-carbon martensite, Q&T |
| 12.9  | M1.6–M36                         | 970                          | 1 100                        | 1 220                          | alloy, quenched & tempered |

## 5.2 การทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อย

### 5.2.1 ผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อย

จากการกำหนดพื้นผิวสัมผัสและแรงกระทำต่างๆบนชิ้นงาน(ในหัวข้อ4.3) เมื่อนำมาทำการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมSOLIDWORKS จะได้ผลการทดสอบออกมาโดยแยกเป็น2แบบจำลองดังนี้

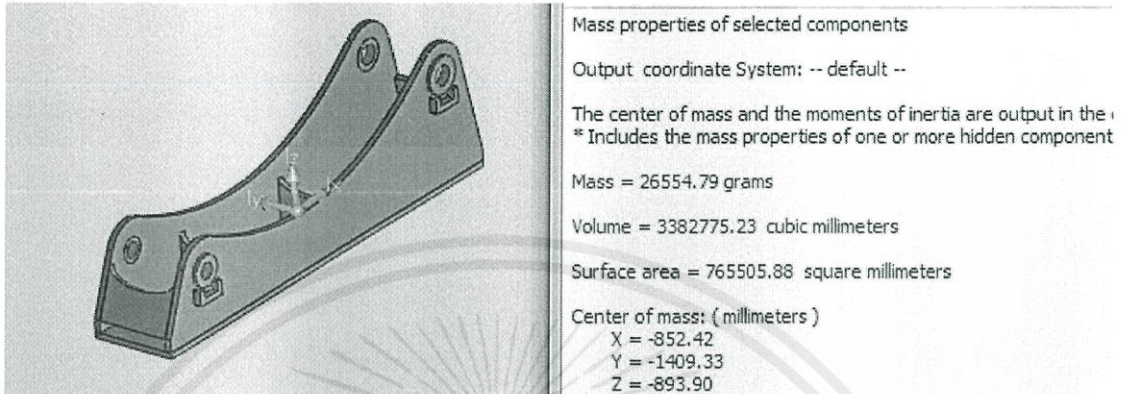
#### 5.2.1.1 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.16 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคืบอ้อยรูปแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปภายนอกได้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงในลักษณะใดๆที่มี การนำไปใช้

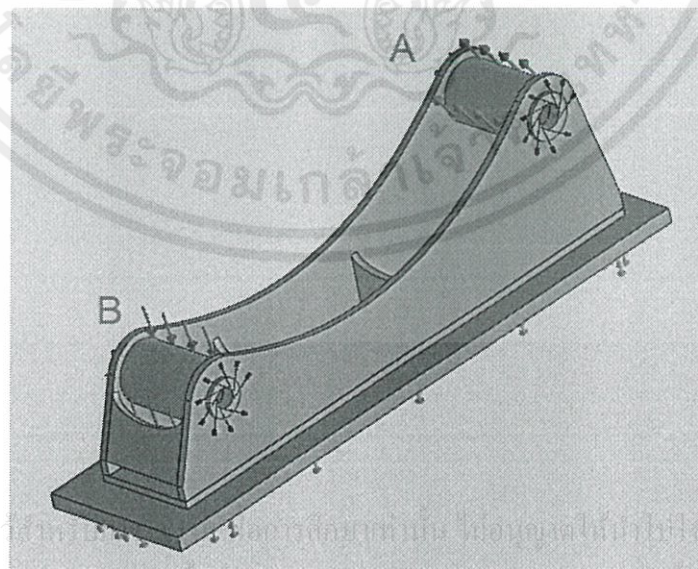
จากการแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่1ทำการวัดน้ำหนักด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุASTM A36 Steel(ตารางที่4.7)จะได้น้ำหนักของชิ้นงานคือ 26.6 กิโลกรัม(kg)



รูปที่ 5.17 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS

กำหนดขนาดของน็อตตัวผู้และขนาดแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่ 1 ดังนี้

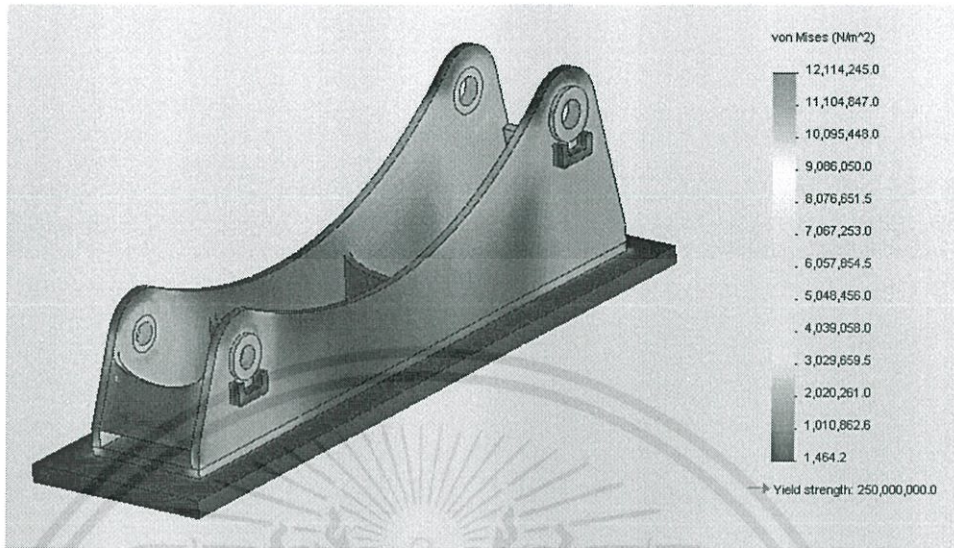
- (1) น็อตตัวผู้ขนาด 32 มิลลิเมตร หัวน็อตตัวผู้ขนาด 48 มิลลิเมตรที่จุด A
- (2) น็อตตัวผู้ขนาด 26 มิลลิเมตร หัวน็อตตัวผู้ขนาด 39 มิลลิเมตรที่จุด B
- (3) แรงกระทำต่อชิ้นงานขนาด 11,245 นิวตัน(N) จากรูปที่ 4.12 ที่จุด A
- (4) แรงกระทำต่อชิ้นงานขนาด 10,620 นิวตัน(N) จากรูปที่ 4.12 ที่จุด B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

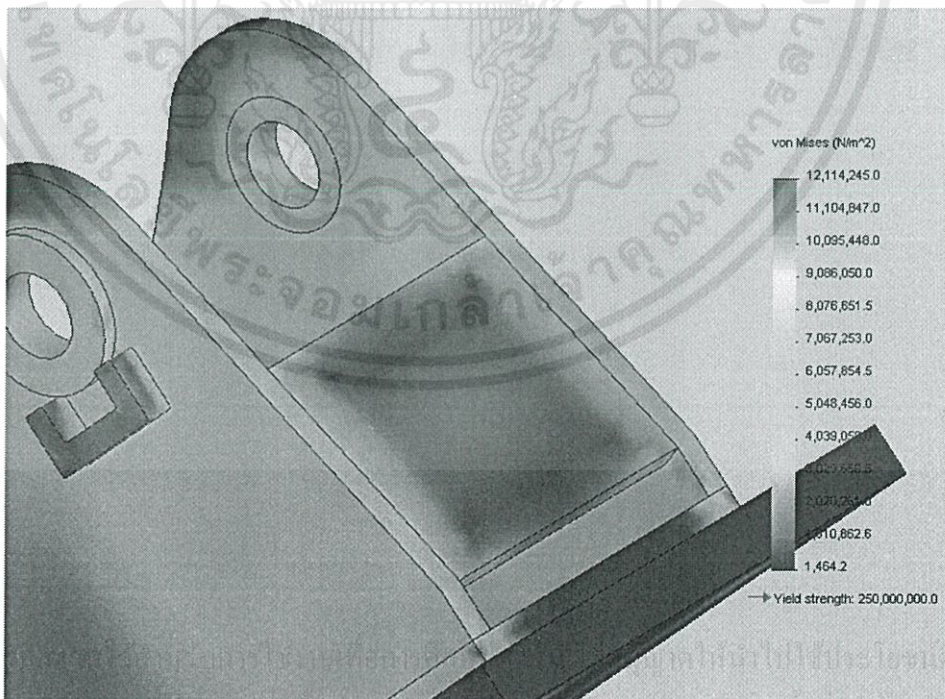
รูปที่ 5.18 แสดงตำแหน่งการกำหนดแรงให้กับชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่ 1

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยูรูปแบบที่1 จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยูรูปแบบที่ 1

จากรูปที่5.19 จะพบว่าค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าประมาณ 12.1 เมกะปาสคาล(MPa) และตำแหน่งของความเค้นที่เกิดขึ้นเกิดขึ้นเป็นจุดตามรอยต่อที่ไม่มีการเชื่อมปิดดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 แสดงบริเวณที่เกิดความเค้นมากกว่าบริเวณอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากท่านนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกทงห้ามเผยแพร่และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งทมิกรณา ไปใช้

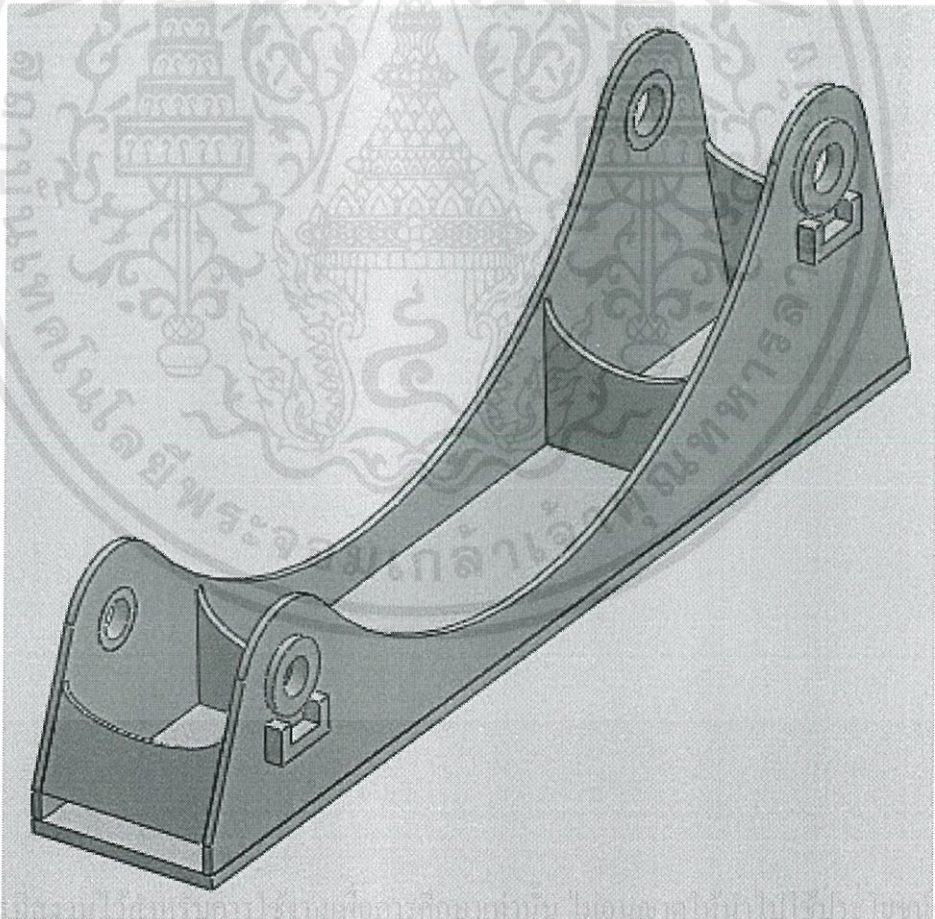
จากสมการค่าความปลอดภัย 
$$N = \frac{S_y}{\sigma_{von}} \quad (5.1)$$

กำหนดให้  $S_y = 250$  เมกะปาสคาล(MPa)  
 $\sigma_{von} = 12.1$ เมกะปาสคาล(MPa)

จะได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 20.7

จากผลการทดสอบเนื่องจากค่าความปลอดภัยมีค่ามากกว่า5 มากจึงสามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนี้สามารถรับภาระได้โดยไม่มีการเสียรูป(จากตารางที่2.3) แต่ทั้งนี้ชิ้นงานสามารถแก้ไขลดรูปให้มีน้ำหนักน้อยลงได้เนื่องจากชิ้นงานเกิดความเค้นขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความเค้นจุดคราก(Yield Strength)ของวัสดุ(จากรูปที่ 5.20) อีกทั้งยังลดต้นทุนในการผลิตได้โดยค่าความปลอดภัยยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จึงได้ทำการพัฒนาชิ้นงานรูปแบบที่2 ขึ้นใหม่

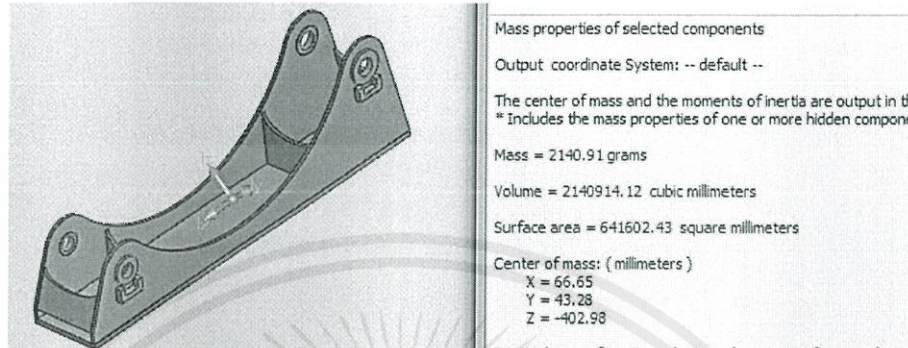
#### 5.2.1.2 แบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้ออรูปแบบที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับศึกษาใช้เฉพาะที่การศึกษาของเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้

รูปที่ 5.21 แสดงแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้ออรูปแบบที่ 2

จากการออกแบบชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2 ทำการวัดน้ำหนักด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS โดยใช้คุณสมบัติของวัสดุ ASTM A36 Steel(ตารางที่ 4.7) จะได้น้ำหนักของชิ้นงาน คือ 2.1 กิโลกรัม(kg)

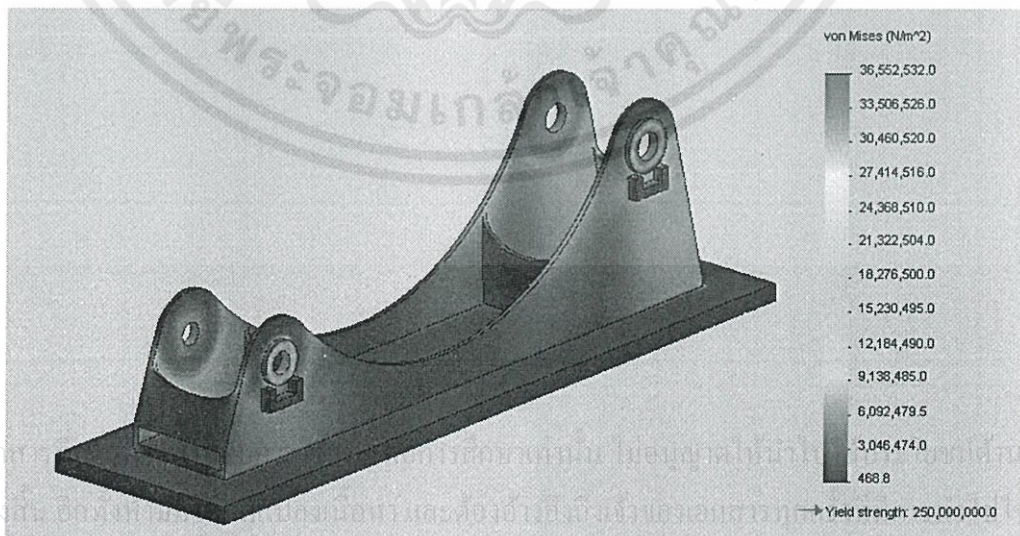


รูปที่ 5.22 แสดงการวัดน้ำหนักชิ้นงานจากโปรแกรมSOLIDWORKS

กำหนดขนาดของน็อตตัวผู้และขนาดแรงที่กระทำต่อชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2 ดังนี้

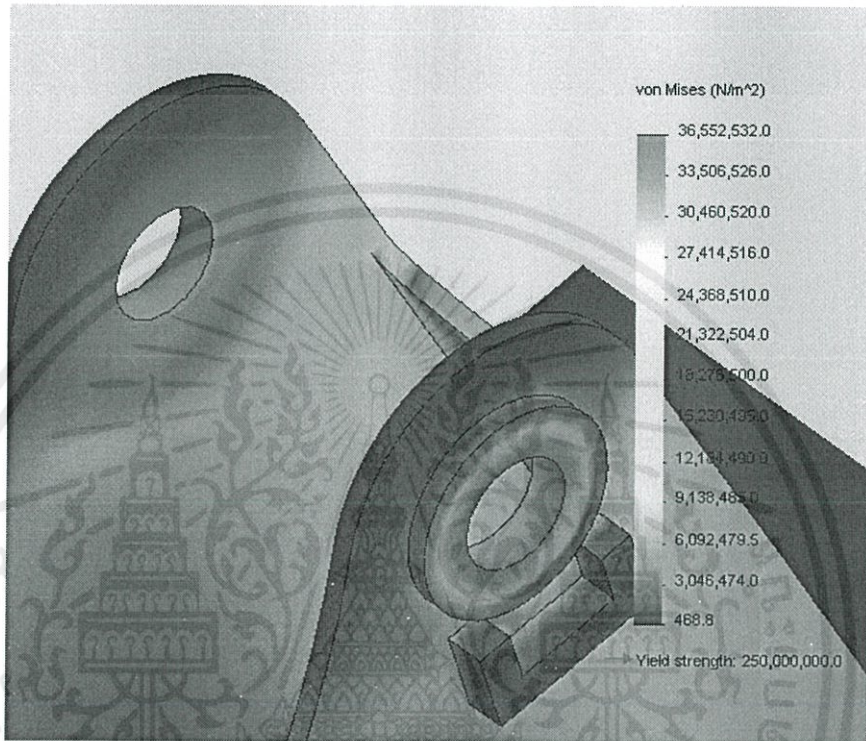
- (1) น็อตตัวผู้ขนาด 32 มิลลิเมตร หัวน็อตตัวผู้ขนาด 48 มิลลิเมตรที่จุด A
- (2) น็อตตัวผู้ขนาด 26 มิลลิเมตร หัวน็อตตัวผู้ขนาด 39 มิลลิเมตรที่จุด B
- (3) แรงกระทำต่อชิ้นงานขนาด 11,245 นิวตัน(N) จากรูปที่ 4.12 ที่จุด A
- (4) แรงกระทำต่อชิ้นงานขนาด 10,620 นิวตัน(N) จากรูปที่ 4.12 ที่จุด B

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่2จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแกนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2

จากรูปที่ 5.23 จะพบว่าค่าความเค้นวอนมิสสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานมีค่าประมาณ 36.6 เมกะปาสคาล(MPa) ซึ่งมีความมากกว่าชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2(รูปที่ 5.19) แต่จากน้ำหนักที่ลดลงได้เยอะมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยรูปแบบที่ 1 และตำแหน่งของความเค้นที่เกิดขึ้นไม่กระจุกอยู่ที่ข้อต่อต่างๆ มากจนเกินไปดังรูป



รูปที่ 5.24 แสดงผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2

$$\text{จากสมการค่าความปลอดภัย} \quad N = \frac{S_y}{\sigma_{\text{von}}} \quad (5.1)$$

$$\text{กำหนดให้} \quad S_y = 250 \text{ เมกะปาสคาล(MPa)}$$

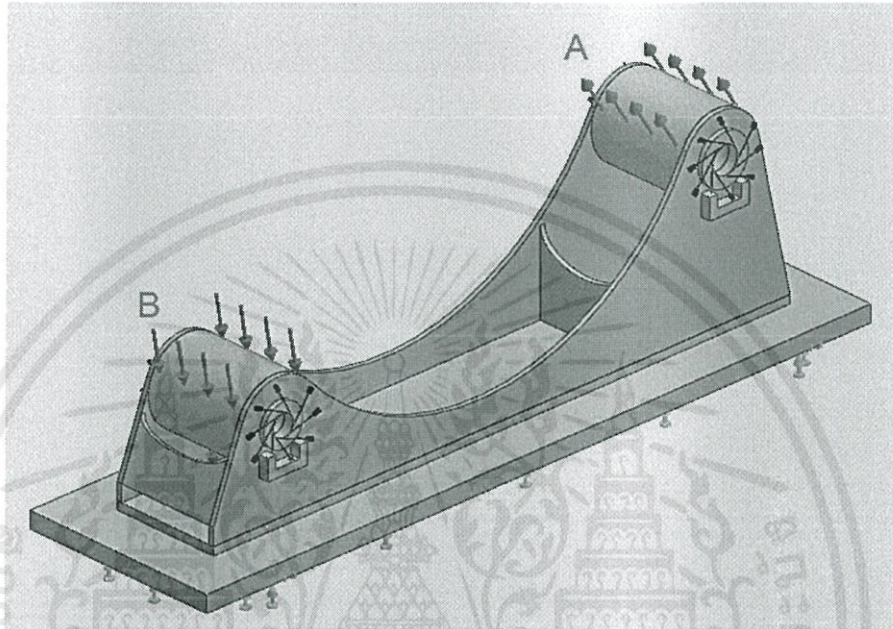
$$\sigma_{\text{von}} = 36.6 \text{ เมกะปาสคาล(MPa)}$$

จะได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 6.8

จากผลจากการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2 จะได้ค่าความปลอดภัยมากกว่า 5 จึงสามารถยืนยันได้ว่าชิ้นงานนี้สามารถรับภาระได้โดยไม่มี การเสียรูป(จากตารางที่ 2.3) อีกทั้งชิ้นงานรูปแบบที่ 2 มีน้ำหนักลดน้อยลงมาจากชิ้นงานรูปแบบที่ 1 ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ เราจึงเลือกชิ้นงานแบบที่ 2 นี้เพื่อมาผลิตชิ้นงานต้นแบบคิบบ้อยให้ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ และจากผลการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานจุดจับยึดชุดแขนคิบบ้อยรูปแบบที่ 2 นี้สามารถทำให้เราทราบถึงค่าแรงที่กระทำตามแนวแกนของน็อตตัวผู้แต่ละตัวได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกนของน็อตตัวผู้ในแต่ละตำแหน่ง

| Axial Force (N) |      |   |      |           |
|-----------------|------|---|------|-----------|
| Position        | X    | Y | Z    | Resultant |
| A               | 7782 | 0 | 0    | 7782      |
| B               | 9625 | 0 | -151 | 9626      |



รูปที่ 5.25 แสดงตำแหน่งของน็อตตัวผู้

5.2.2 การคำนวณทางทฤษฎีเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.2.2.1 การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้ที่ตำแหน่ง A

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขันตันทึ่ทำการยึดชิ้นงานให้ติดกันดังสมการที่(5.14)

$$T = KdF_i \quad (5.14)$$

กำหนดให้ แรงบิดที่ใช้  $T = 50$  นิวตันเมตร(N-m)

แฟกเตอร์น็อตตัวเมีย(Nut factor) $K = 0.20$

เส้นผ่านศูนย์กลางน็อตตัวผู้  $d = 32$  มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเฉพาะที่ขอสงวนสิทธิ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการแก้สมการหาแรงขันตันท่ทำการยึดขันงานให้ติดกัน(Preload) จะได้

$$F_i = \frac{50}{0.20(0.032)} = 7,812 \text{ N}$$

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบจำลองขันงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ตารางที่ 5.4) เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนจากการทดสอบแบบจำลองขันงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้

$$\frac{|7812 - 7782|}{7812} \times 100 = 0.4 \%$$

### 5.2.2.2 การคำนวณหาแรงที่กระทำต่อน็อตตัวผู้ที่ตำแหน่ง B

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ใช้กับแรงขันตันท่ทำการยึดขันงานให้ติดกันดังสมการที่(5.14)

$$T = KdF_i \quad (5.14)$$

กำหนดให้ แรงบิดที่ใช้  $T = 50$  นิวตันเมตร(N-m)

แฟกเตอร์น็อตตัวเมีย(Nut factor)  $K = 0.20$

เส้นผ่านศูนย์กลางน็อตตัวผู้  $d = 26$  มิลลิเมตร

ทำการแก้สมการหาแรงขันตันท่ทำการยึดขันงานให้ติดกัน(Preload) จะได้

$$F_i = \frac{50}{0.20(0.026)} = 9,615 \text{ N}$$

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบจำลองขันงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์(ตารางที่ 5.4) เพื่อหาค่าความคาดเคลื่อนจากการทดสอบแบบจำลองขันงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้

$$\frac{|9615 - 9625|}{9615} \times 100 = 0.1 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




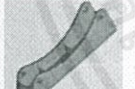

## บทที่ 6

### วิจารณ์และสรุปผล

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

ในการดำเนินงานสามารถตอบวัตถุประสงค์โดยสามารถออกแบบและทำการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานได้ โดยผลที่ได้เมื่อนำมาเทียบกับการคำนวณจากทฤษฎีมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่มาก รวมถึงชิ้นงานที่ออกแบบมาสามารถพัฒนาและแก้ไขให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ และมีค่าความปลอดภัย(Safety Factor) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ดังตาราง

ตารางที่ 6.1 แสดงการสรุปผล ปัญหาและการแก้ไขในการออกแบบชิ้นงาน

| Picture   | Name           | Problem   | Solution  | Weight(kg) | FOS  |
|---|----------------|---|---|------------|------|
|   | MID BRACKET 1  | 1. แรงกระทำอยู่ที่จุดยึดต่อเพียงจุดเดียว<br>2. ชิ้นงานมีปริมาตรสูงโดยไม่มีประโยชน์ต่อการรับภาระ<br>3. ชิ้นงานมีน้ำหนักมากเกินไปจนความจำเป็น | -   | 9.8        | 6.3  |
|  | MID BRACKET 2  | -   | 1. ออกแบบให้แรงกระจายไปในชิ้นงาน<br>2. ปรับเปลี่ยนรูปร่างตัดส่วนที่ไม่ได้รับการออก<br>3. ลดขนาดของวัสดุลง เพื่อลดน้ำหนักที่เกิน<br>จำเป็น<br>4. ค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ | 7.1        | 6.6  |
|  | REAR BRACKET   | -   | 1. ออกแบบให้ชิ้นงานมีน้ำหนักไม่มากเกินไป<br>2. ค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้  | 72.8       | 5.3  |
|  | BOOM BRACKET 1 | 1. ชิ้นงานมีขนาดใหญ่เกินไปไม่มีประโยชน์ต่อการรับภาระ<br>2. ชิ้นงานมีน้ำหนักมากเกินไปจนความจำเป็น  | -   | 26.6       | 20.7 |
|  | BOOM BRACKET 2 | -   | 1. ออกแบบให้แรงกระจายไปในชิ้นงาน<br>2. ปรับเปลี่ยนรูปร่างตัดส่วนที่ไม่ได้รับการออก<br>3. ลดขนาดของวัสดุลง เพื่อลดน้ำหนักที่เกิน<br>จำเป็น<br>4. ค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ | 2.1        | 6.8  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.2 อุปสรรคและปัญหาระหว่างการดำเนินงาน

ในขั้นตอนการดำเนินงานสามารถดำเนินไปได้อย่างล่าช้า เนื่องจากงานออกแบบชิ้นส่วนจุดจับยึดต้องเดินไปพร้อมกับงานออกแบบตัวรถทั้งคัน ซึ่งหากชิ้นงานส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดปัญหาขึ้นจะทำให้ตารางเวลาการดำเนินงานต้องเลื่อนออกไป รวมไปถึงปัญหาอื่น ๆ ที่ไม่ได้คาดคิดตัวอย่างเช่น ความผิดพลาดจากโปรแกรมในการวาดแบบสามมิติของชิ้นงานที่ทำให้ต้องแก้ไข หรือวาดแบบสามมิติใหม่อีกหลายรอบ ความล่าช้าในการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานซึ่งใช้เวลานาน เช่นนั้นตารางเวลาหลักในการผลิตชิ้นงานต้นแบบเพื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบผลได้เลื่อนออกไป ทำให้การดำเนินงานไม่สามารถทดสอบชิ้นงานจริงได้ตามกำหนดการ

## 6.3 แนวทางในการแก้ไขและพัฒนาการออกแบบชิ้นส่วนจุดจับยึดในรถแทรกเตอร์

6.3.1 ในการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานนั้นได้ทดสอบเพียงการจำลองชิ้นงาน และทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เปรียบเทียบผลกับการคำนวณทางทฤษฎี แต่หากต้องการผลที่แม่นยำและยืนยันว่าการตั้งค่าการทดสอบแบบจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นถูกต้อง จะต้องมีการทดสอบชิ้นงานจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง และหาแนวโน้มในการตั้งค่าการทดสอบแบบจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย

6.3.2 ในการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานนั้นได้ทดสอบเพียงแบบสถิตยศาสตร์(Statics) แต่ในการใช้งานจริงนั้นจะมีภาระเนื่องจากพลศาสตร์(Dynamics) ซึ่งเป็นสิ่งที่อาจทำให้ชิ้นงานเกิดความล้า (Fatigue) และเสียหายได้หากมีการพัฒนาการทดสอบแบบจำลองชิ้นงานในส่วนของพลศาสตร์ (Dynamics) จะทำให้การทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 6.1 แสดงตัวอย่างการทดสอบแบบสถิตยศาสตร์(Statics)

## เอกสารอ้างอิง

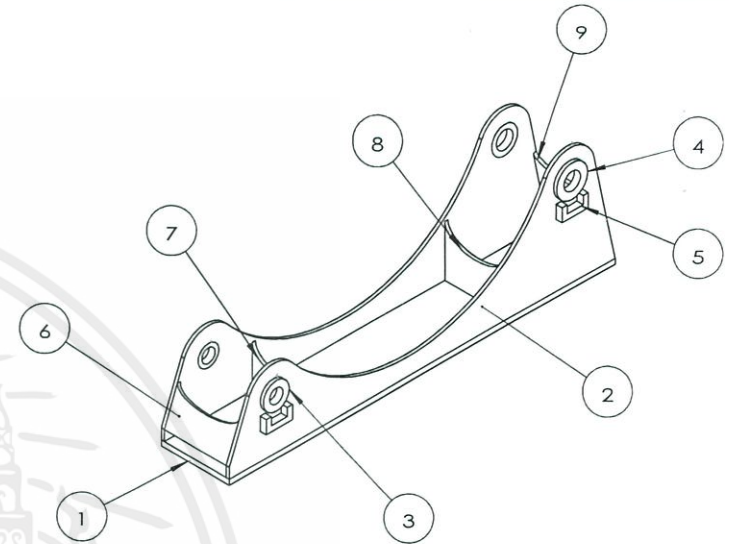
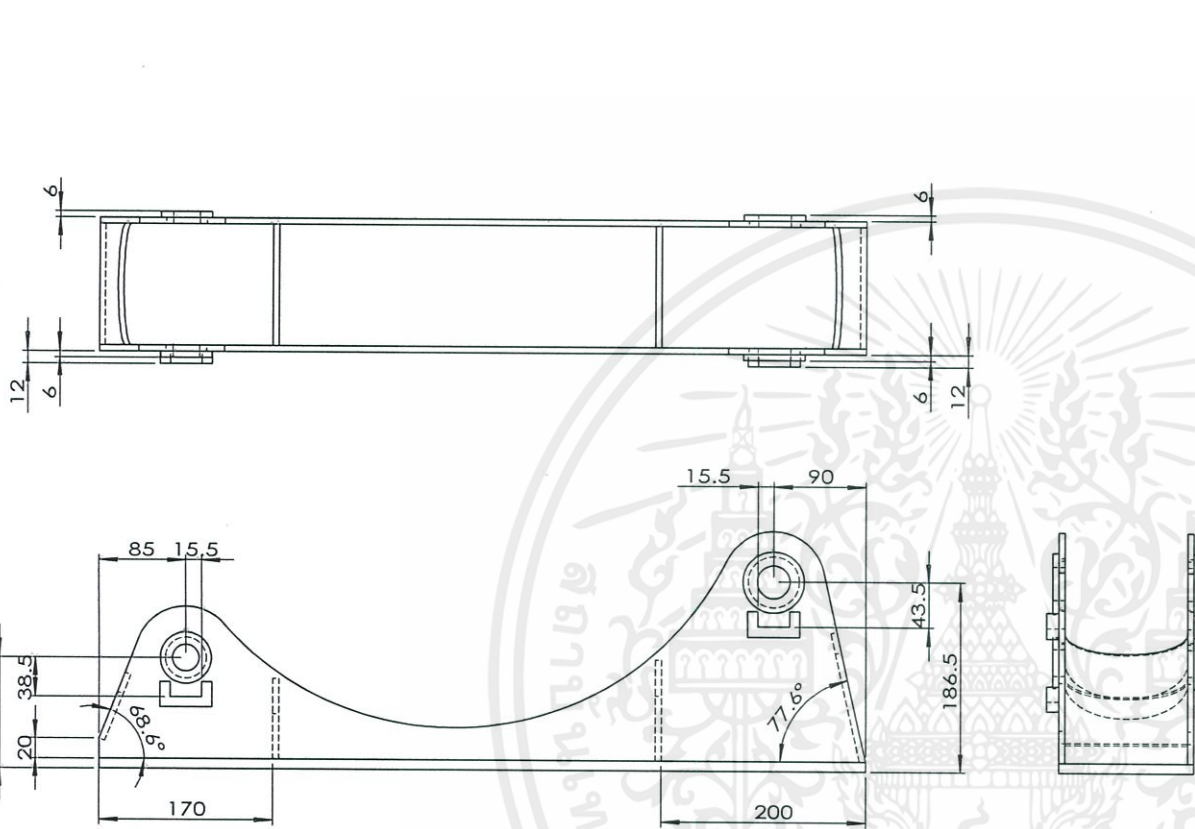
- [1] กรมวิชาการเกษตร,อ้อย.,[Online] Available : <http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=13>
- [2] ฮิบเบเลอร์, รุสเซลซี.,กลศาสตร์วิศวกรรม : ภาคสถิตยศาสตร์= **Engineering mechanics statics** แปลและเรียบเรียงโดยบุรฉัตร ฉัตรวีระ, วิศิษฐ์ เดชพันธ์. กรุงเทพมหานคร : ไซมอน แอนด์ ชูสเตอร์ อินโดไชน่า, 2541.
- [3] Robert L. Norton, **Machine Design: An Integrated Approach**, Fourth ed.,New Jersey : Pearson Prentice Hall, Inc.2011.
- [4] R. E. Cornwell, “Computation of Load Factors in Bolted Connections”, Proc. IMechE, J. Mech. Eng. Sci., 223c, pp. 795-808, Inc.2009.
- [5] Kevin H. Brown, Charles Morrow, Samuel Durbin, Allen Baca, **Guideline for Bolted Joint Design and Analysis: Version 1.0**, Sandia National Laboratories, Inc.2008.
- [6] **Connector – Bolt**, [Online] Available : [http://help.solidworks.com/2013/English/SolidWorks/cworks/r\\_connector\\_bolt.htm?id=4218618693de421892702345635c307f#Pg0](http://help.solidworks.com/2013/English/SolidWorks/cworks/r_connector_bolt.htm?id=4218618693de421892702345635c307f#Pg0)
- [7] Ugural, A.C., **Mechanics of Materials**, United States of America: John Wiley & Sons,Inc.,2007.
- [8] **Kubota L4200**, [Online] Available : <http://www.tractordata.com/farm-tractors/001/3/0/1307-kubota-l4200.html>
- [9] **List of Kubota**, [Online] Available : [http://kansaitractor.com/list\\_of\\_kubota/list\\_of\\_kubota.html](http://kansaitractor.com/list_of_kubota/list_of_kubota.html)
- [10] **SolidWorks Help**, [Online] Available : [http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/sldworks/c\\_introduction\\_toplevel\\_topic.htm](http://help.solidworks.com/2014/English/SolidWorks/sldworks/c_introduction_toplevel_topic.htm)
- [11] รองศาสตราจารย์ธีระยุทธ สุวรรณประทีป. **วิศวกรรมยานยนต์**. กรุงเทพมหานคร : บริษัทจูนพับลิชชิ่ง จำกัด, 2556.
- [12] **ASTM A36 Mild/Low Carbon Steel**, [Online] Available : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6117#5>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ISOMETRIC VIEW

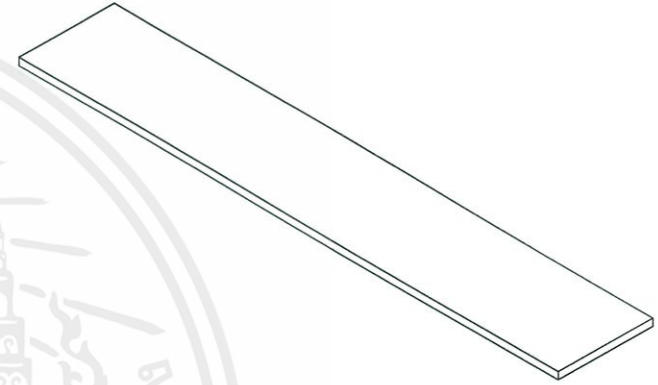
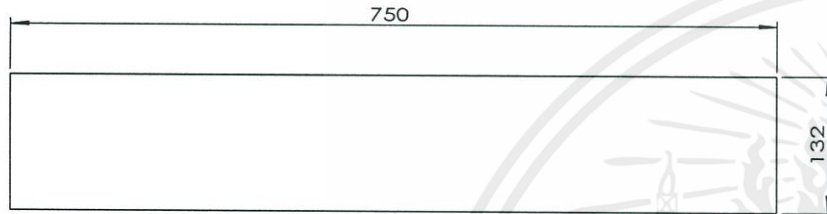
NOTE : CO WELDING ALL

| NO. | QTY. | PART NAME     |
|-----|------|---------------|
| 1   | 1    | BASE PART     |
| 2   | 2    | SIDE PART     |
| 3   | 2    | BUSH B        |
| 4   | 2    | BUSH A        |
| 5   | 2    | LOCK PIN      |
| 6   | 1    | CROSSMEMBER 1 |
| 7   | 1    | CROSSMEMBER 2 |
| 8   | 1    | CROSSMEMBER 3 |
| 9   | 1    | CROSSMEMBER 4 |

|      |                   |      |         |          |  |                        |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|------------------------|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.               | TITLE : BOOM BRACKET ASM  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION             | SCALE   | UNIT mm. PAGE 1/10   |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN W.TANAWAT        |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP      |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM EN.TSP   |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER | CUSTOMER NEME :   |                      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |                        |   |                      |

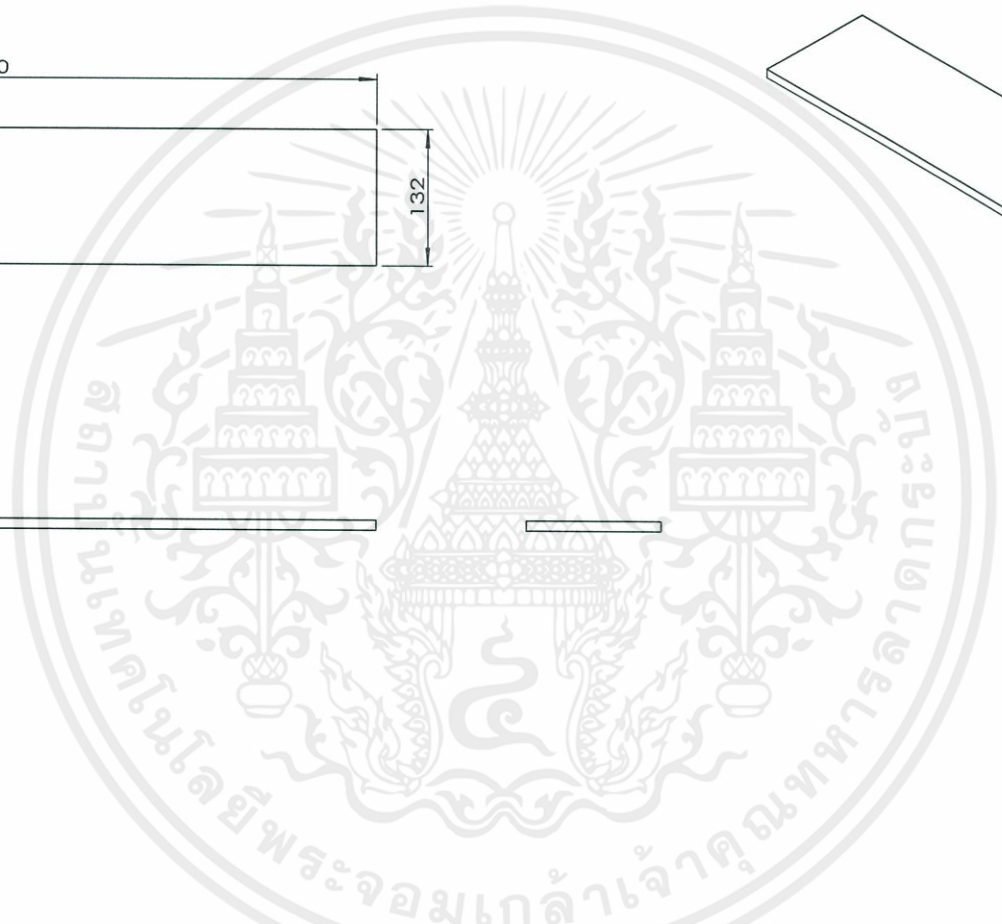
F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

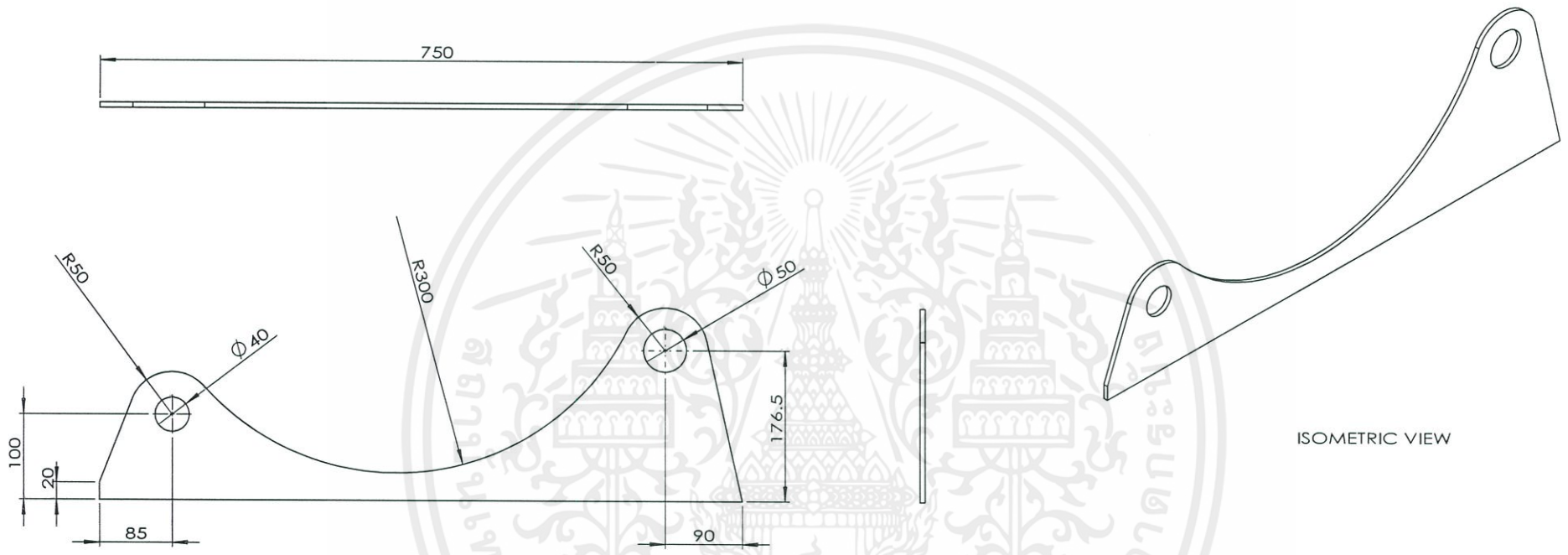


ISOMETRIC VIEW

NOTE : SHEET METAL 10 MM





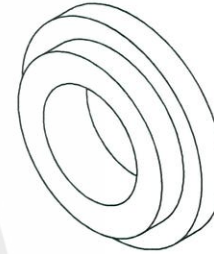
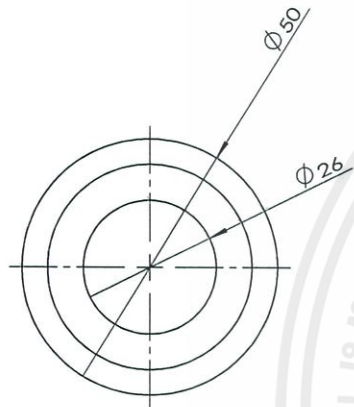
|      |                   |      |         |          |   |  |                         |
|------|-------------------|------|---------|----------|---|--|-------------------------|
|      |                   |      |         |          | PART NO.                                  | TITLE :<br>BASE PART   | MODEL :                 |
|      |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE                         | <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | UNIT mm.    PAGE 2/10   |
|      |                   |      |         |          | DRAWN    W.TANAWAT                        |  | NETWEIGHT               |
|      |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP<br>APPROVED FROM EN.TSP |  | LINE AROUND             |
|      |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER                    |  | GEN.TOL    REF.W-TS-004 |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |   |  | CUSTOMER NEME :         |



ISOMETRIC VIEW



NOTE : SHEET METAL 6 MM

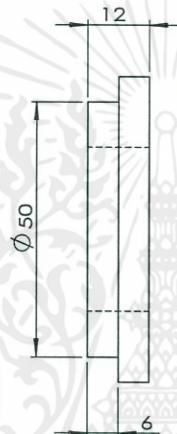
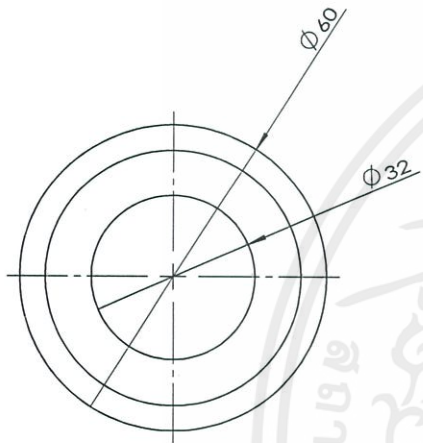
|      |                   |      |         |          |  |  |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|--|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.   | TITLE :<br>SIDE PART  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION  SCALE |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 Kingkaew Road, T.Rachatawa A, Bangplee Samuthprakarn 10540, THAILAND. | UNIT mm. PAGE 3/10   |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN W.TANAWAT  |   | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP  |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM EN.TSP   |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER   |   | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |  |   |                      |



ISOMETRIC VIEW



NOTE :

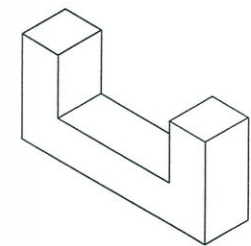
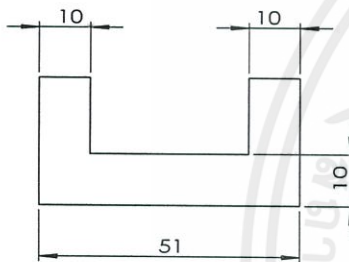
|      |                   |      |         |          |  |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.   | TITLE :<br>BUSH B   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee Samuthprakarn 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 4/10   |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT  |   | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP APPROVED FROM EN.TSP   |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER   |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |   | CUSTOMER NEME :      |



ISOMETRIC VIEW

NOTE :

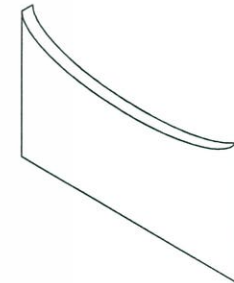
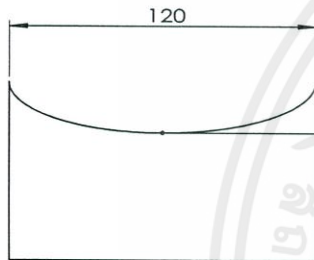
|      |                   |      |         |          |  |  |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|--|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.   | TITLE :<br>BUSH A  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION  SCALE |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 5/10   |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN W.TANAWAT  |  | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP  |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER   |  | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |  |  |                      |



ISOMETRIC VIEW

NOTE :

|      |                   |      |         |          |  |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.                               | TITLE :<br>LOCK PIN   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE                      | <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A,Bangplee<br>Samuthprakam 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 6/10   |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT                        |   | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP APPROVED FROM EN.TSP |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER                 |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |   | CUSTOMER NAME :      |



ISOMETRIC VIEW

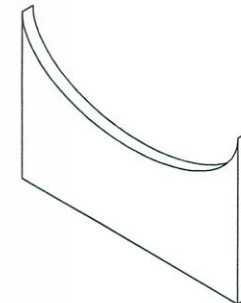
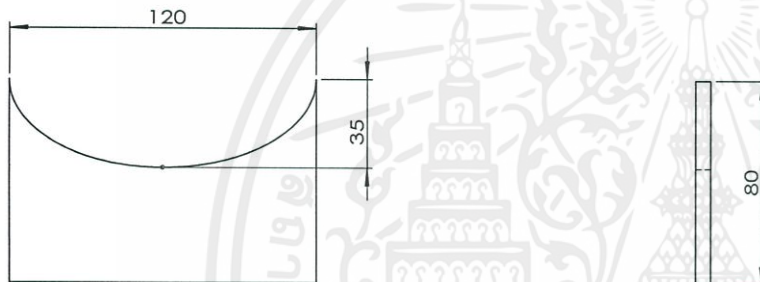
NOTE : SHEET METAL 6 MM

|      |                   |      |         |          |  |                        |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|------------------------|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.               | TITLE :<br>CROSSMEMBER 1  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION  SCALE      | <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa.A,Bangplee<br>Samuthprakam 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 7/10   |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN W.TANAWAT        |   | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP      |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM EN.TSP   |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER |   | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |                        |   |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TEMPLATE H A3



ISOMETRIC VIEW

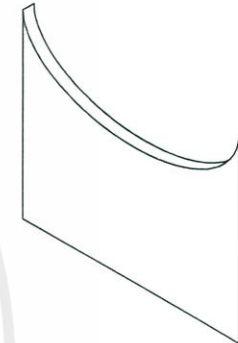
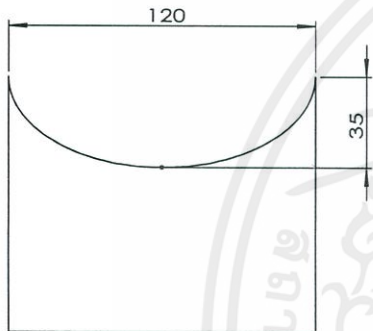
NOTE : SHEET METAL 6 MM

|      |                   |      |         |          |  |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.               | TITLE :<br>CROSSMEMBER 2   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 8/10   |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN W.TANAWAT        |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |                        |  |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

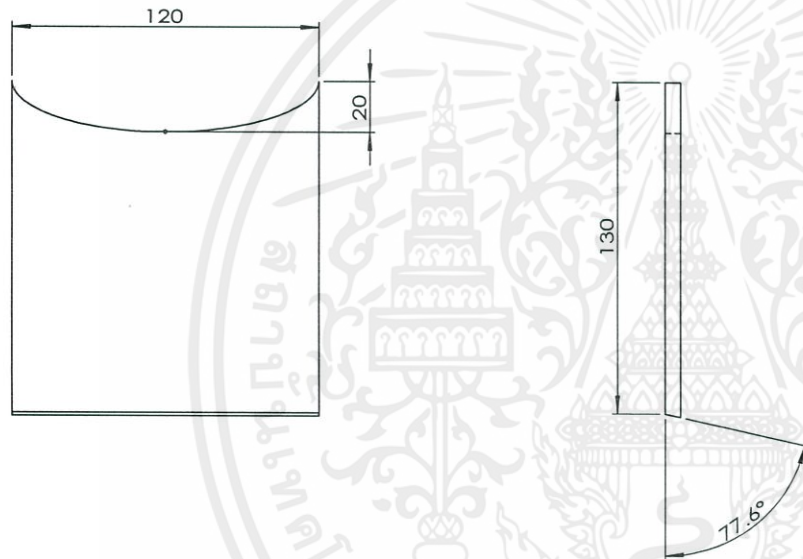
TEMPLATE H A3



ISOMETRIC VIEW


NOTE : SHEET METAL 6 MM

|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>CROSSMEMBER 3   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 9/10   |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT        |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A,Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |



ISOMETRIC VIEW

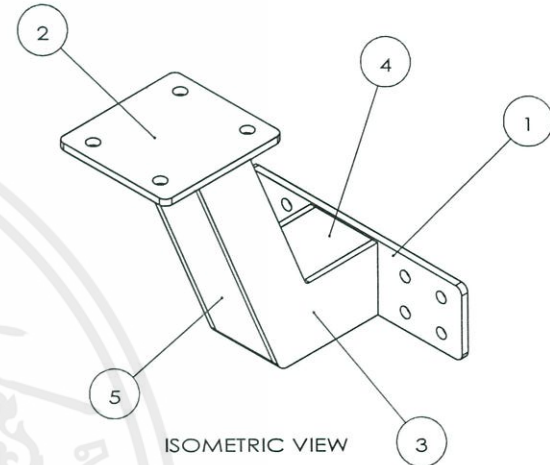
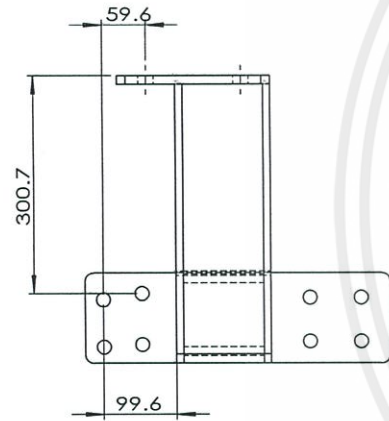
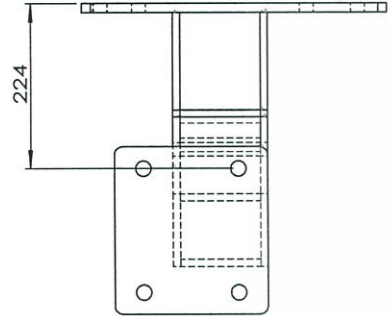
NOTE : SHEET METAL 6 MM

|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>CROSSMEMBER 4   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE      |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 10/10  |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT        |  | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOI REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER | CUSTOMER NEME :  |                      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

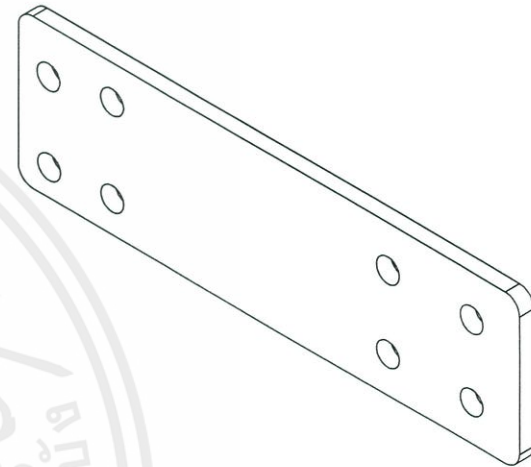
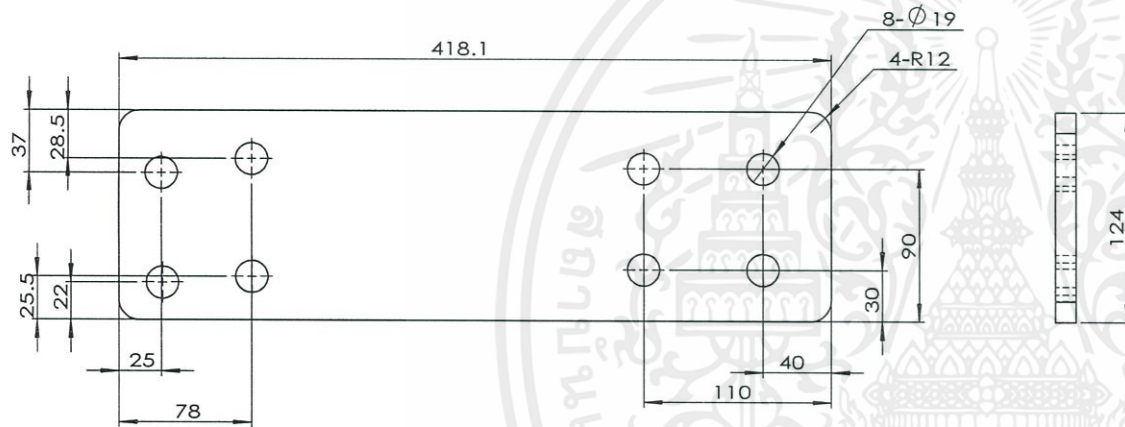
TEMPLATE H A3



NOTE : CO WELDING ALL


| NO. | QTY. | PART NAME    |
|-----|------|--------------|
| 1   | 1    | BASE PART    |
| 2   | 1    | SUPPORT PART |
| 3   | 2    | SIDE ARM     |
| 4   | 1    | TOP ARM      |
| 5   | 1    | BOTTOM ARM   |

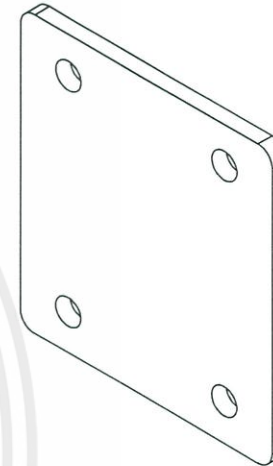
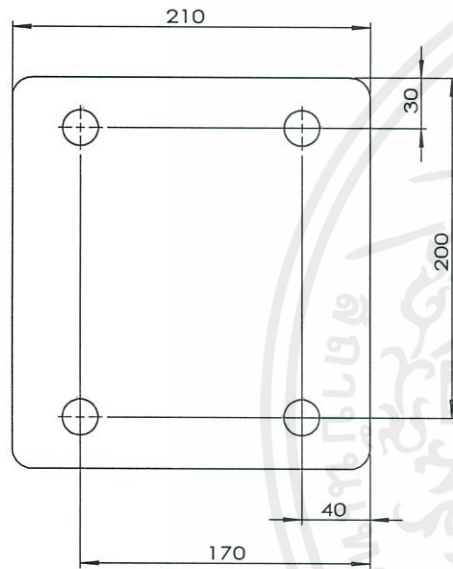
|      |                   |      |         |          |                        |                     |   |                   |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|---------------------|---|-------------------|
|      |                   |      |         |          |                        | PART NO.            | TITLE :   | MODEL :           |
|      |                   |      |         |          |                        | PROJECTION          | REAR FRAME BRACKET LEFT ASM.  |                   |
|      |                   |      |         |          |                        | SCALE               |   | UNIT mm. PAGE 1/6 |
|      |                   |      |         |          |                        | DRAWN S.SONGCHAI    | <p><b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br/>69 Moo12, Kingkaew Road, T.Rachatawa A, Bangplee<br/>Samuthprakam 10540, THAILAND.</p> | NETWEIGHT         |
|      |                   |      |         |          |                        | CHECK FROM EN.TSP   |   | LINE AROUND       |
|      |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   | GENTOL REF.W-TS-004 |   |                   |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED | APPROVED FROM CUSTOMER |                     |   | CUSTOMER NAME :   |



ISOMETRIC VIEW



NOTE : SHEET METAL 12 MM

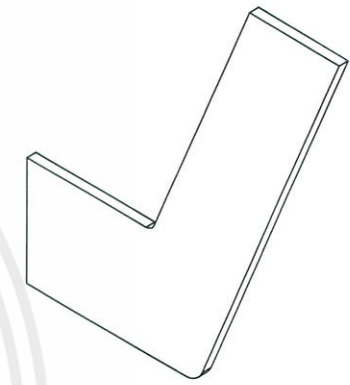
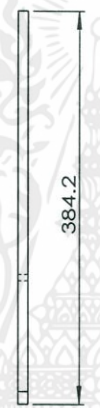
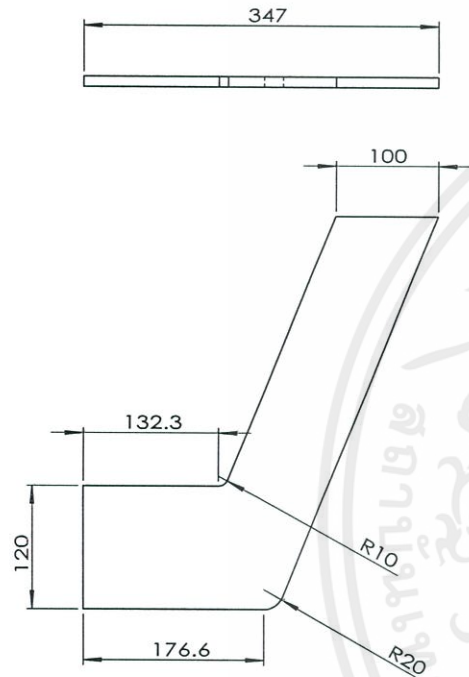
|      |                   |      |         |          |  |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.               | TITLE :<br>BASE PART   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 2/6    |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN<br>S.SONGCHAI    |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 .kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540.THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NAME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |                        |  |                      |



ISOMETRIC VIEW



NOTE : SHEET METAL 12 MM

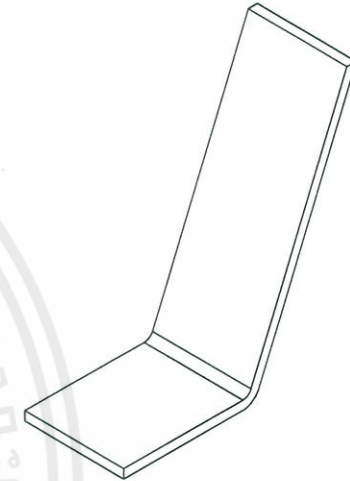
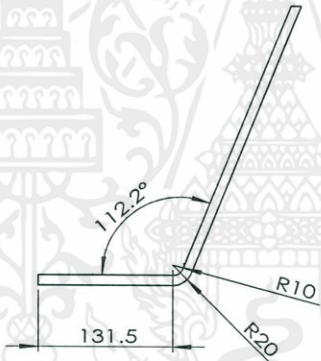
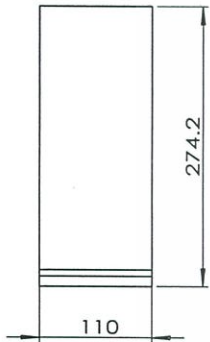
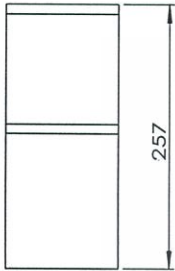
|      |                   |      |         |          |  |   |                       |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|---|-----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.   | TITLE :<br>SUPPORT PART   | MODEL :               |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12, Kingkaew Road, T.Rachatawa, A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540, THAILAND. | UNIT mm. PAGE 3/6     |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN S.SONGCHAI   |   | NETWEIGHT             |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP  |   | LINE AROUND           |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |   | GEN.TOI. REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER   |   | CUSTOMER NEME :       |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |   |                       |



ISOMETRIC VIEW


NOTE : SHEET METAL 10 MM

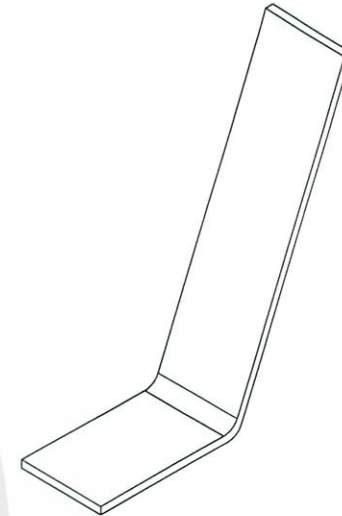
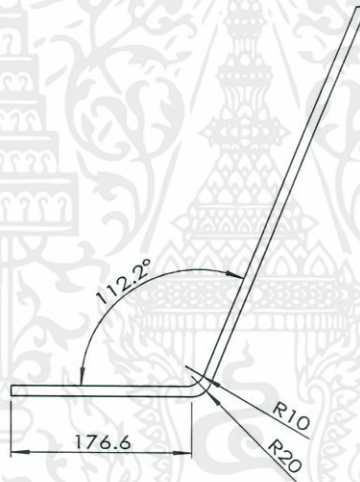
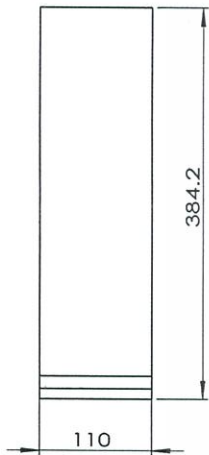
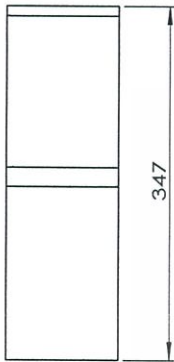
|      |                   |      |         |          |  |  |  |                       |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|--|--|-----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.   | TITLE : SIDE ARM   | MODEL :               |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION  SCALE |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12, Kingkaew Road, T.Rachatawa, A.Bangplee Samuthprakarn 10540, THAILAND. | UNIT mm. PAGE 4/6     |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN S.SONGCHAI   |  | NETWEIGHT             |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP APPROVED FROM EN.TSP   |  | LINE AROUND           |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER   |  | GEN.TOL. REF.W-TS-004 |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |  |  | CUSTOMER NEME :       |



ISOMETRIC VIEW


NOTE : SHEET METAL 10 MM BENDING

|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>TOP ARM   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 5/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN S.SONGCHAI       |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | CUSTOMER NEME :      |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  |                      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |



ISOMETRIC VIEW

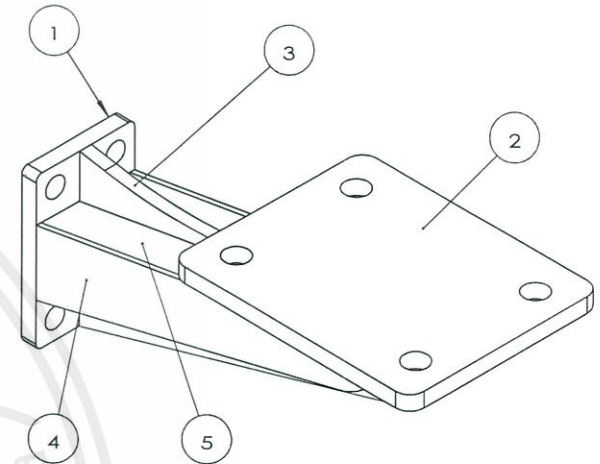
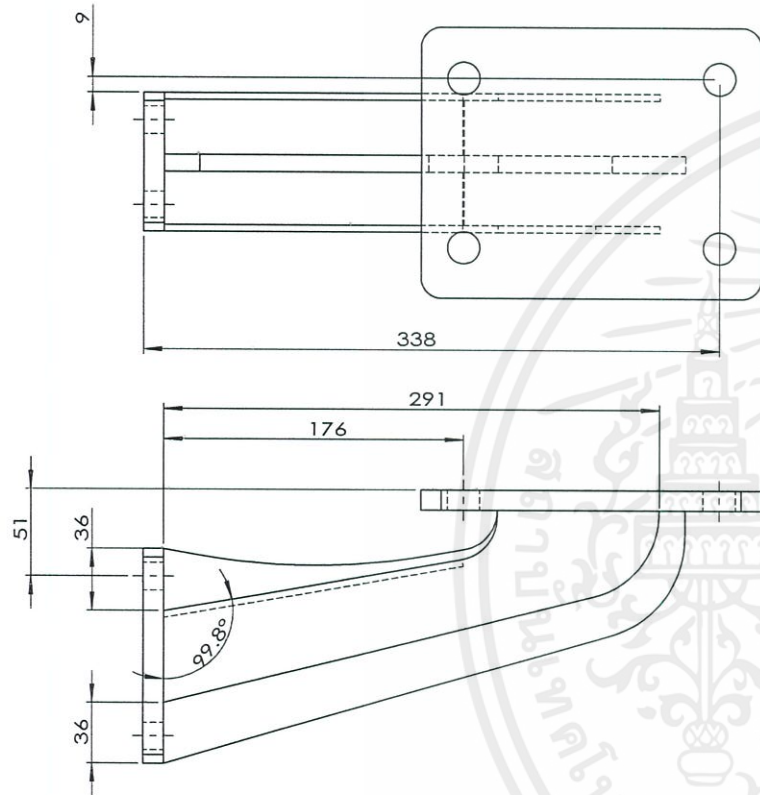
NOTE : SHEET METAL 10 MM BENDING

|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>BOTTOM ARM  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 6/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN S.SONGCHAI       |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | GEN.TOI REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | CUSTOMER NAME :      |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  |                      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า


TEMPLATE H A3

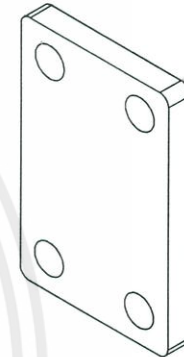
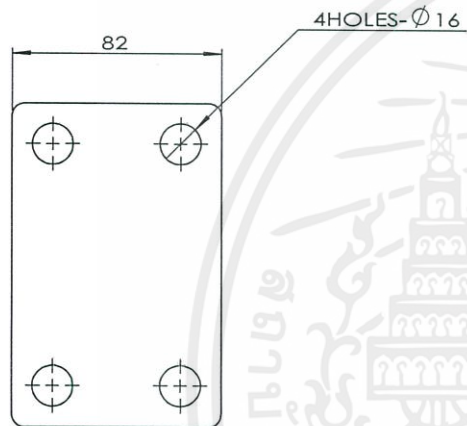


ISOMETRIC VIEW

NOTE : CO WELDING ALL

| NO. | QTY. | PART NAME    |
|-----|------|--------------|
| 1   | 1    | BASE PART    |
| 2   | 1    | SUPPORT PART |
| 3   | 1    | MAIN ARM     |
| 4   | 2    | SIDE ARM     |
| 5   | 2    | FIN          |

|      |                   |      |         |          |   |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|---|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.                                  | TITLE :<br>MID FRAME BRACKET ASM.   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION                                | SCALE   | UNIT mm. PAGE 1/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN<br>W.TANAWAT                        |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakam 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP<br>APPROVED FROM EN.TSP |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER                    |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |   |   | CUSTOMER NAME :      |



ISOMETRIC VIEW

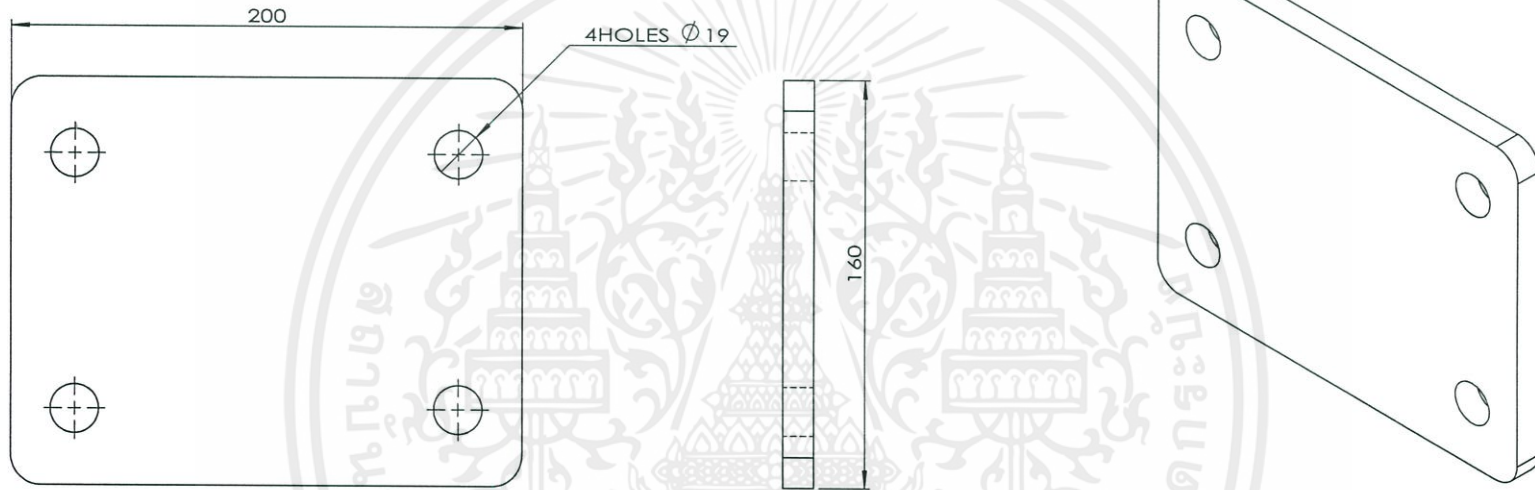
NOTE : - SHEET METAL 12 MM  
- 4 POINTS FILLET R=5 MM

|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>BASE PART   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE      | <br><b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 2/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT        |  | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

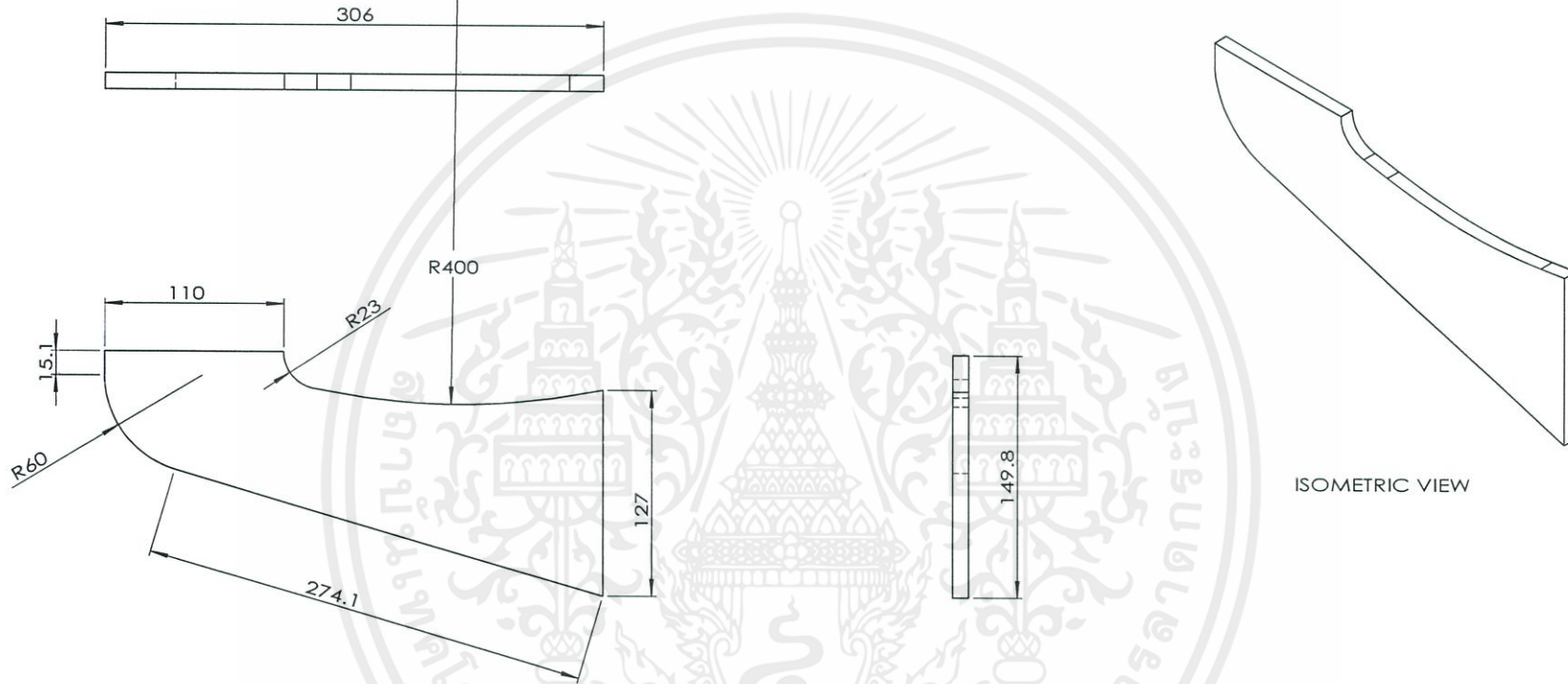
TEMPLATE H A3



ISOMETRIC VIEW


NOTE : - SHEET METAL 12 MM  
 - 4 POINTS FILLER R=5 MM

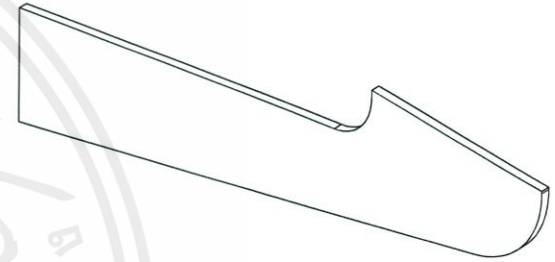
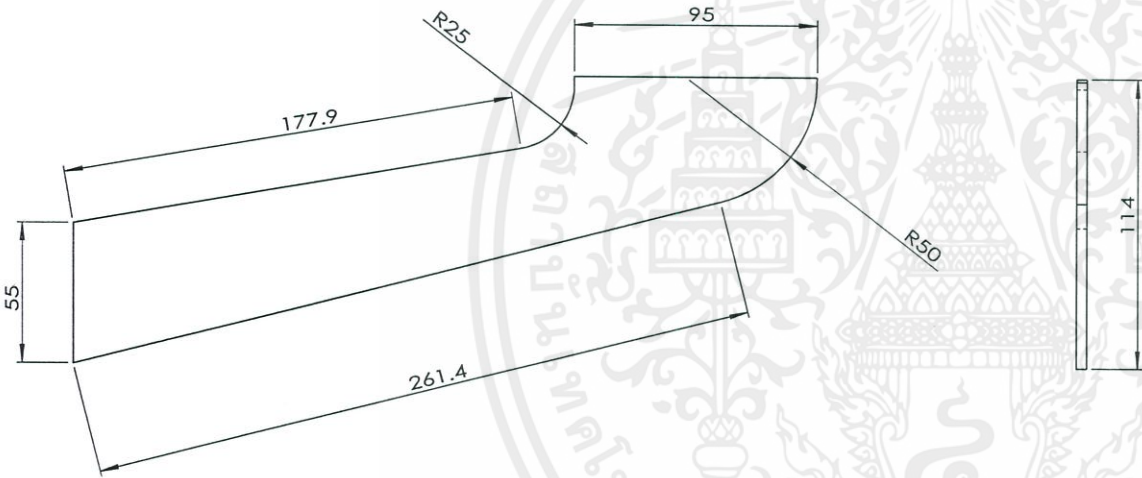
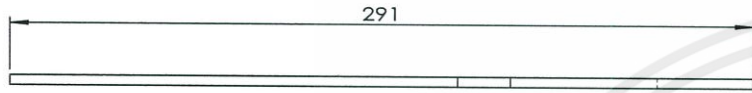
|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>SUPPORT PART  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 3/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN                  | W.TANAWAT  | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      | <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |



ISOMETRIC VIEW


NOTE : SHEET METAL 10 MM

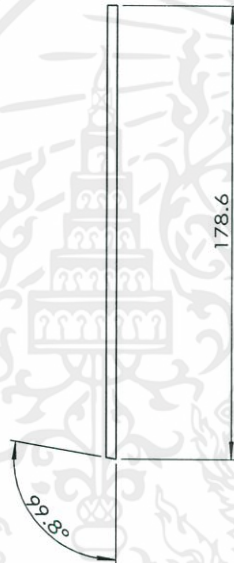
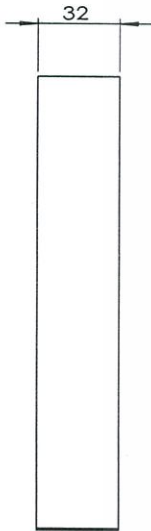
| △    |                   |      |         |          | PART NO.  | TITLE :<br>MAIN ARM  | MODEL :              |  |
|------|-------------------|------|---------|----------|---|--|----------------------|--|
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION                                      | SCALE  | UNIT mm. PAGE 4/6    |  |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN<br>W.TANAWAT                              |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |  |
| △    |                   |      |         |          | CHECK<br>FROM EN.TSP<br>APPROVED<br>FROM EN.TSP |  | LINE AROUND          |  |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED<br>FROM CUSTOMER                       |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |  |
| △    |                   |      |         |          |   |  | CUSTOMER NEME :      |  |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |   |  |                      |  |



ISOMETRIC VIEW

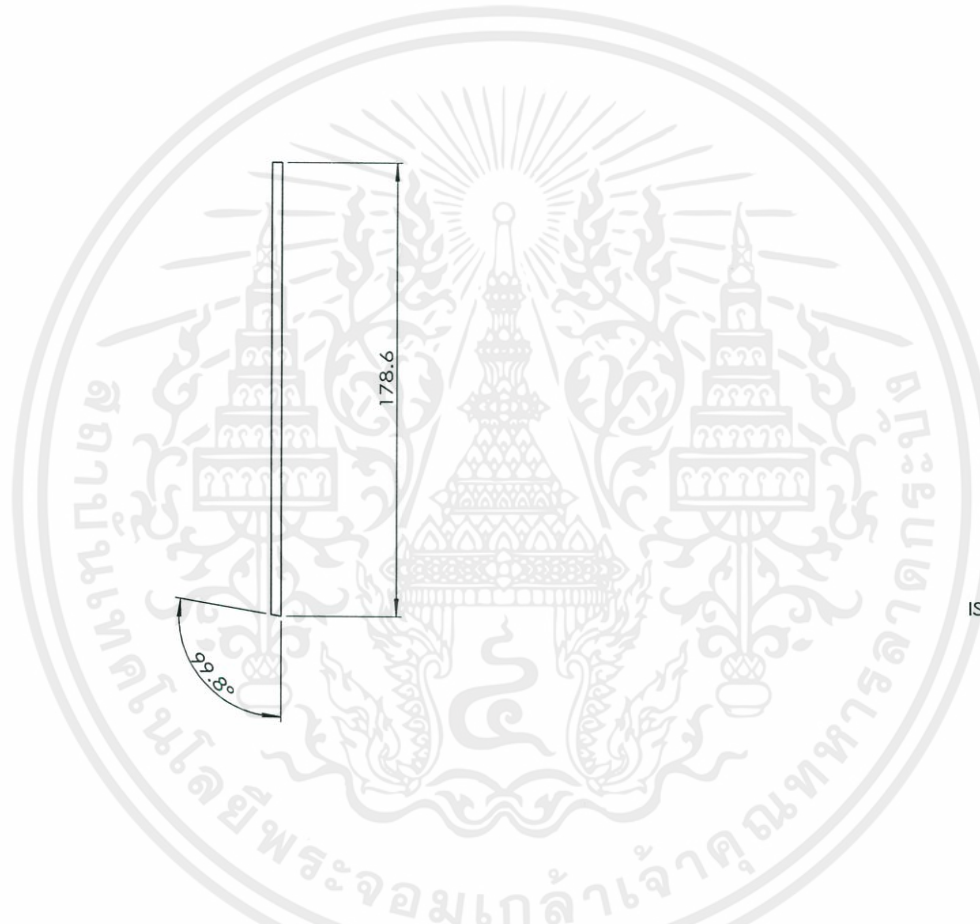
NOTE : SHEET METAL 4 MM


|      |                   |      |         |          |                        |   |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|---|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE : SIDE ARM  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION             | SCALE   | UNIT mm. PAGE 5/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT        |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |   | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |   | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |   | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |   |                      |

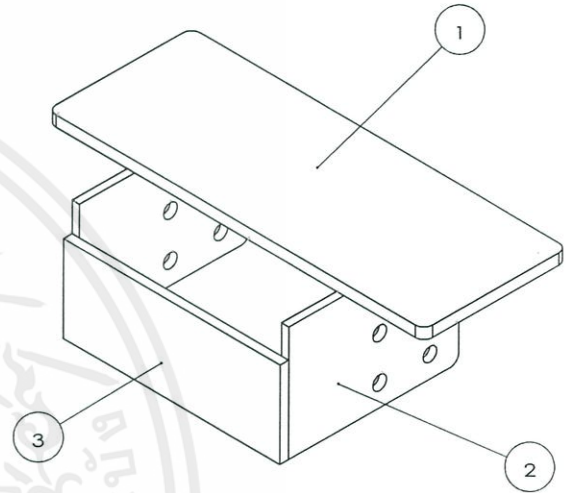
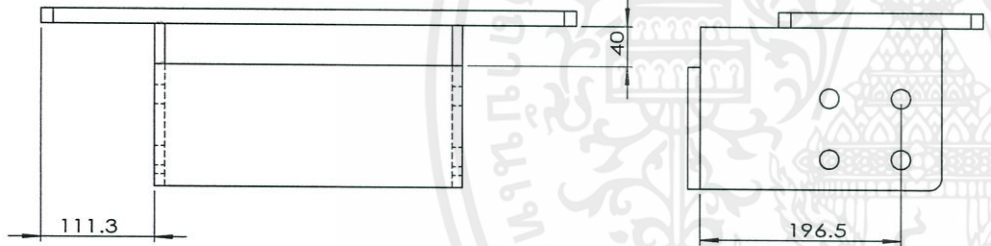
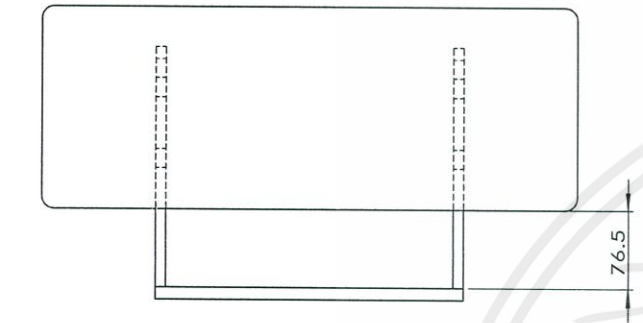


ISOMETRIC VIEW

NOTE : SHEET METAL 4 MM



|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE : FIN  | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE      |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,Kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | UNIT mm. PAGE 6/6    |
| △    |                   |      |         |          | DRAWN W.TANAWAT        |  | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOI REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NEME :      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |



ISOMETRIC VIEW

NOTE : CO WELDING ALL


| NO. | QTY. | PART NAME    |
|-----|------|--------------|
| 1   | 1    | SUPPORT PART |
| 2   | 2    | SIDE PART    |
| 3   | 1    | MID PART     |

|      |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
|      |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>REAR FRAME BRACKET MID ASM.   | MODEL :              |
|      |                   |      |         |          | PROJECTION  SCALE      |  | UNIT mm. PAGE 1/4    |
|      |                   |      |         |          | DRAWN J.CHOCKCHAI      | <br><b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
|      |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
|      |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED | APPROVED FROM CUSTOMER |  | CUSTOMER NEME :      |



ISOMETRIC VIEW

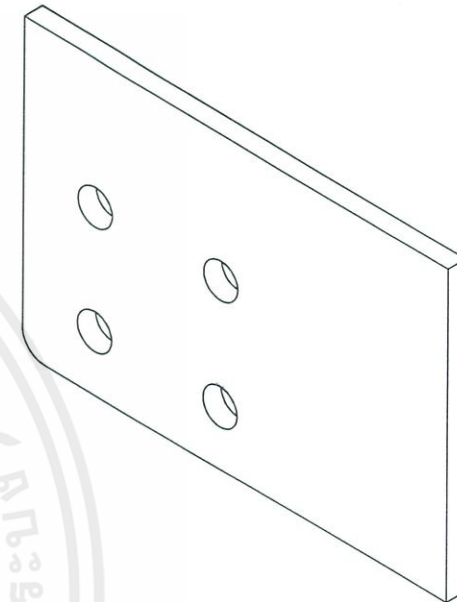
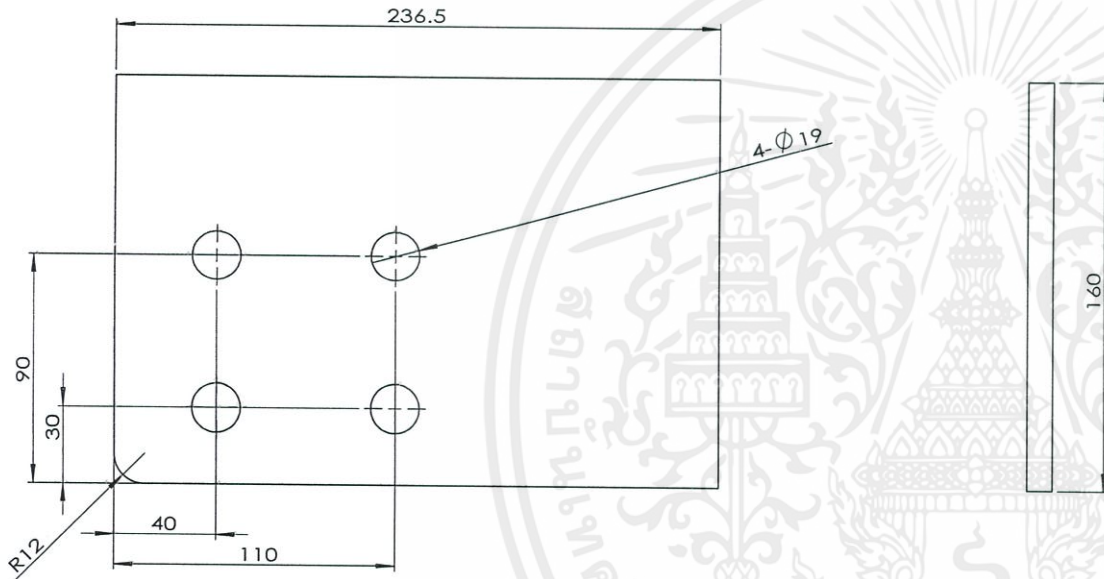
NOTE : SHEET METAL 15 MM

|                            |                   |      |         |          |                        |  |                      |
|----------------------------|-------------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △<br>△<br>△<br>△<br>△<br>△ |                   |      |         |          | PART NO.               | TITLE :<br>SUPPORT PART  | MODEL :              |
|                            |                   |      |         |          | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 2/4    |
|                            |                   |      |         |          | DRAWN J.CHOCKCHAI      |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
|                            |                   |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | LINE AROUND          |
|                            |                   |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| ITEM                       | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED | APPROVED FROM CUSTOMER | CUSTOMER NEME :  |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TEMPLATE H A3



ISOMETRIC VIEW

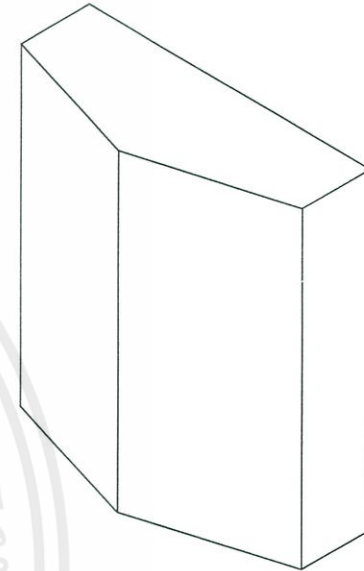
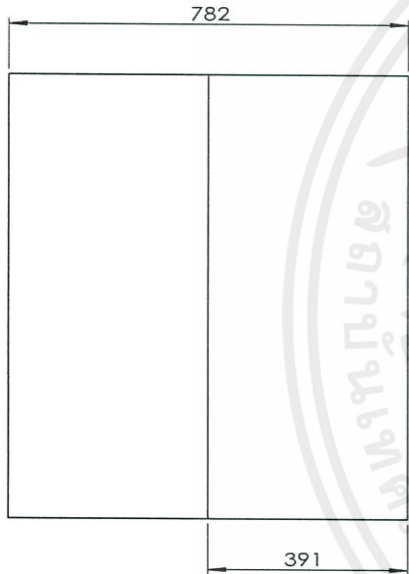
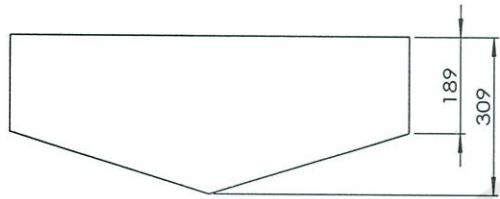
NOTE : SHEET METAL 10 MM

|      |                 |      |         |          |                        |  |                      |
|------|-----------------|------|---------|----------|------------------------|--|----------------------|
| △    |                 |      |         |          | PART NO.               | TITLE : SIDE PART  | MODEL :              |
| △    |                 |      |         |          | PROJECTION             | SCALE  | UNIT mm. PAGE 3/4    |
| △    |                 |      |         |          | DRAWN J.CHOCKCHAI      |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                 |      |         |          | CHECK FROM EN.TSP      |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                 |      |         |          | APPROVED FROM EN.TSP   |  | CUSTOMER NEME :      |
| △    |                 |      |         |          | APPROVED FROM CUSTOMER |  |                      |
| ITEM | ECN/DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |                        |  |                      |

F-EN-01 REV:04 DATE: 08/12/2009 REMARK: ( ) ABOUT VALUE OF DIMENSION, (+) TOLERANCE OF EN. TSP


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TEMPLATE H A3



ISOMETRIC VIEW

NOTE : MATERIAL ASTM A36 STEEL

|      |                   |      |         |          |  |                        |                      |  |                      |
|------|-------------------|------|---------|----------|--|------------------------|----------------------|--|----------------------|
| △    |                   |      |         |          |  | PART NO.               | TITLE :              | WEIGHT   | MODEL :              |
| △    |                   |      |         |          |  | PROJECTION             | SCALE                |  | UNIT mm. PAGE 1/1    |
| △    |                   |      |         |          |  | DRAWN                  | S.SONGCHAI           |  <b>T.S.P. TOOLS CO.,LTD</b><br>69 Moo12 ,kingkaew Road,T.Rachatawa,A.Bangplee<br>Samuthprakarn 10540,THAILAND. | NETWEIGHT            |
| △    |                   |      |         |          |  | CHECK FROM EN.TSP      | APPROVED FROM EN.TSP |  | LINE AROUND          |
| △    |                   |      |         |          |  | APPROVED FROM CUSTOMER |                      |  | GEN.TOL REF.W-TS-004 |
| △    |                   |      |         |          |  |                        |                      | CUSTOMER NAME :  |                      |
| ITEM | ECN / DESCRIPTION | DATE | REVISED | APPROVED |  |                        |                      |  |                      |