



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรงสำหรับประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ
และประกอบล้อเข้ากับตุ้มล้อในรถแทรกเตอร์

Design and Fabrication of Labour-Saving Machine for Assembly
Balancing Equipment into Wheel and Assembly Wheel into Wheel
Hub in the Tractor

นายภัทรสันต์ แก้วคำภา

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การออกแบบและสร้างเครื่องทუნแรงสำหรับประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและประกอบล้อเข้ากับดุมล้อในรถแทรกเตอร์
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นายภัทรสันต์ แก้วคำภา
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายรัชชวิน ทองสว่างแจ้ง
สถานประกอบการ	บริษัท ซีเอ็นเอช อินดัสเทรียล (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องทუნแรงที่ใช้สำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ ซึ่งจากสภาพการทำงานเดิมของพนักงานต้องใช้พนักงานจำนวน 3 คนในขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ เครื่องทุนแรงที่ได้ทำการออกแบบและสร้างนี้มี 2 ส่วน คือ 1.) ส่วนที่ใช้ประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ และ 2.) ส่วนที่ใช้ประกอบล้อเข้ากับดุมล้อ จากการคำนวณหาสัดส่วนความปลอดภัยของเครื่องทุนแรงทั้ง 2 ส่วน พบว่า ในส่วนที่ 1 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 20.223 และในส่วนที่ 2 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 5.654 หลังจากที่ได้ทำการทดลองใช้งานเครื่องทุนแรงของพนักงานในแผนกประกอบผลิตภัณฑ์แล้วทำการจับเวลา พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ของการใช้เครื่องทุนแรงลดลงจากสภาพการทำงานเดิมคิดเป็น 40.79 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนพนักงานที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ของการใช้เครื่องทุนแรงลดลงจากสภาพการทำงานเดิมคิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การออกแบบและสร้างเครื่องทุนแรง, อุปกรณ์ถ่วงล้อ, ดุมล้อ

Cooperative Title: Design and Fabrication of Labour-Saving Machine for Assembly Balancing Equipment into Wheel and Assembly Wheel into Wheel Hub in the Tractor

Student intern name: Pattarasan Kaewkampa

Faculty: Engineering **Department:** Agricultural Engineering

Advisor name: Asst.Prof. Dr. Teerapong Pholpho

Mentor name: Mr. Thuchawin Tongsawangjang

Company: CNH Industrial (Thailand) Limited

ABSTRACT

This research is to study the design and Fabricate of a labour-saving machine to assembly a rear wheel tractor. According to the original working conditions of the employees, there are 3 employees in the process of assembling the rear wheels of a tractor. The labor-saving machine that has been designed and Fabricated has two parts which are 1.) Parts used to assembly balancing equipment into a wheel and 2.) parts used to assembly wheel into a wheel hub. Calculating the safety factor of the two parts. As a result, the safety factor in first part is 20.223 and the safety factor in second part is 5.654. After the experiment using the labour-saving machine of the staff in the wholegoods assembly department. As a result, The time required to assembly the rear wheels of a tractor using a labour-saving machine has been reduced from original working conditions to 40.79 percent. Number of employees used in the process of assembling a rear wheel tractor has been reduced from original working conditions to 66.67 percent.

Keyword: Design and fabrication of labour-saving machine, Balancing equipment, Hub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและประกอบล้อเข้ากับคัมล้อ สามารถถูกลงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ผศ.ดร.ธีรพงศ์ ผลโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้าน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

คุณ Danilo Catalucci ผู้จัดการส่วนภูมิภาค และ คุณก่อพงษ์ เผ่าฤทธิ์ ผู้จัดการฝ่ายบริการ บริษัท ซีเอ็นเอช อินดัสเทรียล (ประเทศไทย) จำกัด ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับโอกาสในการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงให้คำแนะนำและความร่วมมือเป็นอย่างดี

คุณธัชชวิน ทองสว่างแจ้ง วิศวกรพี่เลี้ยง ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ที่คอยให้ความรู้ คำแนะนำ คอยช่วยเหลือในทุกๆด้าน ทั้งในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับปริญญาานิพนธ์และนอกเหนือจากปริญญาานิพนธ์ ทำให้สามารถดำเนินการวิจัยผ่านพ้นไปได้อย่างราบรื่น

พนักงานแผนกประกอบผลิตภัณฑ์ ที่คอยเอื้อเพื่อข้อมูล คำแนะนำ ความคิดเห็น และความร่วมมือในการทำปริญญาานิพนธ์ได้อย่างดี

ครอบครัว ลุง-ป้า พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องในภาควิชาทุกคน สำหรับความช่วยเหลือ กำลังใจ แรงสนับสนุน จนฝ่าฝืนอุปสรรค จนทำให้ปริญญาานิพนธ์สำเร็จไปด้วยดี

นายภัทรสันต์ แก้วคำภา

สารบัญ

เนื้อหา	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	9
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.7 สถานที่ดำเนินงาน.....	1
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การออกแบบ	5
2.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้าง	9
2.2.1 เหล็กเหนียว(Wrought iron)	9
2.2.2 เหล็กหล่อ(Cast iron)	10
2.1.3 เหล็กกล้า(Steel).....	12
2.3 ทฤษฎีทางกลศาสตร์	15

2.3.1 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ(Mechanical Property)	15
2.3.2 ทฤษฎีความเค้นดัดสูงสุด(Max bending stress principle)	18
2.3.3 รอยเชื่อม(Welding joint)	20
2.4 กระบอกไฮดรอลิกส์ (Hydraulics Cylinder)	22
2.4.1 กระบอกสูบทางเดียว (Single Acting Cylinder)	22
2.4.1.1 กระบอกสูบแบบแรม (Ram).....	23
2.4.1.2 กระบอกสูบแบบกล้องส่องหรือแบบเทเลสโคป (Telescoping cylinders)	24
2.4.2 กระบอกสูบสองทาง (Double Acting Cylinder).....	24
2.4.3 กระบอกสูบแบบมีคูชชั้นหรือหมอนกันกระแทก	25
2.4.4 กำลังและความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์	26
2.5 การออกแบบเพื่อความปลอดภัย (Safe Design).....	30
2.5.1 ความหมายของการออกแบบเพื่อความปลอดภัย	30
2.5.2 ประโยชน์ของการออกแบบเพื่อความปลอดภัย.....	30
2.5.3 การยศาสตร์กับการออกแบบเพื่อความปลอดภัย	31
2.5.4 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์	32
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	35
3.1 แนะนำบริษัทกรณีศึกษา.....	35
3.2 ศึกษาขั้นตอนการประกอบรถแทรกเตอร์	35
3.3 ศึกษาขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์แบบเดิม	37
3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางแก้ไข	39
3.3 การสำรวจและเก็บข้อมูลขนาดของอุปกรณ์ถ่วงล้อและขนาดล้อหลังของรถแทรกเตอร์แต่ละรุ่น	40
3.4 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องทุ่นแรง.....	41

3.5	ขั้นตอนการคำนวณความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนเครื่องทุ่นแรง	44
3.5.1	คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรง	44
3.5.2	การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดกับแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ	44
3.5.3	การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยภายใต้สภาวะแรงกดที่เกิดกับเสารับน้ำหนักของแขนยก อุปกรณ์ถ่วงล้อ	45
3.5.4	การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดกับคานรับน้ำหนักของล้อหลังรถแทรกเตอร์	46
3.5.5	การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของรอยเชื่อมที่เสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ	47
3.5.6	การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของรอยเชื่อมที่คานรับน้ำหนักล้อ	48
3.5.5	การเลือกขนาดกระบอกไฮดรอลิกส์	48
3.5.6	การเลือกใช้ขนาดของล้อเครื่องทุ่นแรง	49
3.8	ต้นทุนในการสร้างเครื่องทุ่นแรง	49
3.8.1	รายการ รายละเอียด และจำนวนของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องทุ่นแรง	49
3.8.2	มูลค่าของวัสดุอุปกรณ์แต่ละชนิดและต้นทุนรวมในการจัดสร้างเครื่องทุ่นแรง	50
บทที่ 4	ผลการวิจัย	51
4.1	ผลการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรง	51
4.2	ผลการประเมินเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบ	56
4.3	ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องทุ่นแรง	56
4.4	ผลการประเมินจำนวนพนักงานในขั้นตอนการประกอบ	57
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1	สรุปผลการวิจัย	58
5.1.1	ผลที่ได้รับ	59
5.1.2	ค่าใช้จ่าย	60
5.2	ปัญหาและอุปสรรค	60

5.3 ข้อเสนอแนะ.....	60
เอกสารอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก ก.....	ผ1
ภาคผนวก ข.....	ผ13
ภาคผนวก ค.....	ผ20



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 1- 1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 2- 1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล	10
ตารางที่ 2- 2 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความดัน อัตราการไหล และขนาดของกระบอกสูบ	28
ตารางที่ 2- 3 แสดงค่าขนาดของก้านสูบกับความยาวช่วงชักของก้านสูบที่เหมาะสมกับโหลด	29
ตารางที่ 2- 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานร่างกายของเพศหญิงและเพศชายในทำยีน	33
ตารางที่ 3- 1 แสดงขนาดของอุปกรณ์ถ่วงล้อและขนาดล้อหลังของรถแทรกเตอร์	40
ตารางที่ 3- 2 รายการ รายละเอียด และจำนวนของวัสดุอุปกรณ์	49
ตารางที่ 3- 3 ตารางแสดงมูลค่าของวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องทุ่นแรง	50
ตารางที่ 5- 1 แสดงค่าความปลอดภัยของเครื่องทุ่นแรง	58
ตารางที่ 5- 2 แสดงผลการประเมินของพนักงานในการใช้เครื่องทุ่นแรง	59

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 2- 1 แผนภาพของการออกแบบที่มีวงจรร้อนกลับ.....	6
รูปที่ 2- 2 การเกิดความเค้นดัดสูงสุด	18
รูปที่ 2- 3 การเกิดความเค้นในรอยเชื่อม	20
รูปที่ 2- 4 การเกิดความเค้นในรอยเชื่อมเมื่อรับแรงดัด.....	21
รูปที่ 2- 5 ระบายความร้อนทางเดียว.....	23
รูปที่ 2- 6 ระบายความร้อนแบบแรม	23
รูปที่ 2- 7 ระบายความร้อนสองทาง	25
รูปที่ 2- 8 ระบายความร้อนสองทางพร้อมคูชชั้นกันกระแทก	26
รูปที่ 2- 9 รูปแสดงแรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนออก	26
รูปที่ 2- 10 รูปแสดงแรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนกลับ.....	27
รูปที่ 3- 1 แผนภาพโดยรวมของขั้นตอนการประกอบล้อรถแทรกเตอร์แบบเดิม	38
รูปที่ 3- 2 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภาพก้างปลา	39
รูปที่ 3- 3 โปรแกรม SolidWork2017.....	42
รูปที่ 3- 4 แสดงการออกแบบส่วนที่ใช้ยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ	42
รูปที่ 3- 5 แสดงการออกแบบส่วนที่ใช้ประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ.....	43
รูปที่ 3- 6 แสดงแบบ 3 มิติของเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์.....	43
รูปที่ 4- 1 โครงสร้างเครื่องทุ่นแรง	52
รูปที่ 4- 2 เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์.....	54
รูปที่ 4- 3 การต่ออุปกรณ์ไฮดรอลิกส์เข้ากับเครื่องทุ่นแรง.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

รถแทรกเตอร์ถือเป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานให้แก่เกษตรกรทั่วทุกภูมิภาค จึงเป็นผลทำให้บริษัทที่ทำการผลิตรถแทรกเตอร์หลายบริษัทมีการแข่งขันและพัฒนารถแทรกเตอร์อย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้เกิดความพึงพอใจและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ทั้งทางด้านประสิทธิภาพการทำงาน การประหยัดเชื้อเพลิง การมีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลาย เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันอยู่ในยุคของเกษตร 4.0 ตามนโยบายของรัฐบาลและประเทศไทยยังเป็นประเทศเกษตรกรรมส่งออกผลผลิตทางการเกษตรเป็นอันดับต้นๆของโลก ทำให้ความต้องการรถแทรกเตอร์ของผู้บริโภคมีจำนวนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้บริษัทต่างๆต้องเร่งการผลิตรถแทรกเตอร์ เพื่อรองรับกลุ่มผู้บริโภคที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงเพื่อให้ผู้บริโภคเกิดความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์อันเป็นเป้าหมายสูงสุดของบริษัท

จากกรณีศึกษาบริษัท ซีเอ็นเอช อินดัสเทรียล(ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ทำการประกอบรถแทรกเตอร์หลายรุ่นเพื่อส่งมอบให้กับผู้บริโภค ซึ่งในปัจจุบันรถแทรกเตอร์มีการสั่งซื้อเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้แผนการประกอบมีจำนวนเพิ่มขึ้นไปด้วย ทางบริษัทกรณีศึกษาจึงต้องปรับปรุงขั้นตอนการประกอบเพื่อให้พนักงานสามารถประกอบรถแทรกเตอร์ได้มีประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการประกอบ

โดยการศึกษาขั้นตอนการประกอบ ซึ่งเริ่มจากการประกอบล้อหน้าซ้าย ล้อหน้าขวา บังโคลนซ้าย บังโคลนขวา กระจกส่องหลัง ท่อไอเสีย อุปกรณ์สำหรับติดอุปกรณ์เสริม ล้อหลังซ้ายและล้อหลังขวา พบว่า การประกอบล้อหลังทั้ง 2 ข้างยังต้องใช้พนักงานในการประกอบ ซึ่งล้อหลังแต่ละข้างมีขนาดใหญ่และน้ำหนักเกินกว่า150กิโลกรัม โดยจากแผนการประกอบเดิมจะใช้ความชำนาญของพนักงานในการประกอบ ซึ่งการประกอบล้อหลังจะต้องใส่อุปกรณ์ถ่วงล้อ แผนการประกอบเดิมจะใช้พนักงานในการยกอุปกรณ์ถ่วงล้อมาวางตรงตำแหน่งที่ต้องการยึดเข้ากับล้อในลักษณะที่ล้อวางนอนอยู่กับพื้น หลังจากทำการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อเสร็จแล้วจะใช้พนักงานในการยกล้อที่ประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อแล้วขึ้นมาในอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับพื้น ส่งผลให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้าในการประกอบ อีกทั้งยังใช้แรงงานสิ้นเปลืองในขั้นตอนนี้ ดังนั้น บริษัทกรณีศึกษามีความต้องการที่จะออกแบบอุปกรณ์พิเศษที่จะเข้ามาช่วยในขั้นตอนการประกอบล้อหลัง เพื่อความสะดวกในการประกอบ ลดความเมื่อยล้าที่เกิดขึ้นกับพนักงานและลดระยะเวลาในการผลิตรถแทรกเตอร์ อีกทั้งยังเป็นผลทำให้พนักงานมีการทำงานตามหลักการยศาสตร์และลดการเกิดอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้กับพนักงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

จากความต้องการของบริษัทกรณีศึกษาคือ ต้องการออกแบบเครื่องที่แรงที่ช่วยในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อและประกอบล้อ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือ

- 1.) ออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและใส่ล้อเข้ากับดุมล้อในรถแทรกเตอร์
- 2.) เพื่อลดระยะเวลาในการประกอบรถแทรกเตอร์
- 3.) เพื่อลดจำนวนพนักงานในขั้นตอนการประกอบรถแทรกเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ออกแบบเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและใส่ล้อเข้ากับดุมล้อแทรกเตอร์ โดยมีความสามารถในการยกล้อที่มีน้ำหนักไม่เกิน 600 กิโลกรัม มีระยะยกสูงจากพื้นไม่เกิน 1 เมตร และใช้สำหรับการประกอบล้อหลังเท่านั้น

2) ในการออกแบบและสร้างเครื่องประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อและใส่ล้อในรถแทรกเตอร์จะใช้ระบบไฮดรอลิกส์ และใช้คันโยกควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์

3) วัสดุที่ใช้ในการสร้างเป็นเหล็กเหนียวโดยทั่วไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาและวิเคราะห์ที่มาของปัญหา

- ทำการศึกษาปัญหาจากการลงมือประกอบรถแทรกเตอร์ในพื้นที่ประกอบ
- สอบถามพนักงานแผนกประกอบรถแทรกเตอร์ถึงปัญหาการประกอบ

2) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

- รวบรวมข้อมูลจากการศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ปัญหา
- ทำการกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยและขอบเขตของการศึกษา

3) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

- สืบค้นข้อมูลทางทฤษฎีจากหนังสือ อินเทอร์เน็ตและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- รวบรวมทฤษฎีที่สืบค้นมาเพื่อเชื่อมโยงกับปัญหา

4) ออกแบบเครื่องทุ่นแรง

- ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม SolidWorks
- นำแบบที่ร่างขึ้นมาไปปรึกษาวิศวกรพี่เลี้ยงและอาจารย์ที่ปรึกษา

5) สร้างเครื่องทุ่นแรงตามที่ได้ออกแบบไว้และทดลองใช้งาน

- ปรึกษาวิศวกรพี่เลี้ยงเพื่อทำการสั่งซื้ออุปกรณ์ในการสร้างชิ้นงาน

- ดำเนินการสร้างชิ้นงานและทดลองใช้ในขั้นตอนการประกอบ

6) ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้และทำการปรับปรุงแก้ไข

- ตรวจสอบดูลักษณะโครงสร้าง ความแข็งแรงและความปลอดภัยของชิ้นงานที่สร้างขึ้น

- ในกรณีที่พบข้อบกพร่อง จะทำการค้นหาปัญหาที่วิธีแก้ไขปัญหาโดยอ้างอิงจากทฤษฎีที่ได้ศึกษามาข้างต้น

7) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

- สรุปผลการวิจัยที่ได้และระบุข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการมาศึกษาหรือพัฒนาเครื่องหุ่นแรงต่อ

1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ระยะเวลาการดำเนินงานตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 29 พฤศจิกายน 2562 รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 16 สัปดาห์ ซึ่งแต่ละหัวข้อการวิจัย แสดงได้ดังตาราง 1-1

ตารางที่ 1- 1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงาน	ส.ค			ก.ย			ต.ค			พ.ย		
1) ศึกษาและวิเคราะห์ที่มาของปัญหา	■											
2) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา	■	■										
3) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		■	■									
4) ออกแบบเครื่องหุ่นแรง				■	■	■						
5) สร้างเครื่องหุ่นตามที่ได้ออกแบบไว้และทดลองใช้งาน							■	■	■			
6) ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้และทำการปรับปรุงแก้ไข										■	■	■
7) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ												■

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1) ทางตรง

- 1) สามารถลดระยะเวลาในการประกอบรถแทรกเตอร์
- 2) ลดจำนวนพนักงานที่ใช้ในการประกอบล้อหลัง
- 3) ลดความเมื่อยล้าของพนักงานในขณะที่ทำการประกอบล้อหลัง

1.5.2) ทางอ้อม

- 1) ได้เรียนรู้การออกแบบอุปกรณ์พิเศษที่ใช้ในการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์ โดยใช้หลักการตามที่ได้เคยเรียนมา
- 2) พนักงานมีขวัญกำลังใจในการทำงานมากขึ้น

1.7 สถานที่ดำเนินงาน

- 1) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
- 2) บริษัท ซีเอ็นเอช อินดัสเทรียล(ประเทศไทย) จำกัด เลขที่ 54/11 หมู่ 9 ถนนบางนาตราด ตำบล บางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540

บทที่ 2

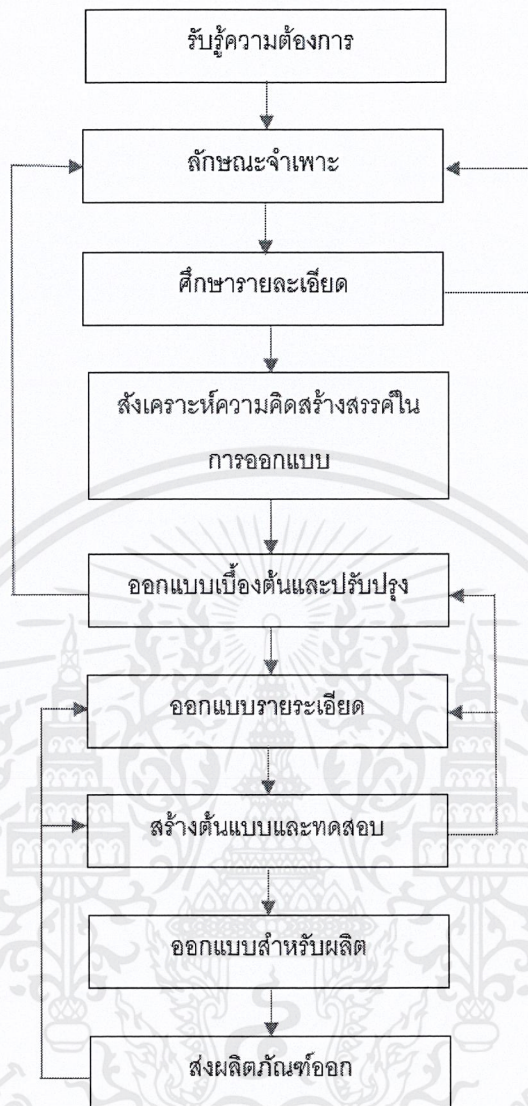
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการสหกิจศึกษา เรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและใส่ล้อเข้ากับดุมล้อในรถแทรกเตอร์ มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาดังนี้

- 2.1) การออกแบบ
- 2.2) วัสดุที่ใช้ในการสร้าง
- 2.3) ทฤษฎีทางกลศาสตร์
- 2.4) กระบอกไฮดรอลิกส์
- 2.5) การออกแบบเพื่อความปลอดภัย
- 2.6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบ

การออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมาก ว่าควรเริ่มต้นอย่างไร มีสิ่งใดบ้างเป็นตัวควบคุมหรือมีผลต่อการตัดสินใจ และสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด ขั้นตอนในการออกแบบทั่วไปซึ่งงานบางประเภทอาจไม่เป็นไปตามขั้นตอนดังกล่าวนี้ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบและกรรมวิธีในการออกแบบ ดังจะเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2- 1 แผนภาพของการออกแบบที่มีวงจรป้อนกลับ

ที่มา : วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน (2544)

จากรูปที่ 2-1 สามารถอธิบายรายละเอียดของขั้นตอนต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.) รับรู้ความต้องการ การออกแบบอาจเริ่มต้นขึ้นจากการที่วิศวกรได้รับรู้ความต้องการ และ ตัดสินใจที่จะทำอะไรบางอย่างบ้าง หรืออาจได้รับข้อมูลจากลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ อาจเป็นแรงผลักดันให้มีการออกแบบขั้นได้ การแข่งขันกันทางด้าน ธุรกิจและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความต้องการในการออกแบบอุปกรณ์ กระบวนการ และเครื่องจักรกล

ใหม่ ๆ สิ่งสำคัญก็คือ ต้องยอมรับรู้ว่าเกิดความต้องการขึ้นแล้ว ใช้ประสบการณ์พื้นฐานที่มีอยู่ทำความเข้าใจกับความต้องการนั้นให้ถ่องแท้

2.) ลักษณะจำเพาะ รวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งอาจประกอบไปด้วย คุณลักษณะ ขนาด ราคา จำนวนที่ต้องการผลิต อายุการใช้งาน อุณหภูมิใช้งาน ความเชื่อถือได้ และสิ่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น น้ำหนัก ขนาดต่าง ๆ พร้อมทั้ง บางสิ่งบางอย่างที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการออกแบบ เช่น กรรมวิธีการผลิต ความชำนาญของช่าง และการแข่งขันทางด้านตลาด เป็นต้น การออกแบบงานบางประเภทต้องทำตามเกณฑ์ (Code) เช่น หม้อไอน้ำ ภาชนะความดัน ก็จำเป็นต้องศึกษาเกณฑ์นั้นให้ทราบถึงสิ่งสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นข้อควรระมัดระวังและปฏิบัติตาม

3.) ศึกษารายละเอียด เมื่อได้ลักษณะจำเพาะต่าง ๆ แล้วขั้นต่อไปก็คือศึกษารายละเอียด ทั้งนี้ก็เพื่อแยกแยะถึงสิ่งที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์

โดยปกติแล้วผู้ที่รับผิดชอบในการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นวิศวกรที่ผ่านงานออกแบบมาแล้วอย่างมาก มีพื้นความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ต่าง ๆ เป็นอย่างดี รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ รู้วิธีการผลิต และความต้องการของแผนกขาย ผู้ที่ทำการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นผู้รับผิดชอบโครงการทั้งหมด มีบ่อยครั้งที่ผลจากการศึกษารายละเอียดจะทำให้ลักษณะจำเพาะต้องเปลี่ยนไปเพื่อความสำเร็จของโครงการ จึงทำให้มีวงป้อนกลับไปยังลักษณะจำเพาะดังรูปที่ 2-1

4.) สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ เมื่อศึกษารายละเอียดแล้ว ต่อไปก็จะถึงขั้นการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ท้าทายและน่าสนใจที่สุดในการออกแบบ เพราะถ้าไม่มีสิ่งขีดจำกัดอันใดแล้ว ผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นวิศวกร นักประดิษฐ์ และจิตรกรในเวลาเดียวกัน ซึ่งในขณะนี้เขาจะเป็นนักสร้างสรรค์การสังเคราะห์

การวิเคราะห์และทำให้อำนวยประโยชน์ที่สุด ในขั้นนี้จะต้องสังเคราะห์ ความคิดใหม่กับความคิดเก่าเพื่อทำให้เกิดความคิดใหม่ขึ้น ความคิดสร้างสรรค์เป็นสิ่งที่สั่งสอนกันไม่ได้แม้ว่าจะใช้วิธีกระตุ้นก็ตาม แต่ก็เชื่อได้ว่าการศึกษาที่เหมาะสมทำให้มนุษย์มีกระบวนการคิดสร้างสรรค์กว้างขวางขึ้น

5.) ออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบแล้ว อาจจะมีวิธีการออกแบบที่เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการหลายวิธี จึงจำเป็นต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่งเป็นแบบเบื้องต้นและปรับปรุงต่อไป

ในขั้นนี้จำเป็นจะต้องมีแบบแสดงเครื่องจักรกลหรือระบบที่มีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ ของระบบทั้งหมด แบบควรมีขนาดสำคัญพร้อมทั้งรูปประกอบ รูปด้านข้างอย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาทางด้านคิเนมาติก (kinematic) ของระบบด้วยเพื่อความมั่นใจว่าจะทำงานได้

โดยปกติแล้วในขั้นนี้จะได้ผลสมบูรณ์ จึงต้องมียกย้อนกลับไปยังลักษณะจำเพาะดังรูปที่ 2-1 เพื่อให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน พร้อมกันนั้นก็จะมีปรับปรุงเพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงแนวความคิด เพื่อหาวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อประเมินผลของอุปกรณ์หรือค้นหาสิ่งที่ยังไม่แน่ชัดจากข้อมูลทางเทคนิคและประสบการณ์ที่ผ่านมา ดังนั้นช่วงการออกแบบเบื้องต้นนี้อาจจะซ้ำหรือเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ได้อันที่จริงแล้วการปรับปรุงจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไปของแผนภาพในรูปที่ 2-1

6.) ออกแบบรายละเอียด การออกแบบรายละเอียดเกี่ยวข้องกับขนาดจริง และขนาดของส่วนประกอบอื่นๆทั้งหมด ทั้งที่จะผลิตขึ้นเองหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จที่จะซื้อมาใช้ ซึ่งจะประกอบเข้าด้วยกันทั้งหมดเป็นระบบ ดังนั้นจึงต้องมีแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้น แสดงรูปด้านต่างๆ เท่าที่จำเป็น โดยต้องกำหนดทั้งขนาด พิกัดความเผื่อไว้ให้ครบถ้วน วัสดุที่ใช้ กรรมวิธีทางความร้อน (ถ้ามี) จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วน และบางครั้งอาจจะต้องใช้แบบประกอบของชิ้นงานสำเร็จด้วย

โดยปกติช่างเขียนแบบจะทำงานไปพร้อมกับวิศวกร เพื่อเขียนแบบที่วิศวกรกำหนดขึ้น วิศวกรจะต้องให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่น รูปแบบเบื้องต้นที่วิศวกรควรจรรยาวัจนมาก่อน จะต้องให้ขนาด ชนิดของวัสดุโดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์และประสบการณ์ที่ผ่านมา ซึ่งหมายความว่าวิศวกรต้องใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ กลศาสตร์ ความแข็งแรงของวัสดุ กลศาสตร์ของไหล การสั่นสะเทือน โลหะวิทยา กระบวนการผลิต โดยที่วิศวกรอาจจะหาผู้ช่วยที่มีความชำนาญพิเศษเฉพาะสาขา มาช่วยได้

7.) สร้างต้นแบบและทดสอบ หลังจากที่มีรายละเอียดต่าง ๆ สมบูรณ์ มีแบบแยกชิ้น แบบประกอบ รวมทั้งวัสดุและรายการชิ้นส่วนต่าง ๆ แล้ว จึงส่งแบบที่สมบูรณ์ทั้งหมดไปยังโรงงานเพื่อสร้างต้นแบบ

เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จเรียบร้อยก็เตรียมประเมินผลและทดสอบ ผลจากการทดสอบอาจทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้น หรือแบบรายละเอียดบางประการ ซึ่งแสดงไว้เป็นยกย้อนกลับดังรูปที่ 2-1 หลังการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงชิ้นส่วนบางชิ้นแล้วจะทดสอบและประเมินผลใหม่อีกครั้ง หรืออาจต้องทำอีกหลายครั้ง จนกระทั่งวิศวกรผู้ออกแบบพึงพอใจที่งานของเขามีสมรรถนะตาม

ต้องการ เมื่อถึงขั้นนี้แล้วจะส่งแบบชิ้นส่วนและรายการวัสดุไปยังแผนกวิศวกรรมการผลิตเพื่อปรับปรุง ให้เหมาะสมกับการผลิตต่อไป

8.) ออกแบบสำหรับผลิต ในขั้นนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเพื่อความเหมาะสม (โดยมากจะพิจารณาจากหลักเศรษฐศาสตร์) ของวิธีการผลิตที่ดีที่สุด เนื่องจากการผลิตชิ้นงานน้อยชิ้นกับ ชิ้นงานมากอาจต้องใช้วิธีการผลิตต่างกัน จึงต้องหาวิธีการผลิตที่ประหยัดที่สุด

บางครั้งอาจรวมชิ้นงานหลายชิ้นเข้าเป็นชิ้นเดียวกัน หรือเปลี่ยนใช้ชิ้นส่วนที่มีในท้องตลาดแทน อีกประการหนึ่งวิศวกรการผลิตอาจเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพใกล้เคียงกันแต่ราคาถูกกว่าก็ได้ จากนั้นจึง เขียนแบบแก้ไขใหม่ให้เรียบร้อยแล้วจึงส่งฝ่ายผลิต เพื่อผลิตและส่งผลิตภัณฑ์ออกจำหน่าย

9. ส่งผลิตภัณฑ์ออก โดยปกติมักจะผลิตชิ้นงานต้นแบบแล้วทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ถ้ามีปัญหาที่ แก้ไขไม่ได้ก็จะส่งกลับไปยังแผนกออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง หรืออาจเสนอแนะข้อคิดเห็นไปได้ดังที่ ได้แสดงโดยวงจรย้อนกลับในรูปที่ 2-1

สิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้อาจไม่สมบูรณ์ทางด้านรายละเอียดต่าง ๆ หรืออาจจะใช้ได้กับกระบวนการ ผลิตบางอย่าง บางระบบเท่านั้น เพราะการที่จะรู้รายละเอียดถึงกรรมวิธีการออกแบบในงานต่าง ๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและเข้าไปมีส่วนร่วมในงานนั้น ๆ (วิธี อิงภากรณ์ และชาญ ญัตตงาน, 2544: น.14-17)

2.2 วัสดุที่ใช้ในการสร้าง

มีวัสดุที่ใช้ในการนำมาสร้างเครื่องตามทีออกแบบไว้มีดังนี้

2.2.1 เหล็กเหนียว (Wrought iron)

เหล็กเหนียว (wrought iron) ประกอบด้วยเหล็กบริสุทธิ์ กับสแล็ก (slag) 1% ถึง 3% นอกจากนั้นยังประกอบด้วยคาร์บอน แมงกานีส ซิลิคอน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน เหล็กเหนียวทำได้โดย เตะสแล็กที่หลอมละลายจากเตาหลอมลงไปในเบ้าที่มีเนื้อเหล็กอยู่แล้วผสมกัน จากนั้นจึงนำมาอัดรีด (rolling หรือ hammering) ให้เป็นแท่งเพื่อลดสแล็กส่วนเกินออก แท่งเหล็กนี้จะนำไปขึ้นรูปร้อนให้เป็น ท่อน ท่อ แผ่น หรือรูปพรรณต่างๆได้ เหล็กเหนียวมีความเหนียวและอ่อน (forge Welded) ได้ นอกจากนั้นยังทนต่อการกัดกร่อนได้ดีกว่าเหล็กกล้า เนื่องจากออกไซด์ (oxide) ปกคลุมผิวอย่างรวดเร็ว เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีการกัดกร่อน

เหล็กเหนียวที่ผ่านการรีดมีคุณสมบัติทางกลในแนวยาว (แนวที่ผ่านการรีด) ดีกว่าในแนวขวาง เหล็กเหนียวจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกได้ถ้าใส่โลหะผสมลงไปในเรื่องเหล็กเหนียว เช่น นิกเกิล 1.5% ถึง 3.5% ความต้านแรงดึงอัลติเมต (ultimate strength) ของเหล็กเหนียวเพิ่มขึ้นได้ถ้าผ่านการขึ้นรูปเย็นแล้วบ่มอย่างเหมาะสม ตัวอย่างคุณสมบัติของเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล 3.25% ดูได้จากตารางที่ 2-1 (วิธี อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2544: น.29-30)

ตารางที่ 2- 1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเหนียวและเหล็กเหนียวผสมนิกเกิล

คุณสมบัติทางกล, หน่วย	เหล็กเหนียว (คุณสมบัติในแนวยาว)	เหล็กเหนียวผสมนิกเกิล 3.25%
ความต้านแรงดึง, N/mm ²	290-360	380-415
จุดคราก, N/mm ²	180-240	310-345
การยืดตัว(200 mm), %	25-40	25-30
พื้นที่หน้าตัดลดลง, %	40-55	35-45

ที่มา : วิธี อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน (2544)

2.2.2 เหล็กหล่อ (Cast iron)

เหล็กหล่อ (cast iron) ที่ใช้งานทั่วไปมีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 2.5% ถึง 4.0% เป็นที่ทราบกันว่าเมื่อมีคาร์บอนผสมอยู่มากเหล็กจะเปราะและมีความเหนียวน้อยลง เพราะฉะนั้นเหล็กหล่อจึงขึ้นรูปเย็นไม่ได้ แต่เมื่อนำไปหลอมเหลวแล้วจะไหลได้ง่ายจึงสามารถจะหล่อเป็นรูปทรงต่างๆได้ดี เมื่อเย็นตัวลงแล้วทำการบ่มจะทำให้สามารถตัดกลึงได้ เหล็กหล่อมีความต้านแรงดึงต่ำกว่าความต้านแรงกด (Compressive strength) จึงเหมาะกับชิ้นงานที่รับแรงกด นอกจากนั้นคุณสมบัติของเหล็กหล่อยังเปลี่ยนแปลงไปได้มากเมื่อผสมโลหะผสมชนิดต่าง ๆ และผ่านกรรมวิธีทางความร้อนต่างกันเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน

เหล็กหล่อเดิมแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ เหล็กหล่อสีขาว (white cast iron) เหล็กหล่อเหนียว (malleable cast iron) เหล็กหล่อสีเทา (gray cast iron) และเหล็กหล่อเหนียวพิเศษ (nodular cast iron) นอกจากนี้ยังมีอีกสองแบบคือ เหล็กหล่อเย็นและเหล็กหล่อผสม (alloy cast iron)

1.) เหล็กหล่อสีขาว เป็นเหล็กหล่อที่มีเนื้อละเอียดสีขาวเพราะไม่มีแกรไฟต์ คาร์บอนที่มีอยู่ในเนื้อเหล็กทั้งหมดจะรวมกับเหล็กในรูปของซีเมนต์ไต์ (cementite) ซึ่งมีความต้านแรงสูงและแข็งมาก แต่เปราะแตกง่ายจึงไม่นิยมนำมาใช้ตัดกลึง

เหล็กหล่อสีขาวมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัด แม้ว่าจะมีใช้อยู่บ้างในงานที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการกดแบบผลักดันโลหะ(extrusion dies) และผิวของถังผสมซีเมนต์ เป็นต้น

2.) เหล็กหล่อเหนียว เป็นเหล็กหล่อสีขาวที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาแล้ว เมื่อนำเอาเหล็กหล่อสีขาวไปเผาให้มีอุณหภูมิประมาณ 880 °C ทิ้งไว้ช่วงเวลาหนึ่งแล้วปล่อยให้เย็นลงอย่างช้าๆ (คล้ายกับการเทมเปอร์ริง) คาร์บอนในเนื้อเหล็กที่อยู่ในรูปของซีเมนต์ไต์จะค่อย ๆ แยกตัวออก เมื่อเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิกัดคาร์บอนที่เหลืออยู่จะจับตัวกันเป็นกลุ่มอยู่ในรูปเกือบกลม

เหล็กหล่อเหนียวมีคุณสมบัติดีกว่าเหล็กหล่อสีเทา ยกเว้นคุณสมบัติทางด้านการทนต่อการสึกหรอ เหล็กหล่อเหนียวตัดกลึงได้สะดวก หล่อเป็นชิ้นบางได้ (12 ถึง 50 mm) จึงนิยมใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ น้ำมัน การเกษตร และรถไฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ทำห้องเฟือง(gear box) งานเบรกในรถยนต์ ชิ้นส่วนรถไฟ เป็นต้น

เหล็กหล่อเหนียวเมื่อผสมโลหะผสมลงไปจะทำให้คุณสมบัติทางกลเปลี่ยนแปลง โลหะผสมที่นิยมใช้ ได้แก่ ทองแดง หรือทองแดงกับโมลิบดีนัม ทองแดงช่วยทำให้เหล็กหล่อเหนียวทนต่อการกัดกร่อนได้ดีขึ้น ความต้านแรงดึงและความต้านแรงดึงดรอกราก (yield strength) ดีขึ้น แต่ความเหนียวจะลดลง

3.) เหล็กหล่อสีเทา เป็นเหล็กหล่อที่ใช้งานกันมากที่สุดในระบบเหล็กหล่อทั้งหมด ดังนั้นจึงมักเรียกเหล็กหล่อสีเทาว่า เหล็กหล่อ เหล็กหล่อสีเทามีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 2.5% ถึง 4.0% และมักจะมีซิลิคอนผสมอยู่มากกว่า 2% คาร์บอนจะรวมตัวเป็นสารประกอบกับเหล็กเรียกว่า ซีเมนต์ไต์ บางส่วนและส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปคาร์บอนบริสุทธิ์หรือที่เรียกว่าแกรไฟต์ เป็นแถบยาว ๆ แทรกอยู่จึงทำให้มองเห็นเนื้อเหล็กเป็นสีเทา ถ้ามีซิลิคอนผสมอยู่มากจะทำให้ความต้านแรงของเหล็กหล่อสีเทาลดลง เหล็กหล่อสีเทาที่แข็งที่สุดและแข็งแรงที่สุดจะมีโครงสร้างแบบเพอร์ไลต์ (perlite) ส่วนที่นิ่มที่สุดจะมีโครงสร้างผสมระหว่างแกรไฟต์กับเฟอร์ไรต์ (ferrite) และมีคาร์บอนผสมอยู่น้อย ความแข็งและความต้านแรงของเหล็กหล่อสีเทาเพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่มคาร์บอน

4.) เหล็กหล่อเหนียวพิเศษ เป็นเหล็กหล่อที่มีแกรไฟต์รูปทรงกลมแทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก ซึ่งเกิดจากการผสมแมกนีเซียมหรือซีเรียม (cerium) ลงในเหล็กหล่อสีเทาขณะหลอมละลายก่อนเทลงแบบหล่อ

ข้อแตกต่างจากเหล็กหล่อเหนียวก็คือ เหล็กหล่อเหนียวพิเศษจะเกิดแกรไฟต์รูปทรงกลมขณะแข็งตัว และไม่ต้องทำเหมเปอริง

เมื่อผสมโลหะผสมบางชนิดลงไปจะทำให้เหล็กหล่อเหนียวพิเศษทนต่อการกัดกร่อนได้ดี และทนต่อการคืบ (creep) ที่อุณหภูมิสูง

เหล็กหล่อเหนียวพิเศษมีความต้านแรง ความเหนียว ความเหนียวนุ่มสูงกว่าเหล็กหล่อสีเทา และมีรูปพุนน้อยกว่า จึงมักใช้ในการขึ้นรูปเป็นเพลาค้อเหวี่ยง ลูกสูบ ฝาสูบ ลูกกลิ้ง ล้อสายพานแบบขึ้นรูป เป็นต้น

5.) เหล็กหล่อเย็น เป็นเหล็กหล่อที่มีผิวนอกเป็นเหล็กหล่อสีขาว มีซีเมนไตต์เป็นหลัก ดังนั้นจึงแข็งมาก แต่ผิวในจะมีเนื้อเป็นเหล็กหล่อสีเทา ทำได้โดยใส่แผ่นโลหะเย็นในแบบหล่อใกล้ผิวแบบ เมื่อเทโลหะที่หลอมเหลวลงไป น้ำโลหะที่สัมผัสกับแท่งโลหะเย็นจะลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วจึงทำให้มีโครงสร้าง เป็นซีเมนไตต์ดังกล่าว เหล็กหล่อเย็นตัดกลึงได้โดยการเจียรระโนอย่างเดียวเท่านั้น และมักใช้ในการทำแบบตอก (punching die) ชิ้นส่วนสำหรับการบด ล้อรถไฟ เป็นต้น

6. เหล็กหล่อผสม เป็นเหล็กหล่อที่ผสมโลหะผสมต่างๆ ทำให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น ทนความร้อนดีขึ้น ทนต่อการกัดกร่อนและสึกกร่อนดีขึ้น หรืออาจทำให้หล่อได้ง่ายขึ้นและตัดกลึงได้ง่ายขึ้น โลหะผสมทั่วไปที่ใช้ได้แก่ นิกเกิล ทองแดง โครเมียม โมลิบดีนัม และวานาเดียม (วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ญัตติงาน, 2544: น.30-33)

2.2.3 เหล็กกล้า (Steel)

1.) เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.05% ถึง 0.30% เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.30% ถึง 0.50% และ เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (high carbon steel) มีคาร์บอนผสมอยู่มากกว่า 0.50% ขึ้นไป

ก) เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีใช้งานมากทางด้านผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและในงานโครงสร้าง เช่น ใช้ทำท่อโครงสร้าง ถังรถไฟ ตัวถังรถยนต์ สลักเกลียว แป้นเกลียว แผ่นเหล็กชุบสังกะสี ถ้าเหล็กกล้าชนิดนี้มีกำมะถันผสมอยู่มาก เรียกว่า เหล็กกลึงเสรี (free cutting steel) ซึ่งนิยมใช้อย่างมากในเครื่องทำเกลียวอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมส่วนมากใช้เหล็กกล้าชนิดนี้ทั้งแบบรีดร้อนและรีดเย็น เหล็กกล้าที่ผ่านการ

รืดเย็นจะมีความต้านแรงดี ตัดกลิ้งได้ดีและมีขนาดแน่นอน ถ้าต้องการให้ผิวเหล็กทนต่อการสึกหรอก็ทำได้โดยการชุบผิวแข็ง

ข) เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง สามารถนำมาชุบหรือเทมเปอร์ได้โดยกรรมวิธีทางความร้อนแบบทั่วไป ดังนั้นจึงมักใช้งานที่ต้องการความต้านแรงและทนต่อการสึกหรอ ผลผลิตจากเหล็กกล้าผสมคาร์บอนปานกลางคือ เพลา แกน เพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ และชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ต้องการความต้านแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

ค) เหล็กกล้าคาร์บอนสูง ใช้มากเมื่อผลิตภัณฑ์ต้องมีความแข็งแรงและความต้านทานแรงสูงพร้อมกันนั้นก็ทนต่อการสึกหรอได้ดีด้วย เหล็กกล้าชนิดนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจึงจะมีคุณสมบัติตามต้องการ โดยปกติที่หาซื้อจากท้องตลาดจะอยู่ในสภาพที่ผ่านการแอนนิลมาแล้ว ดังนั้นเมื่อขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วต้องทำกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความแข็งแรงตามต้องการ เหล็กกล้าชนิดนี้ใช้ทำเครื่องมือชนิดต่างๆ เช่น ดอกสว่าน อุปกรณ์ตัดเกลียวใน ดอกคว้านรู แบบพิมพ์ และเครื่องมือต่างๆ และมักใช้ทำ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคม เช่น มีด สกัด กรรไกร เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำลวดสปริงและลวดสลิงอีกด้วย

การใช้เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีข้อควรระวังคือ ความแข็งแรงและความต้านแรงจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการนำไปใช้ทำเครื่องมือตัดบางชนิดที่ทำงานด้วยอุณหภูมิสูง และถ้านำไปชุบอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือแตกร้าวได้ ประการสุดท้าย เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีข้อเสียคือ เมื่อชุบแข็งจะได้ผิวแข็งที่พื้น นอกเสียจากเป็นชิ้นงานบาง ดังนั้นจึงหวังผลจากการชุบแข็งเหล็กกล้าคาร์บอนสูงได้ไม่มากนัก

2.) เหล็กกล้าผสมต่ำความต้านแรงสูง เหล็กกล้าผสมต่ำความต้านแรงสูงถูกนำไปใช้งานในลักษณะที่ผลิตออกมาโดยตรงเป็นส่วนมาก หรืออาจจะใช้กรรมวิธีความร้อนในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลขึ้นอีกก็ได้ สำหรับการนำไปใช้งานโดยตรงโลหะผสมที่ใส่เข้าไปก็เพื่อให้พวกเฟอร์ไรต์แข็งแรงขึ้น แต่คุณสมบัติทางกลยังมีได้แสดงออกมาอย่างเต็มที่ เมื่อนำไปผ่านกรรมวิธีความร้อนเหล็กกล้าชนิดนี้ จะได้รับการปรับปรุงให้มีความต้านแรงดึง ความแข็ง ความเหนียว และความเหนียวนุ่มขึ้นไปอีก เป็นต้น

3.) เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำ เหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำใช้กันมากในงานทางด้านการขนส่งและการก่อสร้าง เหล็กกล้าชนิดนี้มิได้ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ฉะนั้นคุณสมบัติต่างๆ จึง ขึ้นอยู่กับการผสมโลหะผสมลงไปอย่างเหมาะสมกับปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ ตัวอย่างหนึ่งของเหล็กกล้าโครงสร้างผสมต่ำมีความต้านแรงดึงครากประมาณ 345 N/mm และความต้านแรงดึงอัลติเมตประมาณ 485 N/mm เหล็กกล้าชนิดนี้เชื่อมได้ง่ายและชุบแข็งในอากาศไม่ได้ เพื่อให้เหล็กกล้าชนิดนี้มีความต้านแรงเพิ่มขึ้น

ปริมาณคาร์บอนผสมอยู่ควรสูงประมาณ 0.30% แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมีความต้านแรงเพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางด้านความเหนียวการขึ้นรูปและการเชื่อมจะลดลง

4.) เหล็กกล้าหล่อ เหล็กกล้าหล่อมีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายกับเหล็กกล้าเหนียว (wrought steel) แต่ว่าได้เพิ่มให้มีซิลิคอนและแมงกานีสมากกว่าและได้ลดก๊าซออกซิเจน และก๊าซอย่างอื่นในเนื้อเหล็ก เหล็กกล้าหล่อใช้ทำชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนซึ่งต้องการให้มีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับเหล็กกล้าเหนียว ด้วยราคาถูกกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่น นอกจากนั้นเหล็กกล้าหล่อยังมีคุณสมบัติทางกลดีกว่าเหล็กหล่อ กรรมวิธีทางความร้อนยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกลบางประการของเหล็กกล้าหล่อได้อีกด้วย

5.) เหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าไร้สนิมมีอยู่ 3 แบบคือ

ก) ออสเทนิติก (austenitic)

ข) เฟอริติก (ferritic)

ค) มาร์เทนซิติก (martensitic)

เหล็กกล้าประเภทนี้มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณโครเมียมที่ผสมอยู่ เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติกขัดมันได้เป็นเงางาม จึงมักใช้ในงานตกแต่งเป็นส่วนมาก นอกจากนั้นยังใช้งานทางด้านที่ต้องการให้ทนความร้อน

ก) เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติก เป็นกลุ่มของโครเมียม-นิกเกิล อยู่ในอนุกรม 300 กลุ่มของโครเมียม-นิกเกิล-แมงกานีส ประกอบด้วยชนิด 201 และ 202 อนุกรม 300 โดยทั่วไปแล้วมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่าแบบมาร์เทนซิติกและเฟอริติก เหล็กกล้าไร้สนิมทุกชนิดมีความคงทนต่อการตกละเอียด (scaling) และมีความต้านแรงที่อุณหภูมิสูงดี ชนิด 302 เป็นชนิดที่ใช้งานทั่ว ๆ ไป และมักเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 18-8 ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมทาง ด้านอาหาร อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ เครื่องใช้ในครัว เครื่องประดับทางด้านสถาปัตยกรรม โรงงานนม โรงทอผ้า เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ขึ้นรูปได้ดี มีความเหนียวที่ อุณหภูมิสูงและต่ำ หาได้ง่ายและราคาพอสมควร ชนิดที่ใช้กันมากในอนุกรมนี้คือ 304, 316, 346 และ 347

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติกชุบแข็งไม่ได้ แต่จะแข็งในขณะที่ขึ้นรูปเย็นแล้วตามด้วยการแอนนิล อย่างรวดเร็วหลังจากการขึ้นรูปเย็น เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสเทนิติกตัดกลึงได้ยากเพราะจะแข็งขึ้นจากการขึ้นรูปเย็น ดังนั้นจึงมีอัตราการตัดกลึง 50% ของเหล็กกล้า B1112 ที่ใช้เป็นมาตรฐานในการ

เปรียบเทียบอนุกรม 300 นี้มีความเหนียวมากแต่จะแข็งเมื่อขึ้นรูปเย็น จึงมีคุณสมบัติทางการขึ้น รูป
ไม่ดีนัก

เหล็กกล้าไร้สนิมแบบออสติติกที่อัดขึ้นรูปได้ และเชื่อมได้โดยวิธีการเชื่อมหลอมเหลว(fusion
Weld) ภายหลังจากเชื่อมควรทำการแอนนีลด้วย

ข) เหล็กกล้าไร้สนิมแบบเฟอร์ริติก (บางส่วนของอนุกรม 400) ชุบแข็งไม่ได้ด้วยกรรมวิธีทาง
ความร้อน และไม่สามารถทำให้แข็งมากนักโดยการขึ้นรูปเย็น มีความเหนียวจึงรีดดัดงอได้ เมื่อขึ้นรูปเป็น
ความต้านแรงดึงครากจะเพิ่มขึ้นประมาณ 30% แต่ความต้านแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น เหล็กกล้า
ไร้สนิมแบบเฟอร์ริติกที่อัดขึ้นรูปและรีดได้สะดวก แต่คุณสมบัติทางการดัดกลึงไม่ดีนัก ดังนั้นในการ
ดัดกลึงจึงต้องใช้เครื่องมือตัดที่มีความคมอยู่เสมอ

ค) เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติก คล้ายกับแบบเฟอร์ริติกคือ อยู่ในกลุ่มโครเมียม-เหล็ก และ
เป็นส่วนหนึ่งของอนุกรม 400 เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกที่ใช้ทั่วไปคือชนิด 410 ซึ่งมีราคาแพง
ที่สุด เหล็กกล้าไร้สนิมแบบมาร์เทนซิติกรับแรงกระแทกได้ดี และชุบแข็งได้โดยเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 982
องศาเซลเซียส แล้วชุบในน้ำมัน จากนั้นจึงทำการเทมเปอร์

6. เหล็กเครื่องมือ เนื่องจากส่วนผสมทางเคมีของเหล็กเครื่องมือทำให้เหล็กเครื่องมือ ชุบแข็งได้
ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน จึงมีคุณสมบัติพิเศษเหมาะกับการนำไปทำเป็นเครื่องมือตัด เครื่องมือเฉือน
แบบขึ้นรูป (forming die) ดอกสว่าน อุปกรณ์ตอกอัด (punches) เป็นต้น

โดยทั่วไปแล้วเหล็กเครื่องมือควรมีลักษณะที่น่าพึงพอใจดังต่อไปนี้คือ

ก) ยังคงมีความแข็งและความต้านแรงสูงในขณะที่ยุณหภูมิจากการตัดกลึงสูงขึ้น

ข) สามารถรับแรงกระตุก แรงกระแทกได้โดยไม่บิ่นหรือแตกหัก (มีความเหนียวนุ่ม)

ค) สามารถทนต่อการสึกหรอและการขูดขีดเมื่อใช้งานอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำให้ไม่ต้องลับ
เครื่องมือหรือเปลี่ยนเครื่องมือบ่อยครั้งๆ (วรวิทย์ อิงภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน, 2544: น.35-41)

2.3 ทฤษฎีทางกลศาสตร์

2.3.1 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ (Mechanical Properties)

คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ก็คือ พฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุ ที่สามารถแสดง
ออกมาเมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำ อันได้แก่

1) ความเค้น (Stress)

เป็นลักษณะของแรงต้านที่อยู่ภายในของโลหะ ที่มีความพยายามในการต้านทานต่อแรงภายนอก ที่มากระทำต่อวัสดุนั้นๆ โดยแบ่งชนิดของความเค้นได้เป็นดังนี้ คือ

1. Tensile Stress หมายถึง ความเค้นแรงดึงที่เกิดจาก Tensile Force ที่มากระทำต่อชิ้นงาน
2. Compressive Stress หมายถึงความเค้นแรงกด หรือ ความเค้นแรงอัด
3. Shear Stress หมายถึงความเค้นแรงเฉือน เป็นความเค้นที่เกิดจาก Shear Force
4. Bending Stress หมายถึงความเค้นแรงดัด เป็นความเค้นที่เกิดขึ้นต่อเมื่อชิ้นงานนั้นๆได้รับแรงดัด
5. Torsion Stress หมายถึงความเค้นแรงบิด เป็นความเค้นที่เกิดจาก Torque กระทำต่อชิ้นงานนั้นๆ

2) ความเครียด (Stain)

เป็นความเครียดที่ปรากฏภายใต้แรงที่มากระทำต่อเนื้อของวัสดุ จนวัสดุเกิดรับแรงนั้นไว้ไม่ไหว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางของแรงที่มากระทำ เช่น เกิดการยืดตัวออก (Elongation) หรือหดตัวเข้า (Contraction) โดยแบ่งชนิดของความเครียดได้เป็นดังนี้ คือ

1. Tensile Stain หมายถึง ความเครียดแรงดึงที่เกิดจาก Tensile Force ที่มากระทำต่อชิ้นงาน
2. Compressive Stain หมายถึงความเครียดแรงกด หรือ ความเครียดแรงอัด
3. Shear Stain หมายถึงความเครียดแรงเฉือน เป็นความเครียดที่เกิดจาก Shear Force

3) ความยืดหยุ่น (Flexible)

ความยืดหยุ่น คือ การที่มีแรงจากภายนอกมากระทำจนเกิดการเปลี่ยนแปลง รูปร่างอย่างชั่วคราว (Elastic Deformation) และเมื่อเราปล่อยแรงกระทำนั้นออกก็จะสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เอง คุณบัติจะคล้ายๆกับการเป็นสปริงนั่นเอง

4) ความอ่อนตัว (Ductility)

เป็นสมบัติเชิงกลอย่างหนึ่งของวัสดุที่รับแรงกดหรือแรงอัด แล้วเกิดเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Elastic Deformation) โดยเฉพาะอาจเกิดการอ่อนตัว ดีแก่ให้เป็นแผ่นบางได้ดี ตัวอย่างเช่น ทองคำ

5) ความเปราะ (Brittleness)

เป็นสมบัติเชิงกลอย่างหนึ่งของวัสดุที่รับแรงเพียงเล็กน้อย แล้วเกิดการขาดออกจากกัน เช่น เหล็กหล่อ แก้ว เป็นต้น โดยจะคิดจากค่า 5% ของความเครียดเป็นหลัก กล่าวคือ วัสดุใดๆก็ตามที่เกิดการแตกหักก่อนค่า 5% ของความเครียดวัสดุนั้นก็จะมีค่าความเปราะมากนั่นเอง

6) ความเหนียว (Toughness)

เป็นสมบัติของวัสดุที่สามารถยืดตัวออกไปได้อย่างถาวร หรือเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ซึ่งจะคิดจากค่า 5% ของความเครียดเป็นหลักเช่นกัน

7) ความแข็งแรง (Strength)

หมายถึงความแข็งแรงถึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ความแข็งแรงกดหรือแรงอัดสูงสุด (Ultimate Compressive Strength) ซึ่งเราสามารถจะสังเกตได้จาก Stress-Strain Curve ซึ่งตรงจุดแตกหัก (Breaking Point) นั้นเราจะเรียกกันว่า เป็นจุดความแข็งแรงที่จุดแตกหักนั่นเอง

8) ความแข็งแรง (Stiffness)

หมายถึงสมบัติของวัสดุที่แสดงความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือ ต่อการเปลี่ยนรูปในช่วง Elastic limit ในขณะที่กำลังรับแรงนั้นๆอยู่ ค่าความแข็งแรงจะเปลี่ยนแปลงไป ตามค่าของ Modulus of Elastic และค่า Rigidity

9) พลาสติกซิติ (Plasticity)

หมายถึงสมบัติของวัสดุที่สามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยที่มีได้เกิด ขาดหรือแตกหัก โดยเฉพาะจะมีความสำคัญมากในงาน Rolling Extruding และ Drawing เป็นต้น

10) ความล้า (Fatigue)

หมายถึงแรงที่กระทำต่อวัสดุเป็นจังหวะๆหรือซ้ำๆ จนวัสดุนั้นเกิดการเปราะและแตกหักในภายหลัง

11) การคืบ (Creep)

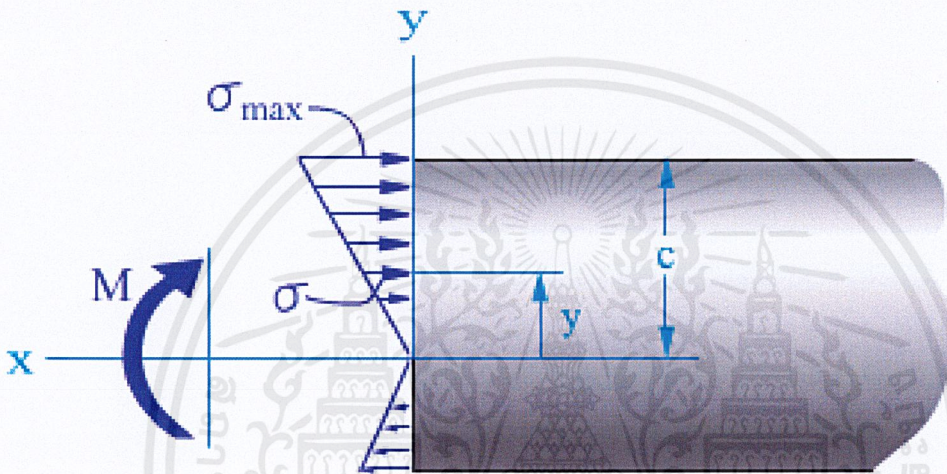
หมายถึงการเกิดความเครียดอย่างถาวร (Permanent Set) อย่างซ้ำๆภายในเนื้อของวัสดุที่ต้อง รับแรงทางกลเป็นเวลานานต่อเนื่องเนิ่นนานและอุณหภูมิสูงๆ จนกระทั่งเนื้อของวัสดุนั้นๆเกิดการเคลื่อนตัวของ อะตอมภายในเนื้อของวัสดุจนกระทั่งเกิดการขาดจากกันไปในที่สุด

12) ฮิสเทอรีซิสทางกล

หมายถึงพลังงานที่ถูกสะสมอยู่ในเนื้อของวัสดุ อันเป็นสาเหตุมาจากวัสดุนั้นๆปล่อยพลังงานที่รับไว้กลับออกมาไม่หมด จึงเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน (Thermal Energy) ออกมาแทนนั่นเอง

2.3.2 ทฤษฎีความเค้นดัดสูงสุด (Max bending stress principle)

จากรูปที่ 2-2 พิจารณาที่โมเมนต์ดัด M เป็นความเค้นปกติ (Normal Stress) ในชั้นส่วนที่ยังคงมีค่าต่ำกว่าจุดคราก (Yield Strength, σ_y) นั้นหมายความว่า ในทางปฏิบัติ ความเค้นในชั้นส่วนยังคงมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดความเป็นสัณฐานและขีดจำกัดความยืดหยุ่นเช่นกัน และจากกฎของฮุก (Hooke's Law) ความเค้นที่กระทำในแนวแกนเดียวจะไม่ทำให้วัสดุมีการเสียรูปถาวร สมมติว่าวัสดุชิ้นนั้นเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) และแทนค่า E เป็นโมดูลัสความยืดหยุ่นในทิศทางตามแนวแกน x



รูปที่ 2-2 การเกิดความเค้นดัดสูงสุด

(ที่มา: R.C.Hibbeler, 2014)

$$\sigma_x = E \epsilon_{max} \dots \dots \dots (2-1)$$

จากสมการ $\epsilon_x = -\frac{y}{c} \epsilon_{max}$ คูณค่า E ทั้งสองข้าง จะได้

$$E \epsilon_x = -\frac{y}{c} (E \sigma_{max}) \dots \dots \dots (2-2)$$

จากสมการ 2-2 จัดรูปใหม่ จะได้

$$\epsilon_x = -\frac{y}{c} \sigma_{max} \dots \dots \dots (2-3)$$

ผลลัพธ์จากสมการ 2-3 แสดงให้เห็นถึงค่าของช่วงที่เป็นความยืดหยุ่น ซึ่งความเค้นปกติจะแปรผันเป็นเส้นตรงกับระยะทางจากพื้นผิวสะเทิน (Neutral surface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรสังเกตว่า ณ จุดนี้เราไม่ทราบตำแหน่งของพื้นผิวสะเทินหรือค่าสูงสุดของความเค้น ค่าทั้งสองสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$\int \sigma_x dA = 0 \dots\dots\dots(2-4)$$

และ

$$\int (-y\sigma_x dA = 0) \dots\dots\dots(2-5)$$

โดยการแทนค่า σ_x ลงในสมการ 2-4 จะได้

$$\int \sigma_x dA = \int \left(-\frac{y}{c} \sigma_{max}\right) dA = -\frac{\sigma_{max}}{c} \int y dA = 0 \dots\dots\dots(2-6)$$

จากสมการ 2-6 ค่าของ $\frac{\sigma_{max}}{c}$ ต้องไม่เท่ากับศูนย์ จะได้ว่า

$$\int y dA = 0 \dots\dots\dots(2-7)$$

สมการ 2-7 แสดงให้เห็นว่าโมเมนต์ที่เกิดจากการตัดขวางที่อยู่ประมาณแกนสะเทิน (Neutral axis) จะต้องเป็นศูนย์

แทนค่า σ_x จากสมการ 2-3 ลงในสมการ 2-5 จะได้

$$\int (-y) \left(-\frac{y}{c}\right) \sigma_{max} dA = M \dots\dots\dots(2-8)$$

หรือ

$$\frac{\sigma_{max}}{c} \int y^2 dA = M \dots\dots\dots(2-9)$$

ในกรณี Pure bending แกนสะเทินจะผ่านจุดเซนทรอยด์ของพื้นผิวดัดขวาง โดยให้ค่า I แทนค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นผิวดัดขวางที่ขึ้นอยู่กับแกนเซนทรอยด์อยู่ในระนาบตั้งฉากของคูโมเมนต์ โดยในสมการข้างต้น แทนค่า $I = \int y^2 dA$ จะได้ว่า

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I} \dots\dots\dots(2-10)$$

โดยที่ σ_{max} คือ ความเค้นปกติสูงสุดจากการตัดในแกนที่เกิดขึ้นบนพื้นที่หน้าตัด ณ ตำแหน่งที่ไกลที่สุดจากแกนสะเทิน (N/mm^2)

M คือ โมเมนต์ดัด ($N - mm$)

C คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด (m)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ (m^4) (ที่มา: Ferdinand P. Beer, E. Russell

John, Jr., John T. Dewolf, David F. Mazurek. 2012)

2.3.3 รอยเชื่อม (Welding joint)

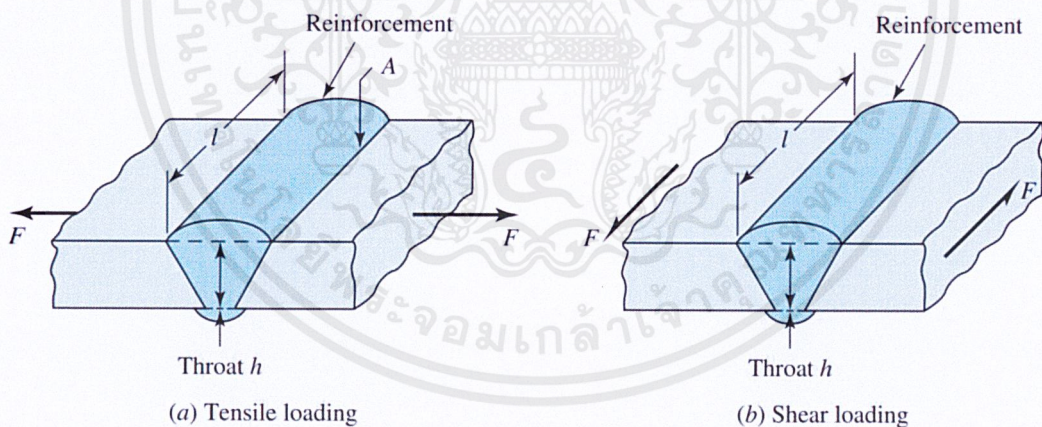
1.) ความเค้นตึงฉากในรอยเชื่อม

จากรูปที่ 2-3a รอยเชื่อมต่อชนรูปตัว V ด้านเดียวที่รับโหลด F เมื่อพิจารณาที่รอยเชื่อม ความเค้นตึงฉากปกติในรอยเชื่อม คือ

$$\sigma = \frac{F}{hl} \dots \dots \dots (2-11)$$

เมื่อ h คือ ความสูงของรอยเชื่อมที่เรียกว่า Throat (mm)

l คือ ความยาวของรอยเชื่อม (mm)



รูปที่ 2- 3 การเกิดความเค้นในรอยเชื่อม

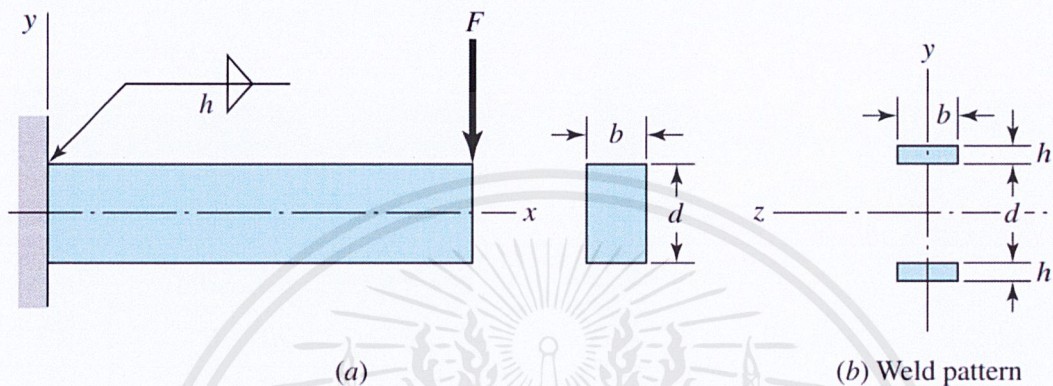
(ที่มา: Richard G. Budynas & J. Keith Nisbett, 2015)

2.) ความเค้นเฉือนในรอยเชื่อม

จากรูปที่ 2-3b ความเค้นเฉือนในรอยเชื่อม คือ

$$\tau = \frac{F}{hl} \dots\dots\dots(2-12)$$

ความเค้นในรอยเชื่อมเมื่อรับแรงดัด แสดงดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 การเกิดความเค้นในรอยเชื่อมเมื่อรับแรงดัด
(ที่มา: Richard G. Budynas & J. Keith Nisbett, 2015)

รอยเชื่อมของคานภายใต้การดัดจะเกิด Primary Shear จากแรงเฉือน F

$$\tau' = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2-13)$$

เมื่อ τ' คือ Primary Shear (Pa)
A คือ พื้นที่ Throat ของรอยเชื่อม (m^2)

3.) ความเค้นรวม

จากโมเมนต์ดัด M จะทำให้เกิด Secondary Shear ที่รอยเชื่อม

$$\tau'' = \frac{Mc}{I} = \frac{Md/2}{0.707hbd^2/2} = \frac{1.414M}{bdh}$$

โดยที่

$$I_u = \frac{bd^2}{2}$$

$$I = 0.707hI_u = 0.707h \frac{bd^2}{2}$$

เมื่อ τ'' คือ Secondary Shear (Pa)

l คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของรอยเชื่อม (mm)

จากความเค้นทั้งสองส่วนข้างต้น คือ Primary Shear และ Secondary Shear จะสามารถหาค่าความเค้นรวมจากสมการ 2-14

$$\tau'' = (\tau^2 + \tau''^2)^{1/2} \dots\dots\dots(2-14)$$

2.4 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulics Cylinder)

กระบอกลูกสูบ คือ ส่วนที่เชื่อมระหว่างวงจรมอเตอร์ไฮดรอลิกและเครื่องจักรที่ทำงาน กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกต่างจากมอเตอร์ไฮดรอลิก ซึ่งมอเตอร์ไฮดรอลิกเป็นการเคลื่อนที่แบบหมุนตรง แต่กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกควบคุมการเคลื่อนที่ในการถ่ายเทกำลังเชิงเส้นผ่านแรงที่ถูกถ่ายเทมา

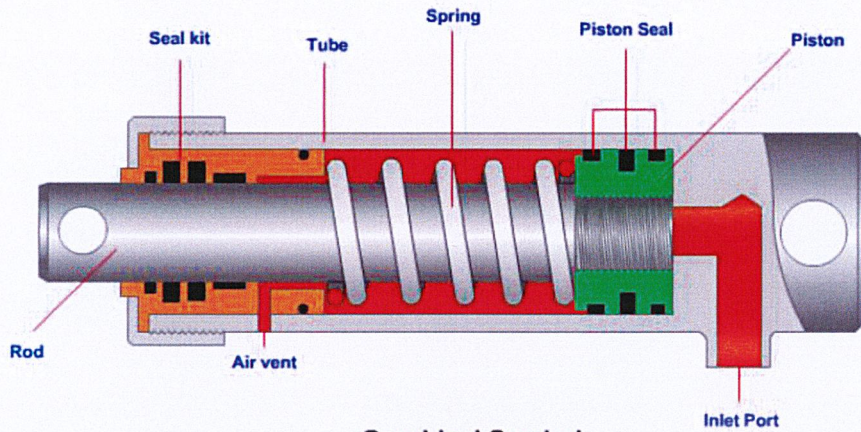
ชนิดของกระบอกลูกสูบจำแนกตามหน้าที่ เนื่องจากหน้าที่ที่แตกต่างกัน จึงแบ่งกระบอกลูกสูบออกเป็นสองกลุ่มดังนี้

- กระบอกลูกสูบทำงานเดี่ยวหรือทางเดียว
- กระบอกลูกสูบทำงานคู่หรือสองทาง

2.4.1 กระบอกลูกสูบทางเดียว (Single Actual Cylinder)

กระบอกลูกสูบแบบทำงานทางเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 2-5 กระบอกลูกสูบชนิดนี้มีด้านกำลังเพียงด้านเดียว การถอยของลูกสูบจะมี 2 แบบคือ

- แบบลูกสูบถอยกลับด้วยแรงภายนอก ในจังหวะกลับลูกสูบจะกลับตำแหน่งโดยอาศัยแรงจากน้ำหนักหรือจากแรงอื่นภายนอก
- แบบลูกสูบถอยกลับด้วยแรงสปริง สปริงในกระบอกลูกสูบเป็นตัวดันลูกสูบกลับตำแหน่งเดิม โดยจะต้องเอาชนะแรงเสียดทานภายในและดันน้ำมันออกจากกระบอกลูกสูบไปยังพัก (HP School, www.usefloline.com สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)



Graphical Symbol

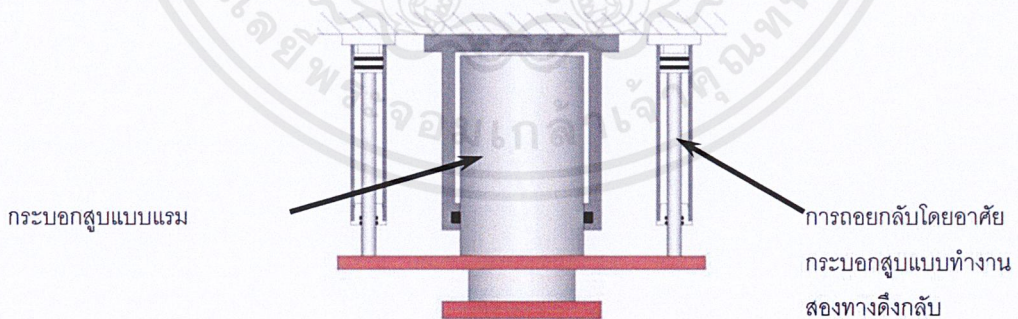


รูปที่ 2- 5 กระบอกสูบทางเดียว

(ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

2.4.1.1 กระบอกสูบแบบแรม (Ram)

กระบอกสูบแบบนี้ไม่มีลูกสูบ แต่ใช้ก้านสูบขนาดใหญ่หรือเรียกว่า“แรม (Ram)” เป็นตัวทำงาน ผิวของก้านสูบจะต้องเรียบเป็นมัน ก้านสูบล้มจะมีบ่าเพื่อจำกัดระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ในจังหวะกลับจะใช้โพลดเป็นตัวดันกลับ สำหรับการคำนวณหาแรงจากก้านสูบ ให้ใช้พื้นที่หน้าตัดตรงเสื่อสูบ (ID) คูณกับค่าความดันเกจของน้ำมัน ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2- 6 กระบอกสูบแบบแรม

(ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

โดยมากกระบอกสูบแบบนี้มักจะติดตั้งในแนวดิ่ง โดยมีกระบอกสูบไฮดรอลิกส์หรือนิวเมติกแบบทำงานสองทิศทางตัวเล็ก ๆ ประกอบอยู่กับด้านข้างทั้ง 2 ด้าน เพื่อช่วยในจังหวะทำงานและจังหวะถอยกลับ แต่ถ้าวางกระบอกสูบนี้ในแนวดิ่งแบบกลับหัวขึ้น ลูกสูบปกติจะกลับด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อน้ำมันไหลกลับถึง จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มกระบอกสูบด้านข้าง

กระบอกสูบแบบก้านสูบนิยมใช้ในงานที่มีความดันสูง ๆ เช่น ใช้กับลิฟท์ แม่แรงระบบชักรอกและเครื่องอัดไฮดรอลิกส์ (HP School, www.usefloline.com สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

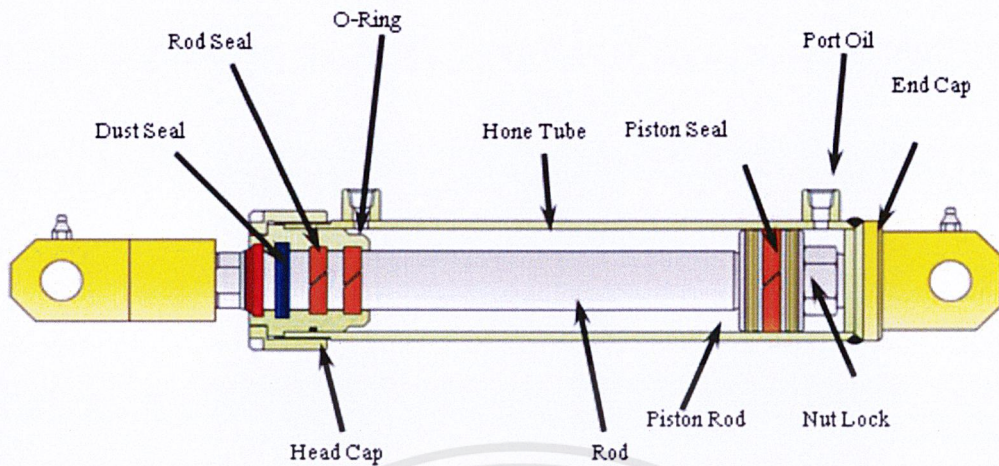
2.4.1.2 กระบอกสูบแบบกลิ้งส่องหรือแบบเทเลสโคป (Telescoping cylinders)

กระบอกสูบแบบนี้ประกอบด้วย กระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2-3 นิ้ว ซ้อนกันประมาณ 2-6 ชั้น เป็นการลดความยาวช่วงชักของกระบอกสูบ สามารถทำงานที่ความดัน 1000-1500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ลักษณะการทำงานคือ กระบอกจะทำงานตามลำดับจากกระบอกโตที่สุด ไปจนถึงเล็กที่สุด ขนาดของกระบอกที่ต่างกันทำให้แรงลดลง แต่ความเร็วเพิ่มขึ้น

การคำนวณหาแรงของกระบอกสูบแบบนี้ยากขึ้นเพราะจะต้องคำนวณแยกกันทีละชั้น โดยหาจากเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคูณด้วยความดันเกจ ส่วนแรงในจังหวะกลับแต่ละชั้นคำนวณได้จากความดันเกจคูณกับพื้นที่สุทธิระหว่างวงในของกระบอกใหญ่กับวงนอกของกระบอกเล็กที่ถดลงไป จังหวะกลับจึงขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในและพื้นที่สุทธิของแต่ละชั้น (HP School, www.usefloline.com สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

2.4.2 กระบอกสูบสองทาง (Double Acting Cylinder)

กระบอกสูบแบบทำงานสองทางดังรูปที่ 2-7 มีพื้นที่ทำงานตรงข้ามกันสองบริเวณ ซึ่งอาจมีขนาดเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ตัวกระบอกสูบต่อกับช่องทางออก 2 ท่อ ซึ่งแยกออกจากกันและกัน เมื่อป้องกันของไหลผ่านทางช่อง “A” หรือ “B” ลูกสูบถ่ายเทแรงดึงและแรงผลักไปทั้งสองจังหวะ กระบอกสูบแบบนี้พบได้ในการใช้งานเกือบทุกประเภท(HP School, www.usefloline.com สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)



รูปที่ 2- 7 กระบอกสูบสองทาง

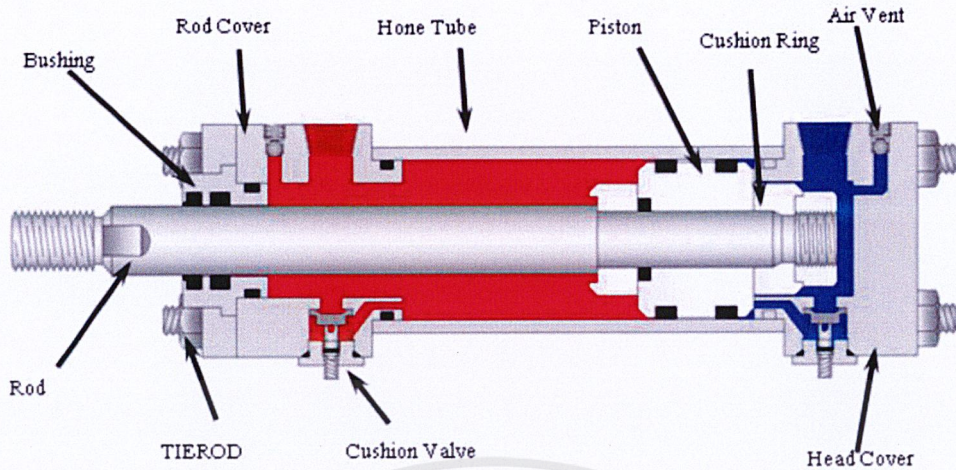
(ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

2.4.3 กระบอกสูบแบบมีคูชชั้นหรือหมอนกันกระแทก

เมื่อพลังงานไฮดรอลิกส์เคลื่อนที่ ตำแหน่งกระบอกสูบหยุดกะทันหัน (เช่น ขณะสุดจังหวะ กระบอก สูบ) แรงเฉื่อยของเหลวถูกเปลี่ยนเป็นการกระแทกที่เรียกว่า “ไฮดรอลิกส์ช็อก” ถ้าปริมาณพลังงานจลน์ถูกหยุดอย่างกะฉาบเกินไป เป็นผลให้เกิดการช็อกอย่างรุนแรง อาจทำความเสียหายแก่กระบอกสูบได้

เพื่อป้องกันการช็อกอย่างรุนแรง กระบอกสูบจึงได้รับการติดตั้งคูชชั้นกันกระแทก คูชชั้นกันกระแทกช่วยชะลอการชนของลูกสูบในระบบให้ช้าลงก่อนที่จะถึงปลายสุดจังหวะ สามารถติดคูชชั้นกันกระแทกได้ทั้งสองปลายของกระบอกสูบ

คูชชั้นกันกระแทกประกอบด้วยตัวควบคุมการไหลชนิดวาล์วแบบเข็ม (Needle valve) และปลั๊กอุดติดที่ลูกสูบ ปลั๊กอุดอาจอยู่ทางด้านก้านซึ่งเรียกว่า ปลอกคูชชั้นกันกระแทก หรือติดทางด้านปลายฝาครอบที่เรียกว่าหัวหมุดคูชชั้นกับกระแทก ดังแสดงในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2- 8 กระบอกสูบสองทางพร้อมคูดชั่นกันกระแทก

(ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

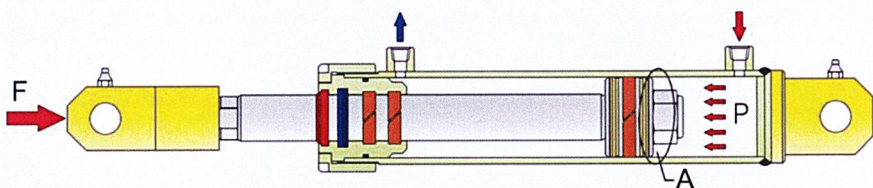
ก่อนหน้านี้ ปลอกคูดชั่นและหมุดคูดชั่นกันกระแทกที่ใช้กันทั่วไปสำหรับกันกระแทกยังไม่มีอะไร
 มากไปกว่าการบีบทางเข้า เพื่อให้เกิดการสะท้อนแรงดันเริ่มต้นที่สูงมากต่อการใช้งานที่ความเร็วสูง

แต่อย่างไรก็ตาม คูดชั่นใหม่ก็เกิดขึ้นและพัฒนาเป็นการกันกระแทกแบบที่ละชั้น (Step
 cushion) ด้วยการตัดค่าสูงสุดของแรงดันเริ่มต้นลงที่ละ 50% สมรรถภาพโดยรวมของคูดชั่นกันกระแทก
 แบบนี้ดีกว่าแบบเดิมมาก(HP School,www.usefloline.com สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

2.4.4 กำลังและความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์

แรงกระทำบนหัวหน้าลูกสูบ กระบอกสูบมีก้านสูบต่อเข้ากับลูกสูบด้านเดียวพื้นที่หน้าตัดของ
 ลูกสูบทั้ง 2 ด้านจะไม่เท่ากัน

ในจังหวะเลื่อนออกความดันของน้ำมันในกระบอกสูบจะกระทำกับพื้นที่ผิวหน้าทั้งหมดของลูกสูบ
 ดังแสดงในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2- 9 รูปแสดงแรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนออก

(ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

แรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนออกมีค่าเท่ากับ ความดันเกจของน้ำมันคูณกับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลูกสูบ ดังสมการ 2-15

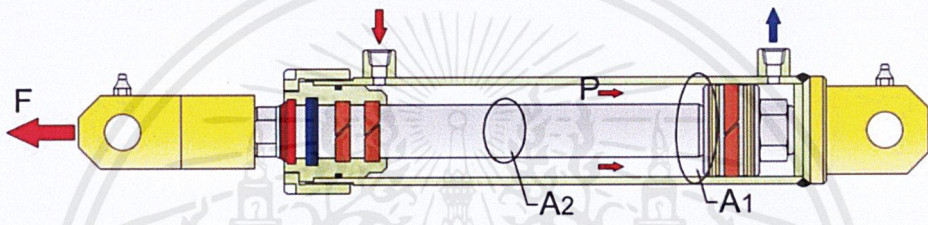
$$F = P \times A \dots \dots \dots (2-15)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนออก (N)

P คือ ความดันเกจของน้ำมัน (Pa)

A คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลูกสูบ (m²)

ในจังหวะเลื่อนกลับพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบที่รับแรงจะลดลงไป เนื่องจากมีก้านสูบติดตั้งอยู่ทำให้ แรงที่จะดันลูกสูบกลับมีน้อยกว่าแรงที่กระทำบนพื้นที่เต็มของลูกสูบ ดังแสดงในรูปที่ 2-10



รูปที่ 2- 10 รูปแสดงแรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนกลับ

(ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

แรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนกลับมีค่าเท่ากับความดันเกจของน้ำมันคูณกับพื้นที่หน้าตัดสุทธิบนผิวหน้าลูกสูบ แสดงได้ดังสมการ 2-16

$$F = P \times (A_2 - A_1) \dots \dots \dots (2-16)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กระทำกับลูกสูบในจังหวะเลื่อนกลับ (N)

P คือ ความดันเกจของน้ำมัน (Pa)

A₂ คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของก้านลูกสูบ (m²)

A₁ คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลูกสูบ (m²)

ความเร็วกระบอกสูบ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบหรือก้านสูบในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญคือ อัตราการไหลของน้ำมันที่ป้อนให้แก่กระบอกสูบ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของวาล์วและท่อใดๆ ความเร็วของลูกสูบหรือก้านสูบในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์หาได้จากความสัมพันธ์สูตรในสมการ 2-17

$$V_c = \frac{Q_c}{A_c} \dots\dots\dots(2-17)$$

เมื่อ V_c คือ ความเร็วลูกสูบ (m/s)

Q_c คือ อัตราการไหลที่ป้อนเข้าสู่กระบอกสูบ (m^3/s)

A_c คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของลูกสูบ (m^2)

การเลือกขนาดกระบอกสูบไฮดรอลิก การเลือกใช้กระบอกสูบให้มีขนาดพอเหมาะกับงานในระบบไฮดรอลิก มีองค์ประกอบในการพิจารณามากมาย เช่น เมื่อต้องการเปลี่ยนกระบอกสูบในระบบสิ่งที่จะต้องคำนึงก็คือ

- ความทนทานของกระบอกสูบต่อความดันใช้งานในระบบ
- ทราบค่าของแรงระยะชัก และความเร็วของกระบอกสูบ
- ระบบต้องจ่ายน้ำมันป้อนให้แก่กระบอกสูบในอัตราส่วนที่พอเพียง

เมื่อจะนำกระบอกสูบไปใช้งานควรรู้เกี่ยวกับผลการเปลี่ยนแปลงของความดันอัตราการไหลที่ป้อนเข้าสู่กระบอกสูบและขนาดของกระบอกสูบที่เลือกใช้ เมื่อค่าใดค่าหนึ่งเปลี่ยนแปลงจะมีผลทำให้ค่าอื่น ๆ เปลี่ยนไปอย่างไร ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2- 2 แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความดัน อัตราการไหล และขนาดของกระบอกสูบ

เปลี่ยนแปลง	ความเร็ว	ผลของความดันในการทำงาน	แรงที่ได้
ปรับตั้งความดันให้เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล	ไม่มีผล	เพิ่มขึ้น
ปรับตั้งความดันให้ลดลง	ไม่มีผล	ไม่มีผล	ลดลง
อัตราการไหลเพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล	ไม่มีผล
อัตราการไหลลดลง	ลดลง	ไม่มีผล	ไม่มีผล
ขนาดกระบอกสูบเพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ขนาดกระบอกสูบลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง

ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.useflonline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562

การเลือกขนาดก้านสูบ ตามปกติกระบอกสูบทุกชนิดจะต้องมีขนาดมาตรฐานของก้านสูบกำหนดไว้เพื่อให้สามารถรับแรงดึงในระยะสุดช่วงชักได้พอดี ในงานแบบรับแรงดึงนี้จะไม่ใช้ก้านสูบที่มีขนาดใหญ่เกินไปหรืองานที่มีน้ำหนักไม่มากนัก ส่วนกรณีที่ใช้กระบอกสูบในงานผลักดันชิ้นงาน (Push) มักจะใช้ก้านสูบที่มีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน โดยจะต้องพิจารณาลักษณะการจับยึดกระบอกสูบว่าเป็นแบบยึดตายตัวหรือแบบแฉวนประกอบด้วย

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับแกนหรือก้านสูบเสมอคือ ก้านสูบคดงอ อาจเกิดขึ้นถ้าขนาดก้านสูบเล็กเกินไปสำหรับที่จะรับโหลดมาก ๆ หรือใช้ช่วงชักในการทำงานยาวๆ จึงควรเลือกใช้ก้านสูบที่มีขนาดและความยาวพอเหมาะ กับโหลด โดยใช้ตารางในการพิจารณาเลือกใช้ และถ้าไม่แน่ใจว่าก้านสูบจะพอเหมาะ กับโหลดหรือไม่ควรเลือกใช้ก้านสูบที่มีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ในตารางจะปลอดภัยขึ้น (HP School ,www.usefloline.com สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562)

ตารางที่ 2- 3 แสดงค่าขนาดของก้านสูบกับความยาวช่วงชักของก้านสูบที่เหมาะสมกับโหลด

แรงที่กระทำ(lb)	เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ(in)							
	5/8	1	1 3/8	1 3/4	2	2 1/2	3	3 1/2
50	62							
100	55	112						
200	47	99						
300	44	88	142					
500	38	75	130	180				
750	28	70	122	170	198	272		
1000	25	60	103	156	191	258	332	
1250	21	52	94	140	183	251	316	400
1500	19	50	92	136	168	240	300	390
2000	15	43	81	113	150	229	291	309

ที่มา: HP School เข้าถึงได้จากเว็บไซต์ www.usefloline.com เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2562

2.5 การออกแบบเพื่อความปลอดภัย (Safe Design)

2.5.1 ความหมายของการออกแบบเพื่อความปลอดภัย

การออกแบบ หมายถึง กระบวนการหรือแนวคิดที่ผนวกกันของนวัตกรรม ความสวยงามและรูปแบบหน้าที่การทำงาน เพื่อที่จะวางแผนและสร้างสรรค์สิ่งประดิษฐ์ รวมถึงผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือระบบต่างๆ โดยให้มีทั้งรูปลักษณ์ที่สวยงาม และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งแนวคิดในการออกแบบ การเขียนแบบ การวางแผนระบบ จำนวน คุณภาพ กรรมวิธีในการสร้างหรือผลิต รายละเอียดของต้นทุนและราคา การวิเคราะห์ความเสี่ยง การใช้งานได้จริง รายละเอียดของแบบคุณสมบัติเฉพาะทางด้านเทคนิค และการแก้ไขแบบ เข้ามาช่วยในการออกแบบ

การออกแบบเพื่อความปลอดภัย (Safe Design) หมายถึง กระบวนการออกแบบที่มีการนำเทคนิคการแจกแจงอันตราย (Hazard Identification) และวิธีการประเมินความเสี่ยง เข้ามาใช้ตั้งแต่ในระบแรกเริ่มของกระบวนการออกแบบเพื่อที่จะขจัดหรือลดความเสี่ยงของการได้รับบาดเจ็บตลอด ช่วงวงจรชีวิต ของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการออกแบบ ซึ่งจะครอบคลุมถึงการออกแบบทุกประเภท เช่น การออกแบบสาธารณูปโภค ฮาร์ดแวร์ ระบบ อุปกรณ์ ผลิตภัณฑ์ เครื่องมือ วัสดุ การควบคุม พลังงาน แขนง และรูปแบบการจัดวาง เป็นต้น โดยผู้ที่มีอิทธิพลต่อการออกแบบเพื่อความปลอดภัย มีดังนี้

- ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ เช่น สถาปนิก วิศวกร นักออกแบบอุตสาหกรรม นักพัฒนาซอฟต์แวร์
- ผู้ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการออกแบบ เช่น ลูกค้า นักพัฒนา เจ้าของอาคาร เจ้าของผลิตภัณฑ์ ฝ่ายประกัน ผู้จัดการโครงการ ฝ่ายจัดซื้อ ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัย ผู้เชี่ยวชาญด้านเออร์โกโนมิก (Ergonomic)
- ผู้จัดหา ผู้จัดส่ง รวมถึงผู้ผลิต ผู้นำเข้า ผู้ติดตั้งและช่างซ่อมบำรุง (Australian Safety and Compensation council, 2006)

2.5.2 ประโยชน์ของการออกแบบเพื่อความปลอดภัย

แนวคิดของการออกแบบเพื่อความปลอดภัยตั้งอยู่บนพื้นฐานของหลักการที่ว่า โอกาสในการสร้างสถานที่อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดจะเกิดขึ้นในช่วงแรกเริ่มของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่ทำการออกแบบ ทำนองเดียวกับมาตรการควบคุมความเสี่ยง ซึ่งมีหลักการว่า การขจัดอันตรายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จะต้องทำในขั้นตอนการออกแบบหรือวางแผน ซึ่งจะมีประสิทธิผลมากกว่าการเปลี่ยนแปลง

หรือแก้ไขในภายหลังเมื่อความเสี่ยงและอันตรายได้เกิดขึ้นจริงและสร้างความเสียหายแก่ลูกค้า ผู้ใช้งาน และผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนธุรกิจไปเรียบร้อยแล้ว

มีการประมาณการณ์ว่า โดยปกติสถานที่ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ที่ปลอดภัยจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย 5-10 % ของต้นทุนผ่านการลดจำนวนสินค้าคงคลังของวัสดุอันตราย ลดความจำเป็นในการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายและลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ ดังนั้นอาจกล่าวโดยสรุปว่าประโยชน์ของการออกแบบเพื่อความปลอดภัยมีดังนี้

- 1) ป้องกันการได้รับบาดเจ็บของผู้ใช้งาน
- 2) พัฒนาความสามารถในการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ ระบบ และสาธารณูปโภค
- 3) พัฒนาความสามารถในการผลิตและได้ปฏิบัติตามกฎหมาย
- 4) ลดค่าใช้จ่ายในการป้องกันอันตราย
- 5) การคาดการณ์และการบริหารที่ดีขึ้น สำหรับการผลิตและต้นทุนปฏิบัติการตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- 6) เกิดนวัตกรรมขึ้น เพราะการออกแบบเพื่อความปลอดภัยต้องการความคิดริเริ่มใหม่ๆ (Australian Safety and Compensation council, 2006)

2.5.3 การยศาสตร์กับการออกแบบเพื่อความปลอดภัย

การออกแบบเพื่อความปลอดภัยจะรวมหลักการของการยศาสตร์ (Ergonomic) เข้าไปด้วย การยศาสตร์นั้นเป็นวิทยาศาสตร์และเป็นสาขาวิชาที่ให้ความสำคัญกับผู้ใช้งานและพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานและองค์ประกอบอื่นๆของระบบ ซึ่งถือว่าได้ว่ามีบทบาทที่สำคัญมากสำหรับการออกแบบเพื่อสร้างความมั่นใจว่ากระบวนการออกแบบจะหยิบยกหัวข้อสำคัญมาพิจารณาด้วย เช่น ปัจจัยส่วนบุคคล ความสามารถ และข้อจำกัดที่มีผลกระทบต่อผู้ใช้งาน นอกจากนี้หลักการการยศาสตร์ยังเกี่ยวข้องกับหลักปรัชญาและวิถีคิด รวมถึงการพิจารณาปัจจัยทางกายภาพและจิตวิทยาที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะการใช้งาน ตลอดจนถึงสิ่งที่จำเป็นและความต้องการในงานที่กระทำอยู่ ซึ่งตามหลักการการยศาสตร์ มีสิ่งที่ควรคำนึงถึง 5 ข้อ ดังนี้

- 1) ผู้ใช้งาน มีการพิจารณาลักษณะต่างๆของผู้ใช้งาน เช่น ลักษณะทางกายภาพ จิตวิทยา พฤติกรรม ความสามารถ ทักษะ ความรู้ ความเข้าใจ เป็นต้น

- 2) ลักษณะงาน พิจารณาว่าอะไรคือสิ่งที่จำเป็นต้องทำและกระทำจริงในงานนั้นๆซึ่งจะรวมไปถึงสิ่งที่ต้องการจากงาน ความสามารถในการตัดสินใจ เวลาที่ใช้
- 3) สภาพแวดล้อมการทำงาน พิจารณาลักษณะพื้นที่งาน ระยะห่าง แสง เสียง และอุณหภูมิ
- 4) แบบของอุปกรณ์ที่ใช้ร่วม พิจารณาแบบของอุปกรณ์อื่น ๆที่มีการใช้ร่วมกับสินค้าที่จะออกแบบ
- 5) การจัดระเบียบงาน เช่น จำนวนคนงานที่ใช้ ระยะเวลา การคาบเกี่ยวระหว่างงาน ฯลฯ (Australian Safety and Compensation council, 2006)

2.5.4 การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์

การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์จำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาถึงขนาดและลักษณะโครงสร้างร่างกายของคนเข้ามาประกอบ เนื่องจากความแตกต่างกันของบุคคลในแต่ละเชื้อชาติ เพื่อให้การทำงานนั้นเพิ่มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การออกแบบงานและบริเวณสถานที่ทำงานที่ดีมีความเหมาะสมย่อมทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานด้วยความรู้สึกสะดวกสบายปราศจากความเครียดและความคั่งทึบทั้งหลาย

จากการศึกษาวิจัยขนาดร่างกายของผู้ใช้แรงงาน โดยการเก็บตัวอย่างจากสถานประกอบต่างๆ ทั้งของเอกชนและรัฐวิสาหกิจจำนวน 2,189 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเพศชาย 1,478 ตัวอย่าง เพศหญิง 711 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่อายุระหว่าง 21-31 ปี (ร้อยละ 51.5) รองลงมา 31-40 ปี (ร้อยละ 32.1) ผลการวิจัยพบว่า ขนาดร่างกายของเพศชายและเพศหญิงไทยในทำนองโดยเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 2-4 (จันทร์จารี เกตุมาโร, 2553: 46)

ตารางที่ 2- 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานร่างกายของเพศหญิงและเพศชายในทำยีน

ขนาดร่างกาย	เพศหญิง		เพศชาย	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
ทำยีน				
น้ำหนักตัว (กก.)	50.8	6.4	59.2	8.7
ความสูงร่างกาย	154.0	5.0	165.4	5.9
ความสูงตา	143.1	4.8	154.0	5.6
ความสูงของไหล่	127.1	4.7	137.4	5.3
ความสูงกำปั้น	67.4	3.1	73.0	3.5
ความสูงข้อศอก	94.7	3.8	102.4	4.2
ระยะไหล่ถึงกำปั้น	59.7	3.1	64.4	3.1
ความกว้างไหล่	40.6	2.3	44.2	2.4
ความกว้างสะโพก	30.5	1.6	30.8	1.7
ระยะห่างระหว่างข้อศอก	80.2	3.9	86.5	3.9
ความยาวเท้า	23.0	1.1	25.0	1.2

และเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานทั้งทางด้านสุขภาพร่างกายและสุขภาพจิตใจ จึงควรมีการออกแบบและเลือกใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความเหมาะสม ซึ่งมีข้อแนะนำ ดังนี้

- น้ำหนักของวัสดุสิ่งของ
- ความถี่ในการที่ผู้ปฏิบัติงานต้องยกเคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของ
- ระยะทางที่ต้องมีการยกเคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของ
- รูปร่าง ขนาดของวัสดุสิ่งของที่ต้องยกระยะเวลาที่ทำงาน (จันทร์จारी เกตุมาโร, 2553: 46)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติเทพ เฟื่องขจร (2556) ทำการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์เพื่อใช้กดตัวอย่างหินในสองแกน การวิเคราะห์ทางกลศาสตร์วัสดุทางผู้วิจัยใช้สูตร $\sigma_{max} = Mc/I$ เพื่อคำนวณหาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในชุดกดตัวอย่างหิน ผลลัพธ์การคำนวณมีค่าเท่ากับ $\sigma_{max} = 178.242$ Mpa โดยวัสดุที่ใช้ในการออกแบบและประดิษฐ์ คือ Structure Steel A36 (SS400) วัสดุดังกล่าวมีค่าคุณสมบัติทางกล คือ ความต้านแรงดึงคราก $\sigma_{yield} = 250$ Mpa และค่า Modulus of Elasticity, $E = 200$ Gpa จะได้ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของคาน (Factor of safety, FS) มีค่าเท่ากับ 1.403 และการคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของคานภายใต้สภาวะแรงกด (Compressive condition) ซึ่งค่าสัดส่วนความปลอดภัยของคานในสภาวะโมเมนต์ดัดสามารถคำนวณได้จากสูตร $P_{cr} = (\pi^2 EI)/L^2$ เพื่อคำนวณหาแรงวิกฤติที่คานทำให้เกิดการโก่งเดาะ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีค่า $P_{cr} = 34,068.595$ kN และจากการคำนวณค่าของแรงสูงสุดที่กระทำต่อคานได้ผลลัพธ์คือ $F_{max} = 21,932.796$ kN (Maximum load per beam) ได้สัดส่วนความปลอดภัยของคาน (Factor of safety, FS) มีค่าเท่ากับ 1.553

ณัฐรัชย์ ตูจันดา และคณะ ได้ทำการวิจัยเรื่อง เครื่องยกไฟฟ้า ซึ่งเป็นอุปกรณ์ยกและเคลื่อนย้ายพาเลทโดยใช้ระบบไฮดรอลิกในการควบคุม ระบบไฮดรอลิกที่ได้ออกแบบสามารถยกน้ำหนักได้ 1000 กิโลกรัม เหมาะกับการลากของเข้าที่แคบและรถไม่สามารถเข้าถึงได้ ซึ่งมีความสะดวกสบายมากขึ้น จัดเป็นอีกเครื่องมือหนึ่งที่คลังสินค้าและสถานที่เก็บสินค้าจำนวนมากต้องมีเครื่องยกไฟฟ้ามาใช้อำนวยความสะดวก โดยทางผู้วิจัยได้ทดลองใช้กับผู้เชี่ยวชาญ และได้รับความเห็นจกผู้เชี่ยวชาญโดยมีค่า IOC เท่ากับ 0.85 ซึ่งถือได้ว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกันในด้านคุณภาพและความพึงพอใจในการใช้งาน

ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย (2558) ได้ทำการออกแบบ สร้างและวิเคราะห์แม่แรงแบบเอ็กซ์ลิฟท์โดยใช้สลักเกลียวเมตริก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 mm ระยะพิทช์ 2 mm ซึ่งเป็นวัสดุที่มีจำหน่ายทั่วไปภายในประเทศ โดยนำมาประยุกต์เป็นองค์ประกอบหลักของ แม่แรงที่ออกแบบ เพื่อทดแทนสกรูส่งกำลัง ขนาด 13 mm ระยะพิทช์ 3 mm ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และนำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SolidWorks เพื่อศึกษาค่าโมเมนต์บิดสูงสุดของสกรูส่งกำลังและสลักเกลียวเมตริก ในการยกรถยนต์ ค่าความปลอดภัยของสกรูส่งกำลังของแม่แรงมาตรฐาน และค่าความปลอดภัยของสลักเกลียวเมตริก ของแม่แรงที่ออกแบบผลจากการวิเคราะห์พบว่าโมเมนต์บิดสูงสุดที่ใช้ในการหมุนสกรูส่งกำลังของ

แม่แรงมาตรฐานมีค่า เท่ากับ 2,385.73 N-mm และโมเมนต์บิดสูงสุดที่ใช้ในการหมุนสลักเกลียวเมตริกของแม่แรงที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 2,407.04 N-mm ค่าความปลอดภัยของสกรูส่งกำลังของแม่แรงมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 12.06 และค่าความปลอดภัยของ สลักเกลียวเมตริกของแม่แรงที่ออกแบบมีค่าเท่ากับ 24.49

อุทัย จันทรโท และคณะ (2541) ได้ทำการออกแบบและสร้างโต๊ะยกระดับด้วยไฮดรอลิคแบบเคลื่อนที่ได้พร้อมแขนยกวัสดุ ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ส่วน คือ 1.โต๊ะยก 2.แขนยกวัสดุ 3.ต้นกำลังไฮดรอลิค (Hydraulic Power Unit) 4.รถเคลื่อนที่ โต๊ะยกที่สร้างขึ้นมีขนาด 1000×1600 mm สามารถยกได้สูงสุดจากระดับพื้น 3.5 m แรงดันไฮดรอลิคสามารถยกน้ำหนักได้สูงสุด 1 Metric ton โดยใช้เวลาในการยก 45 วินาที แขนยกวัสดุมีระยะยืดออกได้ 3.2 m สามารถยืดในแนวสูงได้ 5 m หมุนรอบตัวได้ 330 องศา ยกน้ำหนักได้สูงสุด 88 kg หลังจากการออกแบบและสร้างแล้ว ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งาน โดยกำหนดตัวแปร คือ เวลาน้ำหนักที่ยกและระยะที่ยก ผลการทดสอบการใช้งานพบว่า โต๊ะยกระดับสามารถยกน้ำหนัก 1000 kg ขึ้นสูง 3.2 m ได้ โดยใช้เวลาในการยกขึ้น (Lift) 30 วินาที และเวลาในการยกลง(Downing) 13 วินาที ส่วนแรงดันที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักที่ยก โดยถ้าน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นแรงดันที่ใช้ก็จะเพิ่มมากขึ้น

ธิติวดี สุขสุดประเสริฐ และคณะ (2556) ได้ทำการออกแบบและสร้างเครนเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์สำหรับเครื่องฉีดพลาสติก โดยใช้หลักการทางทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกล โดยเครนที่สร้างสามารถเคลื่อนที่ได้ และสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 250 กิโลกรัม

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการศึกษาสภาพการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์ในรูปแบบปัจจุบัน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์การวิจัย คือ ออกแบบและสร้างเครื่องทูนแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและใส่ล้อเข้ากับคุมล้อในรถแทรกเตอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษา การออกแบบและคำนวณชิ้นส่วนที่รับแรง รวมถึงการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการออกแบบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานและเหมาะสมกับสภาพการทำงานของพนักงาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- 3.1) แนะนำบริษัทกรณีศึกษา
- 3.2) ศึกษาขั้นตอนการประกอบรถแทรกเตอร์
- 3.3) ศึกษาขั้นตอนการการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์แบบเดิม
- 3.4) การวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางแก้ไข
- 3.5) การสำรวจและเก็บข้อมูลขนาดของอุปกรณ์ถ่วงล้อและขนาดล้อหลังของรถแทรกเตอร์แต่ละรุ่น
- 3.6) ขั้นตอนการออกแบบเครื่องทูนแรง
- 3.7) ขั้นตอนการคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของเครื่องทูนแรง
- 3.8) ต้นทุนในการสร้างเครื่องทูนแรง

3.1 แนะนำบริษัทกรณีศึกษา

บริษัท ซีเอ็นเอช อินดัสเทรียล(ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทที่ทำการประกอบรถแทรกเตอร์รถตัดอ้อย และรถที่ใช้ในการก่อสร้างทุกชนิด โดยผลิตภัณฑ์นำเข้ามาจากประเทศในทวีปอเมริกา ทวีปยุโรปและทวีปเอเชีย เพื่อทำการประกอบและส่งมอบให้กับลูกค้าในประเทศและประเทศในแถบอาเซียน ภายใต้แบรนด์ New Holland และ Case IH

3.2 ศึกษาขั้นตอนการประกอบรถแทรกเตอร์

ชิ้นส่วนทุกชิ้นที่ทำการประกอบนำเข้ามาจากประเทศในทวีปอเมริกา ทวีปยุโรปหรือทวีปเอเชีย ซึ่งเครื่องยนต์และระบบขับเคลื่อนต่างๆของรถแทรกเตอร์นั้นได้ประกอบมาจากโรงงานผู้ผลิตสมบูรณ์แล้ว

สำหรับโรงงานในประเทศไทยนี้มีหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนเพียงบางชิ้นเท่านั้น อาทิ ล้อหน้า ล้อหลัง ท่อไอเสีย กระจกมองหลัง เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนโดยรวมของการประกอบรถแทรกเตอร์เพื่อแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน และแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนต่างๆไปยังพื้นที่ประกอบ สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1.) การนำเข้ารถแทรกเตอร์จากโรงงานผู้ผลิต

โครงรถแทรกเตอร์ที่นำเข้ามาจากโรงงานผู้ผลิตโดยการขนส่งทางเรือ เมื่อมาถึงโรงงานประกอบที่ประเทศไทยแล้วจะถูกจัดเก็บไว้ในพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้สำหรับการจัดเก็บเพื่อรอทำการประกอบ ซึ่งหลังจากการเคลื่อนย้ายโครงรถแทรกเตอร์มายังพื้นที่การจัดเก็บแล้ว จะมีพนักงานทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของโครงรถแทรกเตอร์เพื่อรายงานถึงโรงงานผู้ผลิต และตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง

2.) การเคลื่อนย้ายโครงรถแทรกเตอร์เข้าสู่พื้นที่ประกอบ

หลังจากการนำเข้ารถแทรกเตอร์จากโรงงานผู้ผลิตแล้ว โครงรถแทรกเตอร์จะถูกเคลื่อนย้ายเข้าสู่พื้นที่ประกอบโดยใช้รถโฟล์คลิฟท์ในการยกโครงรถแทรกเตอร์ แล้วนำไปวางไว้บนแท่นเหล็กที่ได้มีการจัดเตรียมไว้

3.) การประกอบล้อหน้าซ้ายและล้อหน้าขวา

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกของการประกอบรถแทรกเตอร์ ซึ่งหลังจากที่ได้เคลื่อนย้ายโครงรถแทรกเตอร์มาวางไว้บนแท่นเหล็กแล้ว พนักงานจะเคลื่อนย้ายล้อหน้าทั้ง 2 ข้างมายังพื้นที่ประกอบเพื่อประกอบเข้ากับตุ้มล้อในคานหน้า

4.) การประกอบบังโคลนซ้ายและบังโคลนขวา

บังโคลนทั้งสองข้างนั้น ถูกประกอบแบบกลับด้านมาจากโรงงานผู้ผลิตแล้ว ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการขนส่งจากโรงงานผู้ผลิต ในส่วนการประกอบของโรงงานในประเทศไทย พนักงานจะทำการถอดบังโคลนจากการประกอบจากโรงงานผู้ผลิตออกแล้วทำการกลับด้านบังโคลน จากนั้นทำการประกอบเข้าไปอีกครั้ง

5.) การประกอบล้อหลังซ้ายและล้อหลังขวา

ขั้นตอนการประกอบล้อหลังนั้นมีขั้นตอนการประกอบหลายขั้นตอน เริ่มจากการเคลื่อนย้ายล้อหลังทั้งสองข้างมายังพื้นที่การประกอบแล้ววางล้อลงกับพื้นในลักษณะวางนอนขนาน จากนั้นพนักงานจะ

ยกอุปกรณ์ถ่วงล้อมาประกอบเข้ากับล้อแล้วทำการยกล้อที่ประกอบเข้ากับอุปกรณ์ถ่วงล้อขึ้น แล้วเคลื่อนย้ายไปประกอบเข้ากับดุมล้อในคานหลัง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้พนักงานทั้งหมด 3 คนในการประกอบ

6.) การประกอบกระจกมองหลัง

การประกอบกระจกมองหลังนั้น พนักงานจะหยิบกระจกมองหลังจากพื้นที่จัดเก็บมาประกอบเข้ากับตัวรถแทรกเตอร์ ซึ่งมีแป้นสำหรับติดอยู่ทางด้านขวาของรถแทรกเตอร์

7.) การประกอบอุปกรณ์ติดตั้งอุปกรณ์เสริม

การประกอบอุปกรณ์ติดตั้งอุปกรณ์เสริมนั้น พนักงานจะทำการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนเข้าสู่พื้นที่การประกอบ และทำการติดตั้งกับตัวรถแทรกเตอร์ซึ่งมีการติดตั้งอยู่ด้านหลังรถแทรกเตอร์

8.) การประกอบท่อไอเสีย

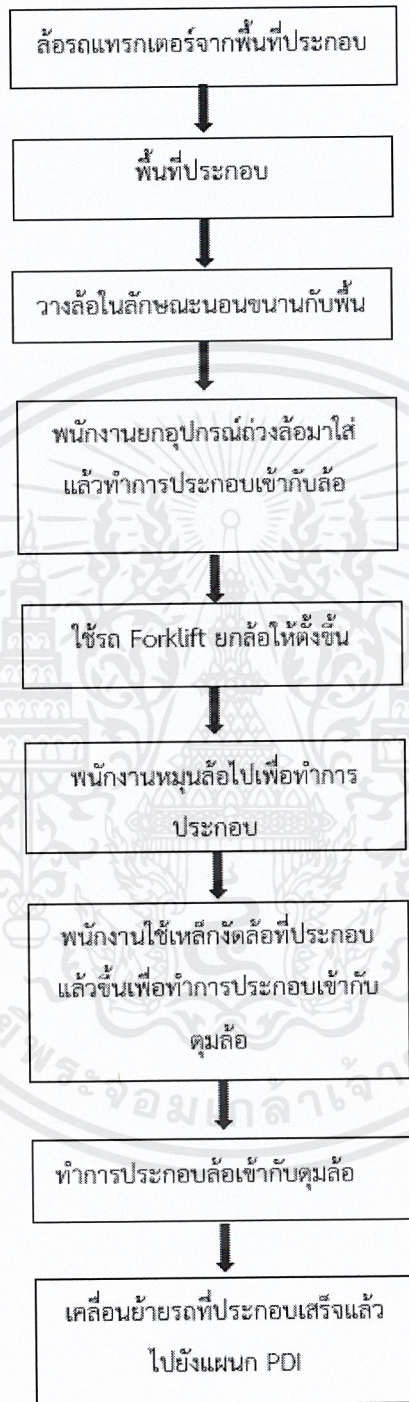
ท่อไอเสียจะถูกห่อหุ้มมาอย่างดีจากโรงงานผู้ผลิตเพื่อป้องกันการเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนระหว่างการขนส่ง พนักงานจะทำการแกะพลาสติกที่หุ้มท่อไอเสียออก แล้วทำการประกอบท่อไอเสียเข้ากับตัวรถแทรกเตอร์

9.) การประกอบหลังคา

ขั้นตอนนี้จะมีกับเพียงบางรุ่นเท่านั้น โดยพนักงานจะใช้รถโฟล์คลิฟท์ในช่วยยกในระหว่างทำการประกอบ เนื่องจากการประกอบนั้นต้องยกโครงหลังคาให้สูงจากตัวรถทำให้พนักงานไม่สามารถที่จะยกหลังคาค้างไว้เพื่อรอทำการประกอบได้ หลังจากการประกอบหลังคาเสร็จแล้ว รถแทรกเตอร์จะถูกส่งต่อไปยังแผนกตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนการส่งรถให้กับลูกค้า

3.3 ศึกษาขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์แบบเดิม

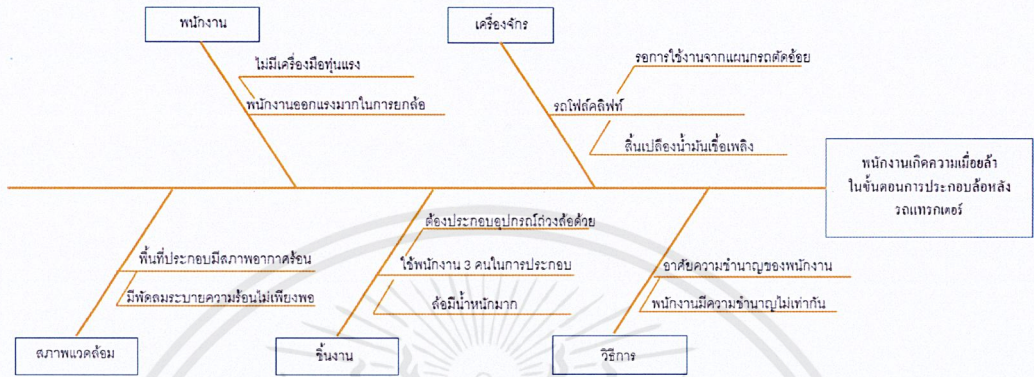
ในขั้นตอนการประกอบแบบเดิมส่งผลต่อสภาพการทำงานและร่างกายของพนักงานเป็นอย่างมาก เนื่องจากพนักงานต้องใช้พลังงานและกำลังมากในการเคลื่อนย้ายล้อหลังของรถแทรกเตอร์ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่า 150 kg อีกทั้งยังต้องยกอุปกรณ์ถ่วงล้อมาประกอบเข้ากับล้อ โดยอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนักมีน้ำหนักมากกว่า 40 kg ตามปกติแล้วพนักงานแต่ละคนจะใช้ความชำนาญในการประมาณระยะยกที่ล้อจะสวมเข้ากับสกรูที่ติดกับดุมล้อให้มีความพอดี โดยขั้นตอนการประกอบล้อหลังจะแสดงเป็นลำดับดังแสดงในรูปที่ 3-1 แผนภาพโดยรวมของขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์แบบเดิม



รูปที่ 3- 1 แผนภาพโดยรวมของขั้นตอนการประกอบล้อรถแทรกเตอร์แบบเดิม

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางแก้ไข

ภายในหัวข้อนี้จะทำการหาสาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนผังก้างปลาเพื่อมาวิเคราะห์หาสาเหตุ แสดงดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3- 2 วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภาพก้างปลา

จากแผนผังก้างปลาข้างต้นสามารถสรุปปัญหาที่เกิดจากสาเหตุหลักได้ทั้งหมด 5 หัวข้อ ได้ดังนี้

- 1) วิธีการ คือ ขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์พนักงานจะอาศัยความชำนาญเฉพาะตัวในการประกอบ ซึ่งพนักงานแต่ละคนมีความชำนาญไม่เท่ากัน
- 2) ทีมงาน คือ ลื้อมีน้ำหนักมาก เนื่องจากทางโรงงานผู้ผลิตได้ทำการประกอบกระทะล้อเข้ากับยางมาสำเร็จรูปแล้ว ทำให้ในประกอบต้องใช้พนักงานจำนวน 3 คน โดย 1 คน ขับรถโฟล์คคลิฟท์ และอีก 2 คน ช่วยกันงัดล้อให้เข้ากับตุ้มล้อรถแทรกเตอร์
- 3) สภาพแวดล้อม คือ พื้นที่ที่ทำการประกอบมีสภาพอากาศร้อน เนื่องจากมีการถ่ายเทอากาศไม่สะดวกและมีพัดลมระบายความร้อนไม่เพียงพอ ส่งผลให้การพนักงานขาดแรงจูงใจในการทำงาน
- 4) พนักงาน คือ พนักงานต้องออกแรงมากในการยกล้อหลังรถแทรกเตอร์เพื่อทำการประกอบ เนื่องจากในขั้นตอนการประกอบเดิมยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้ทนแรง ทำให้พนักงานมีการทำงานที่ไม่ถูกลักษณะและอาจเกิดการเจ็บปวดได้จากการทำงาน
- 5) เครื่องจักร คือ รถโฟล์คคลิฟท์มีเพียง 1 คัน ซึ่งต้องแบ่งใช้กับทีมรถตัดอ้อย ทำให้เกิดความล่าช้าในการประกอบอันเนื่องมาจากการรอคอย อีกทั้งยังสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

แนวทางการแก้ไข

จากสาเหตุหลักของปัญหาที่มาจากชิ้นงานและพนักงาน นำมาสู่แนวทางการแก้ไข คือ การออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรงเพื่อใช้ในการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ โดยใช้หลักการทางทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกลและหลักการทางทฤษฎีไฮดรอลิกส์ โดยมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

เปลี่ยนวิธีการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์จากแบบเดิม คือ การใช้พนักงานในการประกอบมาเป็นเครื่องทุ่นแรงในการประกอบ โดยทำการออกแบบเครื่องทุ่นแรงให้สามารถรองรับขนาดและน้ำหนักของล้อหลังรถแทรกเตอร์ได้ทุกรุ่น รวมทั้งหมด 9 รุ่น ในการออกแบบจะทำการคำนวณการรับแรงของชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน และการสร้างเครื่องทุ่นแรงนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่พนักงานในการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์เพิ่มมากขึ้น

3.3 การสำรวจและเก็บข้อมูลขนาดของอุปกรณ์ถ่วงล้อและขนาดล้อหลังของรถแทรกเตอร์แต่ละรุ่น

ในหัวข้อนี้จะทำการสำรวจและเก็บข้อมูลขนาดของอุปกรณ์ถ่วงล้อและขนาดล้อหลังของรถแทรกเตอร์ทั้งหมด 9 รุ่น ที่จะต้องทำการประกอบ โดยส่วนที่ทำการพิจารณาเป็นหลัก ประกอบไปด้วย เส้นผ่านศูนย์กลางของอุปกรณ์ถ่วงล้อ, เส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ, น้ำหนักของอุปกรณ์ถ่วงล้อ, น้ำหนักของล้อ และความหนาของล้อ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะแสดงในตารางที่ 3-1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3- 1 แสดงขนาดของอุปกรณ์ถ่วงล้อและขนาดล้อหลังของรถแทรกเตอร์

รุ่น	ขนาด				
	เส้นผ่านศูนย์กลางล้อ (มิลลิเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลางอุปกรณ์ถ่วงล้อ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักล้อ (กิโลกรัม)	น้ำหนักอุปกรณ์ถ่วงล้อ (กิโลกรัม)	ความหนาล้อ (มิลลิเมตร)
TT3.50	1300	600	300	40	400
TT4.55	1400	600	400	55	500
TT4.75	1500	600	400	55	500
TT4.90	1500	600	400	55	500
TD5.110	1600	500	500	50	500
TS6.125	1700	600	500	45	500
TS6.140	1700	600	500	45	500
7610S	1500	600	400	45	500
T6050	1600	650	500	65	600

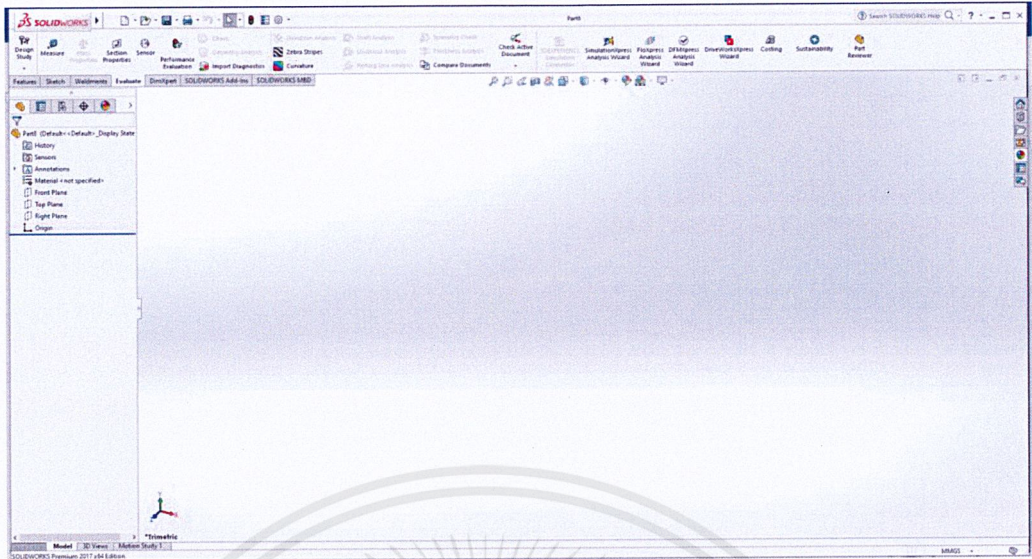
3.4 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องทุ่นแรง

เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์ มีส่วนประกอบหลัก คือ ส่วนที่ใช้ประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและส่วนที่ใช้ประกอบล้อเข้ากับคัมล้อ ในการออกแบบได้ใช้โปรแกรมสร้างแบบทางคอมพิวเตอร์ (Solidworks) โดยเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ได้มีการคำนวณหาสัดส่วนความปลอดภัย (Safety of factor) เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัย

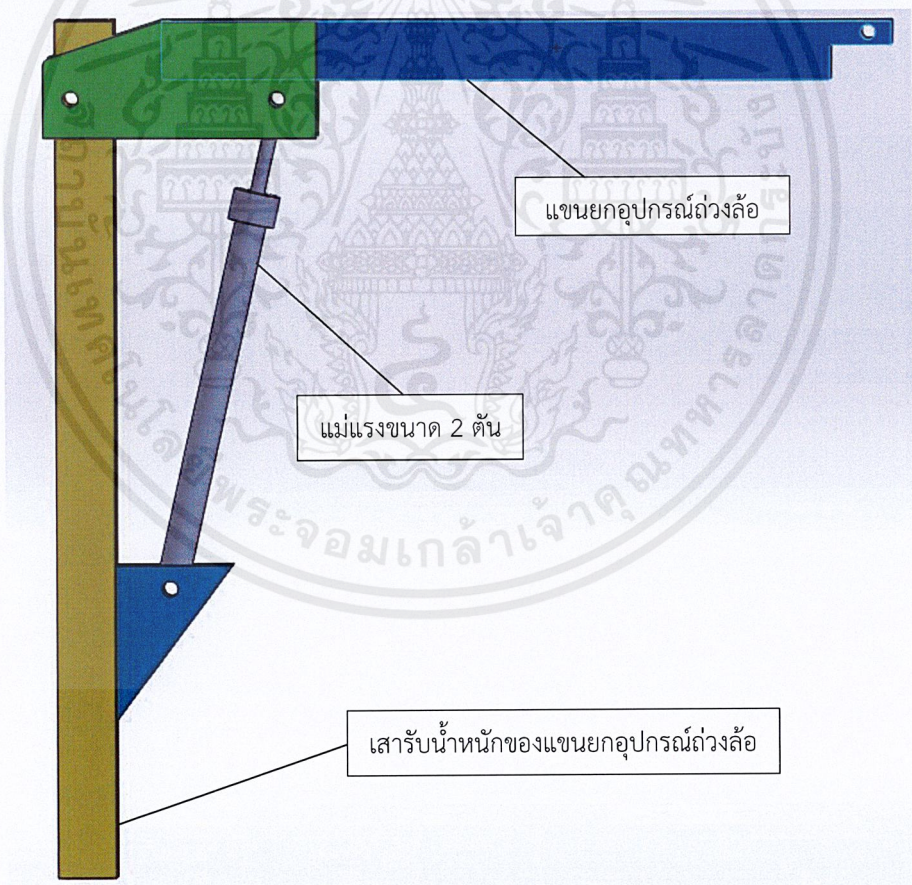
ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ คือ

- วัสดุที่ใช้ในการสร้างเป็นเหล็กชนิด Structure Steel A36
- แขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อสามารถยกอุปกรณ์ถ่วงล้อที่มีน้ำหนักประมาณ 65-85 กิโลกรัม
- โครงเครื่องทุ่นแรงสามารถเคลื่อนที่เข้า-ออกได้ เพื่อทำการยกล้อหลังรถแทรกเตอร์ โดยใช้การควบคุมจากกระบอกไฮดรอลิกส์สองทิศทาง (Double acting cylinder) และใช้แฮนด์ปั๊มเป็นตัวให้กำลัง

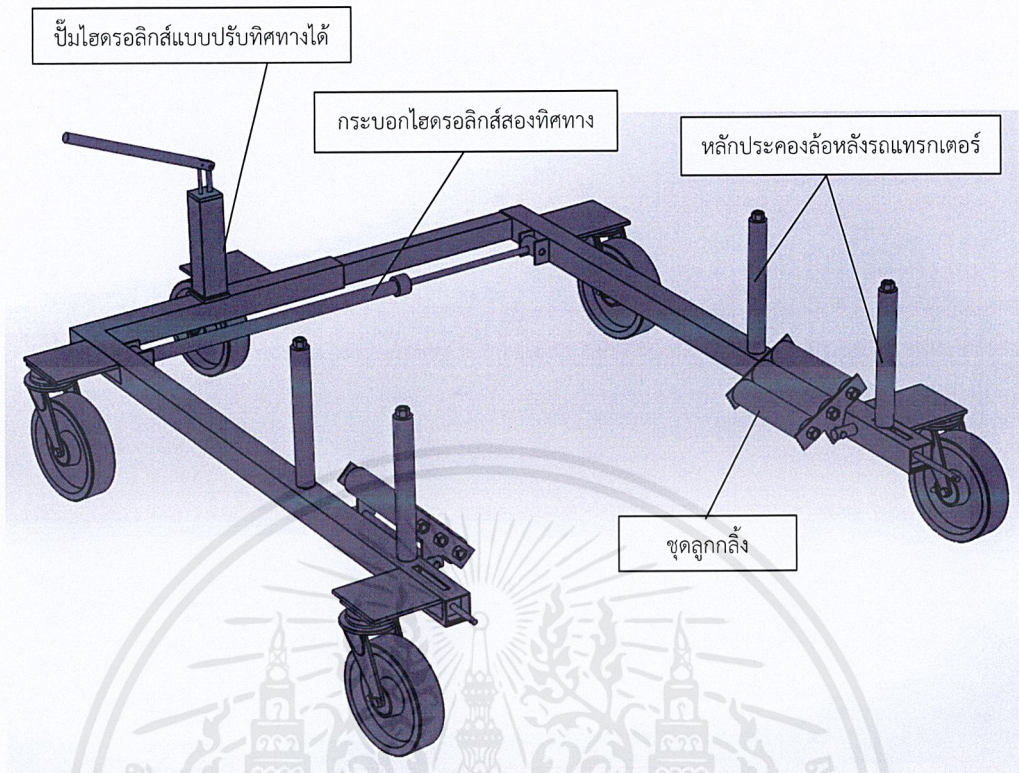
การออกแบบเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์ มีกลไกการทำงานของเครื่อง 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ยกอุปกรณ์ถ่วงล้อและส่วนที่ใช้ยกล้อ โดยในส่วนที่ใช้ยกอุปกรณ์ถ่วงล้อจะใช้แม่แรงเป็นตัวให้กำลังในกรยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ เพื่อทำการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ ซึ่งล้อถูกวางอยู่ในลักษณะตั้งฉากกับพื้น และส่วนที่ใช้ในการยกล้อจะใช้กระบอกไฮดรอลิกส์สองทิศทางในการยกล้อเพื่อทำการประกอบเข้ากับคัมล้อ โดยใช้กระบอกไฮดรอลิกส์สองทิศทางจะสามารถปรับระดับความสูงให้พอดีกับคัมล้อ สามารถใช้งานโดยใช้มือโยกปั๊มไฮดรอลิกส์ ทั้งนี้ในการออกแบบยังใช้ลูกกลิ้งเป็นฐานรองล้อเพื่อทำการหมุนในแนวรัศมีโดยให้รูของล้อตรงกับสกรูของคัมล้อ กล่าวคือ ใช้ลูกกลิ้งช่วยผ่อนแรงในการหมุนล้อ เพื่อให้รูของล้อและสกรูในคัมล้อสวมเข้ากันพอดี และป้องกันไม่ให้ล้อลื่น เนื่องจากล้อถูกวางในลักษณะตั้งฉากกับพื้น จึงออกแบบเสาเหล็กติดลูกกลิ้งยื่นออกมาเพื่อทำการประคองล้อ ซึ่งมีรายละเอียดแสดงได้รูปที่ 3-3, 3-4, 3-5 และ 3-6



รูปที่ 3- 3 โปรแกรม SolidWork2017



รูปที่ 3- 4 แสดงการออกแบบส่วนที่ใช้ยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ



รูปที่ 3- 5 แสดงการออกแบบส่วนที่ใช้ประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ



รูปที่ 3- 6 แสดงแบบ 3 มิติของเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์

3.5 ขั้นตอนการคำนวณความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนเครื่องทุ่นแรง

ในการออกแบบเพื่อให้เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและประกอบล้อเข้ากับคัมล้อในรถแทรกเตอร์บรรลุดตามวัตถุประสงค์ มีหลักการคำนวณดังนี้

3.5.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในสร้างเครื่องทุ่นแรง

วัสดุที่ใช้ในการสร้างเครื่องทุ่นแรงเป็นเหล็กแบบ Structure Steel A36 ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุเป็นเหล็กแบบ Structure Steel A36

Density (Mg/ m ³)	Poisson's Ratio (Gpa)	Modulus of Elasticity (Gpa)	Modulus of Rigidity (Gpa)	Yield Strength, σ_y (Mpa)		Ultimate Strength (Mpa)	
				Tension	Compression	Tension	Compression
7.86	0.32	200	75	250	250	400	400

(ที่มา: R.C. Hibbeler, 2014)

3.5.2 การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดกับแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อในสภาวะโมเมนต์ดัด สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (Ferdinand P. Beer et. AL., 2012)

$$\sigma_{\max} = Mc / I$$

โดย

- σ_{\max} คือ ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดบริเวณจุดบนหน้าตัดคานที่ห่างจากแกนสะเทินมากที่สุด
- M คือ โมเมนต์ลัพท์ภายในที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าตัดรอบแกนสะเทิน
- I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่หน้าตัดของคานรอบแกนสะเทิน
- c คือ ระยะตั้งฉากจากแกนสะเทินถึงจุดบนหน้าตัดของคาน

ผลลัพธ์การคำนวณจากสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) มีดังแสดงต่อไปนี้

$$M = 436.349 \text{ N-m}$$

$$I = 1.324 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$C = 0.0375 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 12.359 \text{ Mpa}$$

และค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety of factor) ของแขนรับน้ำหนักอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีค่าเท่ากับ 20.228

3.5.3 การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยภายใต้สภาวะแรงกดที่เกิดกับเสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

1.) การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดกับของเสา

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับเสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อในสภาวะโมเมนต์ดัด สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (Ferdinand P. Beer et. Al., 2012)

$$\sigma_{\text{max}} = Mc / I$$

โดย

σ_{max} คือ ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดบริเวณจุดบนหน้าตัดคานที่ห่างจากแกนสะเทินมากที่สุด

M คือ โมเมนต์ลัพท์ภายในที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าตัดรอบแกนสะเทิน

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่หน้าตัดของคานรอบแกนสะเทิน

c คือ ระยะตั้งฉากจากแกนสะเทินถึงจุดบนหน้าตัดของคาน

ผลลัพธ์การคำนวณจากสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) มีดังแสดงต่อไปนี้

$$M = 523.77 \text{ N-m}$$

$$I = 1.324 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$C = 0.0375 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 14.834 \text{ Mpa}$$

และค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety of factor) ของแขนรับน้ำหนักอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีค่าเท่ากับ 16.853

2.) การคำนวณแรงวิกฤติภายใต้สภาวะแรงกดที่เกิดกับเสารับน้ำหนักแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ
ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับเสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อในสภาวะโมเมนต์
ดัด สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (Ferdinand P. Beer et. Al., 2012)

$$P_{cr} = (\pi^2 EI) / L^2$$

โดย

P_{cr} คือ แรงวิกฤติที่เสาทำให้เกิดการโก่งเดาะ

E คือ สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) ของวัสดุที่ใช้ทำเสา

I คือ ค่าที่น้อยที่สุดของโมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดของเสา

L คือ ความยาวของเสา

ผลลัพธ์การคำนวณจากสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) มีดังแสดงต่อไปนี้

$$F_{max} = 1.427 \text{ kN}$$

$$E = 200 \text{ Gpa}$$

$$I = 1.324 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{yield} = 250 \text{ Mpa}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$P_{cr} = 2613.471 \text{ kN}$$

จากค่าแรงวิกฤติที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าของแรงสูงสุดที่กระทำต่อเสา ดังนั้น ในการออกแบบเสานี้มี
ความปลอดภัยและสามารถยอมรับได้

3.5.4 การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับเสารับน้ำหนักของล้อหลังรถแทรกเตอร์

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับเสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อในสภาวะโมเมนต์
ดัด สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (Ferdinand P. Beer et. Al., 2012)

$$\sigma_{max} = Mc / I$$

โดย

σ_{max} คือ ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดบริเวณจุดบนหน้าตัดคานที่ห่างจากแกนสะเทินมากที่สุด

M คือ โมเมนต์ลัพท์ภายในที่เกิดขึ้นบริเวณหน้าตัดรอบแกนสะเทิน

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยพื้นที่หน้าตัดของคานารอบแกนสะเทิน

c คือ ระยะตั้งฉากจากแกนสะเทินถึงจุดบนหน้าตัดของคาน

ผลลัพธ์การคำนวณจากสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) มีดังแสดงต่อไปนี้

$$M = 1561.63 \text{ N-m}$$

$$I = 1.324 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$C = 0.0375 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 250 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{max}} = 44.215 \text{ Mpa}$$

และค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety of factor) ของแขนรับน้ำหนักอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีค่าเท่ากับ 5.654

3.5.5 การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของรอยเชื่อมที่เสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมที่เสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อในสภาวะโมเมนต์ดัด สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (Budynas and Nisbelt, 2015)

$$\tau' = F / A, \quad \tau'' = Mc / I, \quad \tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2}$$

โดย

τ คือ ความเค้นรวม (Total Shear) สูงสุดที่เกิดบริเวณรอยเชื่อมของวัสดุ

τ' คือ Primary Shear

τ'' คือ Secondary Shear

ผลลัพธ์การคำนวณจากสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) มีดังแสดงต่อไปนี้

$$\tau' = 3.438 \text{ Mpa}$$

$$\tau'' = 21.946 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 490 \text{ Mpa}$$

$$\tau = 22.214 \text{ Mpa}$$

และค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety of factor) ของแขนรับน้ำหนักอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีค่าเท่ากับ 12.728

3.5.6 การคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยของรอยเชื่อมที่คานรับน้ำหนักล้อ

ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับรอยเชื่อมที่เสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อในสถานะโมเมนต์ตัด สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (Budynas and Nisbett, 2015)

$$\tau' = F / A, \quad \tau'' = Mc / I, \quad \tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2}$$

โดย

τ คือ ความเค้นรวม (Total Shear) สูงสุดที่เกิดบริเวณรอยเชื่อมของวัสดุ (Pa)

τ' คือ Primary Shear (Pa)

τ'' คือ Secondary Shear (Pa)

ผลลัพธ์การคำนวณจากสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) มีดังแสดงต่อไปนี้

$$\tau' = 3.438 \text{ Mpa}$$

$$\tau'' = 65.430 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{\text{yield}} = 490 \text{ Mpa}$$

$$\tau = 65.520 \text{ Mpa}$$

และค่าสัดส่วนความปลอดภัย (Safety of factor) ของแขนรับน้ำหนักอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีค่าเท่ากับ 4.315

3.5.5 การเลือกขนาดกระบอกไฮดรอลิกส์

การเลือกขนาดของกระบอกไฮดรอลิกส์ สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ (James L. Johnson, 2002)

$$P = F / A$$

โดย

P คือ แรงดันใช้งาน (Pa)

F คือ แรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์ (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของกระบอกไฮดรอลิกส์ (A^2)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณสมการข้างต้น (ดูวิธีการคำนวณจากภาคผนวก ก) ได้ ID = 42 mm

จากภาคผนวก ข รูปที่ 2 รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงการเลือกใช้ขนาดของกระบอกไฮดรอลิกส์ เลือกกระบอกสูบขนาด Bore (ID) เท่ากับ 50 mm ก้านสูบ (Rod) มีขนาดเท่ากับ 30 mm

3.5.6 การเลือกใช้ขนาดของล้อยี่ห้อเครื่องทุ่นแรง

จากการคำนวณหาขนาดของล้อเครื่องทุ่นแรงจากภาคผนวก ก สามารถเลือกใช้ล้อ โดยล้อที่เลือกใช้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

วัสดุ: Put แกนเหล็ก (Polyurethane with Cast iron center)

ชนิด: ล้อเป็น

เส้นผ่านศูนย์กลาง: 125 มิลลิเมตร

Load Capacity: 600 กิโลกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่า 351 กิโลกรัม

3.8 ต้นทุนในการสร้างเครื่องทุ่นแรง

3.8.1 รายการ รายละเอียด และจำนวนของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องทุ่นแรง

ตารางที่ 3- 2 รายการ รายละเอียด และจำนวนของวัสดุอุปกรณ์

รายการ	รายละเอียด	จำนวน
Double acting hydraulic cylinder	Bore dia. 50 mm, stroke 700 mm	1
Long Ram Jack	2 ton	1
Hand pump Hydraulic	700 bar	1
Caster Wheel	dia. 125 mm (5")	5
Roller	dia.50mm ยาว 40 mm	6
	dia.40 mm ยาว 70 mm	4
Square tube ขนาด 75x75 mm หนา 3.2 mm	ยาว 2 m	2
	ยาว 0.8 m	2
	ยาว 1 m	1
	ยาว 1.1 m	1
Steel plate	ขนาด 150x350 mm	2
Steel plate	ขนาด 100x250 mm	2
Circular tube	Dia. 40 mm ยาว 470 mm	1
	Dia. 40 mm ยาว 300 mm	1

3.8.2 มูลค่าของวัสดุอุปกรณ์แต่ละชนิดและต้นทุนรวมในการจัดสร้างเครื่องทุ่นแรง

ตารางที่ 3- 3 ตารางแสดงมูลค่าของวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องทุ่นแรง

รายการ	รายละเอียด	จำนวน	เป็นเงิน (บาท)
Double acting hydraulic cylinder	Bore dia. 50 mm, stroke 700 mm	1	6,741
Long Ram Jack	2 ton	1	2,675
Hand pump Hydraulic	700 bar	1	13,910
Caster wheels	dia. 125 mm (5")	5	3,050
Roller	dia.50mm ยาว 40 mm	6	900
	dia.40 mm ยาว 70 mm	4	520
Square tube ขนาด 75×75 mm หนา 3.2 mm	ยาว 2 m	2	1,000
	ยาว 0.8 m	2	
	ยาว 1 m	1	
	ยาว 1.1 m	1	
Steel plate	ขนาด 150×350 mm	2	200
Steel plate	ขนาด 100×250 mm	2	100
Circular tube	Dia. 40 mm ยาว 470 mm	1	100
	Dia. 40 mm ยาว 300 mm	1	
		รวม	29,196

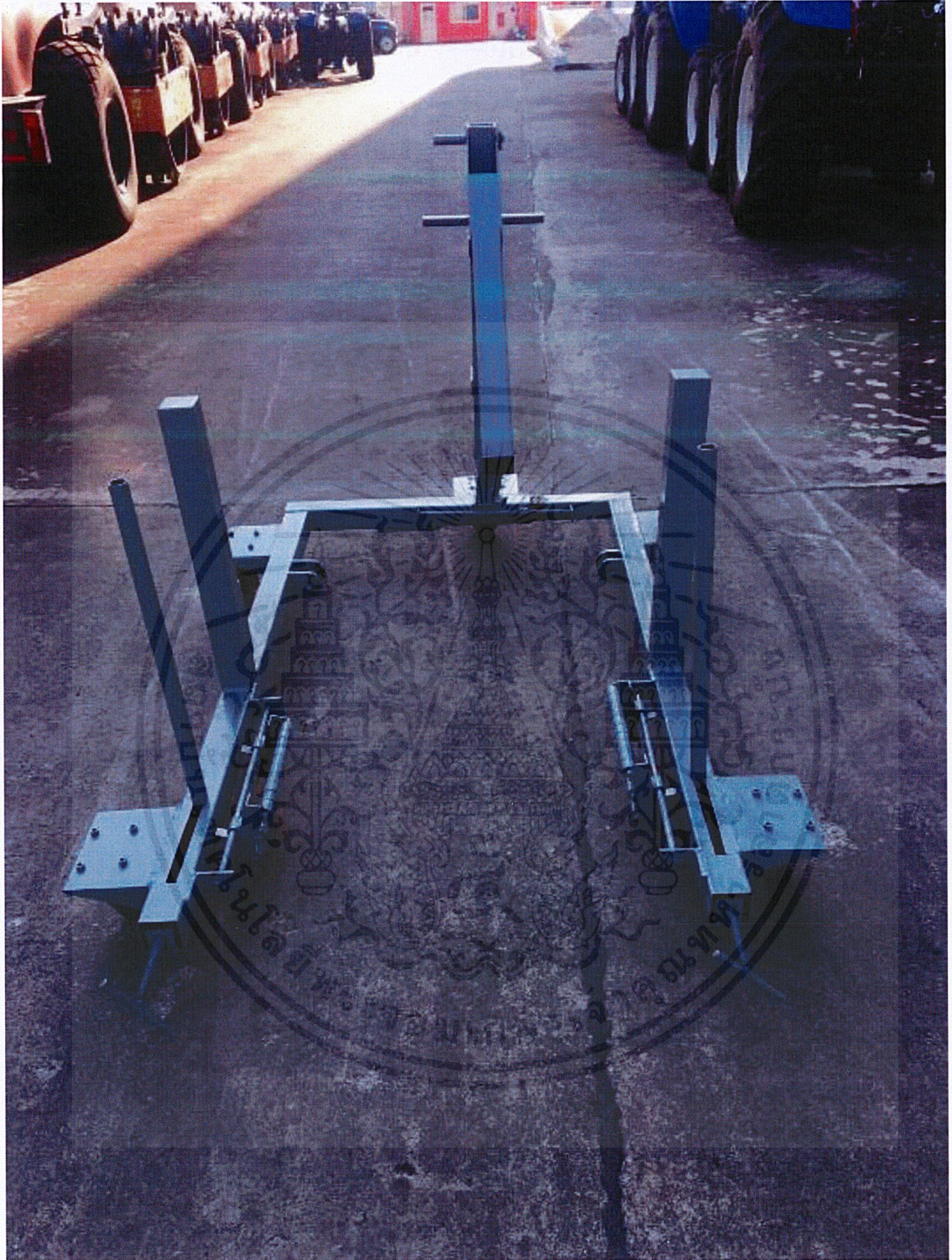
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรง

โครงสร้างเครื่องทุ่นแรง แสดงได้ดังรูปที่ 4-1

- 1.) ส่วนที่ใช้ประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ
 - เสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีความสูง 1000 mm
 - แขนยกน้ำหนักของอุปกรณ์ถ่วงล้อ มีความยาว 940 mm
- 2.) ส่วนที่ใช้ประกอบล้อเข้ากับตุ้มล้อ
 - ส่วนของฐาน มีความยาว 2000 mm
 - ความกว้างของฐานสามารถปรับระยะได้ โดยใช้ระบบไฮดรอลิกสปีในการควบคุม ซึ่งมีความกว้างอยู่ในช่วง 800-1450 mm
 - ปลายของฐานทั้งสองข้างติดตั้งแผงลูกกลิ้ง (แผงละ 3 แห่ง) เพื่อลดแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นในการหมุนที่อยู่นิ่งหลังให้สามารถใส่ล้อที่อยู๋ในตุ้มล้อ
 - เสายที่อยู่ปลายฐานทั้งสองข้าง ออกแบบขึ้นมาเพื่อประคองล้อให้อยู่นิ่ง โดยเสายที่อยู่ด้านนอกสามารถปรับระยะตามความหนาของล้อรถแทรกเตอร์แต่ละรุ่นได้

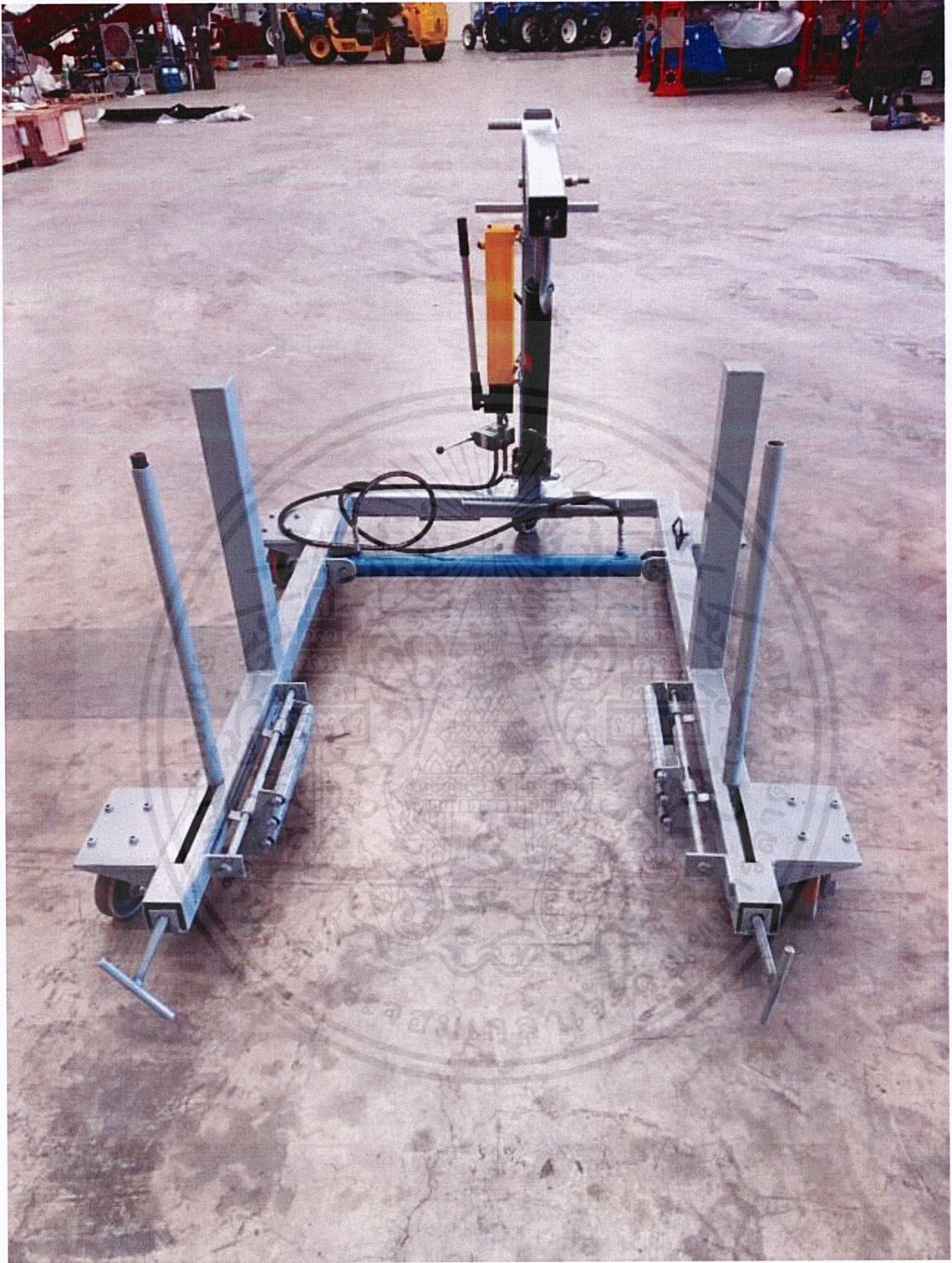


รูปที่ 4- 1 โครงสร้างเครื่องทუნแรง

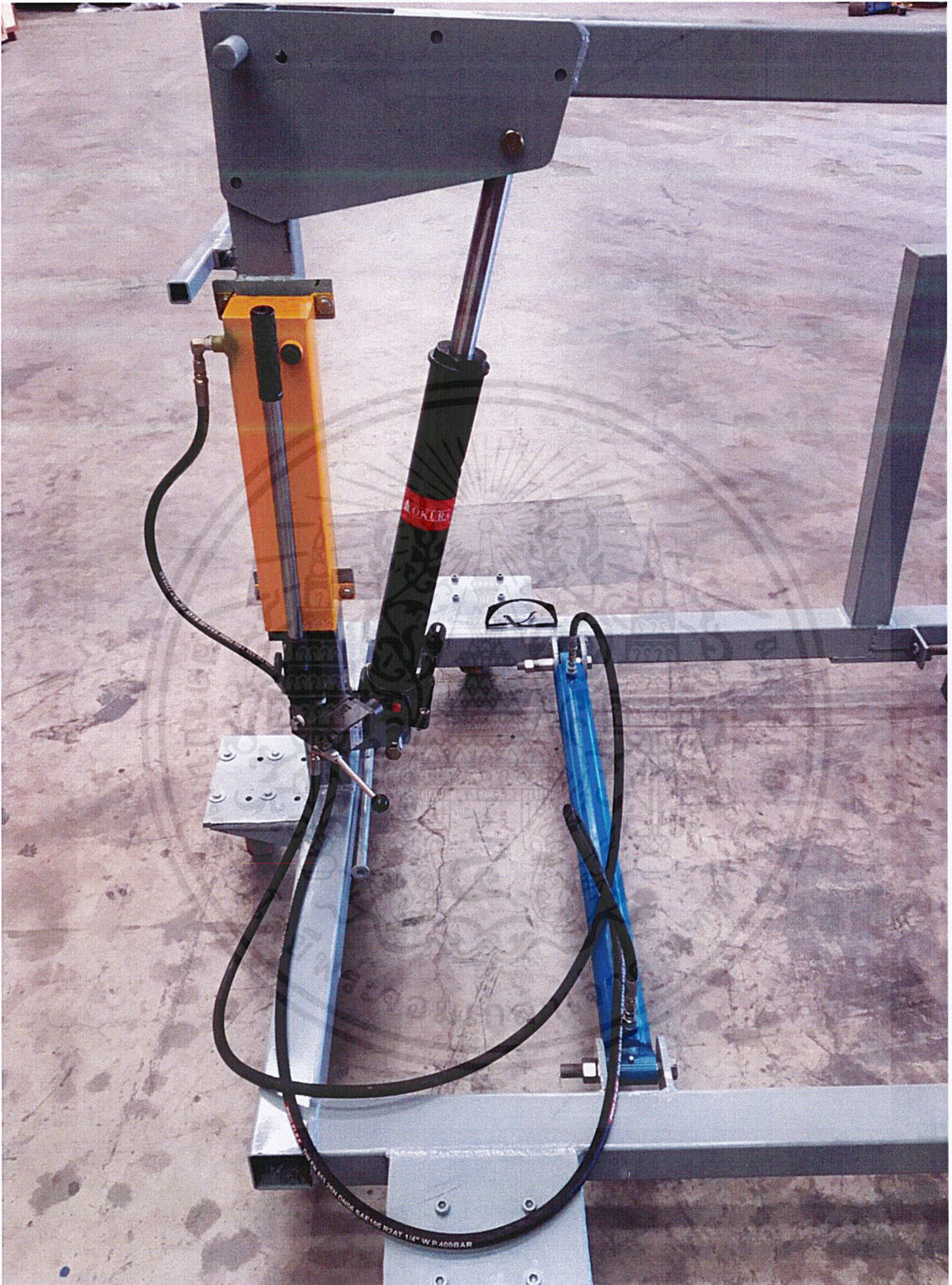
เครื่องทุ่นแรงที่ใช้ประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ ดังรูปที่ 4-2 และรูปที่ 4-3

- ใช้ระบบไฮดรอลิกส์เป็นต้นกำลังในการเคลื่อนที่
- แขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อใช้แม่แรงขนาด 2 ตัน โดยมีระยะชัก 425 mm ในการยกอุปกรณ์ถ่วงล้อมาประกอบเข้ากับล้อรถแทรกเตอร์
- ฐานที่ใช้ยกล้อใช้กระบอกลูกไฮดรอลิกส์สองทิศทางเป็นต้นกำลัง และควบคุมระยะการเคลื่อนที่ด้วยแฮนด์ปั๊ม ซึ่งแฮนด์ปั๊มติดตั้งวาล์วปรับทิศทางของน้ำมันไฮดรอลิกส์ เพื่อส่งไปควบคุมการเคลื่อนที่เข้า-ออกของกระบอกลูกไฮดรอลิกส์สองทิศทาง





รูปที่ 4- 2 เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์



รูปที่ 4- 3 การต่ออุปกรณ์ไฮดรอลิกส์เข้ากับเครื่องทุ่นแรง

4.2 ผลการประเมินเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบ

จากการทดลอง ทำการจับเวลาการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและการประกอบล้อเข้ากับดุมล้อ ทั้งแบบการประกอบแบบสภาพการทำงานเดิมและการประกอบโดยใช้เครื่องทุ่นแรง โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่พนักงานทำการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในพื้นที่การประกอบ(ไม่รวมเวลาที่เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ต่างๆเข้ามายังพื้นที่การประกอบ) ทำการจับเวลาทั้งหมด 10 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละรูปแบบ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้ (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

การประกอบแบบสภาพการทำงานเดิม

- พนักงานใช้เวลาในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อเฉลี่ย 10.83 นาที
- พนักงานใช้เวลาในการประกอบล้อเข้ากับดุมล้อเฉลี่ย 10.01 นาที

การประกอบแบบใช้เครื่องทุ่นแรง

- พนักงานใช้เวลาในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อเฉลี่ย 6.64 นาที
- พนักงานใช้เวลาในการประกอบล้อเข้ากับดุมล้อเฉลี่ย 5.70 นาที

จากการเปรียบเทียบเวลาการทำงานในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและประกอบล้อเข้ากับดุมล้อทั้งแบบสภาพการทำงานเดิมกับการใช้เครื่องทุ่นแรง พบว่า

- 1.) เวลาที่ใช้ในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อของการใช้เครื่องทุ่นแรงลดลงจากการประกอบแบบสภาพการทำงานเดิม คิดเป็น 38.69 เปอร์เซ็นต์
- 2.) เวลาที่ใช้ในการประกอบล้อเข้ากับดุมล้อของการใช้เครื่องทุ่นแรงลดลงจากการประกอบแบบสภาพการทำงานเดิม คิดเป็น 43.06 เปอร์เซ็นต์

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องทุ่นแรง

การประเมินความพึงพอใจของการใช้เครื่องทุ่นแรงหลังจากทดลองใช้งานโดยพนักงานในแผนกประกอบผลิตภัณฑ์ รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง แบบประเมินที่ทางผู้วิจัยได้จัดทำขึ้น โดยทำการประเมินทั้งหมด 3 ด้าน คือ (1) ด้านตรงความต้องการ (2) ด้านการใช้งาน (3) ด้านโครงสร้างและวัสดุ จากนั้นนำมารวบรวมหาคะแนนความพึงพอใจ ซึ่งสามารถแสดงผลการสรุปได้ดังนี้ (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

- พนักงานมีความพึงพอใจในการใช้เครื่องทุ่นแรงเท่ากับ 3.73 คะแนน อยู่ในระดับ มีความพึงพอใจปานกลาง-มาก
- ด้านตรงความต้องการ มีความพึงพอใจเท่ากับ 3.80 คะแนน อยู่ในระดับ มีความพึงพอใจปานกลาง-มาก
- ด้านการใช้งาน มีความพึงพอใจเท่ากับ 3.86 คะแนน อยู่ในระดับ มีความพึงพอใจปานกลาง-มาก
- ด้านโครงสร้างและวัสดุ มีความพึงพอใจเท่ากับ 3.53 คะแนน อยู่ในระดับ มีความพึงพอใจปานกลาง-มาก

4.4 ผลการเปรียบเทียบจำนวนพนักงานในขั้นตอนการประกอบ

จำนวนพนักงานในขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์วงล้อเข้ากับล้อและประกอบล้อเข้ากับดุมล้อแบบใช้เครื่องทุ่นแรงจะใช้จำนวนพนักงานในการประกอบเพียง 1 คน แต่ในการประกอบแบบสภาพการทำงานเดิมจะใช้พนักงานทั้งหมด 3 คน ซึ่งแบบใช้เครื่องทุ่นแรงใช้จำนวนพนักงานลดลงจากสภาพการทำงานเดิม คิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรงที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์ ซึ่งเครื่องทุ่นแรงนี้จะมี 2 ส่วน คือ

- 1.) ส่วนที่ใช้ในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ
- 2.) ส่วนที่ใช้ในการประกอบล้อเข้ากับคัมล้อ

ในการสร้างเครื่องทุ่นแรงนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุ คือ Structure Steel A36 ซึ่งสามารถคำนวณค่าความปลอดภัยของเครื่องทุ่นแรงได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5- 1 แสดงค่าความปลอดภัยของเครื่องทุ่นแรง

ส่วนของเครื่องทุ่นแรง	ค่าความปลอดภัย
1.) ส่วนที่ใช้ในการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ	
- แขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ	20.223
- เสารับน้ำหนักแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ	16.853
2.) ส่วนที่ใช้ในการประกอบล้อเข้ากับคัมล้อ	5.654

จากการประเมินเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบ การประเมินความพึงพอใจของพนักงานและการประเมินจำนวนพนักงานที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5- 2 แสดงผลการประเมินของพนักงานในการใช้เครื่องทุ่นแรง

รูปแบบการประเมิน	การประกอบแบบสภาพการทำงานเดิม	การประกอบแบบใช้เครื่องทุ่นแรง
เวลาที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์	20.84 นาที	12.34 นาที
ความพึงพอใจของพนักงาน	ไม่มีการประเมินความพึงพอใจ	3.70 คะแนน
จำนวนพนักงานในขั้นตอนการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์	3 คน	1 คน

5.1.1 ผลที่ได้รับ

หลังจากที่ได้ทำการทดลองใช้งานเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์ของพนักงานในแผนกประกอบผลิตภัณฑ์แล้วทำการจับเวลา พบว่า ระยะเวลาที่ใช้ประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ของการใช้เครื่องทุ่นแรงลดลงจากสภาพการทำงานเดิมคิดเป็น 40.79 เปอร์เซ็นต์ จำนวนพนักงานที่ใช้ในขั้นตอนการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ของการใช้เครื่องทุ่นแรงลดลงจากสภาพการทำงานเดิมคิดเป็น 66.67 เปอร์เซ็นต์ และผลจากการประเมินความพึงพอใจของพนักงานในการใช้เครื่องทุ่นแรง มีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 3.70 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับมีความพึงพอใจปานกลาง-มาก

5.1.2 ค่าใช้จ่าย

การสร้างเครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์นี้ มีมูลค่าการลงทุนเท่ากับ 29,696 บาท โดยแบ่งเป็นต้นทุนคงที่ 29,196 บาท และต้นทุนแปรผัน 500 บาท จากการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์แบบเดิมใช้พนักงานทั้งหมด 3 คน ค่าจ้างแรงงานเดือนละ 15,000 บาท คิดเป็นเงิน 45,000 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับ การประกอบโดยใช้เครื่องทุ่นแรง ซึ่งใช้พนักงานเพียง 1 คน สามารถลดค่าจ้างแรงงานได้ 30,000 บาทต่อเดือน ดังนั้น เมื่อใช้เครื่องทุ่นแรงนี้ในขั้นตอนการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์เป็นระยะเวลา 1 เดือน สามารถลดค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทเท่ากับกับ 30,000 บาทต่อเดือน

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 1) ในการค้นคว้าหาข้อมูลเนื่องจากคอมพิวเตอร์ภายในบริษัทถูกจำกัดความปลอดภัยของข้อมูลและการเข้าใช้อินเทอร์เน็ต
- 2) พนักงานบางคนยังยึดติดกับวิธีการประกอบล้อหลังของรถแทรกเตอร์แบบเดิม ทำให้เกิดความล่าช้าในการทดลอง
- 3) ในการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องทุ่นแรงต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินเรื่องด้านเอกสารภายในบริษัทหลายขั้นตอนทำให้เกิดความล่าช้าในการทำการวิจัย
- 4) มีการแบ่งพื้นที่การประกอบไม่ชัดเจน ทำให้เกิดความยากลำบากในการเก็บข้อมูล

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในการทำการวิจัยต้องมีการวางแผนที่ถูกต้อง หากเกิดข้อผิดพลาดให้รีบปรึกษาผู้บังคับบัญชาทันทีเพื่อหาทางออกและแนวทางแก้ไขของปัญหา
- 2) อุปกรณ์ในการสร้างบางชนิดต้องสั่งทำขึ้นใหม่ ผู้วิจัยควรศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์นั้นๆให้ดีก่อนทำการตัดสินใจสั่งซื้อ
- 3) เครื่องทุ่นแรงที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นมีขนาดใหญ่เกินไป เนื่องจากเครื่องทุ่นแรงนี้เป็นต้นแบบ ทำให้เมื่อทำการประกอบเครื่องทุ่นแรงจะใช้พื้นที่มากและสิ้นเปลืองพื้นที่การประกอบโดยเปล่าประโยชน์ หากเป็นไปได้ เครื่องทุ่นแรงนี้ควรมีความยาวประมาณ 1 m เท่านั้น
- 4) การจับเวลาในการทดลอง ควรจับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการประกอบรวมถึงเวลาที่พนักงานเดินเพื่อไปนำล้อจากพื้นที่จัดเก็บมายังพื้นที่ประกอบ

เอกสารอ้างอิง

Ferdinand P.Beer, E.Russel Johnston, John T.Dewolf, and David F.Mazurek. 2012. Mechanics of Material. 6 Edition. New York: McGraw-Hill.

James L.Johnson. 2002. INTRODUCTION TO FLUID POWER. Delmar. New York.

R.C. Hibbeler. 2014. Mechanics of material. 9 Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. 2015. Mechanical Engineering Design. 10 Edition. New York: McGraw-Hill

HP School. 2547. *หลักการไฮดรอลิกส์เบื้องต้น*. www.useflonline.com

กิตติเทพ เฟื่องขจร. 2556. *การออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์เพื่อใช้ทดตัวอย่างหินในสองแกน*.

รายงานการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาเทคโนโลยีธรณี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จันทร์จารี เกตุมาโร. 2553. *อาชีพอนามัย OCCUPATION HEALTH HA233*. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย. 2558. *การออกแบบ สร้างและวิเคราะห์แม่แรงแบบเอ็กซ์ลิฟท์โดยใช้สลักเกลียว*

เมตริกสำหรับรถยนต์. วารสารวิจัยราชชมงคลธัญบุรี

ณัฐชัย ตูจันดา และคณะ. 2554. *เครื่องยกไฟฟ้า*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัย

บูรพา

จิตวิฑูมิ สุขสุดประเสริฐ และคณะ. 2556. *การออกแบบและสร้างเครนเพื่อย้ายแม่พิมพ์สำหรับเครื่องฉีด*

พลาสติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วรสิทธิ์ อิงภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน. 2556. *การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: บริษัท วี.พรีน

(1991) จำกัด

วรสิทธิ์ อิงภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน. 2556. *การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: บริษัท วี.พรีน

(1991) จำกัด

อุทัย จันทร์โท. 2541. *การออกแบบและสร้างโต๊ะยกกระดานด้วยไฮดรอลิกส์แบบเคลื่อนที่ได้พร้อมแขน*

ยกวัสดุ. วารสารวิศวกรรมศาสตรราชชมงคลธัญบุรี



1. ขั้นตอนการคำนวณความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนเครื่องทุ่นแรง

จากความต้องการในการออกแบบเพื่อให้เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อและใส่ล้อในรถแทรกเตอร์บรรจุตามวัตถุประสงค์ มีหลักการคำนวณดังนี้

1.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรง

วัสดุที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรง คือ Structure Steel A36 ซึ่งมีคุณสมบัติทางกลดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก1 คุณสมบัติของวัสดุ Structure Steel A36

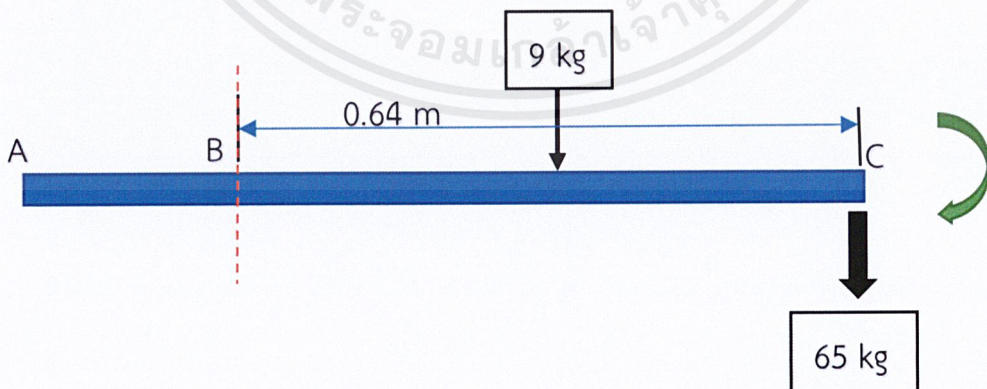
Density (Mg/m ³)	Poisson's Ratio (GPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Modulus of Rigidity (GPa)	Yield Strength, σ_y (MPa)		Ultimate Strength (MPa)		Elongation at Break (in 50 mm)
				Tension	Compression	Tension	Compression	
7.86	0.32	200	75	250	250	400	400	23.0%

(ที่มา: R.C. Hibbeler, 2014)

1.2 การคำนวณความเค้นดัดที่เกิดกับแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

การคำนวณโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

- น้ำหนักของอุปกรณ์ถ่วงล้อสูงสุด 65 kg
- น้ำหนักของแขนยกประมาณ 9 kg



รูปที่ ก1 แผนภาพวัตถุอิสระของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

สมการความเค้นดัดสูงสุด (Ferdinand P. Beer et. al., 2012)

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

จากสมการ $M = F \times L$ โดยที่ $F = mg$ จะได้ว่า

$$M = (65)(9.81)(0.64) + (9)(9.81) \left(\frac{0.64}{2} \right) = 436.349 \text{ N-m}$$

หน้าตัดของคานเหล็กที่ใช้เป็นแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อเป็นท่อสี่เหลี่ยม (Square tube) ขนาด 75x75 mm. หนา 3.2 mm. ยาว 640 mm. ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้จากสมการ

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

แทนค่า จะได้

$$I = \frac{1}{12} (0.075)(0.075)^3 - \frac{1}{12} (0.0686)(0.0686)^3 = 7.912 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

แทนค่า จะได้

$$\sigma_{max} = \frac{(436.349)(0.075/2)}{7.912 \times 10^{-7}}$$

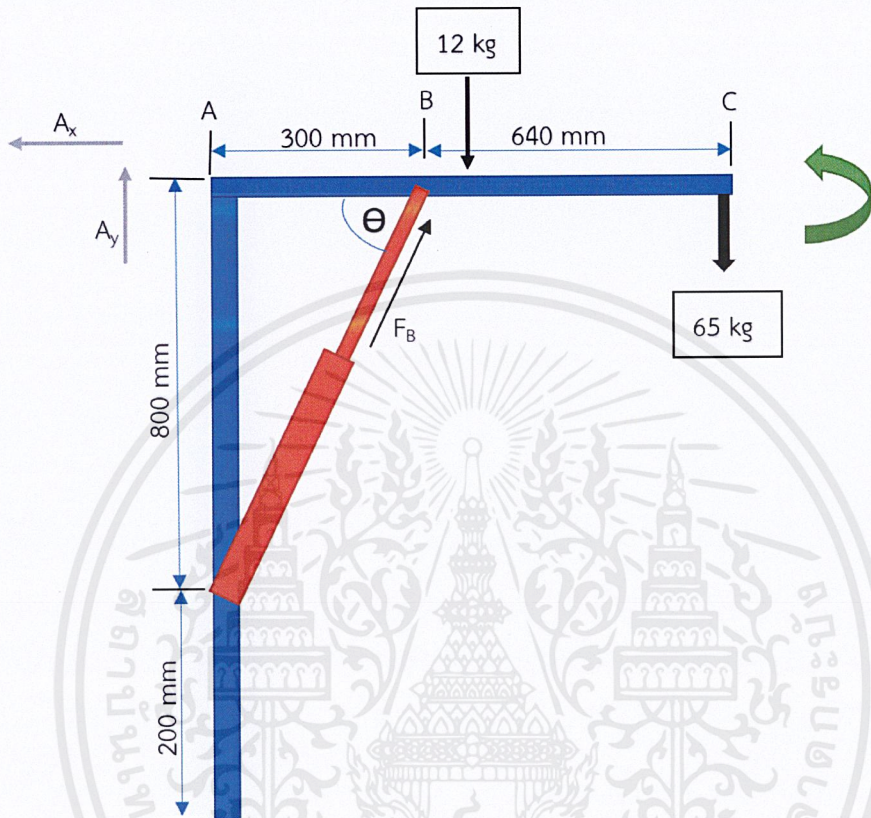
$$\sigma_{max} = 20.681 \text{ MPa}$$

จากตารางที่ 3.1 พบว่า $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$

สามารถคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยได้ดังนี้

$$\text{Safety of factor} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{250}{20.681} = 12.088$$

1.3 การคำนวณความเค้นดัดสูงสุดและแรงวิกฤติภายใต้สภาวะแรงกดที่เกิดกับเสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ



รูปที่ ก2 แผนภาพวัตถุอิสระของเสาและแขนยกอุปกรณ์ถ่วงน้ำหนัก

แขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อมีน้ำหนัก 9 kg กระทำที่กึ่งกลางของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ(ที่ระยะ 0.47 m)

จากรูป สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$[\sum M_A = 0] \quad ; \quad F_B \cdot \sin \theta \cdot l - P(l/2) - wl = 0$$

$$F_B \left(\frac{1}{1.04} \right) (0.3) - 12(9.81) \left(\frac{0.94}{2} \right) - (637.65)(0.94) = 0$$

$$F_B = 2269.69 \text{ N}$$

$$\downarrow + [\sum F_y = 0] ; \quad A_y - F_B \sin \theta + w + P = 0$$

$$A_y = -637.65 + 2269.69 \left(\frac{1}{1.04} \right) - 12(9.81)$$

$$A_y = 1427.02 \text{ N}$$

$$\leftarrow + [\sum F_x = 0] ; \quad A_x - F_B \sin \theta + w = 0$$

$$A_x = 2269.69 \left(\frac{0.3}{1.04} \right)$$

$$A_x = 654.72 \text{ N}$$

คำนวณความเค้นดัดสูงสุดของเสา

จากสมการความเค้นดัดสูงสุด (Ferdinand P. Beer et. al., 2012)

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

ค่าโมเมนต์สูงสุดของเสา คือ $M = A_x \times l$ จะได้ว่า

$$M = 654.72 \times 0.8 = 523.77 \text{ N} - m$$

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าเท่ากับ $I = 7.912 \times 10^{-7} \text{ m}^4$

ความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดกับเสา

$$\sigma_{max} = \frac{(523.77)(0.075/2)}{7.912 \times 10^{-7}}$$

$$\sigma_{max} = 24.825 \text{ MPa}$$

จากตารางที่ 3.1 พบว่า $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$

สามารถคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยได้ดังนี้

$$\text{Safety of factor} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{250}{24.825} = 10.070$$

คำนวณแรงวิกฤติภายใต้สภาวะแรงกดที่เกิดขึ้นกับเสา

จากสูตร (Ferdinand P. Beer et. al., 2012)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

จากตารางที่ 3.1 พบว่า $E = 200 \text{ GPa}$

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย $I = 7.912 \times 10^{-7} \text{ m}^4$

ความยาวเสา $L = 1 \text{ m}$

จะได้

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (200 \times 10^9) (7.912 \times 10^{-7})}{1^2} = 1561.766 \text{ kN}$$

แรงวิกฤติภายใต้สภาวะแรงกดมีค่า 1561.766 kN ซึ่งมากกว่าแรงที่เกิดในแนวแกนของเสา คือ 1.427 kN

จึงสรุปได้ว่า เสาสามารถรับน้ำหนักและแรงที่กระทำได้

1.4 การคำนวณความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดกับคานรับน้ำหนักของล้อหลังรถแทรกเตอร์

จากการสำรวจขนาดของล้อรถแทรกเตอร์แต่ละรุ่น พบว่าล้อที่มีน้ำหนักสูงที่สุดคือ ล้อของรถแทรกเตอร์รุ่น T6050 ซึ่งมีน้ำหนักล้อประมาณ 500 kg โดยการคำนวณจะแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ ก3 แผนภาพวัตถุอิสระของคานรับน้ำหนักล้อรถแทรกเตอร์

แรงที่กระทำต่อคานรับน้ำหนัก

$$F = mg = 500(9.81) = 4905 \text{ N}$$

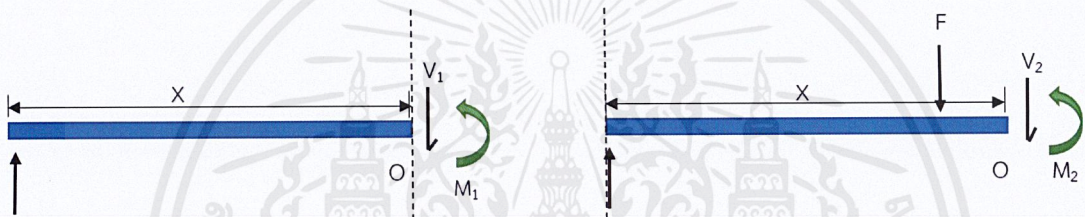
$$[\sum M_A = 0]; \quad 4905(1.6) = 2F_B$$

$$F_B = 3928 \text{ N}$$

$$[\sum M_B = 0]; \quad 4905(0.4) = 2F_A$$

$$F_A = 981 \text{ N}$$

จากรูปที่ ก3 นำมาวิเคราะห์แรงภายในและโมเมนต์ได้ดังนี้ (Ansel C. Ugural, 2008)



รูปที่ 3.3 การวิเคราะห์แรงภายในและโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในคานรับน้ำหนักของล้อ

กรณีที่ 1 : $0 < x < 1.6 \text{ m}$

$$V_1 = \frac{(4905)(0.4)}{2} = 981 \text{ N}$$

$[\sum M_o = 0]$:

$$M_1 = \frac{(4905)(0.4)}{2} x = 981x \text{ N} - m$$

กรณีที่ 2 : $1.6 < x < 2 \text{ m}$

$$V_2 = \frac{(4905)(0.4)}{2} - 4905 = -3924 \text{ N}$$

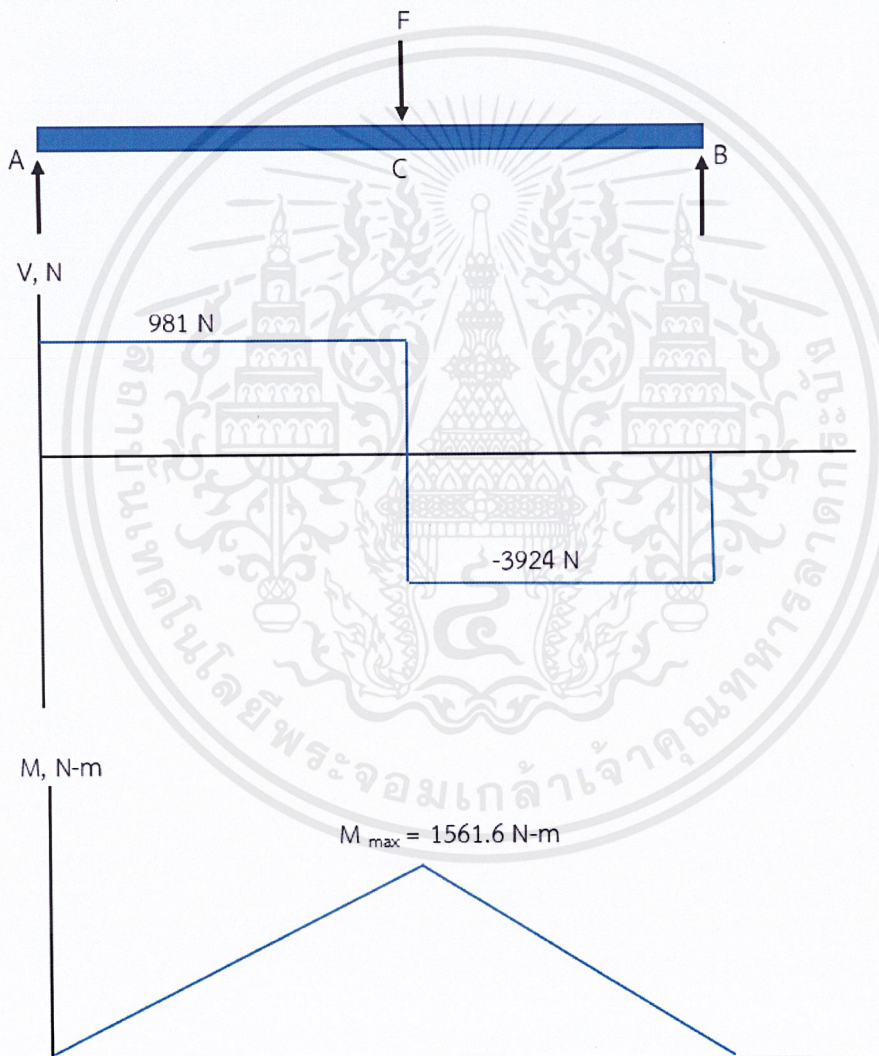
$[\sum M_o = 0] :$

$$M_2 = 981x - 4905(x - 1.6)$$

$$M_2 = -3924x + 7848 \text{ N} - m$$

$$M_{max} = M_{2@x=1.6} = -3924(1.6) + 7848 = 1561.6 \text{ N} - m$$

ดังแสดงในกราฟต่อไปนี้



รูปที่ ก4 กราฟการวิเคราะห์แรงภายในและโมเมนต์ของคานรับน้ำหนักของล้อรถแทรกเตอร์

จากสมการความเค้นดัดสูงสุด (Ferdinand P. Beer et. al., 2012)

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดมีค่า $M_{max} = 1561.6 \text{ N} - \text{m}$

โมเมนต์ความเฉื่อยมีค่า $I = 7.912 \times 10^{-7} \text{ m}^4$

จะได้

$$\sigma_{max} = \frac{(1561.6)(0.075/2)}{7.912 \times 10^{-7}} = 74.014 \text{ MPa}$$

จากตารางที่ ก1 พบว่า $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$

สามารถคำนวณสัดส่วนความปลอดภัยได้ดังนี้

$$\text{Safety of factor} = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} = \frac{250}{74.014} = 3.378$$

1.5 การคำนวณรอยเชื่อมที่เสารับน้ำหนักของแขนยกอุปกรณ์ถ่วงล้อ

รอยเชื่อมพอก ขนาดรอยเชื่อมประมาณ 5 mm.

จากภาคผนวก ข รูปที่ ข1 ค่า Yield Stress ของลวดเชื่อมมีค่าเท่ากับ 490 MPa

รอยเชื่อมรับโมเมนต์ดัดสูงสุด $M = 523.77 \text{ N-m}$

พื้นที่ Thread

$$A = 1.414hb = 1.414(0.0032)(0.075)^2 = 2.545 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

มีทั้งหมด 4 รอยเชื่อมรอบเสารับน้ำหนัก จะได้

$$A = 2.545 \times 10^{-5} \times 4 = 1.018 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

$$I_u = \frac{bd^2}{2} = \frac{(0.075)(0.075)^2}{2} = 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I = 0.707hI_u = 0.707(0.0032)(2.01 \times 10^{-4}) = 4.547 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Primary Shear

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{654.72}{1.018 \times 10^{-4}} = 6.431 \text{ MPa}$$

Secondary Shear

$$\tau'' = \frac{Mc}{I} = \frac{(523.77)(0.075/2)}{4.547 \times 10^{-7}} = 43.196 \text{ MPa}$$

Total Shear

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{(6.431)^2 + (43.196)^2} = 43.672 \text{ MPa}$$

สัดส่วนความปลอดภัยคำนวณได้จากสูตร (Budynas and Nisbelt, 2015)

$$\text{Safety of factor} = \frac{Ss_y}{\tau} = \frac{0.577(490)}{43.672} = 6.474$$

3.5.6 การคำนวณรอยเชื่อมที่เสารับน้ำหนักของคานรับน้ำหนักล้อ

รอยเชื่อมพอก ขนาดรอยเชื่อมประมาณ 5 mm.

จากภาคผนวก ข รูปที่ ข1 ค่า Yield Stress ของลวดเชื่อมมีค่าเท่ากับ 490 MPa

รอยเชื่อมรับโมเมนต์ตัดสูงสุด $M = 1561.6 \text{ N-m}$

พื้นที่ Throat

$$A = 1.414hb = 1.414(0.0032)(0.075)^2 = 2.545 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

มีทั้งหมด 4 รอยเชื่อมรอบคานรับน้ำหนัก จะได้

$$A = 2.545 \times 10^{-5} \times 4 = 1.018 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

$$I_u = \frac{bd^2}{2} = \frac{(0.075)(0.075)^2}{2} = 2.01 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$I = 0.707hl_u = 0.707(0.0032)(2.01 \times 10^{-4}) = 4.547 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Primary Shear

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{654.72}{1.018 \times 10^{-4}} = 6.431 \text{ MPa}$$

Secondary Shear

$$\tau'' = \frac{Mc}{I} = \frac{(1561.6)(0.075/2)}{4.547 \times 10^{-7}} = 128.788 \text{ MPa}$$

Total Shear

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{(3.438)^2 + (128.788)^2} = 128.834 \text{ MPa}$$

สัดส่วนความปลอดภัยคำนวณได้จากสูตร (Budynas and Nisbelt, 2015)

$$\text{Safety of factor} = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0.577(490)}{128.834} = 2.194$$

3.5.5 การคำนวณหาขนาดกระบอกไฮดรอลิกส์

จากสมการ (James L. Johnson, 2002)

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

โดยกำหนด ความดันใช้งาน $P = 3.5 \text{ MPa}$ และ $F = mg = 500(9.81) = 4.905 \text{ kN}$

แทนค่า จะได้

$$3.5 \times 10^6 = \frac{4.905}{A}$$

$$A = 0.001402 \text{ m}^2$$

$$\frac{\pi(ID)^2}{4} = 0.001402$$

$$(ID)^2 = 1.785 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$ID = 0.042 \text{ m} = 42 \text{ mm}$$

จากภาคผนวก ข รูปที่ ข2 รูปที่ ข3 และรูปที่ ข4 แสดงการเลือกใช้ขนาดของกระบอกไฮดรอลิกส์เลือกกระบอกสูบขนาด Bore (ID) เท่ากับ 50 mm. ก้านสูบ (Rod) มีขนาดเท่ากับ 30 mm.

3.5.6 การคำนวณหาขนาดของล้อเครื่องท่นแรง

เครื่องท่นแรงที่ออกแบบนี้ ใช้วัสดุเป็น Structure Steel A36 ซึ่งมีขนาด 75 x 75 mm. หน้า 6 mm. น้ำหนักต่อหน่วยความยาว 13.7 kg/m โดยเครื่องที่สร้างขึ้นใช้ Structure Steel A36 ประมาณ 10 m

น้ำหนักของเครื่อง = $10 \times 13.7 = 137$ kg

ดังนั้น น้ำหนักสุทธิขณะใช้งานเมื่อรับน้ำหนักสูงสุด = $137 + 500 + 65 = 702$ kg

ล้อแต่ละล้อจะต้องรับแรงเฉลี่ยโดยประมาณ $702/4 = 175.5$ kg

กำหนดค่าความปลอดภัย (Safety of factor) $N = 2$

ดังนั้น ล้อแต่ละล้อจะต้องรับแรง $175.5 \times 2 = 351$ kg

จากภาคผนวก ข รูปที่ ข5 และรูปที่ ข6 แสดงข้อมูลการเลือกใช้ล้อ โดยเลือกใช้ล้อที่ทำจากวัสดุ PU แกนเหล็ก (Polyurethane with Cast iron center) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

ชนิด: ล้อเป็น

เส้นผ่านศูนย์กลาง: 125 mm.

Load Capacity: 385 kg ซึ่งมีค่ามากกว่า 351 kg

3.5.7 การคำนวณขนาดของลูกกลิ้ง

ล้อหลังรถแทรกเตอร์มีน้ำหนักสูงสุด 500 kg

ในการออกแบบใช้ลูกกลิ้งรองรับ 6 แท่ง

ดังนั้น ลูกกลิ้งแต่ละแท่งรับน้ำหนัก $500/6 = 84$ kg

ความกว้างของล้อสูงสุด 650 mm

กำหนดให้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 3 จะได้ว่า $84 \times 3 = 252$ kg

จากภาคผนวก ข รูปที่ ข7 แสดงขนาดมาตรฐานและความสามารถในการรับภาระของลูกกลิ้ง (kg) โดยมีการเลือกใช้ ดังนี้

ลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง: 76.3 mm

ลักษณะปลายปอก: ม้วน

Load Capacity: 550 kg ซึ่งมีค่ามากกว่า 375 kg



ภาคผนวก ข
รายละเอียดอุปกรณ์

FAMILIARC

KOBE-30

JIS Z3211 E4313

AWS A5.1 E6013

TIS E43 2R 11

Metal type: Mild Steel and 490MPa High Tensile Strength Steel

Process type: Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Applications:

เหมาะสำหรับการเชื่อมโครงสร้างเหล็กบางๆ, เหล็กแผ่นบางๆ ในงานสร้างเรือ, รถไฟ และยานยนต์ ที่ทำด้วยเหล็กเหนียว

Characteristics on usage:

ลวดเชื่อม KOBE-30 เป็นลวดเชื่อมที่มีฟลักซ์ชนิดเอดาเนียสสูง ซึ่งให้การอาร์คที่รุนแรง และนิ่งเรียบทำให้สามารถเชื่อมได้ ตีมากในท่าตั้ง-ลากลง มีรอยเชื่อมที่ได้มีความเรียบสวยงามเป็นมันวาว เหมาะอย่างยิ่งสำหรับการเชื่อมงานโครงสร้างบางๆ ซึ่งเน้นการเชื่อมในท่าตั้ง-ลากลง

Notes on usage:

- 1) ไม่ควรใช้กระแสไฟเชื่อมสูงเกินกว่าช่วงที่แนะนำ (ดังแสดงในตารางข้างล่างหรือติดอยู่ข้างกล่องลวดเชื่อม) เนื่องจากไม่เพียงแต่จะทำให้ความสามารถในการตรวจสอบเอ็กซ์เรย์ลดลงแล้ว ยังทำให้เกิดสะเก็ดไฟ เชื่อมมาก เกิดรอยกัดขอบ และการปกคลุมของสแล็กไม่ดีพอ
- 2) เพื่อให้ได้ผลดีที่สุด ควรอบลวดเชื่อมก่อนการใช้งานที่อุณหภูมิ 70-100°C เป็นเวลา 30-60 นาที การที่ลวดเชื่อมดูดซับความชื้นมากเกินไปจะทำให้คุณสมบัติในการใช้งานของลวดเชื่อมต่ำลง และอาจทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในรอยเชื่อม



รูปที่ ข1 ข้อมูลของลวดเชื่อมยี่ห้อ KOBE-30



Hydraulic Cylinder

Double-Acting Cylinders Without Tie Rod " HC5 " Series

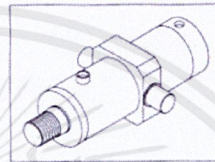
HC5 HC5 Series Hydraulic Cylinders Specially employed in the vehicle

*Owing to the HC5 hyd cylinders there are being with no reinforced screwbolt, round profile structure and cylinder cap welded. Especially suited for vehicle parking system and special purpose machinery etc. Because, those are employed at strictly environmental condition and with vibration resistant, impulse resistant & anti-instantaneous burst pressure are very effectively furthermore, there are also being with much mountings and a powerful hyd cylinders.

*The processing accuracy, surface treatment & oil sealer's material etc., selecting & manufacturing are all emphasised in special applications.

Specifications

Item	Model	HC5 Series
Cylinder Bore	mm	φ40,φ50,φ60,φ63,φ70,φ80 φ90,φ100,φ110,φ125
Mounting		FA,FB,FD,TC,CA,CD
Operating Pressure		140 kgf/cm ²
Testing pressure		210 kgf/cm ²
Min. Operating Pres.		3 kgf/cm ²
Fluid		Mineral oil
Max. Operating Speed		500 mm/sec
Min. Operating Speed		10 mm/sec
Range of Ambient Temperoutre		-10°C~+50°C
Rod End Type		A TYPE & B TYPE
Max. Stroke		Refer to (DRAW-2) (page:172)
Tolerance of Stroke		JIS B 8354 A



* Rod End Type

Configuration	
TYPE A	TYPE B

*Tolerance of Stroke

Stroke	mm	Tolerance	mm
~ 100			+0.8
100 ~ 250			+1.0
250 ~ 630			+1.25
630 ~ 1000			+1.4
1000 ~ 1600			+1.6
1600 ~			+1.8

*Mounting

Symbol	Description	Configuration	Symbol	Description	Configuration
FA	Flange at cylinder head		TC	Centre Trunnion mounting	
FB	Flange at cylinder cap		CA	Plate clevis at cylinder cap	
FD	Rectangular flange at cylinder cap		CD	Tube clevis at cylinder cap	



รูปที่ ข2 ข้อมูลโดยรวมของกระบอกไฮดรอลิคสองทิศทาง รุ่น HC5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*** Technical Data :**

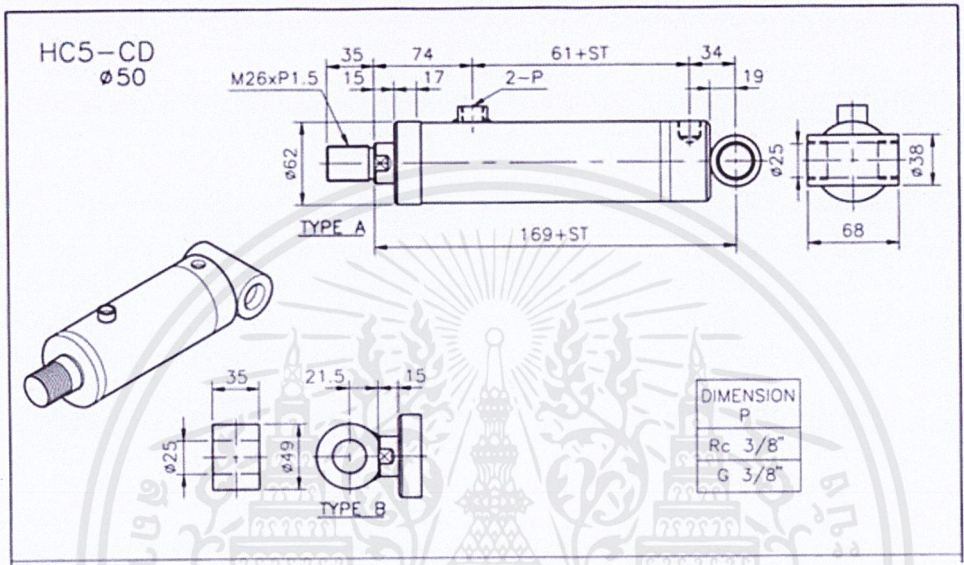
Cylinder Bore mm	Rod Dia. mm	Action	Effective Area cm ²	Output Power kgf					Flow Rate at Speed 10L/min mm/sec	Speed at Flow Rate 10mm/sec L/min
				10 kgf/cm ²	30 kgf/cm ²	70 kgf/cm ²	105 kgf/cm ²	140 kgf/cm ²		
40	22.4	Extend	12.6	126	377	879	1319	1758	132	0.8
		Retract	8.6	86	259	603	905	1207	193	0.5
50	30	Extend	19.6	196	589	1374	2061	2748	85	1.2
		Retract	12.6	126	377	879	1319	1758	132	0.8
60	30	Extend	28.3	283	848	1978	2967	3956	59	1.7
		Retract	21.2	212	636	1484	2225	2967	79	1.3
63	35	Extend	31.2	312	935	2181	3271	4362	53	1.9
		Retract	21.5	215	646	1508	2262	3016	77	1.3
70	40	Extend	38.5	385	1154	2693	4039	5385	43	2.3
		Retract	25.9	259	777	1813	2720	3627	64	1.6
80	45	Extend	50.3	503	1507	3517	5275	7034	33	3.0
		Retract	34.3	343	1030	2404	3606	4808	49	2.1
90	50	Extend	63.6	636	1908	4451	6676	8902	26	3.8
		Retract	44.0	440	1319	3077	4616	6154	38	2.6
100	55	Extend	78.5	785	2355	5495	8243	10990	21	4.7
		Retract	54.8	548	1643	3833	5749	7666	30	3.3
110	65	Extend	95.0	950	2850	6649	9973	13298	18	5.7
		Retract	61.8	618	1855	4327	6491	8655	27	3.7
125	70	Extend	122.7	1227	3680	8586	12879	17172	14	7.4
		Retract	84.2	842	2526	5893	8840	11787	20	5.0

รูปที่ ข3 ข้อมูลทางเทคนิคของกระบอกไฮดรอลิกส์สองทิศทาง



Hydraulic Cylinder

Double-Acting Cylinders Without Tie Rod " HC5 " Series



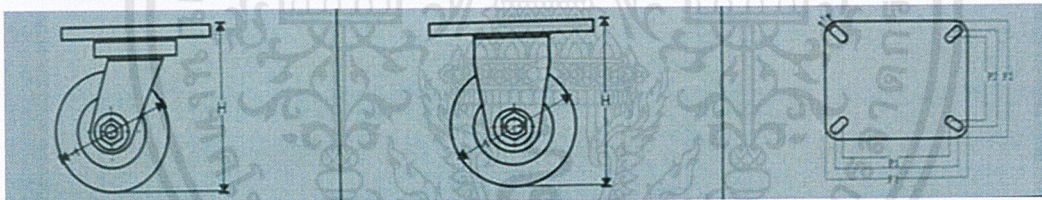
รูปที่ ข4 แสดงขนาดของกระบอกไฮดรอลิกส์รุ่น HC5 ชนิด CA Mounting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ล้อ Selection Criteria

คุณสมบัติ Characteristics	รับน้ำหนัก Capacity (kg)	คล่องตัว Agility	รักษาพื้น Floor Protection	ความเงียบ Silence	ทนกระแทก Impact Resistance	ทนสึกหยาบ Abrasion Resistance	ทนสารเคมี Chemical Resistance	อุณหภูมิ Temperature Range (°C)	ความแข็ง Hardness
Polyurethane (Black) PUB	32-142	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Excellent	-20-80	90-95A
Polyolefin (Black) YUPA	15-145	Excellent	Poor	Poor	Poor	Common	Excellent	-15-80	65D
Polypropylene (Milky White) PP	10-440	Excellent	Poor	Poor	Poor	Poor	Excellent	-15-80	65D
Thermoplastic Rubber (Brownish Grey) TPR	10-167	Common	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Good	-35-80	65-75A
Polyamide (White) PA	50-462	Excellent	Poor	Poor	Poor	Excellent	Excellent	-35-80	65D
Hi-Tech Polyurethane (Orange) PUo	105-380	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	-35-80	95-110A
Polyurethane with Cast Iron Centre (Orange) PUT	290-505	Common	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Common	-35-80	88-93A
Elastic Rubber (Black) ER	50-318	Common	Excellent	Excellent	Excellent	Good	Common	-45-80	60-83A
Polyamide High-Temperature (Black) PAH	73-115	Excellent	Poor	Poor	Poor	Excellent	Excellent	-10-260	65D

รูปที่ ข5 ตารางแสดงคุณสมบัติของล้อตามชนิดของวัสดุ



Wheelsize (mm) A เส้นผ่าศูนย์กลางลูกล้อ	H ความสูงรวม	F1 x F2 ขนาดเบ้าบน	P1 x P2 ระยะห่างรูยึดล้อ	Load Capacity (kg) ความสามารถรับน้ำหนัก (กก.)
3" (75)	115	120 x 90	90 x 60 (100 x 80)	500
4" (100)	145	140 x 110	105 x 75 (155 x 85)	500
5" (125)	175	140 x 110	105 x 75 (155 x 85)	600
6" (150)	195	140 x 110	105 x 75 (155 x 85)	600
8" (200)	250	165 x 140	120 x 110 (150 x 130)	800

รูปที่ ข6 ตารางแสดงขนาดของล้อโพรียูรีเทน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว

Usable oil capacity (ปริมาณน้ำมัน)	3000 cc.
oil tank capacity (ความจุถัง)	3500 cc.
Pump type (ชนิดปั๊ม)	2 speed
Pressure rating (อัตราแรงดัน)	LP = 20 bar HP = 700 bar
Oil displacement per stroke (อัตราส่วนต่อการโยก 1 ครั้ง)	LP= 13 cu.cm HP = 2.3 cu.cm
Weight (น้ำหนักรวม)	16 kg

รูปที่ ข7 ตารางแสดงคุณสมบัติของ Hand Pump Hydraulic





การจับเวลา

ทำการจับเวลาทั้งสองขั้นตอน คือ 1.) ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ 2.) ขั้นตอนการประกอบล้อเข้ากับตุ้มล้อ ซึ่งแต่ละขั้นตอนใช้เวลาในการทำงาน แสดงดังตารางที่ ค1

ตารางที่ ค1 เวลาการประกอบแบบสภาพการทำงานเดิม

ครั้งที่	เวลาการประกอบ(นาที)	
	การประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ	การประกอบล้อเข้ากับตุ้มล้อ
1	10.32	10.11
2	10.42	9.85
3	11.03	9.87
4	11.15	10.03
5	10.68	10.17
6	10.76	10.10
7	11.05	9.96
8	11.13	9.75
9	10.87	10.21
10	10.92	10.08
รวม	108.33	100.13
เฉลี่ย	10.83	10.01

ตารางที่ ค2 เวลาการประกอบแบบใช้เครื่องทุ่นแรง

ครั้งที่	เวลาการประกอบ(นาที)	
	การประกอบอุปกรณ์ถ่วงล้อเข้ากับล้อ	การประกอบล้อเข้ากับดุมล้อ
1	6.48	5.48
2	6.35	6.04
3	7.23	5.35
4	7.15	5.22
5	6.08	6.15
6	6.39	5.84
7	6.54	5.32
8	6.63	6.13
9	7.02	5.61
10	6.57	5.84
รวม	66.44	56.98
เฉลี่ย	6.64	5.70

การประเมินความพึงพอใจต่อเครื่องทุ่นแรง

แบบประเมินที่ทางผู้วิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้องจัดทำขึ้นมา เพื่อประเมินความพึงพอใจของพนักงาน ต่อการใช้เครื่องทุ่นแรง หลังจากการทดลองใช้เป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยใช้แบบฟอร์มของการประเมิน แสดงดังนี้

แบบประเมินความพึงพอใจการใช้เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์

คำชี้แจง แบบประเมินความพึงพอใจนี้ จัดทำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูล และความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้เครื่องทุ่นแรงสำหรับการประกอบล้อหลังรถแทรกเตอร์ เพื่อนำข้อมูลมา ปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด ทั้งนี้ทางผู้วิจัย ขอขอบพระคุณทุกท่านที่กรุณาสละเวลา โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ในข้อที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

- ตำแหน่งงาน พนักงานชั่วคราว พนักงานประจำ หัวหน้าพนักงานงาน
- ระยะเวลาการทำงาน น้อยกว่า 1 ปี 1-3 ปี 3-5 ปี มากกว่า 5 ปี
- อายุ 18-23 ปี 24-28 ปี 29-33 ปี 33-38 ปี มากกว่า 38 ปี

ตอนที่ 2 ด้านความพึงพอใจในการใช้งาน

โปรดทำเครื่องหมาย (✓) ในช่องระดับความพึงพอใจที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ปัจจัย	ระดับความพึงพอใจ				
	5 มากที่สุด	4 มาก	3 พอใช้	2 น้อย	1 น้อยที่สุด
ด้านตรงตามความต้องการ					
1.ความเหมาะสมด้านการออกแบบเครื่องทุ่นแรง					
2.สามารถใช้ได้กับพนักงานทุกคน					
3.สามารถใช้งานได้กับล้อรถแทรกเตอร์ทุกรุ่น					
ด้านการใช้งาน					
4.เครื่องทุ่นแรงที่สร้างขึ้นเคลื่อนย้ายได้สะดวก					
5.ลดความเมื่อยล้าของพนักงาน					
6.สะดวกต่อการใช้งานเครื่องทุ่นแรง					
7.ลดจำนวนพนักงานในการประกอบ					
8.สามารถลดเวลาในการประกอบล้อหลังได้					
ด้านโครงสร้างและวัสดุ					
9.ขนาดและน้ำหนักมีความเหมาะสม					
10.ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน					
11.โครงสร้างและวัสดุแข็งแรง ทนทาน					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

สรุปผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้เครื่องทุ่นแรง

จากการออกแบบและสร้างเครื่องทุ่นแรง ซึ่งมีการเก็บข้อมูลโดยให้พนักงานและหัวหน้างาน ทำแบบประเมินความพึงพอใจ จำนวน 10 คน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลในการปรับปรุงว่ามี ประสิทธิภาพเพียงใด ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมิน

ตารางที่ ค3 แสดงตำแหน่งงานของผู้ตอบแบบประเมิน

ตำแหน่ง	จำนวน(คน)	ร้อยละ
พนักงานชั่วคราว	3	30
พนักงานประจำ	5	50
หัวหน้าพนักงาน	2	20
รวม	10	100

ตารางที่ ค4 แสดงระยะเวลาการทำงานของผู้ตอบแบบประเมิน

ระยะเวลาการทำงาน	จำนวน(คน)	ร้อยละ
น้อยกว่า 1 ปี	3	30
1-3 ปี	7	70
3-5 ปี	0	0
มากกว่า 5 ปี	0	0
รวม	10	100

ตารางที่ ค5 แสดงอายุของผู้ตอบแบบประเมิน

อายุ	จำนวน(คน)	ร้อยละ
13-23 ปี	3	30
24-28 ปี	1	10
29-33 ปี	0	0
34-38 ปี	0	0
มากกว่า 38 ปี	6	60
รวม	10	100

ตอนที่ 2 ระดับความพึงพอใจของพนักงานในการใช้งานเครื่องทุ่นแรง

ตารางที่ ค6 แสดงคะแนนระดับความพึงพอใจของพนักงานด้านตรงความต้องการ

ข้อ	ด้านตรงความต้องการ	ระดับความพึงพอใจ (คะแนน)					ค่าเฉลี่ยระดับ	ผลลัพธ์
		5 มากที่สุด	4 มาก	3 พอใช้	2 น้อย	1 น้อยที่สุด		
1	ความเหมาะสมด้านการออกแบบเครื่องทุ่นแรง	-	5	4	1	-	3.40	พอใช้
2	สามารถใช้ได้กับพนักงานทุกคน	3	7	-	-	-	4.30	มาก
3	สามารถใช้งานได้กับล้อรถแทรกเตอร์ทุกรุ่น	-	7	3	-	-	3.70	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม							3.80	
ร้อยละ							76.00	

ตารางที่ ค7 แสดงคะแนนระดับความพึงพอใจของพนักงานด้านการใช้งาน

ข้อ	ด้านการใช้งาน	ระดับความพึงพอใจ (คะแนน)					ค่าเฉลี่ยระดับ	ผลลัพธ์
		5 มากที่สุด	4 มาก	3 พอใช้	2 น้อย	1 น้อยที่สุด		
4	เครื่องทุ่นแรงที่สร้างขึ้นเคลื่อนย้ายได้สะดวก	-	-	7	3	-	2.70	พอใช้
5	ลดความเมื่อยล้าของพนักงาน	2	7	1	-	-	4.10	มาก
6	สะดวกต่อการใช้งานเครื่องทุ่นแรง	1	7	2	-	-	3.90	มาก
7	ลดจำนวนพนักงานในการประกอบ	3	7	-	-	-	4.30	มาก
8	สามารถลดเวลาในการประกอบล้อหลังได้	3	7	-	-	-	4.30	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม							3.86	
ร้อยละ							77.20	

ตารางที่ ค8 แสดงคะแนนระดับความพึงพอใจของพนักงานด้านโครงสร้างและวัสดุ

ข้อ	ด้านโครงสร้างและวัสดุ	ระดับความพึงพอใจ (คะแนน)						ค่าเฉลี่ย ระดับ	ผลลัพธ์
		5 มาก ที่สุด	4 มาก	3 พอใช้	2 น้อย	1 น้อย ที่สุด			
9	ขนาดและน้ำหนักมีความเหมาะสม	-	3	4	3	-	3.00	พอใช้	
10	ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้งาน	-	9	1	-	-	3.90	มาก	
11	โครงสร้างและวัสดุแข็งแรง ทนทาน	-	7	3	-	-	3.70	มาก	
							ค่าเฉลี่ยรวม	3.53	
							ร้อยละ	70.60	