

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบรถเทรลเลอร์เก็บขยะหลายปาล์มให้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งาน

THE OPTIMUM DESIGN OF A TRAILER



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....61464

วัน,เดือน,ปี.1.7.ก.ค.2549

411 61464
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบรถเทรลเลอร์เก็บขยะลายปาล์มให้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งาน
THE OPTIMUM DESIGN OF A TRAILER

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-------------------------------|--------------|----------|
| 1. นายกิตติรักษ์ ชูกำลัง | รหัสประจำตัว | 44010645 |
| 2. นายพีรพัฒน์ ยอดมงคล | รหัสประจำตัว | 44010787 |
| 3. นายพีระยุทธ หวังรักไพบูลย์ | รหัสประจำตัว | 44010788 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. จำลอง ปราบแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบรถเทรลเลอร์เก็บขยะลายปาล์มให้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งาน

นายกิตติรักษ์ ชูกำลัง	รหัสประจำตัว	44010645
นายพีรพัฒน์ ยอดมงคล	รหัสประจำตัว	44010787
นายพีระยุทธ หวังรักไพบูลย์	รหัสประจำตัว	44010788
รศ. จำลอง ปราบแก้ว	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2547		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็น การนำเสนอ การออกแบบรถเทรลเลอร์เก็บและขนส่งขยะลายปาล์มที่มีกระบะบรรจุทุกขนาด 1 x 1.6 เมตร น้ำหนักบรรทุก 800 กิโลกรัม ปรับระดับความสูง (X-Lift) ได้ 2.5 เมตร และยกได้ด้วยมอเตอร์ไฮดรอลิก 60 แรงม้า ในการออกแบบโครงสร้างจะใช้วิธี Optimization เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยจะใช้โปรแกรม SolidWorks สร้างแบบจำลองและทำการ Simulation เพื่อดูการเคลื่อนที่ของโครงสร้างรถอย่างคร่าวๆ ว่าสามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการหรือไม่ แล้วหาตำแหน่งที่ทำให้เกิดแรงสูงสุด ในแต่ละชิ้นส่วนโดยคำนวณที่ละจุด และจะนำจุดที่มีแรงสูงสุดมาหาขนาดหลักของโครง X-Lift ให้มีขนาดเหมาะสมที่สุด และเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่วนขนาดชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฮดรอลิกจะใช้หลักการออกแบบทางวิศวกรรม

THE OPTIMUM DESIGN OF A TRAILER

Mr. Kittirak Chukamlung Student ID.44010645

Mr. Peerapat Yodmongkol Student ID.44010787

Mr. Peerayut Wangrakpiboon Student ID.44010787

Assoc.Prof. Chamlong Prabkeao Advisor

Dr. Monsak Pimsam Advisor

ABSTRACT

This paper represents a designs of a transport trailer which use for picking up and delivering a bunch of Palm, its tray's size is 1 x 1.6 meters, capacity is 800 kilograms. It can adjust height level is 2.5 meters and maximum angle of incination for lifting up the tray is 60° . The trailer construction designs by using Optimization for the best size. We will construct a prototype by Solid works Program and Simulation for observe to change the position of a structure which it's can move or not. Fine out the position to make a maximum force in each part by calculate a point and we search a steel's size of X-Lift structure by a maximum force for the best size , to perform by Optimum Design in a search to a result and compare its for a best value which it's follow to the assign condition. The size of equipment's Hydraulic will design in a principle of engineering

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project ซึ่งนับว่าเป็นโอกาสอันดีที่ทำให้ นักศึกษาได้นำความรู้ในภาคทฤษฎีมาทำการปฏิบัติการ เป็นการเพิ่มพูนความรู้ และประสบการณ์ให้แก่นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อ.จำลอง ปรามแก้ว อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการนี้

และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้ เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นายกิตติรักษ์ ชูกำลัง
นายพีรพัฒน์ ยอดมงคล
นายพีระยุทธ หวังรักไพบูลย์
มีนาคม 2548

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VI I
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงาน	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 การออกแบบการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรม SolidWorks	3
2.1 โปรแกรม SolidWorks	3
2.1.1 การสร้างชิ้นงานส่วนฐาน	4
2.1.2 การใช้งาน SolidWorks	4
2.2 การสร้างแบบจำลองชิ้นงาน โดยใช้โปรแกรม SolidWorks	5
2.2.1 ส่วนเท	5
2.2.2 ส่วนยก	7
บทที่ 3 พื้นฐานในการออกแบบชิ้นส่วน	10
3.1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ	10
3.2 ค่าความปลอดภัย	11
3.3 ความเค้นอย่างง่าย	12
3.4 ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะชีดรัล	14
3.5 เสา	17
บทที่ 4 OPTIMUM DESIGN	19
4.1 การแทนปัญหาเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดด้วยคณิตศาสตร์	19
4.2 Optimum Design Process	21
4.3 Objective Function และ Constraints	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 เทอร์โบปาสคาล	24
5.1 โครงสร้างโปรแกรมภาษาปาสคาล	24
5.2 วิธีการเขียนโปรแกรม	25
5.3 รูปแบบของโปรแกรม	26
บทที่ 6 หลักการเบื้องต้นของไฮดรอลิก	31
6.1 นิยามของระบบไฮดรอลิก	31
6.2 อัตราการไหลและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิก	32
6.3 ความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก	32
6.4 ระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น	33
6.5 อุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก	35
บทที่ 7 วงจรไฮดรอลิกและผลการคำนวณ	42
7.1 วงจรไฮดรอลิก	42
7.2 ผลการคำนวณ	43
7.2.1 ส่วนของระบบไฮดรอลิก	43
7.2.2 ส่วนของโครงสร้าง	44
บทที่ 8 สรุปและวิจารณ์ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์	45
8.1 สรุปผลของโครงการ	45
8.2 ข้อเสนอแนะและวิจารณ์	45
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก. การคำนวณหาอุปกรณ์ต่างๆของระบบไฮดรอลิกและการประเมินราคา	47
ภาคผนวก ข. คุณสมบัติทางกลของเหล็ก	56
ภาคผนวก ค. ภาพรายละเอียดของรถแทเลเลอร์	60
บรรณานุกรม	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
3-1	แสดงถึงค่าความปลอดภัย	12
6-1	แสดงถึงเปรียบเทียบปั๊มไฮดรอลิกชนิดต่างๆ	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6-10 แสดงถึงโครงสร้างของถังน้ำมัน	40
6-11 แสดงถึงเชือกกล้วยทั้งชนิดต่อตรงและชนิดต่อเป็นมุมฉาก	41
7-1 แสดงถึงวงจรไฮดรอลิก	42
7-2 แสดงถึงวงจรไฮดรอลิก	43



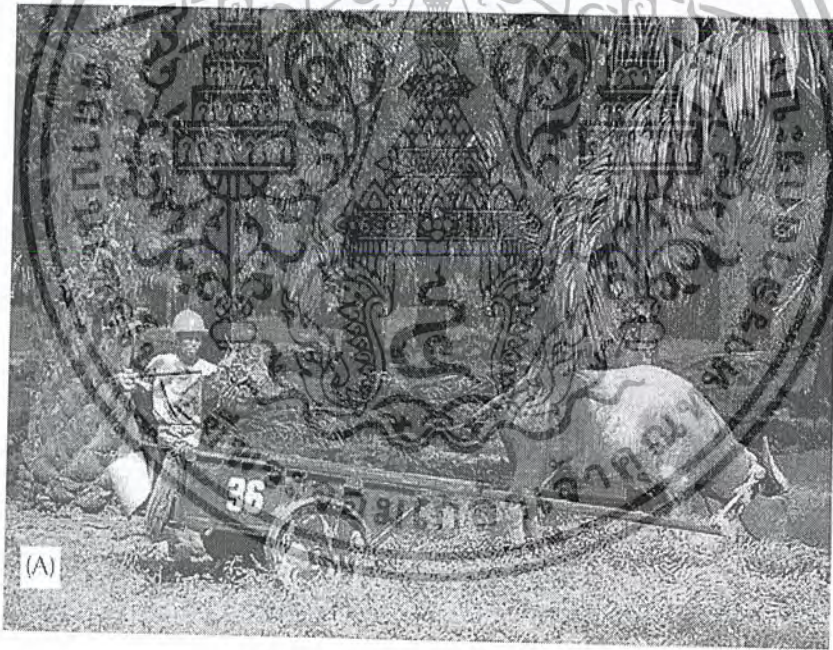
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากต้นปาล์มในแต่ละสวนมีขนาดสูงต่ำแตกต่างกัน ในการเก็บทะลายปาล์มของต้นปาล์มที่สูงนั้นทำได้ลำบาก และอาจทำให้ทะลายปาล์มร่วงลงพื้น ส่งผลให้ผลปาล์มนั้นชำรุดได้คุณภาพ และการขนย้ายทะลายปาล์มออกจากสวนปาล์มนั้นทำได้ลำบาก ไม่สามารถใช้รถบรรทุกขนาดใหญ่วิ่งเข้าไปเก็บทะลายปาล์มในสวนปาล์มได้ เพราะว่าช่องทางในสวนปาล์มนั้นแคบและมีสภาพดินอ่อน และการนำทะลายปาล์มขึ้นรถบรรทุกเพื่อนำไปส่งให้กลับโรงงานอุตสาหกรรมยังใช้แรงงานและค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงได้ออกแบบ รถเทรลเลอร์ขนทะลายปาล์มแบบปรับระดับยกเทได้ โดยรถคันนี้จะมีขนาดของตัวถังที่เหมาะสม สามารถวิ่งเข้าไปเก็บทะลายปาล์มออกจากสวนปาล์มได้



รูปที่ 1-1 แสดงลักษณะการเก็บทะลายปาล์มของเกษตรกร

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทำการออกแบบโครงสร้างระบบยกของรถเทรลเลอร์ให้มีขนาดที่เหมาะสมด้วยวิธี Optimization
2. เพื่อศึกษาและทำการออกแบบระบบไฮดรอลิกที่ใช้กับระบบยกของรถเทรลเลอร์ให้มีขนาดที่เหมาะสมด้วยวิธีทางวิศวกรรม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

โครงการนี้จะเป็นการนำเสนอการออกแบบรถเก็บขยะหลายปลั้มแบบปรับระดับและยกด้วยระบบไฮดรอลิก เพื่ออำนวยความสะดวกในการเก็บและขนย้ายขยะหลายปลั้ม มาขึ้นรถบรรทุกและเพื่อให้การขนส่งต่อไป รายงานฉบับนี้ได้แสดงถึงการออกแบบรถขนย้ายผลผลิตทางการเกษตร โดยจะแบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วน ใหญ่ๆคือ ส่วนของระบบไฮดรอลิก เช่น การหาขนาดของกระบอกสูบไฮดรอลิก และวงจรไฮดรอลิกที่ใช้ในการควบคุมกระบอกสูบ เป็นต้น และส่วนการออกแบบโครงสร้างของตัวรถ จะเป็นการคำนวณหาความสูงในการยก คำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อโครงสร้าง รวมไปถึงการหาขนาดต่างๆของโครงสร้าง เป็นต้น จากการศึกษาทางทฤษฎีผลที่จะได้คือ ความสูงที่ใช้ยกกระบะจะสูงจากพื้นประมาณ 2.75 เมตร สามารถยกน้ำหนักบรรทุกได้ประมาณ 800 กิโลกรัม และยกเทเอียงทำมุมกับแนวระนาบทำมุม 60 องศา

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในการออกแบบโครงสร้างระบบยกของรถเทรลเลอร์ เริ่มแรกเราจะทำการออกแบบลักษณะโครงสร้างของกระบะ ตัวรถ ความสูงของการยกกระบะขึ้นให้มีขนาดที่เหมาะสมตรงตามต้องการก่อน โดยการใช้โปรแกรม Solid Works ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 2 รวมทั้งการจำลองการเคลื่อนที่ของชิ้นงานว่าสามารถทำงานได้ตามต้องการหรือไม่ จากนั้นจึงทำการศึกษาเรื่องคุณสมบัติของวัสดุและทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบ รวมทั้งศึกษาในเรื่องของค่าความเค้นต่างๆ ค่าความปลอดภัย และค่าต่างๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ในการคำนวณและตรวจสอบวัสดุที่จะนำมาทำชิ้นงาน ซึ่งจะกล่าวในบทที่ 3

เมื่อเราทราบหลักการต่างๆแล้ว หัวเรื่องต่อมาที่จะทำการศึกษาคือ Optimum Design อยู่ในบทที่ 4 เพื่อที่จะหาค่าของขนาดชิ้นงานให้มีขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยการกำหนดสมการจุดมุ่งหมายและสมการบังคับขึ้นมา หลังจากนั้นเราจะใช้โปรแกรมภาษาปาสคาล เข้ามาช่วยในการคำนวณหาค่าของความหนาและความสูงของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ในการเขียนโปรแกรมจะกล่าวในบทที่ 5

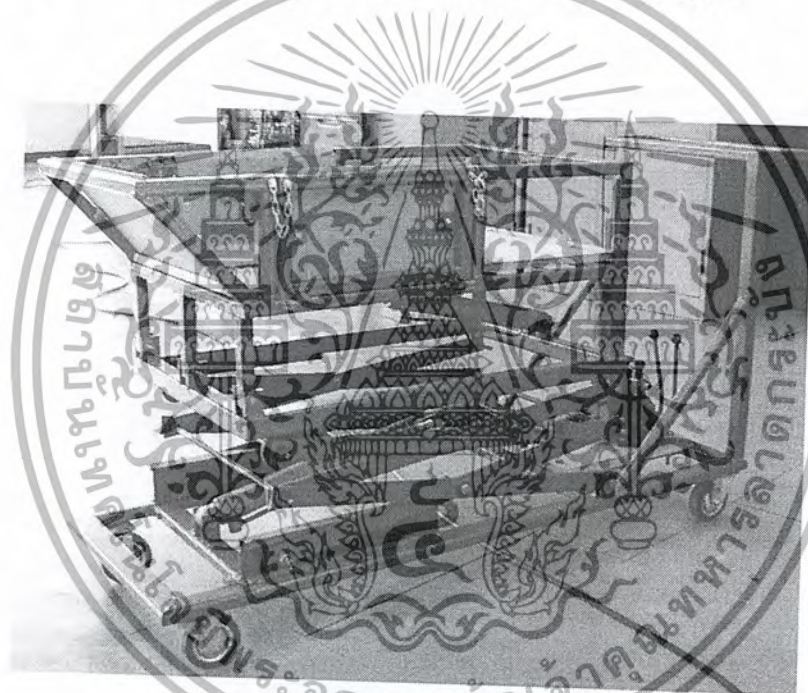
หลังจากที่เราทราบขนาดของชิ้นงานแล้ว สิ่งต่อมาที่เราจะทำการศึกษาคือ เรื่องระบบไฮดรอลิก ซึ่งจะกล่าวถึงหลักการคำนวณและเลือกอุปกรณ์ไฮดรอลิกโดยจะมีเนื้อหาในบทที่ 6 และเราจะทำการคำนวณและเลือกใช้อุปกรณ์ไฮดรอลิกให้มีความเหมาะสมและสามารถบังคับการทำงานของระบบได้ตามต้องการจะกล่าวในบทที่ 7 หลังจากนั้นก็จะทำการสรุปและวิจารณ์ในบทที่ 8 ถึงผลที่ได้สำหรับโครงการนี้

บทที่ 2

การออกแบบการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรม SolidWorks

รถเทรลเลอร์ที่ออกแบบสามารถปรับระดับสูงต่ำได้ซึ่งช่วยในการเก็บทะลายปาล์มที่อยู่บนต้นสูงๆได้ โดยใช้ระบบไฮดรอลิก ซึ่งรถคันนี้จะอำนวยความสะดวกในการขนย้ายทะลายปาล์มออกจากสวนปาล์ม และช่วยลดต้นทุนในการจ้างแรงงานให้กับเกษตรกรอีกทางหนึ่งด้วย

การออกแบบการเคลื่อนที่ของโครงสร้างรถเทรลเลอร์นั้นเราสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้เราทำการออกแบบและทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม SolidWorks และทำการ Simulation การเคลื่อนที่ของโครงสร้างรถเพื่อดูการเคลื่อนที่อย่างคร่าวๆ ว่าสามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการหรือไม่



รูปที่ 2-1 แสดงโครงสร้างของรถเทรลเลอร์

2.1 โปรแกรม SolidWorks

โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ โดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการผ่านหน้าต่างระบบ Windows™ ผู้ออกแบบสามารถกำหนดเงื่อนไขความสำคัญของชิ้นงาน โดยข้อควรพิจารณาในการออกแบบมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การสร้างชิ้นงานส่วนฐาน (Feature-Based)

ลักษณะการสร้างชิ้นงานจะทำได้โดยการสร้างชิ้นส่วนย่อยของแต่ละชิ้นแล้วนำมาประกอบกันในภายหลัง ในการเขียนชิ้นงานจะอาศัยการต่อเติมชิ้นงานย่อยทีละส่วนด้วยคำสั่ง เช่น สร้างชิ้นงานส่วนฐาน, ตัดเจาะชิ้นงาน, เจาะรู, ลบมุม, ลบมุมบาก และการทำการยึดเกลียว คำสั่งเหล่านี้จะช่วยให้การสร้างความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น

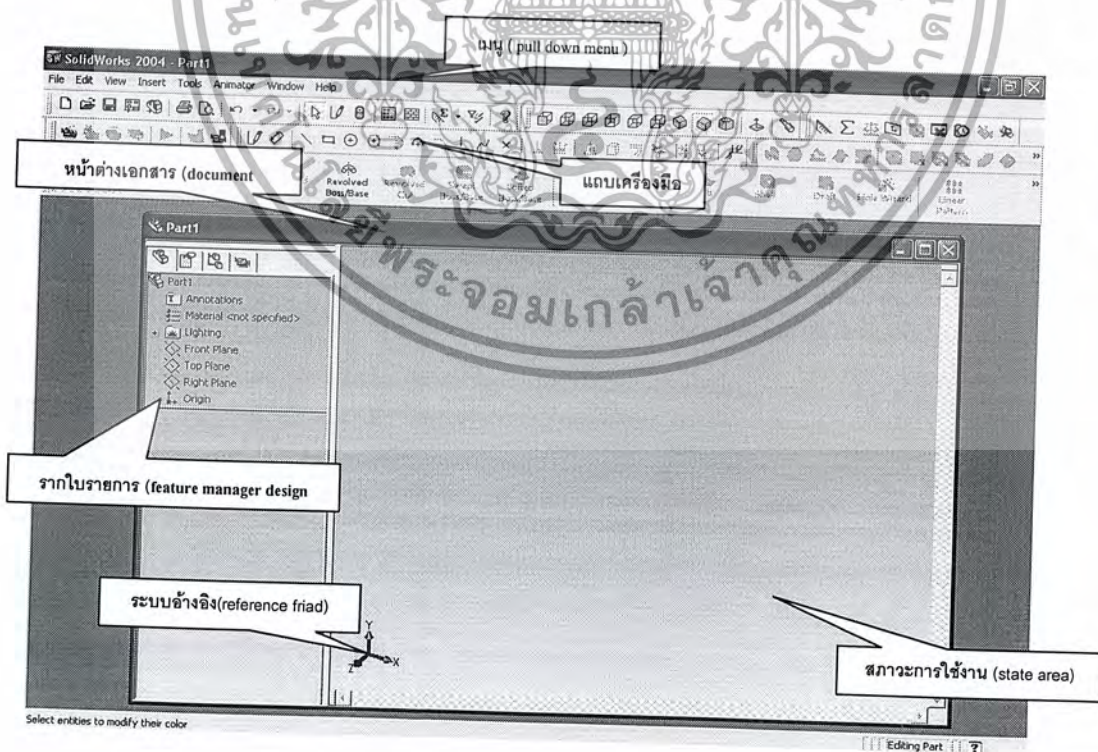
การสร้างชิ้นงานจะแบ่งได้ 2 ส่วน คือ

1. การสร้างชิ้นงานจากการเขียนเส้นร่าง (Sketch) โดยเขียนเส้นจากระบบ 2 มิติ แล้วจึงทำเป็นชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยการยืด, นำพื้นที่หมุนรอบแกน, นำพื้นที่วิ่งตามเส้นนำหรือสร้างชิ้นงาน 3 มิติ จากหน้าตัดขวาง
2. การสร้างชิ้นงานจากระบบ 3 มิติ โดยตรง เช่น คำสั่งลบมุม และคำสั่งในการบากมุม เป็นต้น

โปรแกรม SolidWorks ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ ที่แสดงขั้นตอนและโครงสร้างลำดับการใช้คำสั่ง หรือเรียกว่า ใบรายการคุณสมบัติ (Feature Manager) ไม่เพียงแต่การแสดงลำดับคำสั่งเท่านั้นใบรายการคุณสมบัติยังช่วยเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรทั้งหมดด้วยเช่นกัน

2.1.2 การใช้งาน SolidWorks

การควบคุมและใช้งาน SolidWorks จะบังคับคำสั่งผ่านเมนู, คีย์บอร์ด, แถบเครื่องมือ เป็นต้น ดังแสดงส่วนประกอบในรูปด้านร่าง



รูปที่ 2-2 แสดงถึงหน้าต่างโปรแกรม SolidWork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การออกแบบและทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Solid Works

การออกแบบการเคลื่อนที่ของโครงสร้างรถเทรลเลอร์ โดยขั้นแรกจะต้องทราบลักษณะการเคลื่อนที่ที่เราต้องการก่อน แล้วจึงค่อยหารูปร่างลักษณะของระบบ

ในการออกแบบโครงสร้างรถเทรลเลอร์ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ

1. ส่วนเท
2. ส่วนยก

2.2.1 ส่วนเท



รูปที่ 2-3 แสดงถึงตำแหน่งที่โครงสร้างส่วนเทเคลื่อนที่ผ่าน

จากโครงสร้างที่ทำการออกแบบ ชุดของโครงสร้างส่วนเทจะมีชิ้นส่วนหลักๆ อยู่ดังนี้

1. TOP TRAIN ทำหน้าที่เป็นที่บรรจุทุกทะลายนาลัม เราทำการออกแบบกระบะส่วนบนให้มีขนาดให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในสวนปาล์ม โดยมีรายละเอียดดังนี้

MATERIAL : HIGH TENSILE STEEL GRADE AISI 1045

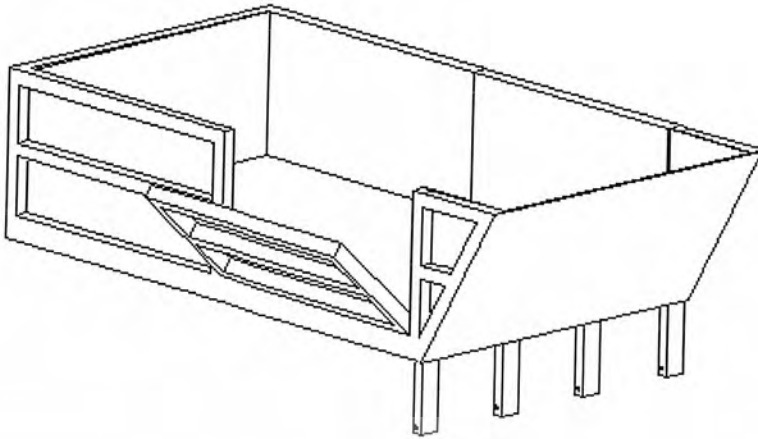
ปริมาณ : 1.71 m^3

ความกว้าง : 1 m

ความยาว : 160 cm

ความสูง : 40 cm

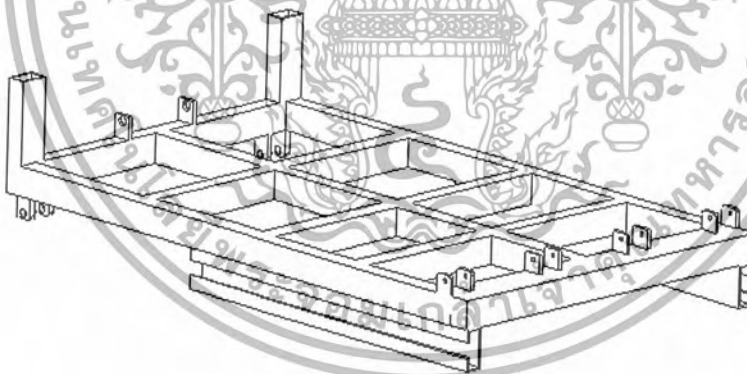
ความหนา : 5 mm



รูปที่ 2-4 แสดงถึงลักษณะของกระบะส่วนบน

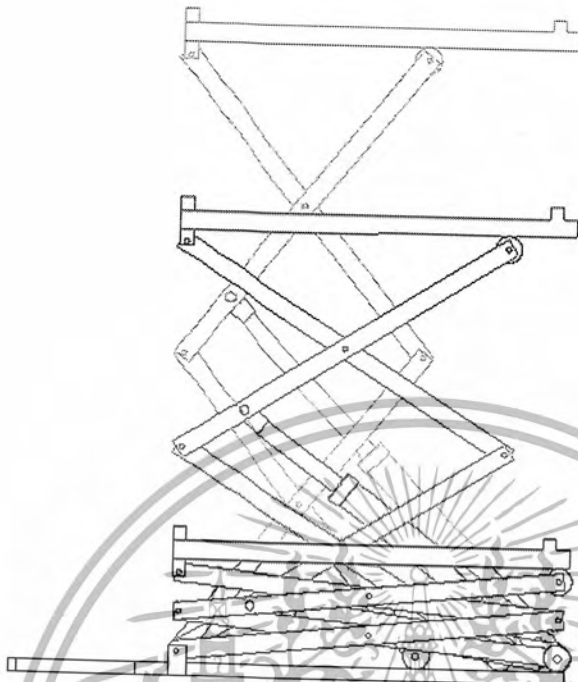
จากรูปจะเห็นว่าด้านข้างของกระบะส่วนบนนี้จะสามารถเปิดปิดได้ เพื่อที่จะสามารถเปิดรับทะเลาะปาล์มที่หล่นจากต้นตอนเก็บทะเลาะปาล์มได้ และที่ทำกระบะเป็นแบบพื้นเอียงก็เพื่อตอนยกกระบะจะสามารถเทให้ทะเลาะปาล์มไหลลงได้เลย

2. BOTTOM TRAIN จะทำหน้าที่รองรับกระบะบอกลูกที่เอาไว้เชื่อมต่อกับกระบะส่วนบนคั่นให้กระบะส่วนบนเทได้ และยังเป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนยกกับส่วนเทด้วย



รูปที่ 2-5 แสดงถึงลักษณะของกระบะส่วนล่าง

2.2.2 ส่วนยก



รูปที่ 2-6 แสดงถึงตำแหน่งที่โครงสร้างส่วนยกเคลื่อนที่ผ่าน

จากโครงสร้างที่ทำการออกแบบ ชุดของโครงสร้างส่วนที่จะมีชิ้นส่วนหลักๆ อยู่ดังนี้

1. โครง X-Lift จะทำหน้าที่เป็นโครงไว้สำหรับการปรับระดับในการยก โดยมีทั้งหมด 8 ก้าน (2 ข้าง ข้างละ 4 ก้าน) ต่อกันเป็นรูป X สองชั้น ซึ่งแต่ละก้านมีรายละเอียดดังนี้

MATERIAL : HIGH TENSILE STEEL GRADE AISI 1045

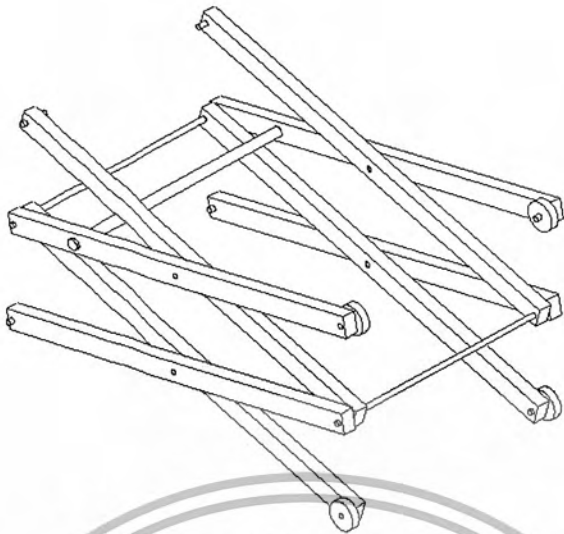
TYPE : FLAT BARS

SECTIONAL DIMENSION

THICKNESS : 33 mm WIDTH : 66 mm

SECTIONAL AREA : 21.78 cm²

UNIT WEIGHT : 17.1188 kg/m



รูปที่ 2-7 แสดงถึงลักษณะของโครง X-Lift

จากรูป ก้านของโครง X-LIFT แต่ละก้านถูกเจาะรูเพื่อที่จะใส่ PIN โดยการเจาะรูแต่ละก้านมีรายละเอียด

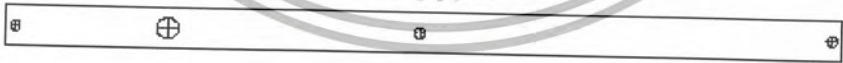
ดังนี้

เจาะ 3 รู ตรงหัว กลาง และท้าย จำนวน 6 ก้าน ดังรูป



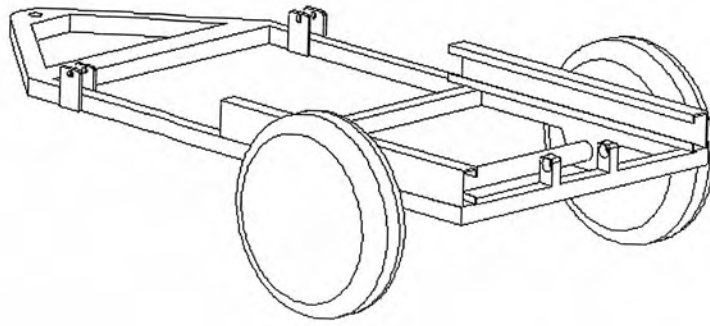
รูปที่ 2-8 แสดงถึงลักษณะของก้าน X-LIFT

เจาะ 4 รู จำนวน 2 ก้าน ดังรูป



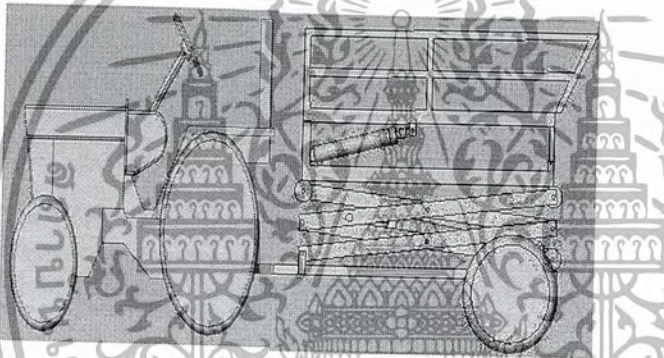
รูปที่ 2-9 แสดงถึงลักษณะของก้าน X-Lift

2. ฐานตัวรถ ทำหน้าที่เป็นฐานให้โครง X-Lift วางและยังไว้เชื่อมต่อกับรถที่จะมาลาก (รถแทรกเตอร์)



รูปที่ 2-10 แสดงถึงลักษณะฐาน

เมื่อโครงสร้างที่เราทำการออกแบบสามารถเคลื่อนได้ตามที่ต้องการแล้ว เราก็จะนำโครงสร้างทั้งหมดมาประกอบกัน เพื่อให้เห็นภาพพจน์ได้ชัดเจนขึ้น จะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2-11 แสดงถึงรูปปรอทเรลเลอร์เก็บขยะลายป่าด้วยโปรแกรม SolidWorks

บทที่ 3

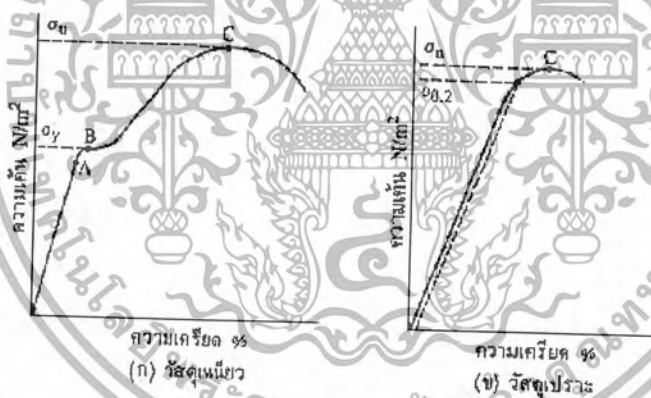
พื้นฐานในการออกแบบชิ้นส่วน

ในการออกแบบชิ้นส่วนจำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานต่างๆ เช่น คุณสมบัติทางกลของวัสดุ ค่าความปลอดภัย ความเค้นอย่างง่าย เป็นต้น มาช่วยในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับงาน

3.1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะต้องคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นสำคัญ ซึ่งจะพบว่ามีย่อเรียกต่างๆอยู่มาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการอ้างอิง ต่อไปจึงจำได้นิยามความหมายของชื่อต่างๆไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้

1. ความต้านทานแรงดึงอติเมต (Ultimate Tensile Strength), σ_u เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะรับได้ ซึ่งคำนวณได้จากการนำแรงที่ใช้ดึงวัสดุตัวอย่างหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม และแทนด้วยจุด C บนกราฟความเค้น-ความเครียดในรูปที่ 3.1 ในบางครั้งอาจเรียกให้สั้นลงได้ว่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)



รูปที่ 3-1 แสดงถึงแผนภาพความเค้น - ความเครียด

2. ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (Proportional Limit) เป็นค่าความเค้นค่าสุดท้ายที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียดดังจุด A ในรูปที่ 3.1(ก) เมื่อพ้นจุดนี้ไปแล้วกราฟจะเป็นเส้นโค้ง ในทางปฏิบัติจะหาจุดนี้ยากมาก ฉะนั้นในการคำนวณจึงนิยมใช้ความต้านแรงดึงคราก (Yield Strength) แทน

3. ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) อยู่ระหว่างจุด A และ B ในรูปที่ 3.1(ก) เป็นจุดสุดท้ายเมื่อเอาแรงภายนอกออกแล้วชิ้นตัวอย่างทดสอบจะกลับมามีขนาดเท่าเดิม กราฟในช่วง AB จะมีความโค้งเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความต้านแรงดึงคราก (Yield Strength), σ_y เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบยืดออกได้มากโดยที่เพิ่มแรงอีกเล็กน้อยเท่านั้น(หรือไม่ได้เพิ่ม) ซึ่งแทนด้วยจุด B หรือจุดคราก ความเค้นที่จุดนี้ถือเป็นหลักในการออกแบบทั่วไป สำหรับวัสดุที่ไม่มีจุดคราก เช่น เหล็กหล่อ ก็อาจใช้ความต้านทานแรงดึงเป็นหลักในการออกแบบหรืออาจจะหาความเค้นที่เรียกว่า ความเค้นที่จุดยืดถาวร (Proof Stress) มาใช้แทนความต้านแรงดึงคราก โดยการลากเส้นขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟตามเปอร์เซ็นต์ของความเครียดที่ตรงการดังรูป 3.1(ข) โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ 0.2% และเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างความเค้นที่จุดยืดถาวรกับความต้านแรงดึงคราก จึงใช้สัญลักษณ์แทนความเค้นที่จุดยืดถาวร 0.2% ว่า $\sigma_{0.2}$ หรืออาจเรียกสั้นๆว่า ความเค้นพิสูจน์ 0.2%

3.2 ค่าความปลอดภัย

โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัยหมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านทานแรงดึงหรือความต้านแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (Working Stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกสั้นๆว่า ความเค้นออกแบบ (Design Stress) หรือความเค้นใช้งาน

ค่าความปลอดภัยที่จะเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวประกอบจำนวนมากดังนี้

1. ชนิดของแรงที่มากระทำต่อชิ้นงานว่าเป็นแรงที่จัดอยู่ในประเภทอยู่นิ่ง หรือ เปลี่ยนแปลงขนาดอยู่ตลอดเวลาขณะใช้งาน
2. ลักษณะการใช้งานของชิ้นส่วนว่าเกี่ยวข้องกับภารกิจที่อาจสูญเสียชีวิต หรือทรัพย์สินจำนวนมากหรือไม่
3. น้ำหนักของชิ้นงานว่ามีความจำเป็นที่จะต้องเบาที่สุดหรือไม่ เช่น ชิ้นส่วนสำหรับเครื่องบิน เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้การใช้ค่าความปลอดภัยจะต้องพิจารณาอย่างละเอียดเป็นพิเศษ
4. จำนวนของชิ้นงานที่จะผลิตออกมา ถ้าผลิตครั้งละมากๆควรระมัดระวังในการใช้ค่าความปลอดภัยที่ไม่สูงจนเกินไป ทั้งนี้เพื่อที่จะประหยัดวัสดุมากที่สุด
5. เนื้อวัสดุที่ผลิตออกมาอาจไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงต่างกัน

สำหรับผู้ที่มีความชำนาญในการออกแบบน้อย ก็อาจจะใช้ค่าที่แนะนำไว้ในตารางที่ 3.1 เป็นแนวทางคำนวณในการออกแบบได้

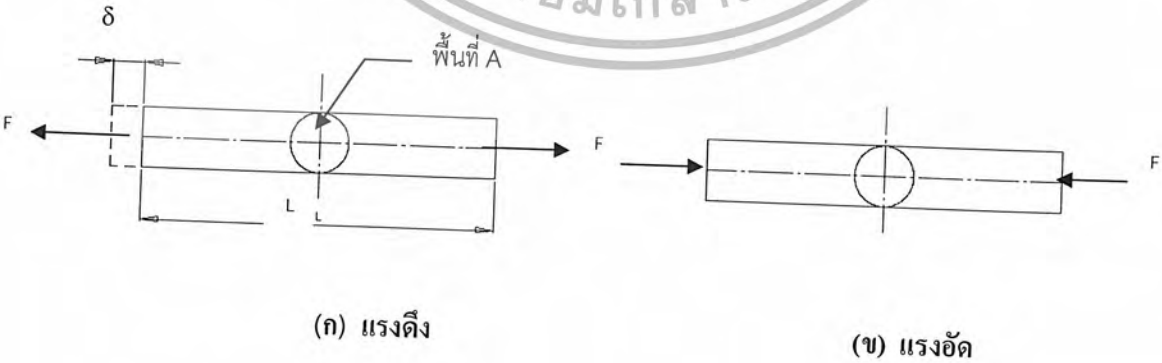
ชนิดของแรง	เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว		เหล็กหล่อและโลหะเปราะ
	N_y	N_u	N_u
แรงอยู่นิ่ง	1.5 – 2	3 – 4	5 – 6
แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7 – 8
แรงซ้ำสองทิศทางหรือแรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10 – 12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5 – 7	10 – 15	15 – 20

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าความปลอดภัย

ค่าความปลอดภัยสำหรับแรงซ้ำทิศทางเดียว (Repeated, One Direction) หรือแรงซ้ำสองทิศทาง (Repeated, And Reversed) ที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 หมายถึง ค่าความปลอดภัยที่จะนำไปใช้เมื่อสมมุติให้เป็นแรงนิ่ง (Dead Load)

3.3 ความเค้นอย่างง่าย

นิยามของความเค้น คือ แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง ความเค้นอย่างง่าย (Simple Stress) มีอยู่ 3 ชนิดคือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน



รูปที่ 3-2 แสดงถึงแรงดึงและแรงอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารูปที่ 3.2(ก) และ (ข) ซึ่งเป็นท่อนโลหะกลมอยู่ภายใต้แรงดึง และแรงกดF ตามลำดับ ความเค้นดึงและความเค้นกด คือ

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \tag{3.1a}$$

และ $\sigma_c = \frac{F}{A}$ (3.1b)

สัญลักษณ์

- F = แรงที่กระทำกับชิ้นงาน
- A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน
- σ = Normal Stress



รูปที่ 3-3 แสดงถึงแรงเค้น

ในกรณีที่แผ่นโลหะยึดติดกันด้วยหมุดย้ำ ดังรูปที่ 3.3 ตัวหมุดย้ำอาจจะขาดเนื่องจากแรงเฉือนกระทำที่หน้าตัด AB ถ้าพื้นที่หน้าตัดของหมุดย้ำเท่ากับ A ความเค้นเฉือนหน้าตัดของหมุดย้ำคือ

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{3.2}$$

สัญลักษณ์

- F = แรงที่กระทำกับชิ้นงาน
- A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน
- τ = Shear Stress

ถ้าหน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรงเฉือนมีมากกว่าหนึ่งแห่ง ดังเช่นในรูปที่ 3.4 ซึ่งมีสองแห่ง พื้นที่หน้าตัดที่รับแรงคือ 2A ในกรณีเช่นนี้เรียกว่า หมุดย้ำรับแรงเฉือนคู่ (Double Shear) เพราะฉะนั้นแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของหมุดย้ำนี้จะเท่ากับ

$$\tau = \frac{F}{2A} \tag{3.3}$$

พิจารณาหมุดย้ำในรูปที่ 3.3 จะเกิดการอัดกันระหว่างด้านข้างของตัวหมุดย้ำกับแผ่นโลหะด้วยความเค้นที่ผิวโลหะสัมผัสกันนี้ไม่สม่ำเสมอ ในทางปฏิบัติจึงหาความเค้นนี้โดยใช้พื้นที่ภาพฉาย (Projected Area) ของส่วนที่อัดกันอยู่ แทนการใช้พื้นที่จริงรอบหมุดย้ำ และมีชื่อเรียกว่า ความเค้นอัด (Bearing Stress) ถ้าหมุดย้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d ความเค้นอัดนี้คือ

$$\sigma_c = \frac{F}{dt} \tag{3.4}$$

สัญลักษณ์

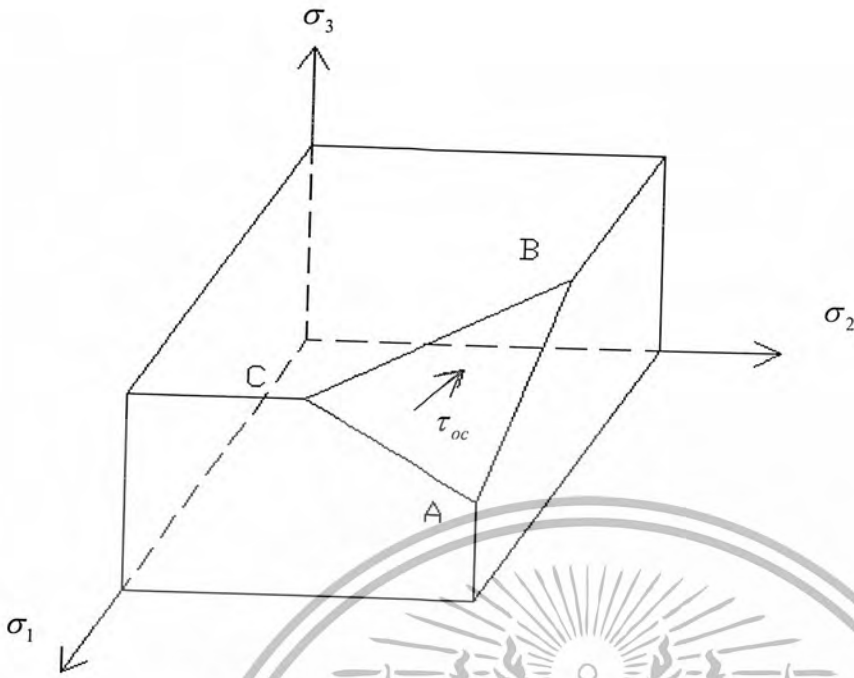
- t = ความหนาของชิ้นงาน
- d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

3.4 ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

ในทางทฤษฎีพลาสติกซิตี้(Plasticity) มักจะเรียกชื่อทฤษฎีนี้ว่า ทฤษฎีของ Von Mises หรือ Huber-Hencky Criterion ทั้งนี้เพื่อเป็นเกียรติแก่บุคคลที่คิดค้นทฤษฎีนี้ขึ้นมา

ระนาบออกตะฮีดรัล(Octahedral Plane) หมายถึงระนาบที่เอียงทำมุมกับทิศทางของความเค้นหลักทั้งสามเท่ากัน เช่น ระนาบABC ดังรูปที่ 3.4 ทิศทางโคไซน์(Directional cosine) ของระบบนี้มีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{3}$ และความเค้นเฉือนบนระนาบนี้เรียกว่าความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล τ_{oc} ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลในวัสดุ มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงขึ้นทดสอบขณะถึงจุดคราก



รูปที่ 3-4 แสดงถึงระนาบออกตะฮีดรัล

ในกรณีที่ชิ้นส่วนอยู่ภายใต้ความเค้นสามมิติ ค่าความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลคือ

$$\tau_{oc} = \frac{1}{3} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

ในการทดสอบแรงดึง ความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 เท่ากับศูนย์ และเมื่อถึงจุดคราก ความเค้นหลัก $\sigma_1 = \sigma_y$ ดังนั้นความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล จะหาได้จากสมการที่ 3.5 โดยให้ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ และ $\sigma_1 = \sigma_y$ นั่นคือ

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} \sigma_y = 0.471 \sigma_y \quad (3.6)$$

จากทฤษฎีนี้ความเสียหายหรือการคราก จะเริ่มขึ้นเมื่อ $\tau_{oc} = \tau$ นั่นคือเมื่อ

$$2\sigma_y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (3.7)$$

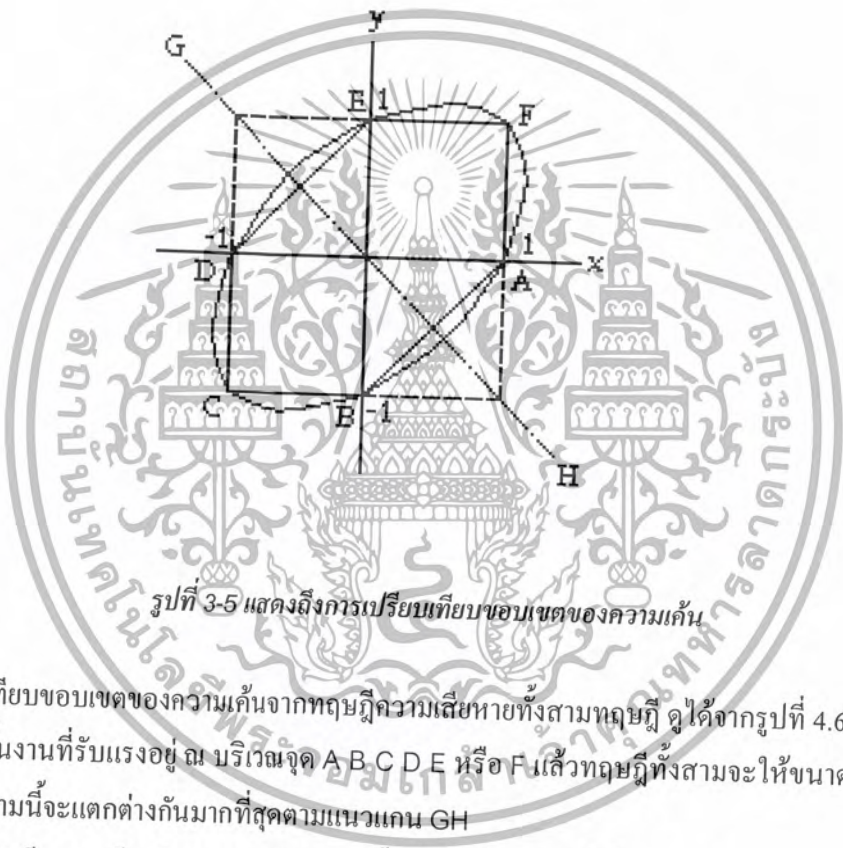
ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยทั่วไป ซึ่งพิจารณาความเค้นในสองมิติ ซึ่ง $\sigma_3 = 0$ และเมื่อใช้ค่าความปลอดภัย N สมการที่ 3.7 จะเหลือเพียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left[\frac{\sigma_y}{N}\right]^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 \tag{3.8a}$$

$$1 = X^2 - XY + X^2 \tag{3.8b}$$

ซึ่งเป็นสมการของรูปวงรี ที่มีความยาวครึ่งแกนยาวและครึ่งแกนสั้นเท่ากับ $\sqrt{2}$ และ $\sqrt{2/3}$ ตามลำดับ ดังนั้นรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมให้มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบจึงเป็นรูปวงรี



รูปที่ 3-5 แสดงถึงการเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้น

การเปรียบเทียบขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหายทั้งสามทฤษฎี ได้จากรูปที่ 4.6 ซึ่งจะพบว่า ถ้าความเค้นภายในชิ้นงานที่รับแรงอยู่ ณ บริเวณจุด A B C D E หรือ F แล้วทฤษฎีทั้งสามจะให้นขนาดของชิ้นงานเท่ากัน แต่ทฤษฎีทั้งสามนี้จะแตกต่างกันมากที่สุดตามแนวแกน GH

เนื่องจากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดล้อมรอบพื้นที่ที่น้อยที่สุด ดังนั้นชิ้นส่วนที่คำนวณหาขนาด โดยใช้ทฤษฎีนี้จะมีขนาดโตกว่าที่คำนวณโดยใช้อีกสองทฤษฎี(ยกเว้นที่จุดรวมกัน)

ถ้าสถานะของความเค้นเป็นไปตามรูปที่ 3.4 จะได้ว่า

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma}{2} \pm \left[\left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 + \tau^2 \right]^{1/2} \tag{3.9}$$

นำมาแทนลงในสมการที่ 3.8a แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$\frac{\sigma_y}{N} = [\sigma^2 + 3\tau^2]^{1/2} \quad (3.10a)$$

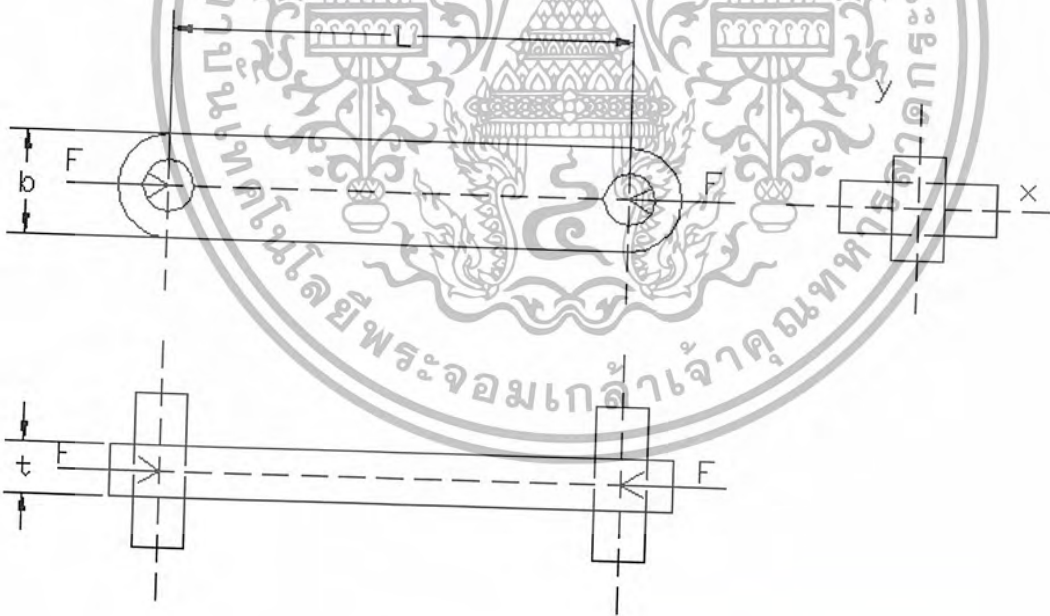
หรือ

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}\tau}{\sigma_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.10b)$$

ถ้าให้ $\tau_y = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} = 0.577\sigma_y$ แล้วอาจจัดรูปสมการที่ 3.10b ได้

$$\frac{1}{N} = \left[\left(\frac{\sigma}{\sigma_y} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.10c)$$

3.5 เสา



รูปที่ 3-6 แสดงถึงชิ้นส่วนรับแรงกด

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าการโก่งรอบแกน \$yy\$ จะเป็นลักษณะของเสาแบบ Clamped(CC) ทั้งนี้เพราะปลายที่สวมอยู่ในหมุดไม่สามารถจะโก่งขึ้นได้ แต่การโก่งรอบแกน \$xx\$ ปลายเสาหมุนรอบได้ ดังนั้นจึงควรเข้าลักษณะ Simple Supported(SS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดการ โกงงอรอบแกน xx $L_e = L$ จะได้ว่า

$$k = \frac{b}{\sqrt{12}} \tag{3.11}$$

สัญลักษณ์

- L_e = ความยาวสมมูล
- k = รัศมีไจเรชัน

ในขั้นแรกนี้ยังไม่ทราบค่า L_e / k แต่การเลือกใช้สูตรของออยเลอร์หรือจอห์นสันก็จะให้คำตอบเท่ากัน จากสูตรของออยเลอร์นำมาคิดการ โกงงอในแนวแกน xx

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi^2 EA}{N(L_e / k)^2} = \frac{\pi^2 EA}{N(L\sqrt{12} / b)^2} \\ &= \frac{\pi^2 EAb^2}{12NL^2} \end{aligned} \tag{3.12}$$

คิดการ โกงงอรอบแกน yy $L_e = L/2$ และ $k = I / \sqrt{12}$

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi^2 EA}{N(L\sqrt{12} / 2t)^2} \\ &= \frac{\pi^2 EAt^2}{3NL^2} \end{aligned} \tag{3.13}$$

ให้แรงในสมการที่ 3.12 เท่ากับในสมการที่ 3.13

$$\frac{\pi^2 EAb^2}{12NL^2} = \frac{\pi^2 EAt^2}{3NL^2} \tag{3.14}$$

เพราะฉะนั้น

$$b = 2t \tag{3.15}$$

ซึ่งถ้าจะทดลองใช้สูตรของจอห์นสัน ก็จะพบว่าให้คำตอบเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

OPTIMUM DESIGN

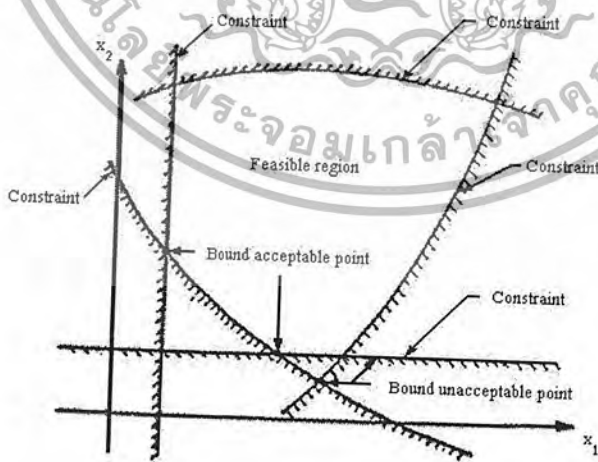
การOptimization เป็นวิธีการใช้วางแผนการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยต่างๆ ในระบบเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้การวางแผนดังกล่าวจะต้องอยู่ภายใต้หรือเป็นไปตามกฎเกณฑ์หรือเงื่อนไขที่กำหนด และ วัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งทรัพยากรหรือปัจจัยต่างๆจะเป็นอะไรก็ได้ที่คิดหรือวัดเป็นปริมาณได้

4.1 การแทนปัญหาเพื่อหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดด้วยคณิตศาสตร์

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดจะประกอบไปด้วย

1. ตัวแปรในการตัดสินใจ(Decision Variable)และ พารามิเตอร์(Parameter) ตัวแปรในการตัดสินใจคือตัวที่ไม่รู้ค่า(Unknown) ซึ่งเราต้องการหา ส่วนพารามิเตอร์จะหมายถึงตัวแปรอื่นๆที่มาเกี่ยวข้องในระบบ

2. เงื่อนไขบังคับ(Constraint) หรือข้อจำกัด(Restriction) ซึ่งจะเป็นตัวแสดงถึงข้อจำกัดทางกายภาพ (Physical Limitation) ของระบบ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นพิจารณาย่อยขึ้นพิจารณารูปที่ 4.1 เมื่อนำเงื่อนไขบังคับมาพิจารณารวมกันจะเกิดบริเวณซึ่งสอดคล้องกับทุกเงื่อนไขบังคับเราเรียกบริเวณนี้ว่าบริเวณที่เป็นไปได้(Feasible Region) และเรียกบริเวณที่นอกเหนือจากนี้ว่าบริเวณที่เป็นไปไม่ได้(Infeasible Region) ทุกๆจุดของ x_1 และ x_2 ที่ตกอยู่ในบริเวณนี้จะถูกต้องตามเงื่อนไขทั้งหมดที่กำหนดไว้แต่จุดไหนจะเป็นจุดที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดจะต้องพิจารณากันอีกทีต่อไป



รูปที่ 4-1 แสดงถึงบริเวณที่เป็นไปได้ที่เกิดจากการพิจารณาทุกๆเงื่อนไขบังคับ

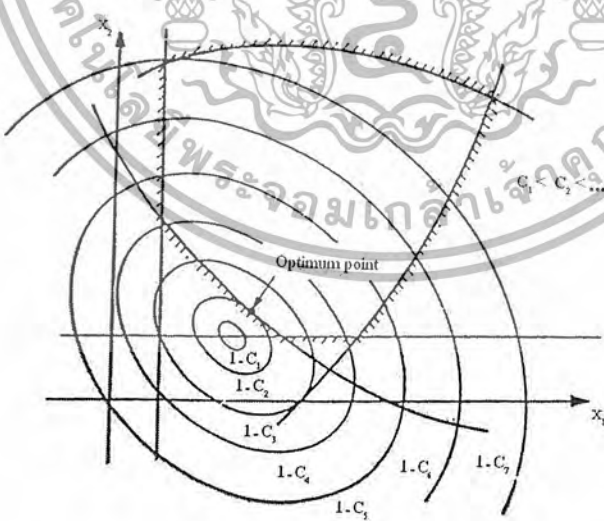
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปเราสามารถแสดงเงื่อนไขบังคับในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น ถ้า $x_1, x_2, \dots, x_n$ แทนจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์จำนวน n ชนิด (ตัวแปรในการตัดสินใจ) และให้ $a_1, a_2, \dots, a_n$ แทนปริมาณวัตถุดิบ(Raw material) ที่ต้องใช้ต่อหนึ่งหน่วยสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด(พารามิเตอร์) ถ้ากำหนดให้ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมดคือ A จากระบบดังกล่าวเราสามารถเขียนเงื่อนไขบังคับได้ดังนี้

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n \leq A \tag{4.1}$$

โดยปรกติเงื่อนไขบังคับแบ่งได้ 2 ประเภท คือ เงื่อนไขบังคับแบบสมภาพ และ เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ

3. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ซึ่งจะแสดงเป้าหมายที่ต้องการในรูปแบบของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ในเทอมของ ตัวแปรในการตัดสินใจ ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด(Optimum)ต้องเป็นคำตอบที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับทั้งหมดในขณะเดียวกันก็ต้องทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด ให้พิจารณารูปที่ 4.2 ซึ่งบริเวณที่เป็นไปได้(Feasible Region) ก็ยังคงเหมือนกับในรูปที่ 4.1 และคอนทัวร์ (Contour) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์แสดงดังรูป ที่คอนทัวร์เส้นหนึ่งก็จะให้ค่าคงที่ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ค่าหนึ่งและถ้า $C_1 < C_2 < \dots < C_7$ แล้วจะพบว่า จะมีอยู่จุดหนึ่งซึ่งจะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำที่สุด (ในที่นี้จะพิจารณากรณีที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่ำที่สุด) ในขณะเดียวกัน x_1 และ x_2 ที่จุดนั้นก็ยังคงสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับทั้งหมดที่กำหนด จุดดังกล่าวมีชื่อว่าจุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Point)



รูปที่ 4-2 แสดงถึงจุดที่เหมาะสมที่สุด(Optimum Point)

ถ้ากำหนดให้ y เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะหาสภาพที่เหมาะสมที่สุด โดยเป็นฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ (Independent Variable) $x_1, x_2, \dots, x_n$ หรือ

$$y = (x_1, x_2, \dots, x_n) \longrightarrow \text{หาสภาพที่เหมาะสมที่สุด}$$

(4.2)

โดยอาจมีเงื่อนไขบังคับกับสมภาพ (Equality Constraint) ดังนี้

$$\Phi_1 = \Phi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

(4.3)

$$\Phi_m = \Phi_m(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

(4.4)

หรืออาจมีเงื่อนไขบังคับเป็นแบบอสมการ (Inequality Constraint) ดังนี้

$$\Psi_1 = \Psi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq (\geq) L_1$$

(4.5)

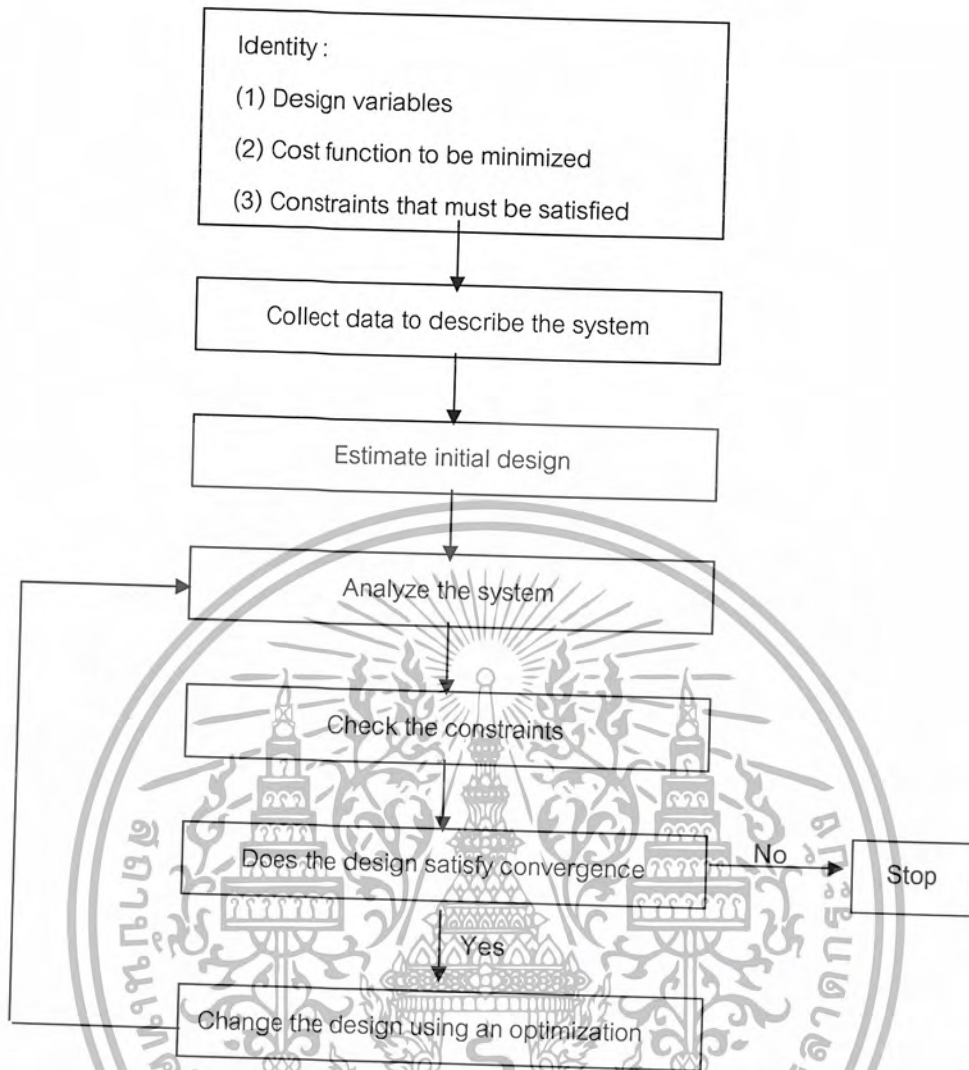
$$\Psi_j = \Psi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq (\geq) L_j$$

(4.6)

$$\text{โดยที่ } x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

4.2 Optimum Design Process

ในการออกแบบโครงสร้างระบบยก(แบบ X-Lift) ของรถเทรลเลอร์ นอกจากการออกแบบให้ระบบยกสามารถทำงานได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการแล้ว ยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ต้องทำการพิจารณา คือ ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของแกน X-Lift ซึ่งควรจะออกแบบให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยที่ยังคงไว้ซึ่งรูปแบบการใช้งานได้ตามจุดประสงค์และความสามารถในการรองรับภาระที่เกิดขึ้นได้ ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการพิจารณาการออกแบบให้แกนX-Lift มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กที่สุด หรือมีมวลของแกนx-Liftน้อยที่สุดนั่นเอง โดยวิธีการ Optimum Design



รูปที่ 4-3 แสดงถึงขั้นตอนการ Optimization

จากรูปด้านบน ในการที่เราจะทำการ Optimum เราจะต้องทำการกำหนดค่าตัวแปรที่ต้องการทราบ (Design Variables) โดยที่มีจุดประสงค์ว่าเราต้องการค่าน้อยที่สุดของตัวแปรนั้น และมีการกำหนดขอบเขตหรือสมการข้อบังคับในการหาค่าด้วย

4.3 Objective Function และ Constraints

Objective Function

Mass = ρ × B × H × L (4.7)

Constrain Function

t > 0 (4.8)

H > 0 (4.9)

H = 2t (4.10)

1/N = [(σ/σ_y)² + (τ/τ_y)²]^{1/2} (4.11)

สัญลักษณ์

- ρ = ความหนาแน่นของวัสดุ
- t = ความหนาของชิ้นงาน
- H = ความสูงของชิ้นงาน
- L = ความยาวของชิ้นงาน
- N = Safety Factor (ในที่นี้ให้เท่ากับ 4)
- τ = Shear Stress
- σ = Normal Stress

หากต้องการให้โครงสร้างของระบบยก(X-Lift) มีน้ำหนักน้อยสุด เราควรทำให้ทุกๆตัวแปรทางด้านขวามือของสมการObjective มีค่าน้อยที่สุดแต่ในการออกแบบให้โครงสร้างสามารถเคลื่อนที่ได้ตามจุดประสงค์นั้น เราจำเป็นต้องกำหนดความยาวเป็นค่าคงที่ และการใช้งานจริงเราเลือกที่จะใช้โลหะชนิดเดียวกันจึงทำให้ค่าความหนาแน่นของโลหะเป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน ดังนั้นตัวแปรที่เหลืออยู่ของสมการObjectiveที่จะทำให้น้ำหนักของโครง X-Lift น้อยสุดคือ ความหนากับความสูงของโครง X-Lift

สำหรับความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำอาจเกิดความเค้นมากกว่าหนึ่งชนิดพร้อมกันในส่วนเดียว เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสามารถรวมความเค้นเหล่านี้เข้าด้วยกัน เรียกว่าความเค้นผสม(Combined Stress) เพื่อนำไปใช้คำนวณหาขนาดของชิ้นงาน การที่สามารถหาความเค้นผสมได้อย่างเดียวอาจจะไม่มีรากฐานเพียงพอที่นำไปใช้อธิบายถึงเหตุที่ชิ้นงานแตกหักหรือเกิดความเสียหายขึ้น ทั้งนี้เพราะความเค้นที่เกิดขึ้นมีหลายชนิดพร้อมๆกัน ด้วยเหตุนี้เองจึงมีผู้พยายามตั้งทฤษฎีขึ้นมาใช้อธิบายถึงความเสียหายของชิ้นงาน โดยพยายามเชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่สามารถทดสอบได้ เช่น ความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงคราก หรือความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึงของวัสดุอย่างธรรมดา ทฤษฎีเหล่านี้มีอยู่หลายทฤษฎีด้วยกัน ซึ่งเรียกว่าทฤษฎีความเสียหาย ซึ่งในที่นี้จะใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮิลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

เทอร์โบปาสคาล

การเขียนโปรแกรมเป็นวิธีการที่ใช้ช่วยในการแก้ปัญหาต่างๆ ซึ่งหลักสำคัญของการแก้ปัญหานั้นเราจะต้องมองปัญหาอย่างเป็นระบบ จุดประสงค์สำคัญของบทนี้ คือ ต้องการให้เราเข้าใจหลักการคร่าวๆ ของการเขียนโปรแกรมภาษาปาสคาล และสามารถแก้ปัญหาต่างๆ เหล่านั้นได้โดยใช้ภาษาปาสคาล

ภาษาปาสคาล (Pascal Programming Language) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูง ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2514 โดยศาสตราจารย์ ดร. นิคโรส เวิร์ท (Dr. Niklaus Write) แห่งเมืองซูริก ประเทศสวิตเซอร์แลนด์

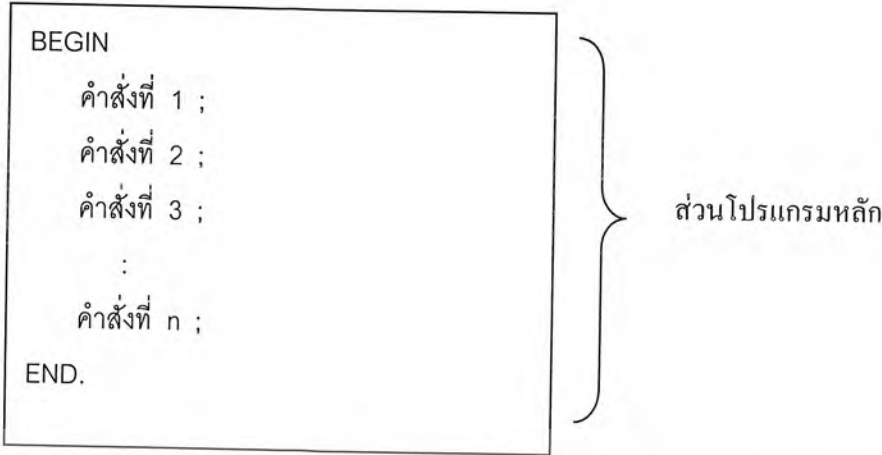
ปัจจุบันภาษาปาสคาลเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมมากภาษาหนึ่ง โดยเฉพาะในระดับการเรียนการสอน เนื่องจากภาษาปาสคาลเป็นภาษาที่เข้าใจได้ง่าย และมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง

5.1 โครงสร้างโปรแกรมภาษาปาสคาล (Program Structure)

โครงสร้างโปรแกรมภาษาปาสคาลประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

- 1. ส่วนหัวของโปรแกรม (Program Heading)
- 2. ส่วนประกาศ (Program Declaration)
- 3. ส่วนโปรแกรมหลัก (Main Program)





รูปที่ 5-1 แสดงถึงรูปแบบโครงสร้างโปรแกรมภาษาปาสคาล

5.2 วิธีการเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมในการแก้ปัญหานั้น ไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว แต่พอจะสรุปเป็นขั้นตอนคร่าวๆ ได้ดังนี้

1. ศึกษาปัญหา

ก่อนที่จะทำการแก้ปัญหาใดๆ เราจะต้องรู้ก่อนว่า ปัญหานั้นๆต้องการให้เราทำอะไร ขั้นตอนนี้นับได้ว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากเพราะถ้าเราตีความปัญหาผิดพลาด อาจจะทำให้การแก้ปัญหานั้นผิดจุดประสงค์ไปได้

2. วิเคราะห์ปัญหา

เมื่อเราศึกษาปัญหานั้นๆแล้ว ขั้นตอนต่อไปเราจะต้องนำปัญหานั้นมาวิเคราะห์ว่า มีข้อมูลอะไรบ้างที่จะต้องนำมาใช้ในการแก้ปัญหา (Input) รวมทั้งจะต้องพิจารณาว่าปัญหานั้นต้องการให้เราแสดงผลลัพธ์(Output) อย่างไร และต้องทำการแก้ปัญหาคำนวณอย่างไรจึงจะได้ผลลัพธ์ตามที่เรากำลังต้องการ

3. ออกแบบโปรแกรม

ขั้นตอนนี้เราจะต้องสร้างอัลกอริธึม (Algorithm) หรือ ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานั้นๆ ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมนี้นับเป็นขั้นตอนที่ยากที่สุดและมักจะสร้างปัญหาให้กับนักเขียนโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่

4. เขียนโปรแกรม

เมื่อเราสร้างอัลกอริธึมได้แล้ว เราจะต้องทำการเปลี่ยนอัลกอริธึมนั้นให้เป็นโปรแกรมตามรูปแบบคำสั่งของภาษาปาสคาล

5. ทดสอบและแก้ไขโปรแกรม

เมื่อเราเขียนโปรแกรมเป็นภาษาปาสคาลเรียบร้อยแล้ว เราจะต้องทำการทดสอบว่าโปรแกรมที่เราเขียนนั้นทำงานได้ถูกต้องหรือไม่ ถ้าไม่ถูกต้องเราจะต้องทำการแก้ไขจนกว่าจะได้โปรแกรมที่ถูกต้องตามที่เรากำลังต้องการ

5.3 รูปแบบของโปรแกรม

การ Optimum เพื่อหาขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เล็กที่สุดหรือมวลน้อยสุดของโครง X-Lift เราจะทำกรเขียนโปรแกรมภาษาปาสคาลให้ทำการวนลูปหาค่าความสูงและความหนาของของโครง X-Lift และแสดงผลที่ได้ออกมาทางหน้าจอ

Program Project;

ส่วนหัวของโปรแกรม เป็นการประกาศว่าโปรแกรมนี้นี้ชื่อว่า Project

```
Var load,t,t0,H0,long,height : Integer;
    angle_x,angle_h,density,g,volume,volume1,mass,mass1 : Real;
    Fx,Fy,FxE2,FyE2,Ftot,C1,C1_1,C1_2,C2,C3,C4 : Real;
    Dia,Dia1,Stress1,Stress2,Ans,area : Real;
```

ส่วนประกาศ เป็นการกำหนดตัวแปร และชนิดของตัวแปรที่จะใช้ในการเขียนโปรแกรมโดย ตัวแปรชนิดInteger คือตัวแปรชนิดจำนวนเต็ม และ ตัวแปรชนิดReal คือตัวแปรชนิดจำนวนจริง

Begin

```
Writeln('Please Enter Load In kilogram');
Readln(load);
Writeln('Please Enter Long of x In mm.');
```

```
Readln(long);
```

```
Writeln('Please Enter Initial Hight In mm.');
```

```
Readln(hight);
```

เข้าสู่ส่วนของตัวโปรแกรม เริ่มแรกจะให้เราทำการใส่ค่าน้ำหนัก(รวมทั้งน้ำหนักบรรทุกและน้ำหนักของโครงรถ) โดยจะนำไปเก็บไว้ในตัวแปร load และใส่ค่าความยาวของแขน X-Lift โดยนำไปเก็บไว้ในตัวแปร long และใส่ค่าความสูงเริ่มต้น ซึ่งจะนำไปเก็บไว้ในตัวแปร hight

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Angle_x := 0.0939; {rad}
Angle_h := 0.1548; {rad}
Density := 0.00000786; {kg/mmE3}
G := 9.81; {m/sE3}
Mass := 200; {kg.}

```

เป็นส่วนของการกำหนดค่าคงที่ให้กับตัวแปรต่างๆ ที่จะใช้ในการคำนวณ

```

For t := 50 downto 1 do {Thickness}
Begin

```

เป็นส่วนของคำสั่งให้โปรแกรมทำการวนลูป โดยเริ่มต้นที่ตัวแปร t (ความหนา) ให้มีค่าเริ่มต้นของการวนลูปที่ 50 มิลลิเมตร และทำคำสั่งต่อมา(ถัดมาจากคำว่า Begin) หลังจากนั้นก็ลดค่าความหนาลงไปเรื่อยๆ จนถึงค่าที่ 1 มิลลิเมตร

```

For H := 100 downto 1 do {Hight}
Begin

```

เป็นส่วนของคำสั่งให้โปรแกรมทำการวนลูป โดยเริ่มต้นที่ตัวแปร H (ความสูงของหน้าตัด) ให้มีค่าเริ่มต้นของการวนลูปที่ 100 มิลลิเมตร และทำคำสั่งต่อมา(ถัดมาจากคำว่า Begin) หลังจากนั้นก็ลดค่าความสูงลงไปเรื่อยๆ จนถึงค่าที่ 1 มิลลิเมตร

```

Area := t*H;

```

เป็นการหาพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานโดยนำค่าความหนาคูณกับความสูง แล้วนำผลที่ได้เก็บไว้ที่ตัวแปร Area

```

Volume := Area*Long;

```

เป็นการหาปริมาตรของชิ้นงานโดยการนำค่าพื้นที่คูณกับความยาว แล้วนำผลที่ได้เก็บไว้ที่ตัวแปร Volume

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Mass1 := Volume*density;
```

เป็นการหามวลของชิ้นงานโดยนำค่าของปริมาตรคูณกับค่าความหนาแน่น แล้วนำผลที่ได้เก็บไว้ในตัวแปร Mass1

```
C1_1 := sin(angle_x + angle_h);
C1_2 := cos(angle_x + angle_h);
C1 := (2*cos(angle_x))/(C1_1/C1_2);
Fx := ((2*Mass1*G)+(Load*G))*C1;
C2 := 2*cos(angle_x);
Fy := ((2*Mass1*G)+(Load*G))*C2;
```

ตรงนี้เป็นค่าของแรงตามแนวแกน x และแกน y โดยแรงตามแนวแกน x จะเป็นตัวแปร Fx แรงตามแนวแกน y จะเป็นตัวแปร Fy

```
FxE2 := Fx*Fx;
FyE2 := Fy*Fy;
Ftot := sqrt(FxE2+FyE2);
```

หลังจากที่เราได้แรงตามแนวแกน x และแกน y แล้วจึงทำการรวมแรงตามกฎของปาสคาล ได้ผลของแรงรวมเก็บไว้ในตัวแปร Ftot

```
Dia := sqrt(((Ftot/4)/(3.14*60.9315)));
```

เป็นส่วนของการหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักที่จะใช้ยึดโครงของชิ้นงานเข้าด้วยกันโดยค่าที่ได้จะเก็บไว้ในตัวแปร Dia

```
If Dia < H then
Begin
    Stress1 := Fx/(t*H); {Normal Stress}
    Stress2 := Fy/(t*((H-Dia)/2)); {Shear Stress}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C3 := sqr(Stress2/243.726);
C4 := sqr(Stress1/406.805);
Ans := sqrt(C3+C4);

```

ตรงนี้เป็นส่วนของการกำหนดเงื่อนไข ว่าถ้าค่า Dia(ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสลัก) น้อยกว่าค่า H (ค่าความสูงของชิ้นงาน) เป็นจริง ก็จะทำให้ทำคำสั่งต่อๆมาได้ แต่ถ้าส่วนนี้มีค่าเป็นเท็จ ก็จะข้ามไม่ทำคำสั่งในส่วน ของCompound Statement ซึ่ง Compound Statementนี้เป็นการคำนวณค่าความเค้นอัด(Stress1)และความเค้น เหนือน (Stress2)ของชิ้นงาน และทำการรวมค่าความเค้นทั้งสองตามหลักของทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮิตร์ล ผล ที่ได้เก็บไว้ในตัวแปร Ans

```

If Ans <= 0.25 then {Safety factor = 4}
Begin
    If Mass > Mass1 then
    If H = (2*t) then
    Begin
        t0 := t;
        H0 := H;
        Mass := Mass1;
        Volume1 := Volume;
        Dia1 := Dia;
    End;
    End;
End;
End;
End;

```

ตรงนี้ก็เป็นส่วนของการกำหนดเงื่อนไข โดยตรวจสอบว่าถ้าค่าAnsที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ก็ จะเข้ามาทำคำสั่งในส่วนของCompound statement ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบค่าของมวลของชิ้นงานเพื่อให้ได้ ค่าที่น้อยที่สุด และการตรวจสอบค่าความสูงให้เป็นไปตามที่กำหนด ถ้าเงื่อนไขตรงนี้เป็นจริงหมดก็จะทำการเก็บ ค่าตัวแปรต่างๆไว้เพื่อแสดงเป็นผลลัพธ์ของการคำนวณ

```

Writeln('Diameter bolt = ',Dia1);
Writeln('Hight = ',H0);

```

```

Writeln('Thickness = ',t0);
Writeln('Mass = ',Mass);
Writeln('Volume = ',Volume1);
Readln;

```

End.

สุดท้ายจะเป็นส่วนที่กำหนดให้โปรแกรมแสดงผลที่ได้จากการคำนวณออกมาทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เป็นอันสิ้นสุดของการทำโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

หลักการเบื้องต้นของไฮดรอลิก

6.1 นิยามของระบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิก คือ ระบบที่ทำการส่งและควบคุมแรงและการเคลื่อนที่โดยของไหล โดยของไหลในที่นี้คือน้ำมันไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบที่ใช้หลักการของนักวิทยาศาสตร์ท่านหนึ่งชื่อว่า ปาสกาล (Pascal) ซึ่งได้อธิบายหลักการไว้ว่าความดันของของไหลจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ

- 1. ความดันที่เกิดจากของไหล ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดจะไปปรากฏและกระทำมีค่าเท่ากันในทุกทิศทางต่อพื้นผิวภาชนะ
- 2. ทิศทางของความดันของของไหลจะกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ที่ของไหลนั้นสัมผัสอยู่
- 3. ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะนั้นมีค่าเท่ากันทุกจุดในระดับเดียวกัน

ความดันของของไหล

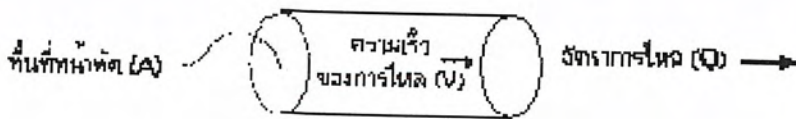
ความดันของของไหล จากน้ำหนักของน้ำมันที่มีความสูง H จะทำให้เกิดความดันขึ้นเท่ากับ P โดยไม่คำนึงถึงขนาดของภาชนะว่าเท่ากันหรือไม่

การส่งกำลังตามกฎของบอยล์ (Boyle's Law) กล่าวว่าการส่งแรงและกำลังสามารถส่งผ่านทางแก๊สหรือของไหลเหมือนกับการส่งผ่านทางท่อนเหล็ก



รูปที่ 6-1 แสดงถึงการส่งกำลัง

6.2 อัตราการไหลและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิก



รูปที่ 6-2 แสดงถึงอัตราการไหลและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิก

เมื่อน้ำมันไฮดรอลิกไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) จะได้ความเร็ว (V) และอัตราการไหล (Q) สัมพันธ์กันดังต่อไปนี้

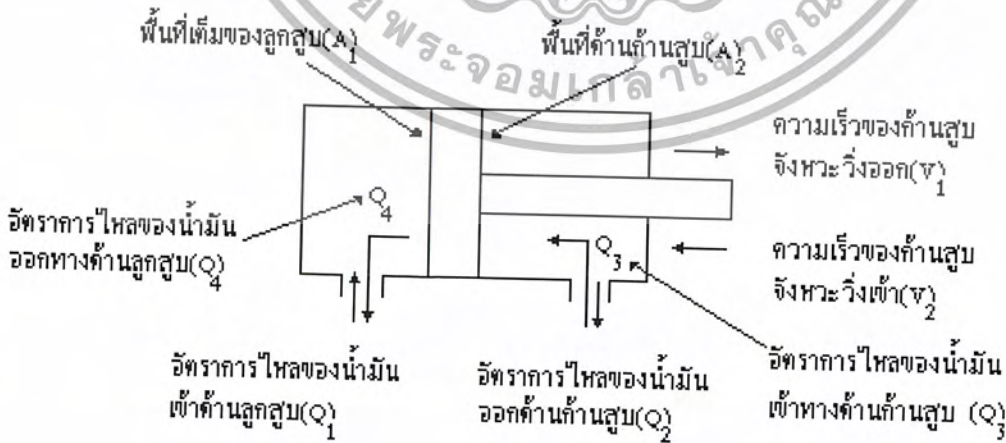
$$Q = VA$$

(6.1)

สัญลักษณ์

- Q คือ อัตราการไหล
- V คือ ความเร็ว
- A คือ พื้นที่หน้าตัด

6.3 ความเร็วของกระบอกสูบไฮดรอลิก



รูปที่ 6-3 แสดงถึงความเร็วของกระบอกสูบ

จากรูปที่ 6.3 สามารถนำมาเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

(6.2)

$$V_2 = \frac{Q_3}{A_2}$$

(6.3)

สัญลักษณ์

- V_1

คือ

ความเร็วของก้านสูบขณะวิ่งออก

V_2

คือ

ความเร็วของก้านสูบจังหวะวิ่งเข้า
- Q_1

คือ

อัตราการไหลของน้ำมันเข้าทางด้านลูกสูบ
- Q_3
- คือ
- อัตราการไหลของน้ำมันเข้าทางด้านลูกสูบ

A_1

คือ

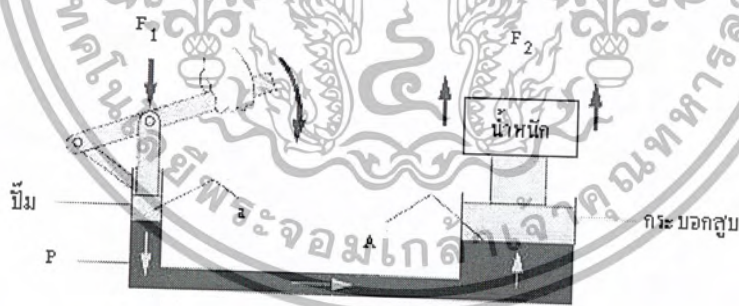
พื้นที่เต็มของลูกสูบ

 A_2

คือ

พื้นที่ด้านของก้านสูบ

6.4 ระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น



รูปที่ 6-4 แสดงถึงระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น

มีกระบอกสูบ 2 ตัว ขนาดต่างกันคือกระบอกสูบตัวเล็ก (ปั้ม) ใช้แรง F_1 กระทำบนลูกสูบที่มีพื้นที่หน้าตัด a ทำให้เกิดความดัน P ไปยกลูกสูบตัวใหญ่ที่มีพื้นที่หน้าตัด A จะทำให้เกิดแรงยกเท่ากับ F_2

สูตรการหาค่า F, P และ A

$$F = PA$$

(6.4)

สัญลักษณ์

- F

คือ

แรง
- P

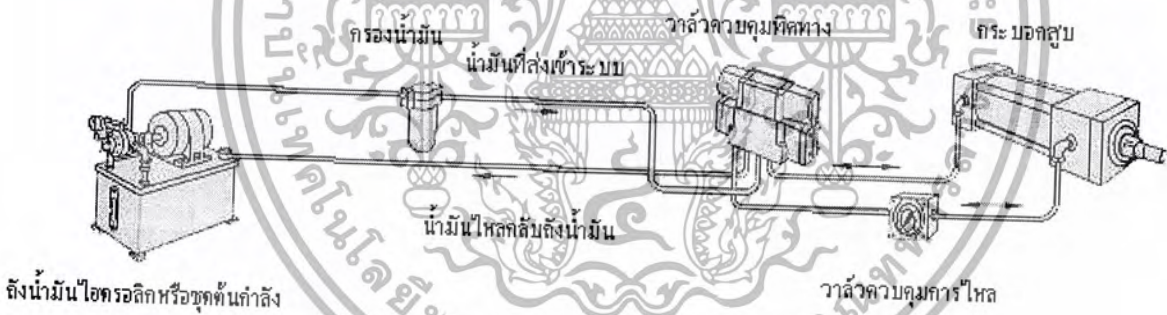
คือ

ความดัน
- A

คือ

พื้นที่หน้าตัด

หลักการทำงานของระบบไฮดรอลิกเบื้องต้น จากรูปที่ 6.5 เริ่มจากถังน้ำมันไฮดรอลิก จะมีท่อดูดน้ำมันของปั๊มไฮดรอลิกจุ่มอยู่ในถังน้ำมัน ที่ปลายของท่อดูดจะมีกรองน้ำมันไฮดรอลิก ทำหน้าที่กรองให้น้ำมันสะอาดก่อนที่จะส่งเข้าไปยังปั๊มไฮดรอลิก เมื่อปั๊มไฮดรอลิกหมุน (ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า) ก็จะดูดน้ำมันแล้วส่งน้ำมันที่ดูดได้นี้ไปยังวาล์วควบคุมทิศทางหรือส่งเข้าไปในระบบ และอีกทางหนึ่งส่งไปยังวาล์วควบคุมความดันโดยผ่านเกจวัดความดันของน้ำมัน



รูปที่ 6-5 แสดงถึงโครงสร้างของวงจรไฮดรอลิกเบื้องต้น

เมื่อน้ำมันถูกส่งมาที่วาล์วควบคุมทิศทาง ก็จะไหลจากช่อง P กลับไปยังถังน้ำมันทางช่อง T จึงทำให้ปั๊มส่งน้ำมันโดยไม่มีโหลดมากระทำกับน้ำมันไฮดรอลิก แต่เมื่อโยกวาล์วควบคุมทิศทางทำให้น้ำมันจากช่อง P ต่อกับช่อง A และ B ต่อกับ T จะทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกวิ่งออก เมื่อกระบอกสูบวิ่งออกนั้นจะดันให้น้ำมันไฮดรอลิกดันก้านสูบไหลออกจากช่อง B ผ่านช่อง T และกลับถึงน้ำมันอย่างเดิม

หน้าที่ของวาล์วควบคุมความดัน จะทำหน้าที่เปิดให้ความดันน้ำมันที่ส่งมาจากปั๊มไหลออกกลับไปยังถังน้ำมันอย่างเดิม ถ้าความดันของน้ำมันนั้นสามารถชนะแรงสปริงของวาล์วนี้ได้เพราะฉะนั้นถ้าขันมือปรับวาล์วควบคุมความดันนี้ให้สปริงมีความแข็งแรงมากขึ้น ความดันของน้ำมันก็จะมากตามไปด้วย

6.5 อุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก

1 ปั๊มไฮดรอลิก (Hydraulic Pumps)

ปั๊มไฮดรอลิกใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าปั๊มคืออุปกรณ์ที่สร้างการไหลของน้ำมันเมื่อน้ำมันไหลแล้วมีสิ่งกีดขวางทำให้เกิดความดันสามารถแบ่งออกใหญ่ๆ ได้ 3 ชนิดคือ

- 1. ปั๊มแบบเฟือง (Gear Pump)
- 2. ปั๊มแบบเวน (Vane Pump)
- 3. ปั๊มแบบลูกสูบ (Piston Pump)

ชนิด	ความดัน (kgf/cm ²)	อัตราการจ่าย น้ำมัน(l/min)	ความเร็วสูงสุด (RPM)	ประสิทธิภาพรวม (%)
ปั๊มแบบเฟือง	20-210	7-570	1800-7000	75-90
ปั๊มแบบเวน	20-210	2-950	2000-4000	75-90
ปั๊มแบบลูกสูบ	70-350	2-1700	600-6000	85-95

ตารางที่ 6-1 แสดงการเปรียบเทียบปั๊มไฮดรอลิกชนิดต่างๆ

2 กระบอกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinders)

กระบอกสูบไฮดรอลิกสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิดคือ กระบอกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว และกระบอกสูบชนิดทำงาน 2 ทิศทาง สำหรับในระบบไฮดรอลิกแล้วส่วนมากจะใช้กระบอกสูบชนิดทำงาน 2 ทิศทางกันมากกว่าชนิดทำงานทิศทางเดียว ข้อพิจารณาเกี่ยวกับกระบอกสูบนี้นี้คือ

- 1. ขนาดของกระบอกสูบ ขนาดของกระบอกสูบไฮดรอลิกจะสัมพันธ์กับขนาดช่วงชักของก้านสูบ เช่น กระบอกสูบขนาด 40 มม. สามารถมีช่วงชักได้ตั้งแต่ 40 – 500 มม. เป็นต้น (ในทางปฏิบัติงานจริงๆ แล้วสามารถที่จะสั่งให้ผู้ผลิตสร้างตามความต้องการได้)
- 2. แรงของกระบอกสูบ การหาแรงของกระบอกสูบสามารถหาได้จากสมการที่ 6.4

F = PA

(6.4)

แล้วจากนั้นจะสามารถหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ ได้ได้ดังนี้

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

(6.5)

สัญลักษณ์

- A

คือ

พื้นที่หน้าตัด
- D

คือ

เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ

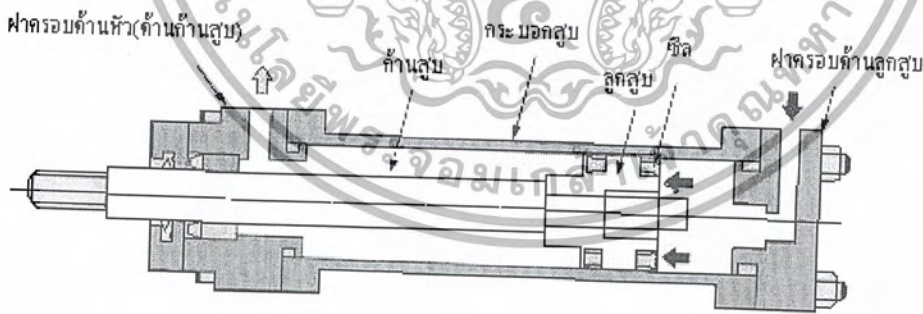
3. ความเร็วของกระบอกสูบ การหาความเร็วของกระบอกสูบจะสามารถหาได้จากสมการที่ 6.2 และสมการที่ 6.3

$$V_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

(6.2)

$$V_2 = \frac{Q_3}{A_2}$$

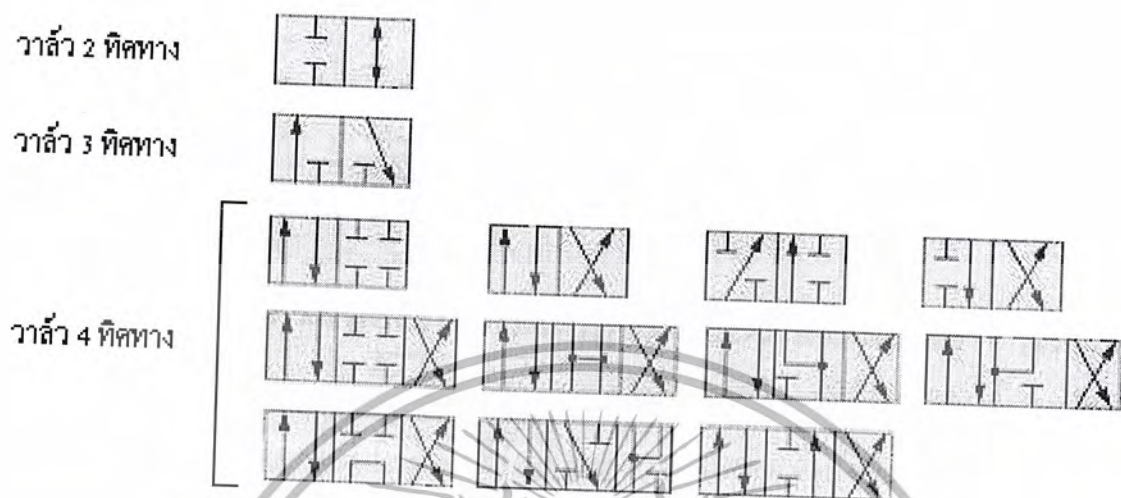
(6.3)



รูปที่ 6-6 แสดงถึงกระบอกสูบไฮดรอลิก

3 วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valves)

วาล์วควบคุมทิศทางที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกมีหลายชนิดแต่ที่สำคัญมีดังแสดงในรูปที่ 6.6



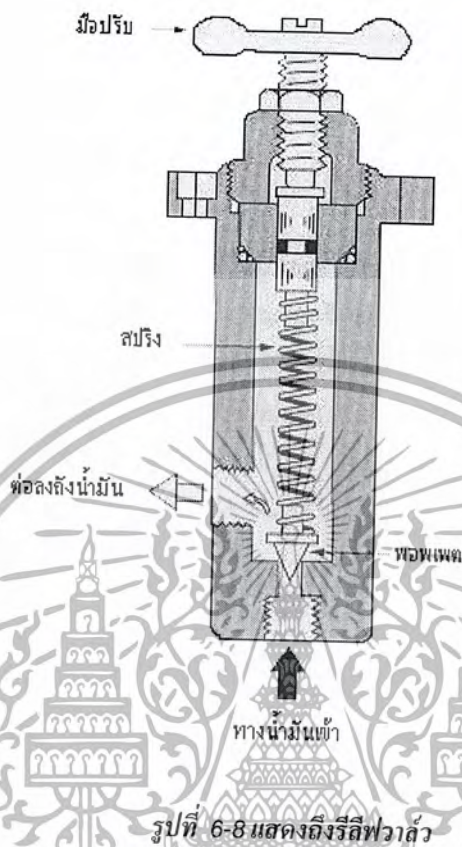
รูปที่ 6-7 แสดงถึงสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมทิศทางชนิดต่างๆ

การเปลี่ยนตำแหน่งวาล์วในระบบไฮดรอลิกมักจะเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วโดยการทำงานของโซลินอยด์ และการทำงานของมนุษย์เช่นกัน โยก, มือกด เป็นต้น

การกำหนดวาล์วด้วยสัญลักษณ์ตามมาตรฐาน DIN ISO 1219 ในระบบไฮดรอลิกใช้ตัวพยัญชนะกำกับวาล์วดังต่อไปนี้

- P หมายถึง รู้น้ำมันจ่ายเข้าวาล์ว
- A หมายถึง รู้น้ำมันจ่ายออกจากวาล์วเพื่อใช้งาน
- B หมายถึง รู้น้ำมันจ่ายออกจากวาล์วเพื่อใช้งาน
- T หมายถึง รู้น้ำมันที่ต่อลงถึงน้ำมัน
- L หมายถึง รู้น้ำมันระบายออกเมื่อรั่วไหล

4 วาล์วนิรภัยหรือรีลิวาล์ว (Relief Valve)



รีลิวาล์ว คือ วาล์วควบคุมความดันของน้ำมันในระบบไม่ให้มีค่าสูงเกินกว่าค่าที่กำหนด

หลักการทำงานของรีลิวาล์วเบื้องต้น มีดังนี้ รีลิวาล์วมีส่วนประกอบใหญ่ๆอยู่ 5 ส่วน ด้วยกันคือ 1.มือปรับ 2.สปริง 3.พอฟเฟต 4.รูน้ำมันเข้า 5.รูน้ำมันออก เริ่มแรกสุดให้ปรับมือปรับเพื่อให้สปริงถูกกดและดันให้พอฟเฟตปิดทางเข้าของน้ำมัน ไฮดรอลิกถ้า น้ำมัน ไฮดรอลิกสามารถดันให้พอฟเฟตเปิดออกได้ก็แสดงว่าความดันของน้ำมันสูงกว่าค่าของสปริงที่ปรับตั้งเอาไว้ทำให้น้ำมันไหลออกทางช่องทางออกซึ่งต่อไปยังถึงน้ำมันเมื่อน้ำมันถูกส่งกลับไปถึงน้ำมันทำให้ความดันของระบบลดต่ำลงเมื่อความดันของระบบลดต่ำลงกว่าค่าของสปริงทำให้สปริงดันพอฟเฟตให้ปิดทางเข้าของน้ำมันอีกครั้งหนึ่งเมื่อความดันของน้ำมันเริ่มสูงขึ้นอีกและถ้าสูงเกินค่าที่กำหนดจะทำให้พอฟเฟตเปิดน้ำมันลงถึงน้ำมันการทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดไป

5 วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valves)

ส่วนประกอบของวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกมีดังนี้ คือ (1)มือปรับ (2)วาล์วเข็ม (3)รูน้ำมันเข้า (4)รูน้ำมันออก จุดประสงค์ของวาล์วนี้เพื่อควบคุมให้น้ำมันไหลออกได้มากหรือน้อยตามต้องการ จะเห็นว่าเมื่อส่งน้ำมันเข้าวาล์วควบคุมอัตราการไหลในช่องทางน้ำมันเข้า น้ำมันที่เข้าไปนี้จะไปผ่านคอคอดซึ่งถูกปรับด้วยมือปรับให้วาล์วเข็มปิดเปิดคอคอดมากหรือน้อย ถ้าปรับมือปรับให้คอคอดกว้างขึ้น น้ำมันที่ออกจากวาล์วก็ออกได้มากขึ้น ความเร็วของกระบอกสูบก็เร็วตามไปด้วยแต่ถ้าต้องการให้ความเร็วของกระบอกสูบช้าลงก็ต้องปรับให้คอคอดเล็กลงทำให้น้ำมันออกน้อยลงวาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดนี้จะควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันทั้งสองทิศทางคือทั้งทางซ้ายมือและทางขวามือแต่ถ้าต้องการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันเพียงทิศทางเดียวจะต้องเลือกวาล์วชนิดที่มีเช็ควาล์ว

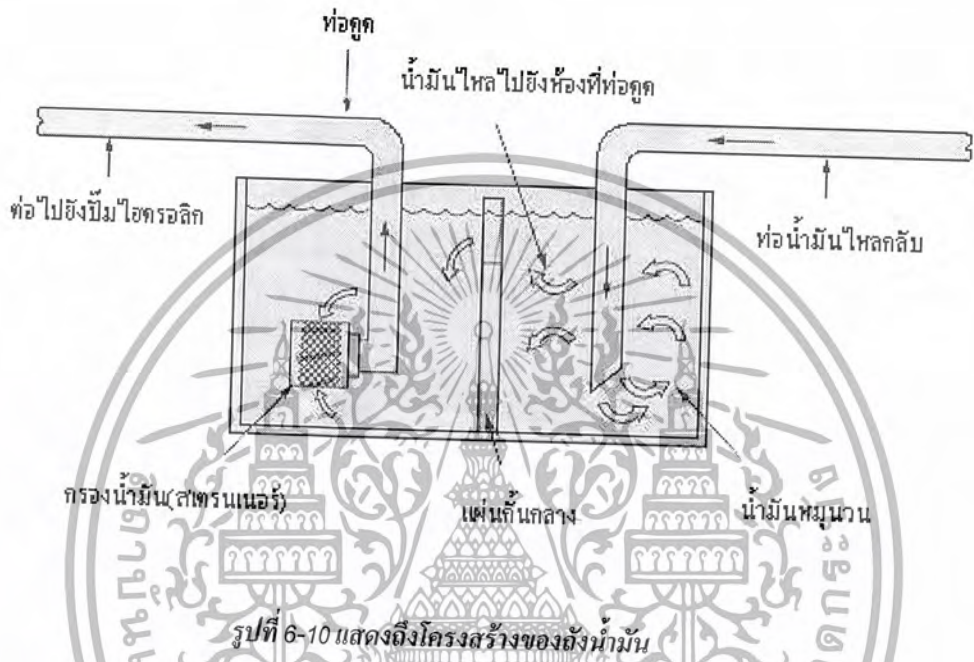


รูปที่ 6-9 แสดงถึงวาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดที่มีเช็ควาล์ว

วาล์วควบคุมอัตราการไหลที่มีเช็ควาล์วจะควบคุมจำนวนน้ำมันที่ไหลผ่านเพียงทิศทางเดียวเท่านั้น โดยเริ่มจากน้ำมันจากวาล์วควบคุมทิศทางส่งน้ำมันเข้ามายังวาล์วควบคุมอัตราการไหลทางลูกสูบเต็ม (P) น้ำมันสามารถออกในทิศทางออกได้ทางคอคอดทางเดียว (ไม่สามารถเปิดเช็ควาล์วได้) ซึ่งคอคอดนี้ถูกปรับให้กว้างหรือแคบด้วยมือปรับ ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของกระบอกสูบตามต้องการได้เมื่อลูกสูบวิ่งออกสุดช่วงชักแล้ว จังหวะที่ลูกสูบหดเข้ากับกระบอกสูบนั้นน้ำมันที่ถูกดันออกที่ผ่านทางวาล์วควบคุมอัตราการไหลตัวนี้ จะผ่านได้ทั้งคอคอดและทางเช็ควาล์ว (กดลูกบอล) ดังนั้นถึงแม้ว่าจะปรับคอคอดให้ปิดสนิทก็ตาม น้ำมันก็ยังคงออกทางเช็ควาล์วได้ตามปกติคือไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันได้นั่นเอง

6 ถังน้ำมันไฮดรอลิก

ถังน้ำมันไฮดรอลิกทำหน้าที่เก็บน้ำมันที่ใช้ในวงจรและระบายความร้อนออกจากน้ำมันไฮดรอลิกนอกรจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่สะสมสิ่งสกปรกที่เกิดจากระบบเพื่อจะได้กำจัดทิ้งต่อไปส่วนประกอบของถังน้ำมันไฮดรอลิกประกอบด้วย (1)ท่อดูดน้ำมัน (2)ท่อน้ำมันไหลกลับ (3)แผ่นเหล็กกั้นระหว่างท่อดูดและท่อน้ำมันไหลกลับ (4)กรองน้ำมัน (5)ช่องเติมน้ำมันและช่องระบายอากาศ (6)ที่วัดระดับน้ำมันและวัดอุณหภูมิ (7)ช่องเปิดถังน้ำมัน



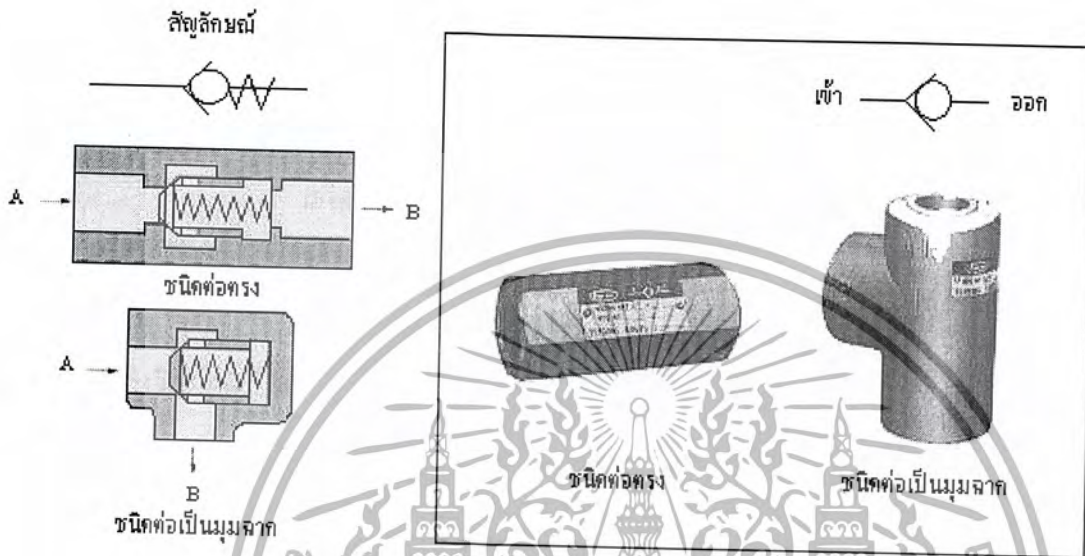
น้ำมันที่ปั๊มดูดเข้าไปนั้นจะผ่านการกรองจากกรองน้ำมันที่ท่อดูด ซึ่งเรียกว่า สเตรนเนอร์ส่วนน้ำมันที่ใช้งานมาแล้ว ก่อนที่จะไหลกลับถึงน้ำมันจะต้องผ่านกรองน้ำมันเสียก่อน กรองน้ำมันตัวนี้เรียกว่า กรองน้ำมันจังหวะไหลกลับ น้ำมันที่ไหลกลับถึงน้ำมันนั้นจะถูกแผ่นกั้นกลางกั้นเอาไว้ เพื่อไม่ให้มันดูดเข้าไปใช้งานทันทีทันใด ส่วนสิ่งสกปรกที่ติดมากับน้ำมันก็จะสะสมอยู่ด้านล่าง เมื่อเปิดช่องถังน้ำมันเพื่อทำความสะอาดถังน้ำมันและเอาสิ่งสกปรกที่สะสมอยู่ด้านล่างออกไปด้วย การถ่ายน้ำมันทิ้งหรือเปลี่ยนน้ำมันใหม่สามารถถอดปลั๊กอุดซึ่งอยู่บริเวณจุดต่ำสุดของถังน้ำมัน

7 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)

หลักการการทำงานมีดังต่อไปนี้ คือ เมื่อมีความดันของน้ำมันเข้ามาทางท่อ P จะเข้าไปยังท่อสปริง ทำให้ท่อสปริงตัวนี้พยายามยืดตัวออกตามหลักการความแตกต่างของพื้นที่ ยิ่งมีความดันเข้ามามากยิ่งทำให้สปริงยืดตัวออกมาก ผลของการยืดตัวของท่อสปริงนี้ทำให้เฟือง และเฟืองหมุนเข็ม เคลื่อนที่พาให้เข็มชี้ ชี้ไปตามสเกล เพื่ออ่านค่าความดันที่เกิดขึ้นตามความดันที่เข้าทางท่อ P

8 วาล์วกันกลับหรือเช็ควาล์ว

เช็ควาล์วทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำมันให้ไหลได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น ถ้าดูรูปที่ 6.9 แล้ว น้ำมันจะไหลได้ในทิศทาง A ไป B (ชนะแรงสปริง) แต่น้ำมันจะไหลในทิศทาง B ไป A ไม่ได้ เช็ควาล์วมี 2 แบบ คือแบบต่อตรง (In-Line) และชนิดต่อเป็นมุมฉาก (Angle)



รูปที่ 6-11 แสดงถึงเช็ควาล์วทั้งชนิดต่อตรงและชนิดต่อเป็นมุมฉาก

9 กรองน้ำมันไฮดรอลิก

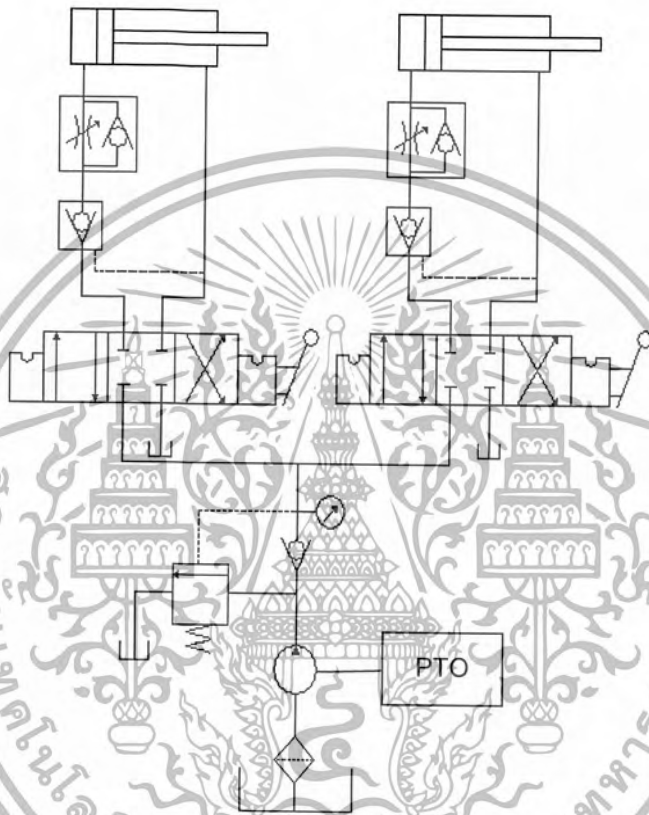
น้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ระบบนั้น จะต้องผ่านการกรองเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ น้ำมันไฮดรอลิกมีความสะอาด สามารถแบ่งกรองน้ำมันออกได้ 3 ชนิดคือ

1. กรองน้ำมันจังหวะดูด ตำแหน่งการติดตั้งของกรองน้ำมันตัวนี้จะอยู่ในถังน้ำมัน
2. กรองน้ำมันชนิดความดันสูง ตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ในทิศทางส่งน้ำมันออกจากปั๊มไฮดรอลิกจากคุณสมบัติพิเศษของกรองน้ำมันชนิดคือต้องทนความดันได้สูง
3. กรองน้ำมันจังหวะไหลกลับ ตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ในส่วนของท่อน้ำมันที่ไหลกลับถึงน้ำมัน โดยผ่านการกรองด้วยไส้กรอง 2

บทที่ 7

วงจรไฮดรอลิกและผลการคำนวณ

7.1 วงจรไฮดรอลิก



รูปที่ 7-1 แสดงถึงวงจรไฮดรอลิก

หลักการทำงานของระบบไฮดรอลิก จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนยก(ติดกับโครงX-life) จะเป็นกระบอกที่ใช้ในการยกเพื่อปรับระดับได้ และส่วนของการเท(ติดกับกระบะ) จะเป็นกระบอกที่ใช้ในการเทปาล์มให้ไหลออกจากกระบะ ซึ่งมีหลักการทำงานและส่วนประกอบคล้ายกันคือ จะมีกระบอกไฮดรอลิกที่ทำหน้าที่ให้โครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่ โดยมีไหลอดเช็ควาล์วแบบมีการระบายภายนอกทำหน้าที่เป็นวาล์วกันตกเพื่อที่จะช่วยให้ก้านสูบหยุดที่ตำแหน่งใดก็ได้ตามต้องการและป้องกันการตกด้วย โดยการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบโดยใช้วาล์วควบคุม 4 ทิศทาง 3 ตำแหน่งแบบสปูลเลื่อนชนิดตำแหน่งกลางปิดหมด และถูกควบคุมความเร็วโดยใช้วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดที่มีวาล์วกันกลับอยู่ภายในเพื่อควบคุมความเร็วในการยกและเท ระบบนี้จะใช้ปั๊มชนิดเกียร์ปั๊มซึ่งจะใช้กำลังจากเครื่องยนต์(PTO)มาขับปั๊ม และมีการป้องกันความเสียหายแก่ปั๊มโดยใช้วาล์ว

ปลดความดันแบบไหลอดชนิดลูกสูบสมดุลเพื่อลดโหลดให้กับปั๊มในการทำงานดังรูปที่ 7.1

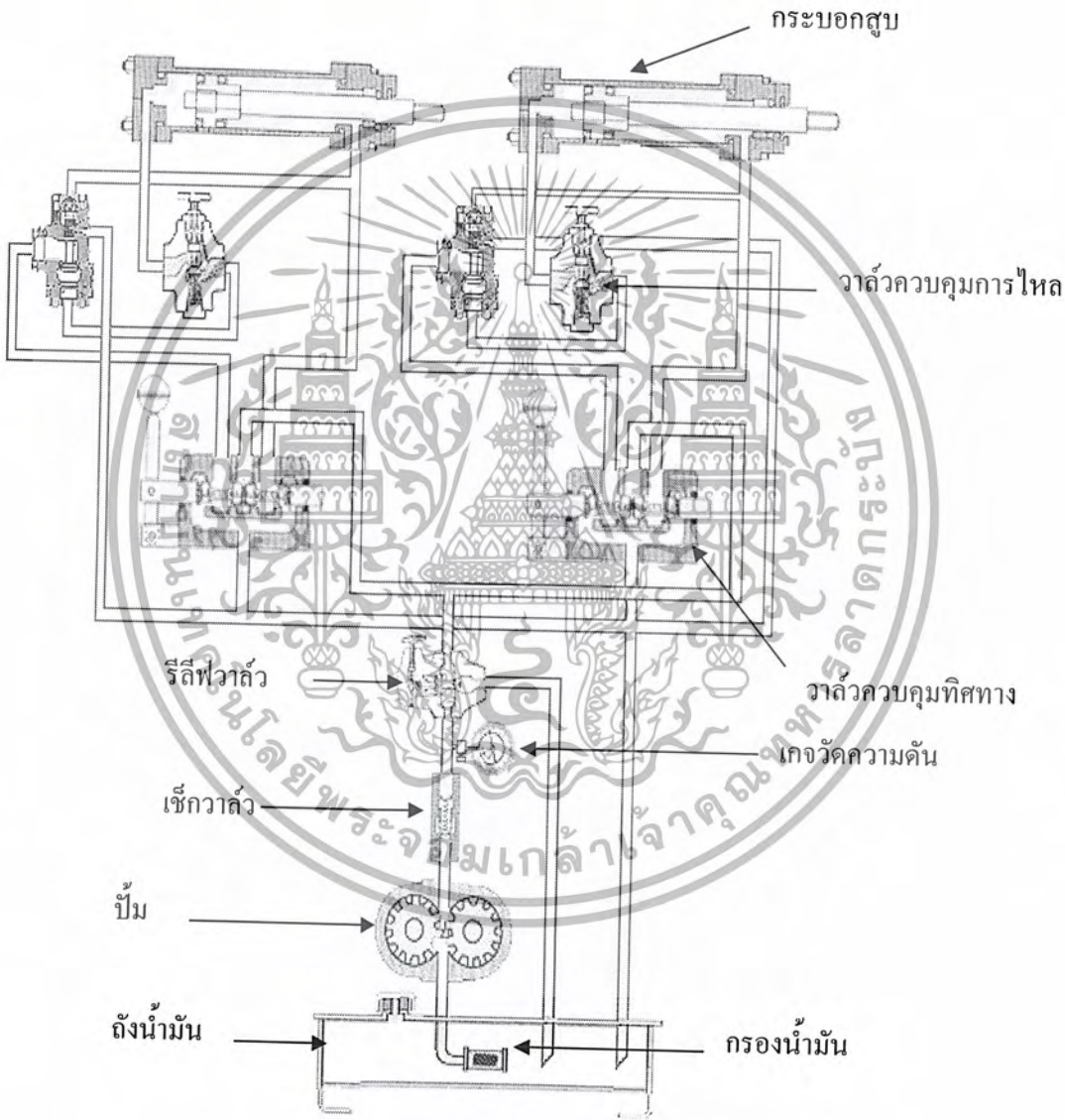
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ผลการคำนวณ

จากการคำนวณจะแยกคิดเป็น 2 ส่วน คือ

- 1. ส่วนของระบบไฮดรอลิก
- 2. ส่วนของโครงสร้าง

7.2.1 ส่วนของระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 7-2 แสดงถึงวงจรไฮดรอลิก

รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้ในรูปที่ 7.2 มีดังนี้

1. กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกชนิดทำงาน 2 ทางก้านสูบเดี่ยว 2 ตัว
 - ตัวที่ 1 (กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกตัวยก) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกลูกสูบ $3\frac{1}{4}$ นิ้ว
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 2 นิ้ว และระยะชักของกระบอกลูกสูบ 0.8 เมตร
 - ตัวที่ 2 (กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกตัวเท) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกลูกสูบ 2 นิ้ว
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ $1\frac{3}{8}$ นิ้ว และระยะชักของกระบอกลูกสูบ 0.6 เมตร
2. วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4 ทิศทาง 3 ตำแหน่ง บังคับการทำงานด้วยคันโยกมือ แบบ
ล็อกค้างได้ 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งกลางปิดหมด ขนาดของรูวาล์ว $\frac{3}{8}$ นิ้ว
3. วาล์วกันกลับ ขนาดของรูวาล์ว $\frac{3}{8}$ นิ้ว
4. วาล์วปลดความดันแบบไหลออกที่มีโครงสร้างแบบลูกสูบสมดุล
5. วาล์วควบคุมอัตราการไหล ควบคุมปริมาณการไหลทิศทางเดียวมีวาล์วกันกลับอยู่
ภายใน
6. วาล์วกันตกแบบไหลออกเชิงควาล์วมีการระบายภายนอก
7. ปั๊มไฮดรอลิก ชนิด Gear Pump มีอัตราการไหล 5 gpm ความเร็วรอบ 1800 RPM
8. ถังพักน้ำมัน ขนาดความจุ 30 gallon , กว้าง 24 นิ้ว ยาว 29 นิ้ว สูง 20 นิ้ว
9. เกจวัดความดัน ใช้ขนาดที่วัดความดันได้ตั้งแต่ 0-3000 psi
10. กรองน้ำมัน ขนาดเท่ากับท่อดูดและเพียงพอกับอัตราการไหล
11. ท่อทาง ขนาดท่อความดัน $\frac{3}{8}$ นิ้ว

7.2.2. ส่วนของโครงสร้าง

จากการ Optimum Design โครง X-lift จะได้ขนาดดังนี้

MATERIAL : HIGH TENSILE STEEL GRADE AISI 1045

TYPE : FLAT BARS

SECTIONAL DIMENSION

THICKNESS : 33 mm WIDTH : 66 mm

SECTIONAL AREA : 21.78 cm²

UNIT WEIGHT : 17.1188 kg/m

บทที่ 8

สรุปและวิจารณ์ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์

8.1 สรุปผลของโครงการ

ผลจากการดำเนินการของโครงการ เราสามารถสรุปผลได้ดังนี้ คือ

1. ชิ้นงานที่เกิด Von Mises Stress มากทำให้ชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่าชิ้นงานที่เกิด Von Mises Stress น้อย และหากเรามีการใช้วิธีทาง Optimization มาช่วยในการคำนวณแล้วจะทำให้ขนาดของโครงสร้างชิ้นงานมีขนาดที่เล็กลงและเหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น
2. ผลจากการ Simulation พบว่าชิ้นส่วนของโครงสร้างแต่ละชิ้นจะเกิดแรงมากที่สุดที่ตำแหน่งที่แตกต่างกัน เนื่องจากตำแหน่งของโครงสร้างที่รับภาระแรงกระทำที่แตกต่างกันและจะเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆตามเวลา ทำให้ชิ้นงานแต่ละชิ้นรับภาระของแรงแตกต่างกัน ณ เวลาใดๆ
3. จากการเคลื่อนที่ของระบบ โครงสร้าง เราจะพบว่าค่าของแรงสถิตจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าของแรงพลวัตที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างชิ้นงาน เมื่อโครงสร้างมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ โดยในการคำนวณนี้เราให้โครงสร้างของระบบเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่เพื่อให้ระบบเกิดความเสถียรมากที่สุด และในการคำนวณค่าจะทำการคิดแบบแรงสถิตย์
4. การ Optimum สำหรับโครงสร้างนี้มีความละเอียดของหน่วยที่ใช้อยู่ที่หน่วยมิลลิเมตร ซึ่งเพียงพอเหมาะสมและสะดวกต่อการสร้างชิ้นงาน
5. การออกแบบวงจรไฮดรอลิกจะเป็นการออกแบบเพื่อให้เกิดความปลอดภัยและเหมาะสมต่อการใช้งาน ทั้งนี้ยังง่ายต่อการบำรุงดูแลรักษาอีกด้วย

8.2 ข้อเสนอแนะและวิจารณ์

1. ในความเป็นจริงระบบโครงสร้างจะมีการเคลื่อนที่ซึ่งก่อให้เกิดแรงพลวัต โดยค่าของแรงพลวัตที่เกิดขึ้นต่อระบบโครงสร้างจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆตามความเร็วการเคลื่อนที่ของโครงสร้างของระบบ เนื่องจากการเคลื่อนที่แบบพลวัตจะมีตัวแปรอื่นๆซึ่งมีผลต่อระบบอีก เช่น ค่าความเสียดทานของวัสดุ ค่าความหน่วง ค่า Moment of Inertia เป็นต้น ดังนั้นการจำลองระบบให้มีความถูกต้องมากขึ้นควรจะคำนวณเป็นแบบพลวัต
2. ขนาดของโครงสร้างที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีทาง Optimization แม้จะเป็นขนาดที่เล็กที่สุดแล้ว แต่จากเงื่อนไขที่เรากำหนดให้คือพื้นที่หน้าตัดจะต้องมีรูปสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเท่ากันตลอดทั้งชิ้นงานและเท่ากันทุกชิ้นส่วนของชิ้นงาน ทำให้ชิ้นส่วนของชิ้นงานที่รับแรงน้อยจะต้องมีขนาดใหญ่ตามด้วย ดังนั้นเราอาจจะพิจารณาลดขนาดของชิ้นงานส่วนที่เกิด Von Mises Stress น้อยลงได้อีกเพื่อให้ขนาดของชิ้นงานของเรามีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบาขึ้นอีก เพื่อให้ น้ำหนักรวมของรถเบาขึ้น

3. ชิ้นงานส่วนใหญ่จะเกิด Von Mises Stress มากที่รูเจาะ ซึ่งอาจทำให้ขนาดของชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนได้เพราะรับแรงมากอยู่จุดๆเดียวแต่ทำให้ขนาดทั้งหมดของชิ้นงานใหญ่ขึ้น หากเราสามารถสามารถทำให้ผิวเฉพาะที่บริเวณรูเจาะมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของโครงสร้างเล็กลงได้

4. เงื่อนไข Constraint ที่เรากำหนดค่าความกว้างต่อความหนา คือ 2 : 1 เพื่อให้ขอบเขตของการคำนวณแคบลง แต่ในความเป็นจริงนั้นชิ้นงานแต่ละชิ้นอาจจะมีค่าของความกว้างต่อความหนาที่เหมาะสมแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปแบบของการรับแรง รูปแบบของโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น เป็นต้น ดังนั้นเราจึงควรศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเพื่อให้การคำนวณเกิดความถูกต้องเพิ่มมากขึ้น

5. ตรงบริเวณจุดต่อจะมีการรับภาระของแรงมากดังนั้นควรจะได้เป็นแป้นหรือเป็นแป้นเพื่อให้ การเคลื่อนที่ได้ดีและคล่องตัว ทั้งนี้ยังช่วยยืดอายุการใช้งานด้วยเนื่องจากลดเสียดทานที่เกิดจากการเคลื่อนที่



ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาอุปกรณ์ต่างๆของระบบไฮดรอลิกและการประเมินราคา

การคำนวณหาอุปกรณ์ต่างๆของระบบไฮดรอลิก

(1) ขนาดของกระบอกสูบ

(1.1) กระบอกไฮดรอลิกที่ยกโครง X - Lift

แรงที่ใช้ในการยกที่ไฮดรอลิกตัวล่างจากโปรแกรมได้ค่า $F = 8.3705564 \times 10^4 \text{ N} = 8.3705564 \times 10^4 \times 0.225 = 18833.7519 \text{ lb}$

เลือกความดันใช้งานที่ $P = 2500 \text{ psi}$

$$\text{จาก } A (\text{in}^2) = \frac{F (\text{lb})}{P (\text{lb/in}^2)}$$

$$= \frac{18833.7519}{2500}$$

$$= 7.53350076 \text{ in}^2$$

ขนาดของกระบอกสูบ (D_c)

$$A = \frac{\pi(D_c^2)}{4}$$

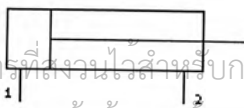
$$\therefore D_c = \sqrt{\frac{4(7.53350076)}{\pi}}$$

$$= 3.097087 \text{ in}$$

จากตารางภาคผนวก ก.1 รายละเอียดกระบอกมีเฉพาะขนาด $3\frac{1}{4} \text{ in}$

$$A_1 = \frac{\pi(3.25^2)}{4} = 8.295768101 \text{ in}^2$$

ใช้ขนาด $D_c = 3\frac{1}{4} \text{ in}$ ซึ่งมีพื้นที่ 8.295768101 in^2



กำหนดเวลาที่ใช้ในการยกขึ้น 15 S และ เวลาที่ใช้ในการยกลง 10 S มีระยะชักของกระบอกสูบ 80 cm

$$V_1 = \frac{S}{t} = \frac{80 \times 0.01 \times 39.4}{15} = 2.1013333 \text{ in / s}$$

$$V_2 = \frac{S}{t} = \frac{80 \times 0.01 \times 39.4}{10} = 3.125 \text{ in / s}$$

$$A_2 = A_1 \frac{V_1}{V_2}$$

$$= \frac{8.295768101 \times 2.1013333}{3.125} = 5.53051198 \text{ in}^2$$

$$\therefore A_{\text{rod}} = A_1 - A_2 = 8.295768101 - 5.53051198 = 2.765256121 \text{ in}^2$$

$$D_{\text{rod}} = \sqrt{\frac{4(2.765256121)}{\pi}} = 1.876388405 \text{ in}$$

จากตารางภาคผนวก ก.1 ที่ขนาด $\frac{1}{4}$ in จะมีขนาดก้านสูบ 2 in ดังนั้นจะใช้ค่า $D_{\text{rod}} = 2 \text{ in}$

(1.2) กระบอกไฮดรอลิกที่ยกกระบอกในการเท

แรงที่ใช้ในการยกที่ไฮดรอลิกตัวบนจากโปรแกรมได้ค่า $F = 21464.06 \text{ N} = 21464.06 \times 0.225 = 4829.4135 \text{ lb}$

ความดันใช้งานที่ $P = 2500 \text{ psi}$

$$\text{จาก } A (\text{in}^2) = \frac{F (\text{lb})}{P (\text{lb / in}^2)}$$

$$= \frac{4829.4135}{2500}$$

$$= 1.9317654 \text{ in}^2$$

ขนาดของกระบอกสูบ (D_c)

$$A = \frac{\pi(D_c^2)}{4}$$

$$\therefore D_c = \sqrt{\frac{4(1.9317654)}{\pi}}$$

$$= 1.568311225 \text{ in}$$

จากตารางที่ ภาคผนวก ก.1 รายละเอียดกระบอกมีเฉพาะขนาด 2 in

$$A_1 = \frac{\pi(2^2)}{4} = 3.141592654 \text{ in}^2$$

ใช้ขนาด $D_c = 2 \text{ in}$ ซึ่งมีพื้นที่ 3.141592654 in^2



กำหนดเวลาที่ใช้ในการยกขึ้น 10 และเวลาที่ใช้ในการขอลง 5 โดยมี ระยะชักของกระบอกสูบ 60 cm

$$V_1 = \frac{S}{t} = \frac{60 \times 0.01 \times 39.4}{10} = 2.364 \text{ in/s}$$

$$V_2 = \frac{S}{t} = \frac{60 \times 0.01 \times 39.4}{5} = 4.728 \text{ in/s}$$

$$A_2 = A_1 \frac{V_1}{V_2}$$

$$= \frac{3.141592654 \times 2.364}{4.728} = 1.570796327 \text{ in}^2$$

$$\therefore A_{\text{rod}} = A_1 - A_2 = 3.141592654 - 1.570796327 = 1.570796327 \text{ in}^2$$

$$D_{\text{rod}} = \sqrt{\frac{4(1.570796327)}{\pi}} = 1.4142135 \text{ in}$$

จากตารางภาคผนวก ก.1 ที่ขนาด 2 in จะมีขนาดก้านสูบ $1\frac{3}{8} \text{ in}$ ดังนั้นจะใช้ค่า $D_{\text{rod}} = 1\frac{3}{8} \text{ in}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ขนาดปั๊ม

อัตราการไหลของไฮดรอลิกตัวบน

$$Q = A_2 V_1$$

$$= \frac{3.141592(in^2) \times 2.364(in/s) \times 60(s/min)}{231}$$

$$= 1.929019088 \text{ gpm}$$

อัตราการไหลของไฮดรอลิกตัวล่าง

$$Q = A_1 V_2$$

$$= \frac{8.295788(in^2) \times 2.10133(in/s) \times 60(s/min)}{231}$$

$$= 4.52784 \text{ gpm}$$

เนื่องจากปั๊มขนาด 4.52784 gpm เป็นปั๊มขนาดที่ไม่มีใช้จึงเลือกปั๊มขนาด 5 gpm ความเร็ว 1800RPM ประสิทธิภาพ 90 % ใช้ปั๊มแบบเพื่องเพราะมีราคาถูกและเหมาะสมสำหรับความดันใช้งาน

กำลังงานกลที่ใช้ขับเคลื่อนปั๊ม = กำลังงานไฮดรอลิกที่ได้จากปั๊ม

ประสิทธิภาพของปั๊ม

$$= \frac{Q_p (gpm) \times P_p (psi)}{1714 \eta_p}$$

$$= \frac{5 \times 2500}{0.9 \times 1714} = 8.1032 \text{ Hp}$$

หรือดูจากตารางภาคผนวก ก.2 ที่ 5 gpm 2500 psi จะได้ 8.58 Hp แต่ที่ 85%

(3) วาล์วควบคุมอัตราการไหล

เราจะต้องปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ไหลจากปั๊ม 5 gpm ให้เข้ากระบอกสูบของกระเบที่ 1.929019088 gpm ให้เข้ากระบอกสูบของโครง X ที่ 4.52784 gpm

(4) ถังพัก

การออกแบบถังพักจะต้องใช้ถังพักที่มีขนาดเล็กที่สุด ควรมีความจุน้ำมันเป็น 3 เท่าของอัตราที่ปั๊มจ่ายออกมา

$$3 \times 5 = 15 \text{ gallon}$$

แต่เนื่องจากวงจรเรามีกระบอกสูบ 2 ตัว ควรจะต้องใช้ถังพักที่ใหญ่กว่านี้ จึงเลือกถังพักขนาด 30 gallon (จากตารางภาคผนวก ก.3 ขนาดถังพัก)

(4) วาล์วควบคุมทิศทาง

วาล์วควบคุมทิศทางจำนวน 2 ตัว ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของโครง X-Lift และกระเบ
พิจารณาที่กระบอกสูบของโครง X-Lift ขณะเคลื่อนที่กลับ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของน้ำมันที่ออกจากกระบอกสูบ} &= \text{พื้นที่ลูกสูบ} \times \text{ความเร็วถอยกลับ} \\ &= A_1 \times V_2 \\ &= 3.14159 \times \frac{Q}{A_2} \\ &= 3.14159 \times \frac{5}{1.6566} \\ &= 9.482 \text{ gpm} \end{aligned}$$

พิจารณาที่กระบอกสูบของกระเบ ขณะเคลื่อนที่กลับ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหลของน้ำมันที่ออกจากกระบอกสูบ} &= \text{พื้นที่ลูกสูบ} \times \text{ความเร็วถอยกลับ} \\ &= A_1 \times V_2 \\ &= 8.2957681 \times \frac{Q}{A_2} \\ &= 8.2957681 \times \frac{5}{5.1557} \\ &= 8.0452 \text{ gpm} \end{aligned}$$

จากอัตราการไหลที่ได้มา นำไปเปิดตารางภาคผนวก ก.4 เลือกใช้รูวาล์วขนาด 3/8 นิ้วเราจะเลือกใช้วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/3 Closed Center ควบคุมด้วยระบบมือโยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของกระบอกขนาดต่างๆเพื่อพิจารณาใช้

ขนาด กระบอก	ขนาดช่องต่อ		OD ก้านสูบ	พื้นที่ลูกสูบ (in)			อัตราส่วน ของพื้นที่เต็ม ลูกสูบต่อ พื้นที่สุทธิ
	เกลียว N.P.T.	เกลียวตรง		พื้นที่ เต็ม ลูกสูบ	พื้นที่ สุทธิ	พื้นที่ ก้านสูบ	
1 ½"	½"	5/8" TUBE OD (7/8-14 THD.)	5/8"STD.	1.767	1.460	0.307	1.21
			1" HVY.		0.982	0.785	1.80
2"	½"	5/8" TUBE OD (7/8 -14 THD.)	1" STD.	3.142	2.357	0.785	1.33
			1-3/8" HVY.		1.657	1.485	1.90
2 ½"	½"	3/4" TUBE OD (1-1/16 -12THD.)	1" STD.	4.909	4.124	0.785	1.19
			1-3/8"INT'MED.		3.424	1.485	1.43
			1-3/4" HVY.		2.504	2.405	1.96
3 ¼"	¾"	3/4" TUBE OD (1-1/16 -12THD.)	1-3/8" STD.	8.296	6.811	1.485	1.22
			1-3/4"INT'MED.		5.891	2.405	1.41
			2" HVY.		5.154	3.142	1.61
4"	¾"	3/4" TUBE OD (1-1/16 -12THD.)	1-3/4" STD.	12.566	10.161	2.405	1.24
			2"INT'MED.		9.1424	3.142	1.33
			2-1/2" HVY.		7.666	4.900	1.64
5"	¾"	1" TUBE OD (1-5/16 -12THD.)	2" STD.	19.395	16.493	3.142	1.19
			2-1/2"INT'MED		14.735	4.900	1.33
			3-1/2 HVY.		10.014	9.621	1.96
6"	1"	1" TUBE OD (1-5/16 -12THD.)	2-1/2" STD.	28.274	23.374	4.900	1.21
			3-1/2"INT'MED.		18.653	9.621	1.52
			4" HVY.		15.708	12.566	1.80
7"	1 ¼"	1 - ½ " TUBEOD (1-7/8 -12THD.)	3" STD.	38.485	31.416	7.069	1.23
			4" INT'MED.		25.919	12.566	1.48
			5" HVY.		15.850	19.635	2.04
8"	1 ½"	1 - ½ " TUBE OD (1-7/8 -12THD.)	3-1/2"STD.	50.265	40.644	9.621	1.24
			4-1/2"INT'MED		34.361	15.904	1.46
			5-1/2" HVY.		26.507	23.758	1.90

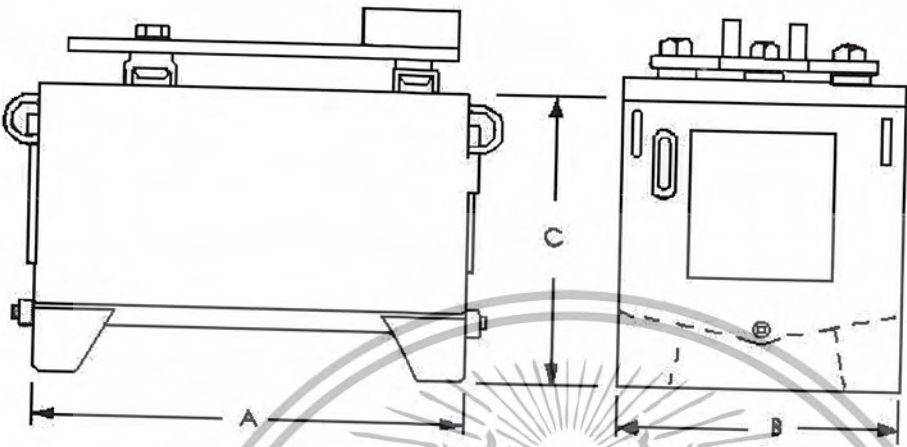
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 กำลังม้าในหน่วยอังกฤษ

GPM	500 PSI	750 PSI	1000 PSI	1250 PSI	1500 PSI	1750 PSI	2000 PSI	2500 PSI	3000 PSI	5000 PSI
3	1.03	1.54	2.06	2.54	3.09	3.60	4.12	5.15	6.18	10.3
5	1.72	2.57	3.43	4.29	5.15	6.00	6.86	8.58	10.3	17.2
8	2.75	4.12	5.49	6.86	8.24	9.61	11.0	13.7	12.6	27.5
10	3.43	5.15	6.86	8.58	10.3	12.0	13.7	17.2	20.6	34.3
12	4.12	6.18	8.24	10.3	12.4	14.4	16.5	20.6	24.7	41.2
15	5.15	7.72	10.3	12.9	15.4	18.0	20.6	25.7	30.9	51.5
20	6.86	10.3	13.7	17.2	20.6	24.0	27.5	34.3	41.2	68.6
25	5.58	12.9	17.2	21.4	25.7	30.0	34.3	42.9	51.5	85.8
30	10.13	15.4	20.6	25.7	30.9	36.0	41.2	51.5	61.8	103
40	13.7	20.6	27.5	34.3	41.2	48.0	54.9	68.6	82.4	137
50	17.2	25.7	34.3	42.9	51.5	60.0	68.6	85.8	103	172
60	20.6	30.9	41.2	51.5	51.8	72.1	82.4	103	120	206
70	24.0	36.0	48.0	60.0	72.1	84.1	96.1	120	144	240
80	27.5	41.2	54.9	68.6	82.4	96.1	110	137	165	275
100	34.3	51.1	68.6	85.8	103	120	137	172	206	343

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ขนาดของถังพักน้ำมัน



ปริมาตร	15	30	45	60	100	150	200	350	500
A	26	29	36	44	54	60	64	72	96
B	17	24	24	27	30	32	34	40	40
C	18	20	22	23	25	29	33	41	34

ตารางที่ ก.4 ขนาดรูวาล์วที่เหมาะสมกับอัตราการไหลปกติ

ช่องต่อวาล์วขนาดท่อทาง (in)	ขนาดวาล์วการไหลปกติ (gpm)
1/6	สูงกว่า 2
1/4 และ 3/8	สูงกว่า 8
1/2 และ 3/4	สูงกว่า 20
3/4 และ 1	40
1 1/4 และ 1 1/2	85
2	180
3	320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 การประเมินราคา

ลำดับ	อุปกรณ์	จำนวน	ราคา(บาท)
1.	กระบอกสูบไฮดรอลิกชนิดทำงาน 2 ทางก้านสูบเดียว	2 ตัว	17000.00
2.	วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4 ทิศทาง 3 ตำแหน่ง กลางปิดหมด	2 ตัว	12000.00
3.	วาล์วกันกลับ ขนาดของรูวาล์ว 1/4 นิ้ว	1 ตัว	1300.00
4.	วาล์วปลดความดันแบบไหลดลที่มีโครงสร้างแบบลูกสูบสมดุล	1 ตัว	1200.00
5.	วาล์วควบคุมอัตราการไหล ควบคุมปริมาณการไหลทิศทางเดียวมีวาล์วกันกลับอยู่ภายใน	2 ตัว	1500.00
6.	วาล์วกันตกแบบไหลดลเชื้อวาล์วมีการกระจายภายนอก , ปั๊มไฮดรอลิก ชนิด gear pump มีอัตราการไหล 5 gpm , ถังพักน้ำมันขนาดความจุ 30 gallon	2 ตัว	32400.00
	เกจวัดความดัน ใช้ขนาดที่วัดความดันได้ตั้งแต่ 0-3000 psi	1 ตัว	800.00
7.	ท่อทาง ขนาดท่อความดัน 1/4 นิ้ว	9 เมตร	10800.00
8.	ข้อต่อตรง	24 ตัว	1200.00
9.	ข้อต่อสามทาง	4 ตัว	800.00
10.	ยี่ห้อไฮดรอลิก	38 ตัว	1900.00
11.	เหล็ก FLAT BARS	13 เมตร	2500.00
12.	เหล็กกล่อง	15.5 เมตร	1500.00
13.	ล้อรถ	2 ล้อ	2200.00
14.	ล้อติดX	4 ล้อ	600.00
15.	เพลานี้อต	-	2000.00
16.	กระบะ	1 ชุด	5000.00
17.	อื่นๆ	-	5000.00
รวม			99700.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คุณสมบัติทางกลของเหล็ก

ตารางที่ ข.1 คุณสมบัติทางกลของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาและเหล็กกล้าผสม

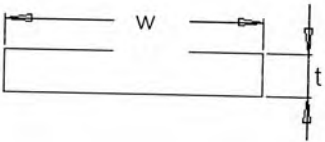
AISI Type	Condition	Tensile Strength (ksi)	Yield Strength (ksi)	Elongat. in 2 in. (%)	Reduction in Area (%)	Hardness (BHN)	Machin-ability
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	68	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
	N	64	50	36	68	131	75
1030	HR&turned	72	44	31	63	140	-
	CD	84	76	16	57	177	65
	A	67	50	31	58	126	-
	N	76	51	32	61	149	-
1040	HR	91	58	27	50	201	63
	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	-
	N	85	50	28	55	170	60
1045	HR	98	59	24	45	212	56
	CD	103	90	1	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
	N	99	61	25	49	207	-
1050	HR	105	67	15	-	-	-
	CD	114	104	9	-	-	54
	A	92	43	24	40	187	-
	N	109	62	20	39	217	-
1095	HR	142	83	18	38	295	-
	A	95	38	13	21	192	-
	N	147	73	10	14	293	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ตารางขนาดมาตรฐานของเหล็ก

FLAT BARS

Metric Size



Standard Sectional Dimension		Sectional Area (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Standard Sectional Dimension		Sectional Area (cm ²)	Unit Weight (kg/m)
Thickness (mm)	Width (mm)			Thickness (mm)	Width (mm)		
4.5	25	1.125	0.88	9	25	2.225	1.77
4.5	32	1.440	1.13	9	32	2.280	2.26
4.5	38	1.710	1.34	9	38	3.420	2.68
4.5	44	1.980	1.55	9	44	3.960	3.11
4.5	50	2.250	1.77	9	50	4.500	3.53
6	25	1.500	1.18	9	65	5.850	4.59
6	32	1.920	1.51	9	75	6.750	5.30
6	38	2.280	1.79	9	90	8.100	6.36
6	44	2.640	2.07	9	100	9.000	7.06
6	50	3.000	2.36	9	125	11.250	8.83
6	65	3.900	3.06	9	150	13.500	10.6
6	75	4.500	3.53	9	180	16.200	12.7
6	90	5.400	4.24	9	200	18.000	14.1
6	100	6.000	4.71	9	230	20.700	16.2
6	125	7.500	5.89	9	250	22.500	17.7
8	25	2.000	1.57	12	25	3.000	2.36
8	32	2.560	2.01	12	32	3.810	3.01
8	38	3.040	2.39	12	38	4.560	3.58
8	44	3.520	2.76	12	44	5.280	4.14
8	50	4.000	3.14	12	50	6.000	4.71
8	65	5.200	4.08	12	65	7.800	6.12
8	75	6.000	4.71	12	75	9.000	7.06
8	90	7.200	5.65	12	90	10.80	8.48
8	100	8.000	6.28	12	100	12.00	9.42
8	125	10.00	7.85	12	125	15.00	11.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษายกเว้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Sectional Dimension		Sectional Area (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Standard Sectional Dimension		Sectional Area (cm ²)	Unit Weight (kg/m)
Thickness (mm)	Width (mm)			Thickness (mm)	Width (mm)		
12	150	18.00	14.1	19	150	28.50	22.4
12	180	21.60	17.0	19	180	34.20	26.8
12	200	24.00	18.8	19	200	38.00	29.8
12	230	27.60	21.7	19	230	43.70	34.3
12	250	30.00	23.6	19	250	47.50	37.3
12	280	33.60	26.4	19	280	53.20	41.8
12	300	36.00	28.3	19	300	57.00	44.7
16	32	5.120	4.02	22	50	11.00	8.64
16	38	6.080	4.77	22	65	14.30	11.2
16	44	7.040	5.58	22	75	16.50	13.0
16	50	8.000	6.28	22	90	19.80	15.5
16	65	10.40	8.16	22	100	22.00	17.3
16	75	12.00	9.42	22	125	27.50	21.6
16	90	14.40	11.3	22	150	33.00	25.9
16	100	16.00	12.6	22	180	39.60	31.1
16	125	20.00	15.7	22	200	44.00	34.5
16	150	24.00	18.8	22	230	50.60	39.7
16	180	28.80	22.6	22	250	55.00	43.2
16	200	32.00	25.1	22	280	61.60	48.4
16	230	36.80	28.9	22	300	66.00	51.8
16	250	40.00	31.4	25	50	12.50	9.81
16	280	44.80	35.2	25	65	16.25	12.8
16	300	48.00	37.7	25	75	18.75	14.7
19	38	7.220	5.67	25	90	22.50	17.7
19	44	8.360	6.56	25	100	25.00	19.6
19	50	9.500	7.46	25	125	31.25	24.5
19	65	12.35	9.69	25	150	37.50	29.4
19	75	14.25	11.2	25	180	45.00	35.3
19	90	17.10	13.4	25	200	50.00	39.2
19	100	19.00	14.9	25	230	57.00	45.1
19	125	23.75	18.6	25	250	62.50	49.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

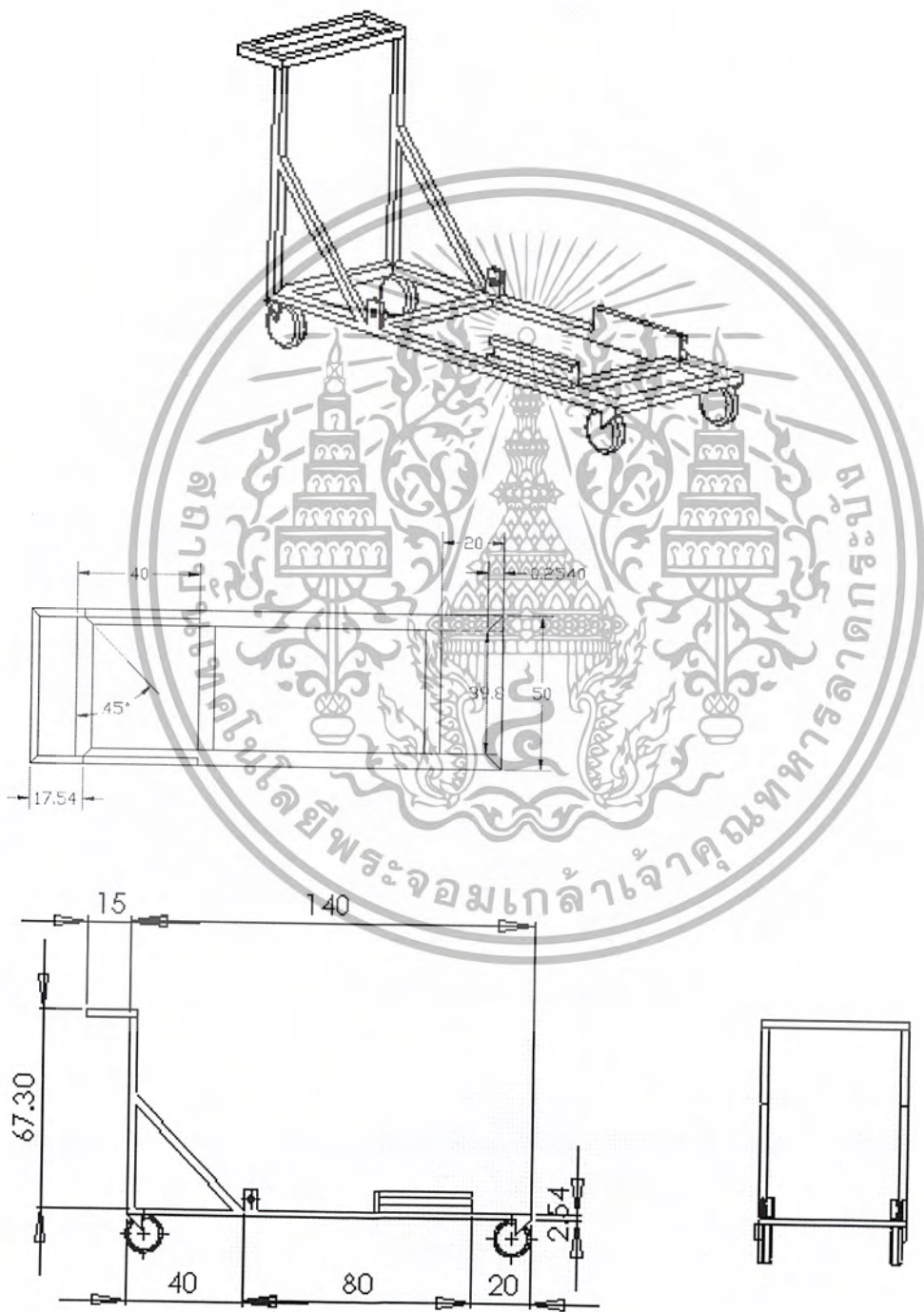
Standard Sectional Dimension		Sectional Area (cm ²)	Unit Weight (kg/m)	Standard Sectional Dimension		Sectional Area (cm ²)	Unit Weight (kg/m)
Thickness (mm)	Width (mm)			Thickness (mm)	Width (mm)		
25	280	70.00	55.0	32	200	64.00	50.2
25	300	75.00	58.9	32	230	73.60	57.8
28	100	28.00	22.0	32	250	80.00	62.8
28	125	35.00	27.5	32	280	89.60	70.3
28	150	42.00	33.0	32	300	96.00	75.4
28	180	50.40	39.6	36	100	36.00	28.3
28	200	56.00	44.0	36	125	45.00	35.3
28	230	64.40	50.6	36	150	54.00	42.4
28	250	70.00	55.0	36	180	64.80	50.9
28	280	78.40	61.5	36	200	72.00	56.5
28	300	84.00	65.9	36	230	82.80	65.0
32	100	32.00	25.1	36	250	90.00	70.6
32	125	40.00	31.4	36	280	100.8	79.1
32	150	48.00	37.7	36	300	108.0	84.8
32	180	57.60	45.2				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ภาพรายละเอียดของรถเทรลเลอร์

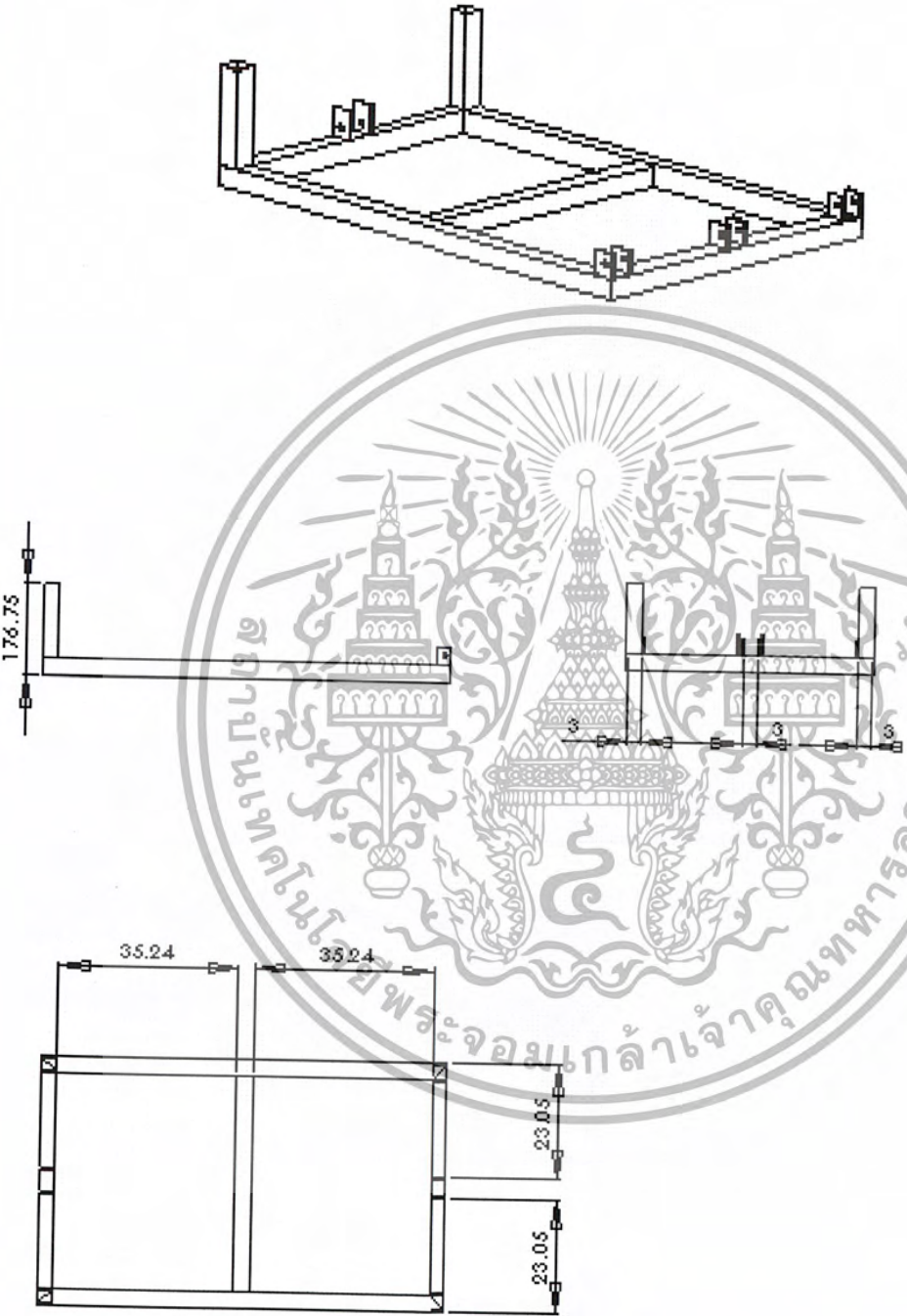
ขนาดรถเข็น



รูปภาคผนวก ค-1 แสดงถึงขนาดรถเข็นในหน่วย cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

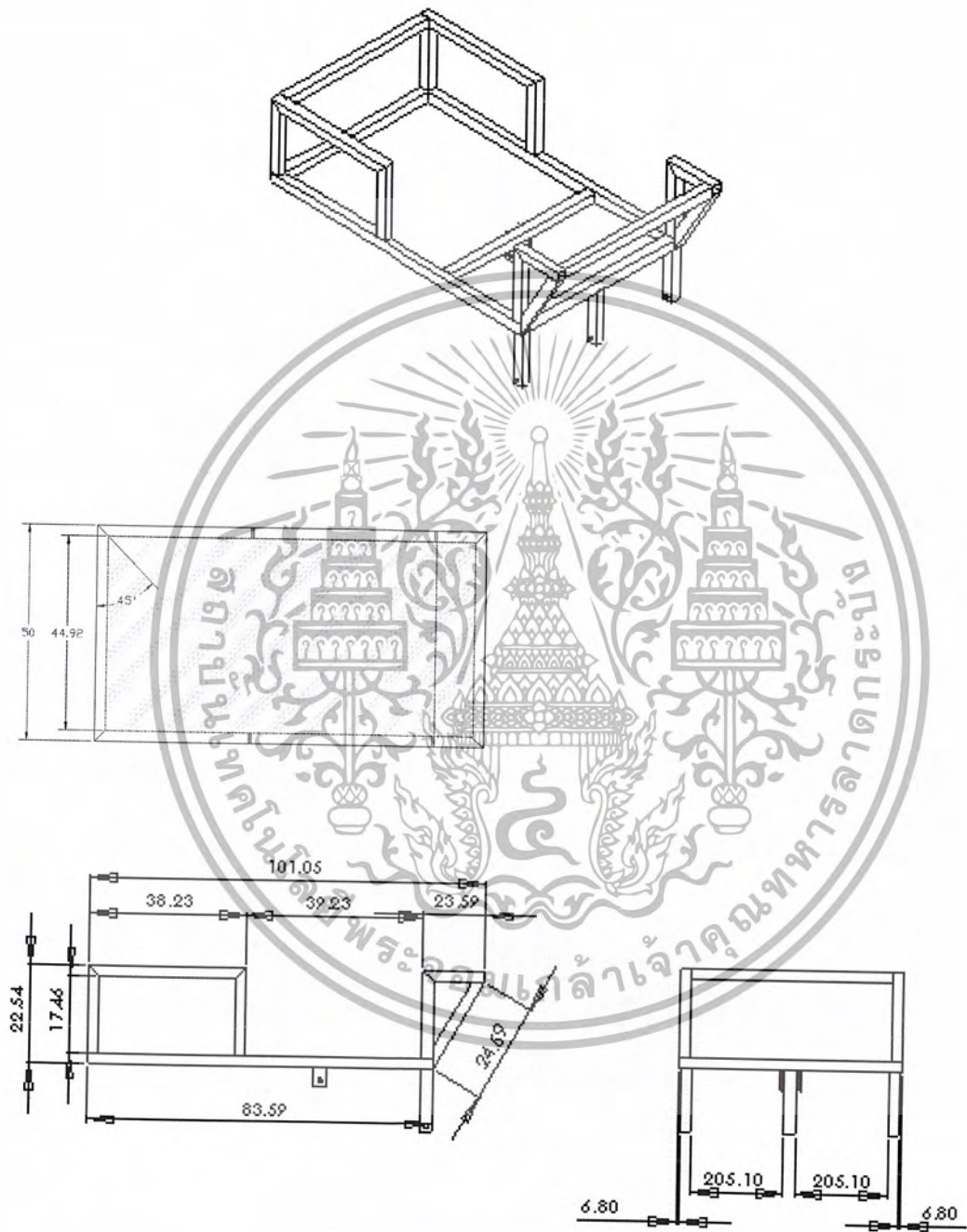
ขนาดกระเบื้องล่าง



รูปภาคผนวก ค-2 แสดงถึงขนาดกระเบื้องส่วนล่างในหน่วย cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดกระเบื้องส่วนบน



รูปภาคผนวก ค-3 แสดงถึงขนาดกระเบื้องส่วนบนในหน่วย cm

บรรณานุกรม

- [1] ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ ชาญ ถนัดงาม “ การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 ” สำนักพิมพ์ซีเอ็ด
- [2] ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ “ ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม ” สำนักพิมพ์ สสท.
- [3] นฤต กระจาย “ การเขียนโปรแกรมและประมวลผลข้อมูลด้วยเทอร์โบปาส ” สำนักพิมพ์ซีเอ็ด
- [4] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas, “Mechanical Engineering Design” ,7th ed. ,Mc Graw Hill
- [5] Anthony Esposito, “ Fluid Power with Applications” ,4th ed. , Prentice-Hall International, Inc.
- [6] R.C. Hibbeler, “Mechanics of Materials” , 4th ed., Prentice-Hall International, Inc.
- [7] Jasbir s. Arora, “Introduction to Optimun Design” , Introduction editions., Mec, Graw Hill
- [8] W.F.Stoecker, “Design of Thermal Systems” , 3th ed., Mc Graw Hill

