รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การวิเคราะห์ความเค้นและค่าความปลอดภัยของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

Stress Analysis and Factor of Safety Analysis of Anchorage Under Hydraulic Cylinder

โดย

นางสาว ลักษิกา อู่สุวรรณ 6224120001

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา สหกิจศึกษาสำหรับวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษา 3 ปีการศึกษา 2563

หัวข้อโครงงาน	: การวิเคราะห์ความเค้นและค่าความปลอดภัยของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์
	: Stress Analysis and Factor of Safety Analysis of Anchorage Under Hydraulic Cylinder
รายชื่อผู้จัดทำ	: นางสาว ลักษิกา อู่สุวรรณ 6224120001
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ	: วิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	: 3/2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร. ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2563

คณะกรรมการสอบ โครงงาน

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย)

....พนักงานที่ปรึกษา

(นาย จักรพงศ์ แกล้วกล้า)

....กรรมการกลาง

(อาจทรายสมบัติ หิรัญวรรณพงษ์)

....ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา

(ผศ.ดร.มารุจ ลิมปะวัฒนะ)

ชื่อโครงงาน : การวิเคราะห์ความเค้นและค่าความปลอดภัยของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์
ผู้จัดทำ : นางสาว ลักษิกา อู่สุวรรณ 6224120001
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร. ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย
ระดับการศึกษา : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์
ภาคการศึกษา/ ปีการศึกษา : 3/2563

บทคัดย่อ

ลักษณะทั่วไปของรถบรรทุกยกเทจะบรรทุกวัสดุไว้ท้ายรถ และสามารถเทออกได้ โดยการยกกระบะด้วยกระบอกไฮดรอลิกส์ หากจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ไม่แข็งแรงอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุในขณะใช้งานได้ ดังนั้นจึงพิจารณาความแข็งแรงที่จุดนี้เพื่อศึกษาว่ามีความเหมาะสมในการออกแบบตามหลักวิศวกรรมหรือไม่ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วย เรียกว่า วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ หาแรงกระทำสูงสุดที่กระทำต่อจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์จากมุมยก 0 – 50 องศา หาความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับมุมยก หาความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับระยะชัก จากนั้นนำแรงกระทำสูงสุดที่ได้มาใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ ผลจากการวิเคราะห์พบว่า 1)แรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์มีค่าเท่ากับ 16,488.35 N อยู่ที่มุม 0 องศา อยู่ในช่วงกำลังจะยก 2) มุมยกที่มากขึ้น แรงกระทำต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะน้อยลง 3) ระยะชักที่ยาวมากขึ้น แรงกระทำต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะน้อยลง 4)ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นสูงสุดได้ทั้งหมด 4 จุด คือ ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดอยู่ที่ค่า 125.20 MPa แต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 283.70 MPa หมายความว่า ชิ้นงานเริ่มยืดตัว แต่ยังไม่เสียรูปร่าง เพราะค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดยังไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 5) ค่าความปลอดภัย ค่าสูงสุดอยู่ที่ค่า 4.9 ซึ่งเป็นค่าความปลอดภัยที่อยู่ในช่วงมาตราฐาน ดังนั้นเมื่อใช้แรงกระทำสูงสุดระดับนี้ ชิ้นงานจะไม่เกิดการเปลี่ยนรูป

คำสำคัญ : จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์ / แรงกระทำสูงสุด / ไฟไนต์เอลิเมนต์

Project Title	: Stress Analysis and Factors of Safety Analysis of Anchorage Under Hydraulic Cylinders
By	: Miss. Laksika Usuwan 6224120001
Advisor	: Dr. Chanchai Wiroonritichai
Degree	: Bachelor of Engineering
Major	: Mechanical Engineering
Faculty	: Engineering

Semester / Academic Year: 3/2020

Abstract

The general characteristics of a dump truck is that objects are loaded in the back of the truck and can be dumped by lifting the bed of the truck with hydraulic cylinders. The strength is considered at this point to determine whether it is suitable for engineering design by using a ready-made program called the Finite Element Method. Actions of the bottom anchor of the hydraulic cylinders have a lifting angle of 0 – 50 degrees, and the relationship of the force with the lifting angle, and the relationship of the force with the stroke uses the maximum force that has been used to analyze the strength.

The results of the analysis showed that: 1) the maximum force per hydraulic cylinder bottom anchor was 16,488.35 N at an angle of 0°. during lifting power; 2) The greater the lifting angle, the less force on the hydraulic cylinder bottom anchor; 3) The longer the stroke, the greater the force acting on the hydraulic cylinder bottom anchor; 4) The four places where the maximum stress can be achieved are those where the maximum stress is 125.20 MPa, but does not exceed the yield strength of 283.70 MPa means that the workpiece begins to stretch but does not lose its shape because the maximum for stress is not more than the indigo strength; 5) The highest safety value was at 4.9, which is a safety value that is within the standard range, so when using this level of maximum force, the workpiece does not become deformed.

Keywords: Anchorage under Hydraulic Cylinder, The Maximum Force, Finite Element Method

Approved by

....

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ สำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง ตั้งแต่วันที่ 17 พฤษภาคม 2564 ถึงวันที่ 28 สิงหาคม 2564 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่มีค่ามากมายสำหรับรายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

1.คุณ จักรพงศ์ แกล้วกล้า วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ ส่วนพัฒนาเครื่องจักรกล

2.คุณ พิศุทธ์ แสงหนุ่ม วิศวกรเครื่องกลปฏิบัติการ ส่วนพัฒนาเครื่องจักรกล

3.คุณ ภาณุวัฒน์ เนือยทอง วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ ส่วนบริหารเครื่องจักรกล

4.เจ้าหน้าที่ฝ่ายช่างในสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง

5.อาจารย์สมบัติ หิรัญวรรณพงษ์ กรมการกลาง

6.ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย อาจารย์ที่ปรึกษา

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจกับชีวิตของการทำงานจริงซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นางสาว ลักษิกา อู่สุวรรณ

28 สิงหาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 คุณสมบัติของเหล็ก SS400	3
2.3 ทฤษฎีความเค้น	4
2.4 ทฤษฎีค่าความปลอดภัย	4
2.5 ไฟไนต์เอลิเมนต์	4
2.6 กลศาสตร์วิศวกรรม	13
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	13
บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน	
3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ	16
3.2 ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน	17
3.3 รูปแบบการจัดองค์การและบริหารงานขององค์กร	18
3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับหมอบหมาย	18
3.5 ชื่อและตำแน่งของพนักงานที่ปรึกษา	18
3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	19
3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	19
3.7.1 ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง	19
3.7.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	19
3.7.3 ตั้งหัวข้อโครงงาน	19
3.7.4 คำนวณหาแรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์	19

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.7.5 วิเคราะห์กราฟของแรงกระทำสูงสุด ระยะชัก และมุม	21
3.7.6 หามุมและแรงกระทำสูงสุดต่อกระบอกไฮดรอลิกส์	21
3.7.7 ทดสอบความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์	21
3.7.8 รวบรวมข้อมูลและสรุป	22
3.8 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน	23
3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	23
บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงานตามโครงงาน	
4.1 ผลการปฏิบัติงานหาแรงกระทำสูงสุด	24
4.2 ผลการปฏิบัติงานหาความสัมพันธ์ระยะชักและมุมยก	24
4.3 ผลการปฏิบัติงานวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์	25
4.3.1 ความเค้นฟอนมิสเซส	25
4.3.2 ค่าความปลอดภัย (FOS)	27
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลโครงงาน	28
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม	31
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.	33
ภาคผนวก ข.	36
ภาคผนวก ค.	37
ประวัติผู้จัดทำ	38

SIAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าความปลอดภัย 4
ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 23
ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด 26
ตารางที่ 5.1 การเลือกมุมยกและแรงกระทำ 29

SIAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 ลักษณะทั่วไปของรถบรรทุกเท หรือ รถดั้มพ์	1
รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ	5
รูปที่ 2.2 การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในอุตสาหกรรมการบิน	13
รูปที่ 3.1 ที่ตั้งสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง	16
รูปที่ 3.2 ตราสัญลักษณ์ของสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง	17
รูปที่ 3.3 สถานที่ปฏิบัติงาน	17
รูปที่ 3.4 โครงสร้างการบริหารของหน่วยงานที่สังกัด	18
รูปที่ 3.5 แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อกระบะ	19
รูปที่ 3.6 แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อกระบะขณะยกเท	20
รูปที่ 3.7 จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์	22
รูปที่ 3.8 จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์ พร้อมใส่จุดยึดและแรงกระทำ	22
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับมุมยก	24
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับระยะชัก	25
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงค่าความเค้นฟอนมิสเซส	25
รูปที่ 4.4 ภาพแสดงค่าความปลอดภัย (FOS)	27

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการขนย้ายและขนส่งวัสดุโดยทั่วๆไปรถบรรทุกยกเท หรือ รถดั้มพ์ เป็นยานพาหนะที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ใช้กันมาเป็นเวลายาวนาน เนื่องจากเป็นยานพาหนะที่นอกจากจะบรรทุกวัสดุได้ในปริมาณมากๆในการขนส่งได้แล้ว ยังสามารถเปิดท้ายเพื่อเทวัสดุออกในการขนย้ายวัสดุได้อีกด้วย

รูปที่ 1.1 ลักษณะทั่วไปของรถบรรทุกเท หรือ รถดั้มพ์

รถบรรทุกยกเท หรือ รถดั้มพ์ โดยทั่วไปมีกระบะเปิดโล่งซึ่งติดตั้งบานพับไว้ด้านหลังและติดตั้งแคร่ไฮดรอลิกส์เพื่อยกด้านหน้า ทำให้วัสดุบนกระบะถูกเททิ้งบนพื้นด้านหลังรถบรรทุกที่สถานที่จัดส่ง โดยวัสดุบรรทุก กระบะและกระบอกไฮดรอลิกส์จะเป็นส่วนที่กดน้ำหนักลงบนจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ หากจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ไม่แข็งแรงอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุในขณะใช้งานได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น จุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ที่แข็งแรงมีความสำคัญมาก เนื่องจากต้องรองรับน้ำหนักของวัสดุบรรทุก กระบะและกระบอกไฮดรอลิกส์ ดังนั้นจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์จึงเป็นจุดที่ข้าพเจ้าสนใจและนำมาพิจารณาความแข็งแรงในรายงานนี้ โดยพิจารณาความแข็งแรงเพื่อดูว่ามีความเหมาะสมในการออกแบบตามหลักวิศวกรรมหรือไม่ ดังนั้นจึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการพิจารณาเพราะสะดวกและสามารถประมวลผลได้เร็ว

จากการฝึกสหกิจศึกษาตามโครงการ สหกิจศึกษาของทางมหาวิทยาลัย ได้ให้โอกาสข้าพเจ้าได้ไปฝึกสหกิจศึกษา ณ สำนักเครื่องกลสื่อสาร กรมทางหลวง ทางสำนักได้มอบหมายงานในเรื่อง การคำนวณหาค่าความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์เพื่อการรับน้ำหนักวัสดุบรรทุก กระบะและกระบอกไฮดรอลิกส์ ในขณะยกเทได้อย่างปลอดภัย ไม่เกิดการเสียรูปทรง หรือเกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งาน

การไปฝึกสหกิจศึกษาตามโครงการมีความสำคัญและให้ประโยชน์อย่างมากแก่ข้าพเจ้า เนื่องจากทำให้ข้าพเจ้าได้เข้าไปสัมผัสในชีวิตจริงของโลกของการทำงาน และยังได้ความรู้เพิ่มเติมจากวิศวกรมืออาชีพ ทำให้เกิดองค์ความรู้และประสบการณ์ใหม่นอกห้องเรียนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์โหลดสูงสุดในขณะยกเทจาก 0 – 50 องศา

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ที่โหลดสูงสุด

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 เน้นพิจารณาโหลดสูงสุดที่กระทำต่อจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ขณะยกเทที่มุม 0 – 50 องศา

1.3.2 เน้นพิจารณาจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ที่รับน้ำหนักจากวัสดุบรรทุก กระบะและกระบอกไฮดรอลิกส์ ที่น้ำหนัก 2,300 กิโลกรัม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อให้เข้าใจในการวิเคราะห์โหลดสูงสุดที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์ขณะยกเทที่มุม 0 – 50 องศา

1.4.2 เพื่อให้เข้าใจในการวิเคราะห์ค่าความเค้นของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

1.4.3 เพื่อให้เข้าใจในการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

1.4.4 เพื่อให้เข้าใจในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

บทที่ 2
การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ โดยประกอบไปด้วย คุณสมบัติของเหล็ก SS400 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป ทฤษฎีค่าความปลอดภัย ไฟไนต์เอลิเมนต์ และกลศาสตร์วิศวกรรม

2.2 คุณสมบัติของเหล็ก SS400

เป็นเหล็กโครงสร้างหรือเหล็กรูปพรรณที่มีขายตามท้องตลาด เช่น เหล็กแผ่น เหล็กฉาก ท่อเหล็กดำ เป็นต้น ที่มีความต้านทานแรงดึง 400 MPa ในมาตรฐานญี่ปุ่น (JIS)

คุณสมบัติทางกลทั่วไป

2.2.1 ความหนาแน่น (Density) เท่ากับ 7860 kg/m^3

2.2.2 ยังส์โมดุลัส (Young’s Modulus) เท่ากับ 190-210 GPa

ยังส์โมดุลัส หรือบางครั้งเรียกว่า โมดุลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) คือ อัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรง

2.2.3 ค่าต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) เท่ากับ 400 - 510 MPa

ค่าต้านทานแรงดึง หรือบางครั้งเรียกว่า จุดประลัย (Ulimate Strength) คือ ค่าความเค้นสูงสุด ณ จุดที่วัสดุขาดหรือรูปร่างเสียหาย

2.2.4 ค่าต้านแรงดึงจุดคราด (Yield Strength) เท่ากับ 205-245 MPa

ค่าต้านแรงดึงจุดคราก จุดที่วัสดุจะยืดออกมากที่สุด โดยการใส่แรงเข้าไปเล็กน้อย หรือไม่ใส่เลย

2.2.5 ค่าความแข็ง เท่ากับ 160 HB

เป็นการทดสอบโดย Brinell Hardness Test คือการวัดความแข็งโดยอาศัยแรงกดคงที่กระทำกับลูกบอลเหล็กกล้าชุบแข็งลงบนผิวชิ้นงานทดสอบ ค่าความแข็งจะคำนวณจากแรงกดที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิว โดยพื้นที่ผิวมีลักษณะเป็นผิวโค้ง

2.3 ทฤษฎีความเค้น

ความเค้นฟอนมิสเซส (Von Mises Stress) คือ ค่าความเค้นที่กระทำกับวัตถุระดับหนึ่ง ที่ทำให้วัสดุถึงจุดเสียรูปถาวร ซึ่งคำนวณจากค่าเค้นประเภท Tensor Stress

2.4 ทฤษฎีค่าความปลอดภัย

ในการผลิตและออกแบชิ้นส่วน เครื่องจักร หรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุอุปกรณ์ต่างๆภายในโรงงานหรือหน้างานก็สร้างเมื่อจะดำเนินงานใดๆก็ตาม ต้องมีค่าเผื่อไว้สำหรับการออกแบบ เพื่อที่จะไม่ให้แรงหรือกำลังต่างๆ ที่มากระทำต่อเครื่องจักร เครื่องมือนั้นๆ จะได้รับค่าเผื่อดังกล่าว เรียกว่า ค่าความปลอดภัย

2.4.1 การคิดค่าความปลอดภัย

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการออกแบบชิ้นงานโดยใช้วัสดุเหล็กกล้าชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติทนแรงดึงได้ 420 MPa โดยผู้ออกแบบคิดว่าลักษณะการใช้งานแล้ว แรงหรือกำลังหรือความเค้น ไม่ควรเกิน 140 MPa ดังนั้นค่าความปลอดภัยที่จะได้จึงเป็น 420/140 = 3 โดยมีความหมายว่า เมื่อมีแรงมากระทำต่อชิ้นงานเป็น 3 เท่าของที่ได้วิเคราะห์ไว้มากระทำต่อชิ้นงาน ค่า 3 เท่านี้เผื่อไว้เพื่อความไม่สมบูรณ์ของวัสดุที่มีมาเป็นชิ้นงาน และเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเกินความคาดหมายอื่น

2.4.2 ปัจจัยที่กำหนดค่าความปลอดภัย

ในการออกแบบตามปกติเราจะทราบรูปร่างชิ้นงานตามหน้าที่การใช้งานของมัน พร้อมกับแรงหรือกำลังที่มากระทำต่อชิ้นงานนั้นๆ เพื่อที่จะได้เลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการออกแบบได้จะต้องทราบค่าความปลอดภัยก่อน โดยค่าความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของแรงหรือกำลังที่มากระทำต่อชิ้นงาน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความปลอดภัย

ชนิดของแรง	**เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว**		**เหล็กหล่อและโลหะเปราะ**
	Ny	**Nu**	**Nu**
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2	3-4	5-6
แรงกระทำซ้ำทิศทางเดียว หรือแรงกระแทกเล็กน้อย	3	6	7-8
แรงกระทำซ้ำสองทิศทาง หรือแรงกระแทกเล็กน้อย	4	8	10-12
แรงกระแทกอย่างหนัก	5-7	10-15	15-20

2.5 ไฟไนต์เอลิเมนต์

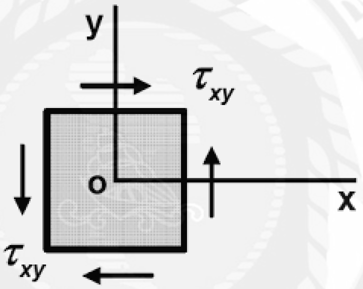
ไฟไนต์เอลิเมนต์ คือวิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ เขียนเป็นโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้คำนวณ แก้ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น คำนวณหาความแข็งแรง ของวัสดุหรือชิ้นส่วนเครื่องกล ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหล การถ่ายเทความร้อน ในชิ้นส่วนเครื่องกล รูปแบบการกระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า, คลื่นเสียง ฯลฯ

2.5.1 หลักการของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กล่าวอย่างง่ายๆ ก็คือ เราทำการเติมรูปทรงของผลิตภัณฑ์ ด้วยชิ้นส่วนเล็กๆ ที่มีรูปทรงเรขาคณิต เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ลูกบาศก์ เป็นต้น เนื่องจากเราสามารถคำนวณหาคำตอบที่แน่แท้ ของชิ้นส่วนที่มีรูปทรงเรขาคณิตได้ ดังนั้นเมื่อ เราเติมชิ้นส่วนเล็กๆ เหล่านี้ลงไปในชิ้นส่วนใหญ่ เราก็สามารถศึกษาพฤติกรรมโดยรวมของระบบได้

2.5.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เกี่ยวกับของแข็ง

รูปที่ 2.1 แสดงวัตถุทรงตัน รูปร่างใด ๆ ใน 3 มิติคือ x-y-z โคออร์ดิเนต บนผิวบางส่วน ของวัตถุนี้อาจถูกจับยึดตรึงแน่น (Fixed) ในขณะที่ผิวบางส่วนอาจถูกแรงภายนอกมากระทำหรือ ผิวบางส่วนอาจปล่อยอิสระไว้ (Free Boundary) โดเมนของวัตถุทรงตันสามารถแบ่งออกเป็น เอลิเมนต์แบบ 3 มิติทรงสี่หน้า (Tetrahedral Element) ย่อย ๆ ได้ดังแสดงในรูปอนึ่งวัตถุทรงตันนี้ จะมีรูปร่างใด ๆ ก็ได้ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างของเครื่องยนต์ซึ่งอาจมีส่วนเว้าส่วนโค้งหรือกลวงอยู่ ภายในรูปร่างซึ่งมีลักษณะซับซ้อนเช่นนี้สามารถบางออกเป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติทรงสี่หน้าที่มี ขนาดเล็กเป็นจำนวนมากได้



รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ

ที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ตามในวัตถุทรงตันนี้สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งแสดงความสมดุลของแรงในแนวแกน x , y และ z คือ

$$\frac{\partial\sigma_x}{\partial_x}+\frac{\partial\tau_{xy}}{\partial_y}+\frac{\partial\tau_{xz}}{\partial_z}=0$$

$$\frac{\partial\sigma_{xy}}{\partial_x}+\frac{\partial\tau_{y}}{\partial_y}+\frac{\partial\tau_{xz}}{\partial_z}=0 \qquad (2.1)$$

$$\frac{\partial\tau_x}{\partial_x}+\frac{\partial\tau_{yz}}{\partial_y}+\frac{\partial\sigma_{z}}{\partial_z}=0$$

โดย $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$แทนค่าความเค้นฉาก (Normal Stress) ในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ และ τ_x, τ_y, τ_zแทนค่าความเค้นเฉือน (Shearing Stress)

บนผิวรอบนอกบางส่วนของวัตถุทรงตันนี้อาจประกอบไปด้วยเงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกันไป เช่น ผิวบางส่วนอาจมีการกำหนดระยะของการเคลื่อนตัวในขณะที่ผิวส่วนอื่น ๆ อาจมีการกำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว (Surface Traction) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้คือ

$$\vec{T} = T_x\hat{i} + T_y\hat{j} + T_z\hat{k} \tag{2.2}$$

โดย T_x, T_y, T_z แทนค่าความเค้นที่ผิวในทิศแกน x, y, z ตามลำดับค่าความเค้นผิวเหล่านี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าความเค้นฉากและความเค้นเฉือนได้คือ

$$\begin{Bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{xy} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{Bmatrix} \tag{2.3}$$

โดย n_x , n_y , n_z เป็นทิศทางโคไซน์ (Direction Cosines) ของเวกเตอร์

$$\vec{n} = n_x\hat{i} + n_y\hat{j} + n_y\hat{k} \tag{2.4}$$

ซึ่งเป็นเวกเตอร์หน่วย(Unit Vector) ที่ตั้งฉากกับผิว ณ จุดที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น ค่าของความเค้นย่อย (Stress Components) ต่าง ๆ ในสมการ (2.3) มีความสัมพันธ์กับค่าของความเครียดย่อยดังนี้

$$\{\sigma\} = [c]\{\varepsilon\} \tag{2.5}$$

เวกเตอร์ในสมการ (2.5) นี้ประกอบด้วย

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix} \quad \{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} \tag{2.6}$$

และ γ_{xy} , γ_{xz} , γ_{yx} แทนค่าความเครียดเฉือน

เมทริกซ์ [C] แทนเมทริกซ์ความยืดหยุ่นของวัสดุ(Material Elasticity Matrix) ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

$$[C]=\frac{E}{(1+\nu)(1+2)}\begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1-2\nu)}{2} \end{bmatrix} \qquad (2.7)$$

โดย

E แทนค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus Of Elasticity)

v แทนอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson, s Ratio)

ค่าความเครียดย่อยต่าง ๆ ข้างต้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัว u, v, w ตามทฤษฎีของการเสียรูปน้อย (Small Deformation Theory)

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_u}{\sigma_x} ; \gamma_{xy} = \frac{\sigma_u}{\sigma_y}\frac{\sigma_v}{\sigma_x}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_v}{\sigma_z} ; \gamma_{xz} = \frac{\sigma_u}{\sigma_z}\frac{\sigma_w}{\sigma_x}$$

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_w}{\sigma_z} ; \gamma_{xz} = \frac{\sigma_u}{\sigma_z}\frac{\sigma_w}{\sigma_x} \qquad (2.8)$$

กล่าวคือจำนวนตัวไม่รู้ค่าสำหรับปัญหาวัตถุทรงตันคือค่าของการเสียรูป u, v, w เท่านั้น เมื่อทราบค่าของการเสียรูปเหล่านี้แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าของความเครียดย่อยและค่าของความเค้นย่อยตามสมการที่ (2.8) และ (2.5)

ลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว u, v, w บนเอลิเมนต์ต่างถูกสมมุติให้อยู่ในรูปแบบของเชิงเส้น ยกตัวอย่างเช่น

$$u\,(x, y, z) = \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_3 z \qquad (2.9)$$

โดย a_i ; i = 1, 2, 3, 4 เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสี่ดังนี้

จุดต่อ1 : $u\left(x_1, y_1, z_1\right) = u_1 = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 + \alpha_3 z_1$ (2.10 ก)

จุดต่อ2 : $u\left(x_2, y_2, z_2\right) = u_2 = \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 + \alpha_3 z_2$ (2.10 ข)

จุดต่อ3: $u\left(x_3, y_3, z_3\right) = u_3 = \alpha_1 + \alpha_1 x_3 + \alpha_3 y_3 + \alpha_3 z_4$ (2.10 ค)

จุดต่อ4 : $u\left(x_4, y_4, z_4\right) = u_4 = \alpha_1 + \alpha_2 x_4 + \alpha_3 y_4 + \alpha_3 z_4$ (2.10 ง)

สมการ (2.10 ก)ถึง (2.10 ง) สามารถนำ มาใช้หาค่าคงที่ a_i ; i = 1, 2, 3, 4 ได้จากนั้นจึงเขียนสมการให้อยู่ในรูปแบบใหม่ได้คือ

$$u\left(x,y,z\right) = N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 + N_4 u_4$$
$$= \left[N\right]\left\{u\right\} \quad (2.11)$$

โดย [N] เรียกว่า เมทริกซ์ของการประมาณภายในเอลิเมนต์ (Element Interpolation Matrix) และ {u} แทนเวกเตอร์ของค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อ(Vector Of Nodal U-displacement)ในแนวแกน x รายละเอียดของฟังก์ชันการประมาณภายในของเมทริกซ์ [N] ประกอบด้วย

$$N_i\left(x,y,z\right) = L_i\left(x,y,z\right) \text{;i= } 1,2,3,4$$
(2.12)

โดย L_i เรียกว่าโคออร์ดิเนตปริมาตร (Volume Coordinate) ซึ่งมีรายละเอียดคือ

$$L_i = \frac{1}{6v}\left(a_i + b_i x + c_i y + d_i z\right);\ \text{i = 1,2,3,4} \quad (2.13)$$

$$\text{ในทีนี้ v = ปริมาตรของเอลิเมนต์ } = \frac{1}{6}\begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.14)$$

$$a_1 = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \; ; \; c_1 \begin{vmatrix} x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \\ x_4 & 1 & z_4 \end{vmatrix}$$

(2.14ก)

$$b_1 = \begin{vmatrix} 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} \; ; \; d_1 \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \\ x_4 & y_4 & 1 \end{vmatrix}$$

ส่วนค่าคงที่ตัวอื่น ๆ ได้แก่ a_1, b_1, c_1, d_1 เมื่อ i = 2, 3, 4 สามารถเขียนออกมาได้ในทำนองเดียวกันโดยใช้การวนสลับเปลี่ยนตัวเลข (Cyclic Permutation) เช่น

$$a_2 = \begin{vmatrix} x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ x_1 & y_1 & z_1 \end{vmatrix} \qquad (2.14ข)$$

ดังนั้น ลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว u, v, w ในแนวแกน x, y, z บนเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อคือ

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= [N] \{u\} \\ v(x, y, z) &= [N] \{v\} \\ w(x, y, z) &= [N] \{w\} \end{aligned} \qquad (2.15)$$

โดยเมทริกซ์ฟังก์ชัน การประมาณภายใน [N] มีรายละเอียดดังแสดงในสมการ (2.12) ถึง (2.14) เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าอันดับสูงขึ้นไปอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเป็นเอลิเมนต์อันดับ 2 (Quadratic) นั้นประกอบด้วย 10 จุดต่อโดยมีจุดต่อหมายเลข 1 ถึง 4 อยู่ที่มุมทั้งสี่และหมายเลข 5 ถึง 10 อยู่กึ่งกลางของขอบทั้งหก

เอลิเมนต์ชนิดนี้สามรถให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงมากกว่าเอลิเมนต์แบบ 4 จุดต่อจากการสมมุติลักษณะการเคลื่อนตัวซึ่งมีอันดับสูงกว่าด้วยการใช้จำนวนจุดต่อที่มากกว่าฟังก์ชันการประมาณภายในของเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายสำหรับเอลิเมนต์แบบ 4 จุดต่อ ซึ่งเริ่มจากการสมมุติลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัวเช่น u (x, y, z) ให้แปรผันไปกบั x, y, z ขึ้นไปถึงกำลังสอง

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z + \alpha_5 x^2 + \alpha_6 xy \\ &\quad + \alpha_7 y^2 + \alpha_8 yz + \alpha_9 z^2 + \alpha_{10} xz \end{aligned} \qquad (2.16)$$

โดย $\alpha_1 i$ = 1 ถึง 10 เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสิบในทำนองเดียวกันกับ เอลิเมนต์แบบ 4 จุด หลังจากได้ α_1 ทั้งสิบค่านี้แล้วให้แทนกลับลงในสมการ (2.16) เราสามารถเขียนลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว u ในทิศแกน x ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่ จุดต่อทั้งสิบได้ดังนี้

$$u(x, y, z) = [N]\ \{u\} \tag{2.17}$$

โดย

$$\begin{aligned} N_i &= L_i\ (2L_i - 1)\ i = 1,\ 2,\ 3,\ 4 \\ N_5 &= 4L_1L_2\ ;\ N_8 = 4L_2L_3 \\ N_6 &= 4L_1L_3\ ;\ N_9 = 4L_3L_4 \\ N_7 &= 4L_1L_4\ ;\ N_{10} = 4L_2L_4 \end{aligned} \tag{2.18}$$

ในทำนองเดียวกันลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว v และ w ในทิศแกน y และ z สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อทั้งสิบได้เช่นกัน คือ

$$v(x, y, z) = [N]\ \{v\} \tag{2.19}$$

$$w(x, y, z) = [N]\ \{w\} \tag{2.20}$$

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าไม่ว่าจะเป็นแบบ 4 จุดต่อหรือแบบ 10 จุดต่อ สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method Of Weighted Residuals) เริ่มจากการคูณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยด้วยฟังก์ชันน้ำหนักซึ่งในที่นี่คือฟังก์ชันการประมาณภายใน Ni แล้วอินทิเกรตตลอดทั่วทั้งปริมาตรของเอลิเมนต์นั้นจากนั้นจึงกำหนดให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับศูนย์นั้นคือ

$$\begin{aligned} &\int_v N_i \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial_z} \right) dV = 0 \\ &\int_v N_i \left(\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_z} \right) dV = 0 \\ &\int_v N_i \left(\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial_x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial_y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial_z} \right) dV = 0 \end{aligned} \tag{2.21}$$

โดย V แทนปริมาตรของเอลิเมนต์นั้น ๆ ส่วนฟังก์ชันการประมาณภายใน N_i ในสมการ (2.10) ขึ้นอยู่กับชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้ยกตัวอย่างเช่น หากเราเลือกใช้เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อแล้วฟังก์ชัน การประมาณภายในจะเกิดจากการเขียนลกั ษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัวu, v, w ในสมการ (2.9) รวมเข้าด้วยกันคือ

$$\left[\vec{\delta}\right] = \left[N(\mathrm{x,y,z})\right]\left[\vec{\delta}\right] \tag{2.22}$$

โดย $$\left[\vec{\delta}\right]T = [u\ v\ w]$$

$$\left[\vec{\delta}\right]T = \left[u_1 v_1 w_1\ u_2 v_2 w_2\ u_3 v_3 w_3\ \ u_4 v_4 w_4\right] \tag{2.23}$$

ซึ่งหมายถึงเวกเตอร์ของความเครียดย่อยในสมการ (2.8) สามารถเขียนในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อ $[\delta]$ ได้ดังนี้

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \dfrac{\partial_u}{\partial_x} \\ \dfrac{\partial_v}{\partial_y} \\ \dfrac{\partial_w}{\partial_z} \\ \dfrac{\partial_u}{\partial_y} + \dfrac{\partial_v}{\partial_x} \\ \dfrac{\partial_v}{\partial_z} + \dfrac{\partial_w}{\partial_y} \\ \dfrac{\partial_u}{\partial_z} + \dfrac{\partial_w}{\partial_x} \end{Bmatrix} = \left[B(x,y,z)\right]\{\delta\} \tag{2.24}$$

โดย [B] แทนเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดย่อยและการเคลื่อนตัวที่จุดต่อจากการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างตามสมการ (2.21) นี้ทำให้เกิดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อ ประกอบไปด้วย 12 สมการย่อยซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[\mathrm{N}]\{\delta\} = \{\mathrm{F}\} \tag{2.25}$$

โดย [K] แทนเมทริกซ์ของความแข็งแกร่ง (Stiffness Matrix) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$[K] = [B] [C] [B] V \tag{2.26}$$

โดย [C] แทนเมทริกซ์ความยืดหยุ่น ของวัสดุตามสมการ (2.7) และ V แทนปริมาตรของเอลิเมนต์ที่พิจารณาอยู่นั้น

ส่วนเวกเตอร์{F} ทางด้านขวามือของสมการ (2.25) แทนโหลดเวกเตอร์ (Load Vector) ซึ่งอาจเกิดแรงดัน (Pressure) ที่กระทำบนผิวภายนอกยกตัวอย่างเช่นหากด้านซึ่งประกอบด้วยจุด ต่อ 2-3-4 เป็นด้านที่ผิวภายนอกของโมเดลซึ่งถูกแรงดันที่มีค่า P_x, P_y, P_z กระทำในทิศแกน x, y, z ตามลำดับแล้วเวกเตอร์ {F} ที่เกิดขึ้นคือ

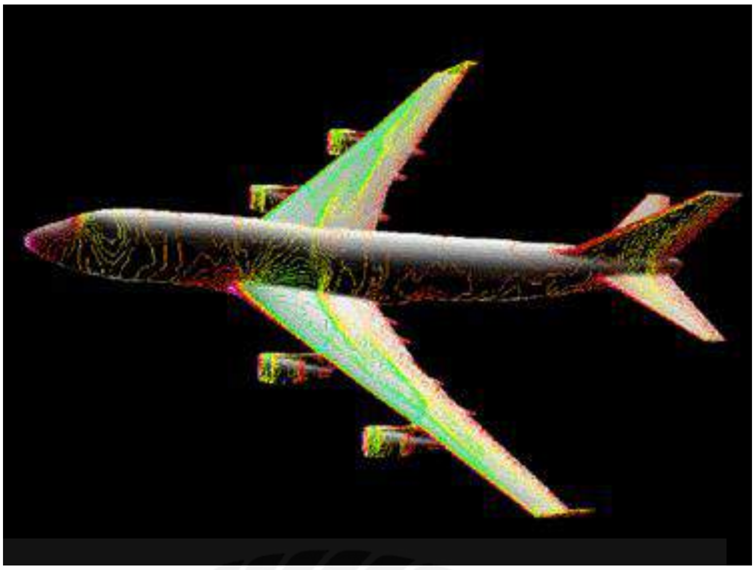
$$[F] = \frac{A_{1-2-3}}{3} \ [0\ 0\ 0\ p, \mathrm{p}, \mathrm{p}, \mathrm{p}, \mathrm{p}, \mathrm{p}, \mathrm{p}, \mathrm{p}, \mathrm{p}] \tag{2.27}$$

โดย A_{1-2-3} แทนพื้นที่ของด้านซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 2-3-4 เป็นต้น

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมไฟไนต์เอลิเมนต์เมทริกซ์ดังสมการ (2.26) และ (2.27) นี้เองที่นำไปประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์และฝังตัวอยู่ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ที่ใช้วิเคราะห์ปัญหารูปทรงต้นใด ๆ ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ กันได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกคำนวณขอบเขตลงบนระบบสมการรวมนี้แล้วจึงแก้สมการรวมทั้งระบบเพื่อหาค่าของการเคลื่อนตัว u, v, w ในทิศแกน x, y, z ของทุก ๆ จุดต่อ เมื่อสมการค่าของการเคลื่อนตัว u, v, w ของทุก ๆ จุดต่อแล้วคำนวณหาค่าความเครียดย่อยในแต่ละเอลิเมนต์โดยใช้สมการ (2.19) ก่อนนำไปหาค่าความเค้นย่อยโดยใช้สมการ (2.5) ต่อไป

2.5.3ไฟไนต์เอลิเมนต์ในปัจจุบัน

ในปัจจุบันแทบจะพูดได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ได้ผ่านการออกแบบด้วย วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์แทบทั้งนั้น ดังเช่นที่ได้ยกตัวอย่างเอาไว้ตอนต้นเกี่ยวกับ การออกแบบรถยนต์ ที่เรียกได้ว่าไฟไนท์เอลิเมนต์ ได้มีส่วนร่วมแทบทุกชิ้นส่วนเลยทีเดียว ผลิตภัณฑ์พลาสติกก็เช่นกัน ได้มีการนำเอาไฟไนท์เอลิเมนต์ มาศึกษาการไหลของน้ำพลาสติก เพื่อใช้ออกแบบ แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีขนาด รูปทรงที่มีความเที่ยงตรงสูง และมีผิวเรียบสวยงาม



รูปที่ 2.2 การประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในอุตสาหกรรมการบิน

2.6 กลศาสตร์วิศวกรรม

สภาพสมดุลเป็นสภาพที่วัตถุหยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ในทิศทางตรง (ไม่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่) ด้วยความเร็วคงที่ ตามกฎข้อที่สองของนิวตันพบว่า วัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุลได้ เมื่อ Resultant ของทุกๆ แรงและโมเมนต์ที่กระทะกับวัตถุมีค่าเป็น 0 หรือเขียนได้ดังสมการที่ 2.14 ดังนี้

$$\vec{R} = \sum \vec{F} = 0 \text{ และ } \vec{M} = \sum \vec{M} = 0 \qquad (2.28)$$

เนื่องจากวัตถุในธรรมชาติมีลักษณะเป็นสามมิติ ดังนั้นการพิจารณาปัญหาสภาพสมดุล จึงควรคิดเป็นปัญหาสามมิติ อย่างไรก็ตาม ถ้าแรงทุกๆ แรง กระทำในระนาบเดียวกันทั้งหมดจะพิจารณาปัญหาเป็นปัญหาสมดุลในสองมิติได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

2.7.1 การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงชุดโครงสร้างกะบะของเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(ชื่อผู้แต่ง ศุภัชฎา หาญชนะ พ.ศ.2552 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) การออกแบบเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนรูปแบบใหม่นั้นมาจากแนวคิดที่จะทำการรวมหลักการทำงานของรถแทรกเตอร์การเกษตร และรถงา ให้สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องในเครื่องเดียวกัน ซึ่งการเคลื่อนย้ายไม้ท่อนในแต่ละครั้งนั้นเป็นงานที่มีน้ำหนักเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นต้องทำการออกแบบและวิเคราห์ความแข็งแรงของตัวโครงสร้างชุดกระบะเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนเป็น

ขั้นตอนแรกโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช้วยใน 1)การออกแบบขนาดของโครงสร้างชุดกระบะมีความยาวเท่ากับ 6.10 เมตร ความกว้างเท่ากับ 2.00 เมตร 2) การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนต้นแบบจำลองนี้ ประกอบด้วยชิ้นงาน 2 ชิ้น คือ โครงสร้างหลัก และชุดกระบะรองรับไม้ท่อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method, FEM) โดยกำหนดโหลดที่กระทำต่อโครงสร้างหลัก ที่น้ำหนักไม้ท่อนประมาณ 4,500 กิโลกรัม (รวมน้ำหนักกระบะรองรับ) พบว่า ค่าความปลอดภัยของโครงสร้างหลัก มีค่าเท่ากับ 3.14 แสดงว่าเครื่องมือนี้สามารถรองรับน้ำหนักท่อนไม้ได้อย่างปลอดภัยในขนณะทำงานโดยที่ตัวโครงสร้างชุดกระบะจะไม่เกิดการเปลี่ยนรูป จากผลการศึกษางานวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลไปปรับใช้ในการสร้างเป็นเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนต้นแบบจริง

2.7.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องทดสอบแรงดึงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ชื่อผู้แต่ง เดชา สุขมา, สมบัติ มุกดา,เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ, ศิวะพงษ์ ลัมพาภิวัฒน พ.ศ.2555 การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ)

การออกแบบเครื่องทดสอบแรงดึงสำหรับใช้งานในห้องปฏิบัติการ เพื่อการศึกษาคุณสมบัติการต้านทานแรงดึงของวัสดุจำพวกพลาสติก โดยอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design: CAD) โครงสร้างชิ้นส่วนต่างๆ เช่น ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักคานบน และชุดจับยึดชิ้นงาน (Gripper) ชิ้นส่วนต่างๆที่ผ่านการออกแบบจะทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) หากชิ้นส่วนดังกล่าวมีค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: FOS) ต่ำหรือมีค่ามากกว่าที่กำหนดไว้ จะต้องนำกลับไปออกแบบใหม่ (Redesign) เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) สำหรับการรับแรงดึงขนาด 50,000 นิวตัน และชิ้นส่วนบริเวณที่มีค่า FOS มากกว่า 3 จะถูกตัดออกเพื่อลดขนาดและน้ำหนักของโครงสร้างให้น้อยลง ผลจากการจำลอง (Simulation) ชิ้นส่วนโครงสร้างหลักพบว่ามีค่า FOS เท่ากับ 2.3 ค่าความเค้น (Stress) มีค่าสูงสุด บริเวณพื้นที่ส่วนกลางด้านบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 121 N/m^2 ค่าความเครียด (strain) มีค่าสูงสุดบริเวณพื้นที่ส่วนกลางของด้านบน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.45 mm ชิ้นส่วนคานบนพบว่ามีค่า FOS เท่ากับ 1.2 ค่าความเค้นมีค่าสูงสุดบริเวณรูเจาะสำหรับยึดแกนบอลสกรู ซึ่งมีค่าเท่ากับ 240 N/m^2 ค่าความเครียดมีค่าสูงสุดบริเวณขอบเหล็กที่เชื่อมเสริมความแข็งแรง มีค่าเท่ากับ 0.07 mm และสำหรับชุดจับยึดชิ้นงาน พบว่ามีค่า FOS เท่ากับ 2.4 ค่าความเค้นมีค่าสูงสุดบริเวณขอบด้านล่างของสกรู ซึ่งมีค่าเท่ากับ 115 N/m^2 ค่าความเครียดมีค่าสูงสุดบริเวณด้านบนของสกรู ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.023 mm เมื่อนำไปสร้างเครื่องต้นแบบ พบว่า โครงสร้างต่างๆ สามารถรับแรงได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

2.7.3 การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(ชื่อผู้แต่ง ณัฐชยา มุราชัย พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

ปัจจุบันการใช้รถโดยสารในการคมนาคมขนส่งมีบทบาทมากยิ่งขึ้นเนื่องจากมีความสะดวกสบายและราคาประหยดั แต่รถโดยสารนั้นกลับมีระบบความปลอดภัยในระดับค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเข็มขัดนิรภัยเป็นแบบชนิด 2 จุดยึด รวมไปถึงปัญหาความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งจากข้อมูลการสืบค้นสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุเมื่อรถโดยสารได้รับอุบัติเหตุผู้โดยสารที่ได้รับบาดเจ็บส่วนหนึ่งเกิดจากสาเหตุที่เบาะหรือที่นั่งหลุดออกจากจุดยึดทำให้เบาะหรือที่นั่งเคลื่อนที่มารวมกันส่งผลให้ผู้โดยสารได้รับบาดเจ็บสาหัสจนถึงขั้นเสียชีวิต กรมการขนส่งทางบกจึงได้ กำหนดมาตรฐานการทดสอบความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งอ้างอิงตามมาตรฐานยุโรป ECE Regulation No. 80 งานวิจัยนี้จึงได้นำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วย ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งเพื่อลดเวลาในการทดสอบจริงอีกทั้งยังประหยดัและง่ายต่อการปรับปรุงจุดยึดที่นั่งให้มีความแข็งแรงตามมาตรฐานก่อนนำไปทดสอบจริง ซึ่งจากการศึกษาวิจยัพบว่าจุดยึดที่นั่งของรถโดยสารยังมีความแข็งแรงไม่เพียงพอต่อมาตรฐานการทดสอบ จุดยึดที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ซึ่งจุดยึดที่นั่งเข้ากับพื้นมีค่าความเค้นวอนมิสเซสมากกว่า ค่าความเค้นคราก จึงได้ปรับปรุงจุดยึดที่นั่งรถโดยสารด้วยวิธีออกแบบการทดลองที่ทำให้ได้ปัจจัย ในการปรับปรุงจุดยึดที่นิ่งที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเค้นวอนมิสเซสของจุดยึดที่นั่ง การปรับปรุงโดยใช้ปัจจัยเหล่านี้ทำให้จุดยึดที่นั่งมีความแข็งแรงผ่านตามมาตรฐานการทดสอบ จุดยึดที่นั่งของรถโดยสารขนาดใหญ่

บทที่ 3
รายละเอียดการปฏิบัติงาน

รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ จะกล่าวถึง ชื่อ-ที่ตั้ง ของสถานประกอบการ ลักษณะโดยรวมของสถานประกอบการ รูปแบบการบริหารองค์กร ตำแหน่งงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน ขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานโครงการสหกิจ

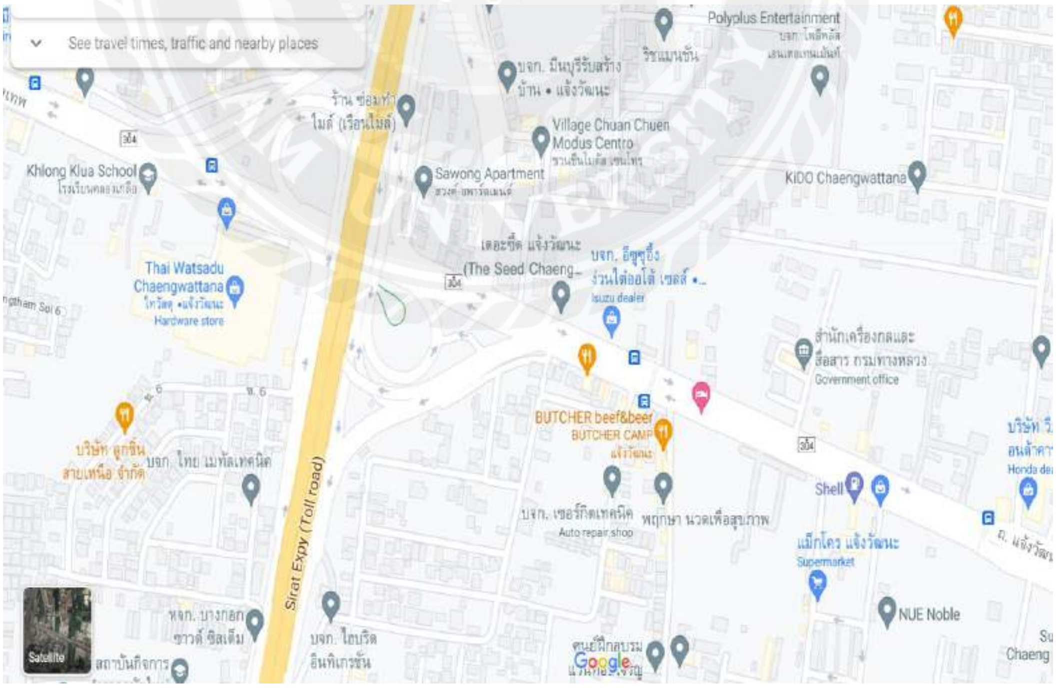
3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

ชื่อหน่วยงาน : สำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง

สถานที่ตั้งหน่วยงาน : 4324 ซอย แจ้งวัฒนะ-ปากเกร็ด 35 ตำบลคลองเกลือ อำเภอปากเกร็ด นนทบุรี 11120

รายละเอียดหน่วยงาน : เป็นหน่วยงานซึ่งทำหน้าที่ซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลของกรมทางหลวง โดยได้เงินทุนหมุนมาจากการให้เช่าเครื่องจักรกลแก่หน่วยงานต่างๆ และนำเงินนั้นมาบริหารจัดการหมุนเวียน เพื่อซ่อมบำรุงเครื่องจักรกลหรือจัดซื้อเครื่องจักรกลใหม่

โทรศัพท์ : 02-575-0300



รูปที่ 3.1 ที่ตั้งสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง

รูปที่ 3.2 ตราสัญลักษณ์ของสำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง

รูปที่ 3.3 สถานที่ปฏิบัติงาน

3.2ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน

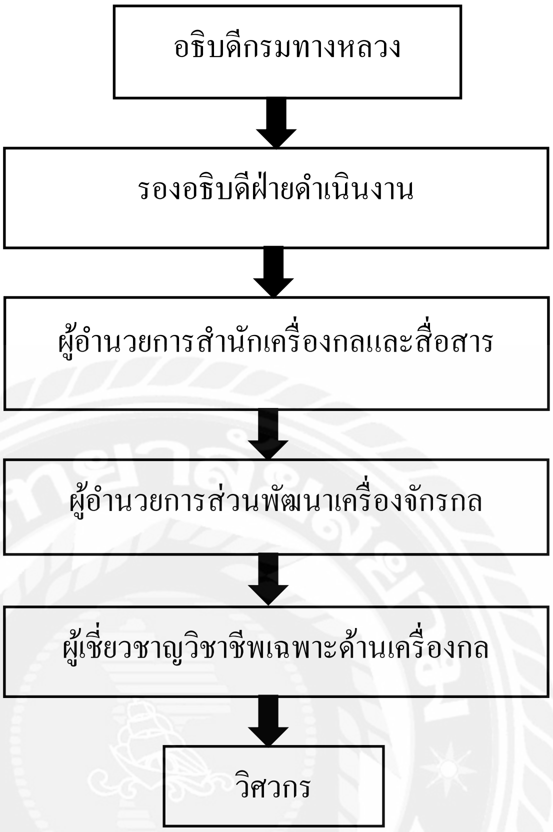
ชื่อโครงการ : การวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

ที่ตั้ง : 43 24 ซอย แจ้งวัฒนะ-ปากเกร็ด 35 ตำบลคลองเกลือ อำเภอปากเกร็ด นนทบุรี 11120

จุดเด่น : หน่วยงานราชการ

3.3 รูปแบบการจัดองค์การและบริหารงานขององค์กร

สำนักเครื่องกลและสื่อสาร กรมทางหลวง



รูปที่ 3.4 โครงสร้างการบริหารของหน่วยงานที่สังกัด

3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่นักศึกษาได้รับหมอบหมาย

ตำแหน่งงานที่นักศึกษารับผิดชอบ : ผู้ช่วยวิศวกรเครื่องกล

ลักษณะงานที่นักศึกษารับผิดชอบ : ตรวจสอบงานที่สร้างขึ้น

3.5 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

ชื่อพนักงานที่ปรึกษา : นาย จักรพงค์ แกล้วกล้า

ตำแหน่ง : วิศวกร

แผนก : ผู้เชี่ยวชาญวิชาชีพเฉพาะด้านเครื่องกล ส่วนพัฒนาเครื่องจักรกล

3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

เริ่มปฏิบัติงาน : วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ.2564

สิ้นสุดการปฏิบัติงาน : วันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ.2564

3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.7.1 ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง

สอบถามถึงหัวข้อโครงงานในหัวเรื่องต่างๆที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม

3.7.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

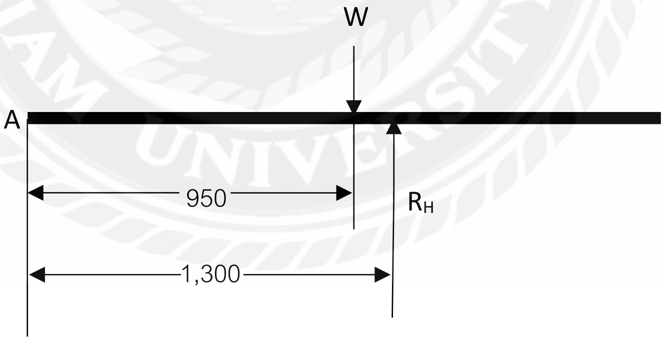
ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและรายละเอียดต่างๆของรถดั้มพ์

3.7.3 ตั้งหัวข้อโครงงาน

หาหัวข้อโครงงานโดยปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาถึงความเป็นไปได้ในโครงงานรวมถึงขอคำชี้แนะในการเจอปัญหาในการทำโครงงาน

3.7.4 คำนวณหาแรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์

คำนวณหาแรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์ โดยแรงคือน้ำหนักของวัสดุบรรทุก กระบะ และกระบอกไฮดรอลิกส์ รวมเป็นน้ำหนัก 2,300 กิโลกรัม หรือคำนวณเป็นแรง 22,563 นิวตัน และใช้มุมยกเทในการหาแรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์ที่มุม 0 องศา, 10 องศา, 20 องศา, 30 องศา, 40 องศา และ50 องศา



รูปที่ 3.5 แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อกระบะ

หา R_H ที่มุมยก 0 องศา

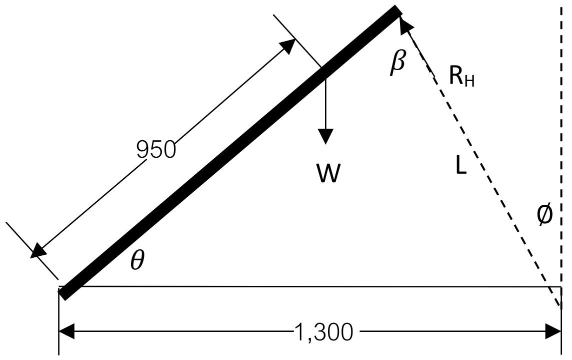
$\circlearrowleft \sum M_A = 0;$ $R_H(1300) - (2300)(950) = 0$

$R_H(1300) - 2185000 = 0$

$R_H = 2185000/1300$

$R_H = 1,680.77$ กิโลกรัม

หรือ 16,488.35 นิวตัน



รูปที่ 3.6 แรงปฏิกิริยาที่กระทำต่อกระบะขณะยกเท

หา R_H จาก $(R_H \cos \emptyset)(1300) - (2300)(950 \cos \theta) = 0$

หาระยะชัก จาก $$\frac{1300}{\sin \beta} = \frac{L}{\sin \theta}$$

หา R_H ที่มุมยก 10 องศา

$\curvearrowleft \sum M_A = 0;$ $(R_H \cos 5^\circ)(1300) - (2300)(950 \cos 10^\circ) = 0$

$R_H(1295.05) - 2151804.94 = 0$

$R_H = 1,661.56$ กิโลกรัม

หรือ 16,299.90 นิวตัน

ระยะชัก $$\frac{1300}{\sin 85^\circ} = \frac{L}{\sin 10^\circ}$$

L = 226.60 มิลลิเมตร

หา R_H ที่มุมยก 20 องศา

$\curvearrowleft \sum M_A = 0;$ $(R_H \cos 10^\circ)(1300) - (2300)(950 \cos 20^\circ) = 0$

$R_H(1280.25) - 2053228.38 = 0$

$R_H = 1,603.77$ กิโลกรัม

หรือ 15,732.98 นิวตัน

ระยะชัก $$\frac{1300}{\sin 80^\circ} = \frac{L}{\sin 20^\circ}$$

L = 451.49 มิลลิเมตร

หา R_H ที่มุมยก 30 องศา

$\curvearrowleft \sum M_A = 0;$ $(R_H \cos 15^\circ)(1300) - (2300)(950 \cos 30^\circ) = 0$

$R_H(1255.70) - 1892265.51 = 0$

$R_H = 1,506.94$ กิโลกรัม

หรือ 14,783.08 นิวตัน

ระยะชัก $$\frac{1300}{\sin 75^\circ} = \frac{L}{\sin 30^\circ}$$

L = 672.93 มิลลิเมตร

หา R_H ที่มุมยก 40 องศา

$\circlearrowleft \sum M_A = 0;$ $$(R_H \cos 20^\circ)(1300) - (2300)(950 \cos 40^\circ) = 0$$

$$R_H(1221.60) - 1673807.11 = 0$$

R_H = 1,370.18 กิโลกรัม

หรือ 13,441.47 นิวตัน

ระยะชัก $$\frac{1300}{\sin 70^\circ} = \frac{L}{\sin 40^\circ}$$

L = 889.25 มิลลิเมตร

หา R_H ที่มุมยก 50 องศา

$\circlearrowleft \sum M_A = 0;$ $$(R_H \cos 25^\circ)(1300) - (2300)(950 \cos 50^\circ) = 0$$

$$R_H(1179.20) - 1404490.93 = 0$$

R_H = 1,191.05 กิโลกรัม

หรือ 11,684.20 นิวตัน

ระยะชัก $$\frac{1300}{\sin 65^\circ} = \frac{L}{\sin 50^\circ}$$

L = 1,098.81 มิลลิเมตร

3.7.5 วิเคราะห์กราฟของแรงกระทำสูงสุด ระยะชัก และมุม

วาดกราฟของแรงกระทำสูงสุดกับมุม และระยะชักกับมุม แล้ววิเคราะห์กราฟว่ามีความสัมพันธ์อย่างไร

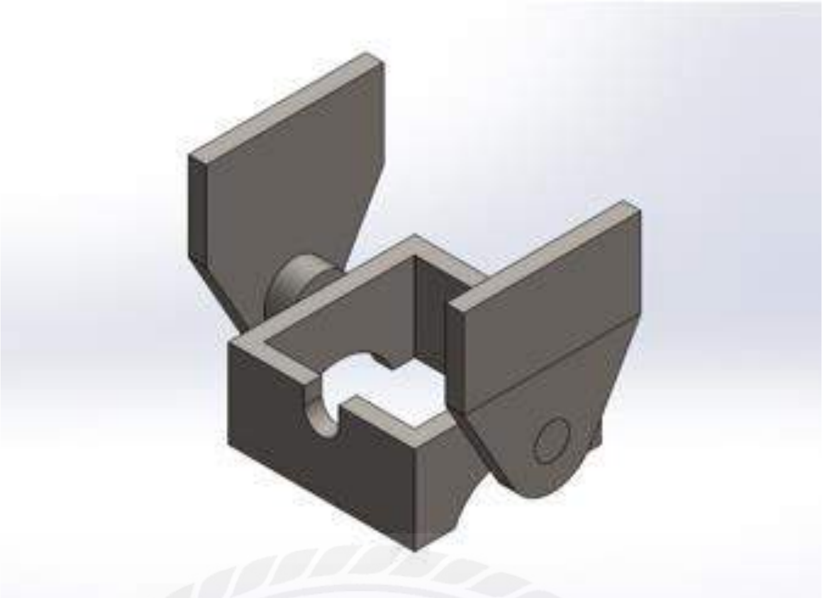
3.7.6 หามุมและแรงกระทำสูงสุดต่อกระบอกไฮดรอลิกส์

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับมุมยกด้านบน พบว่า แรงกระทำสูงสุดเท่ากับ 1,680.77 กิโลกรัม หรือ 16,488.35 นิวตัน อยู่ที่มุม 0 องศา ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงกระทำสูงสุดต่อกระบอกไฮดรอลิกส์จะอยู่ในช่วงกำลังจะยกนั่นเอง จากนั้นเอาแรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์นั้นมาวิเคราะห์ความแข็งแรง

3.7.7 ทดสอบความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์

3.7.7.1 กดเข้าไปในโปรแกรมสำเร็จรูป

3.7.7.2 วาดจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์

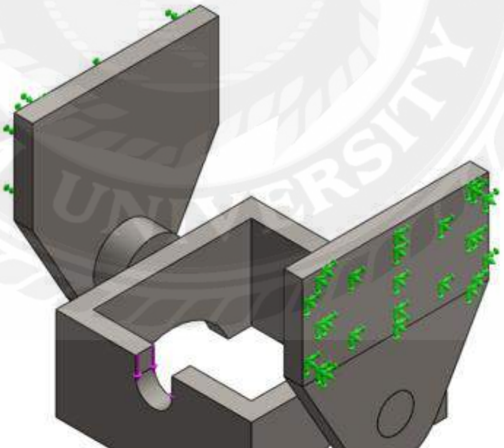


รูปที่ 3.7 จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์

3.7.7.3 กำหนดชนิดของเหล็ก

3.7.7.4 ใส่จุดยึดชิ้นงาน

3.7.7.5 กำหนดน้ำหนักที่กระทำต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์ที่น้ำหนัก 1,680.77กิโลกรัม หรือ 16,488.35 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงกระทำสูงสุด



รูปที่ 3.8 จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์ พร้อมใส่จุดยึดและแรงกระทำ

3.7.7.6 วิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.7.8 รวบรวมข้อมูลและสรุป

รวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องเพื่อสรุปผลและจัดทำรายงาน

3.8 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ขั้นตอนและการดำเนินงาน	พ.ค.64	มิ.ย.64	ก.ค.64	ส.ค.64
ศึกษาข้อมูล	←———	———→		
รับหมอบหมายหัวข้อโครงงาน		←———→		
วิเคราะห์ข้อมูล		←———	———→	
ทดสอบระบบ			←———→	
สรุปผลและปรับปรุง			←———	———→
จัดทำเอกสาร				←———→

3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

ฮาร์ดแวร์

1.เครื่องคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Lenovo

2.โทรศัพท์มือถือ ยี่ห้อ Samsung

3. เครื่องคิดเลข ยี่ห้อ Casio

ซอฟต์แวร์

1.โปรแกรม Microsoft Word

2.โปรแกรม Microsoft Power Point

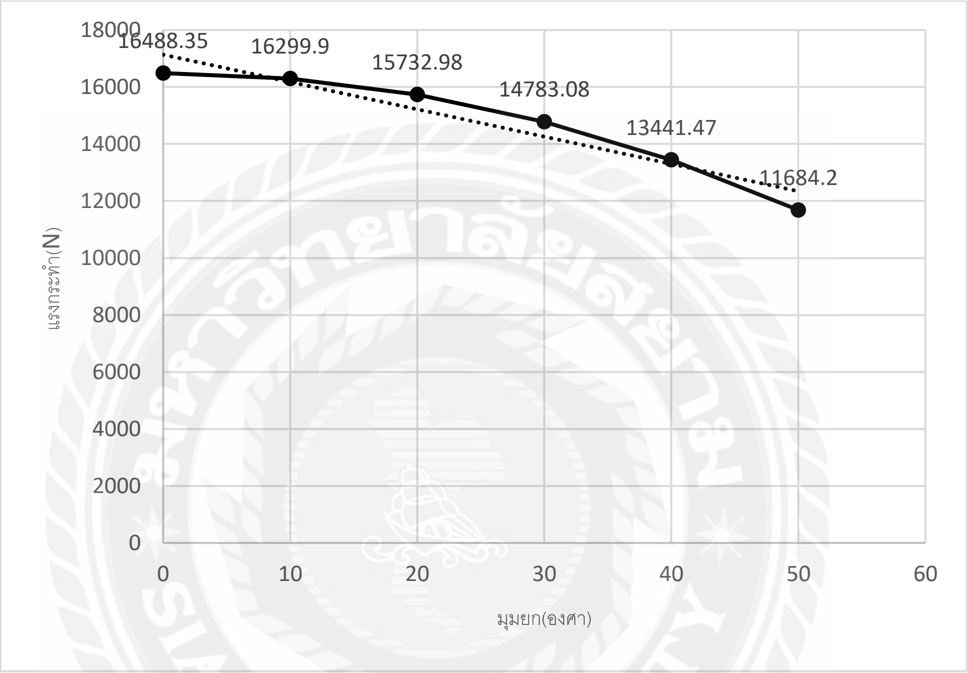
3. โปรแกรมสำเร็จรูป

SIAM UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการปฏิบัติงานตามโครงงาน

4.1 ผลการปฏิบัติงานหาแรงกระทำสูงสุด

เมื่อนำแรงกระทำและมุมยกมาวาดกราฟ พบว่า แนวโน้มของกราฟจะค่อยๆลดลง ทำให้เห็นได้ว่า เมื่อมีมุมยกที่มากขึ้น จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะรับแรงน้อยลง

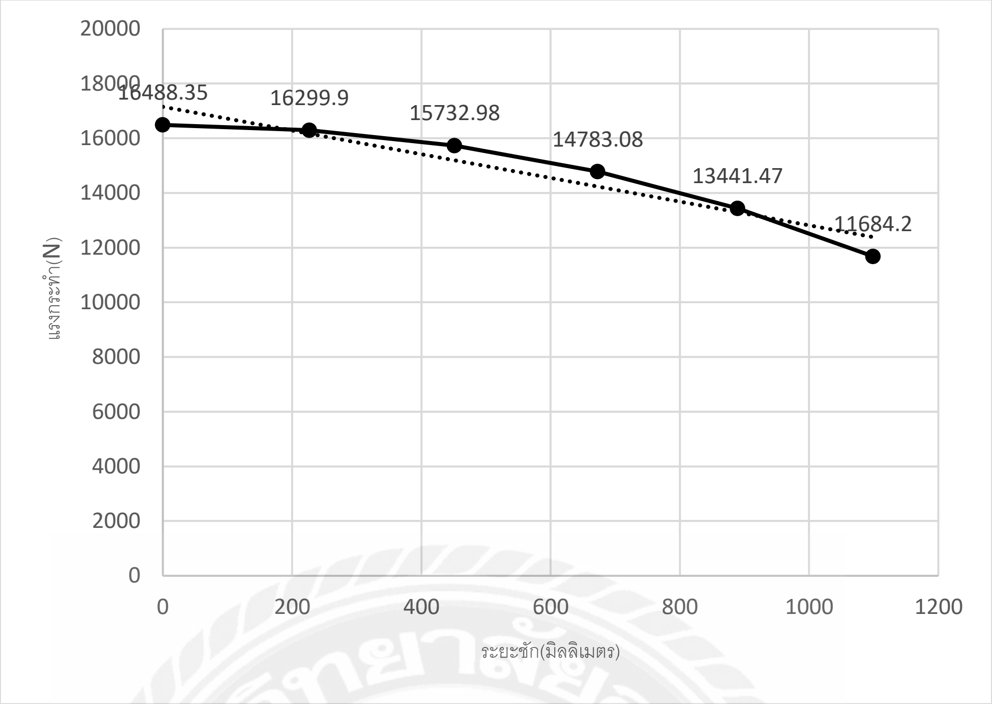


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับมุมยก

และจากการศึกษาแรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์ที่มุมยกต่างๆเพื่อแสดงว่าแรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์มีค่าเท่าไร และอยู่ที่มุมไหน ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟแรงกระทำกับมุมยก พบว่า แรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์มีค่าเท่ากับ 1,680.77 กิโลกรัม หรือ 16,488.35 นิวตัน อยู่ที่มุม 0 องศา จากความสัมพันธ์นี้ทำให้เห็นได้ว่า แรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะอยู่ในช่วงกำลังจะยกนั้นเอง

4.2 ผลการปฏิบัติงานหาความสัมพันธ์ระยะชักและมุมยก

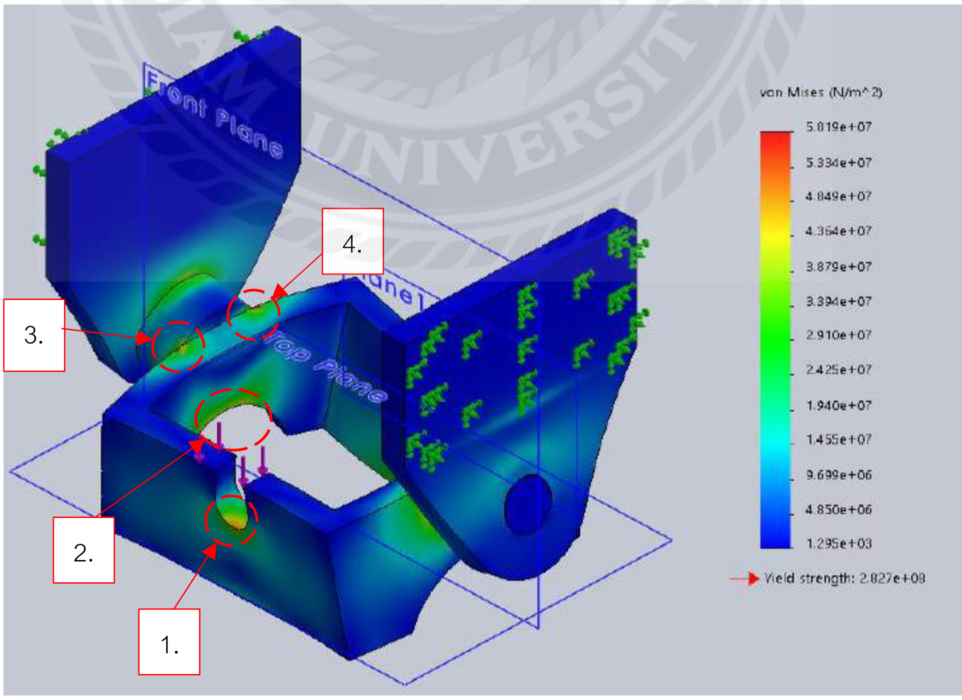
เมื่อนำแรงกระทำและระยะชักมาวาดกราฟ พบว่า แนวโน้มของกราฟจะค่อยๆลดลง ทำให้เห็นได้ว่า เมื่อมีระยะชักที่ยาวมากขึ้น จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะรับแรงน้อยลง



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับระยะชัก

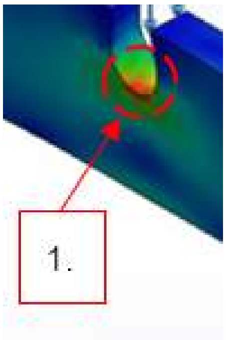
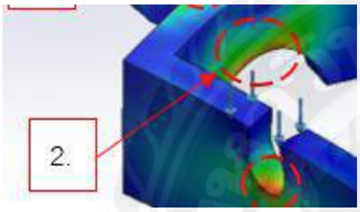
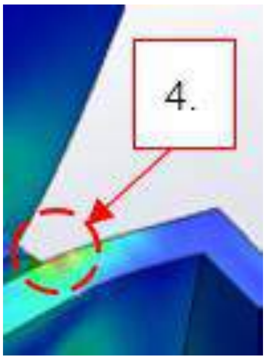
4.3 ผลการปฏิบัติงานวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์

4.3.1 ความเค้นค่าสูงสุดอยู่ที่ค่า 58.19 MPa ค่าความแข็งแรงคราก 282.70 MPa

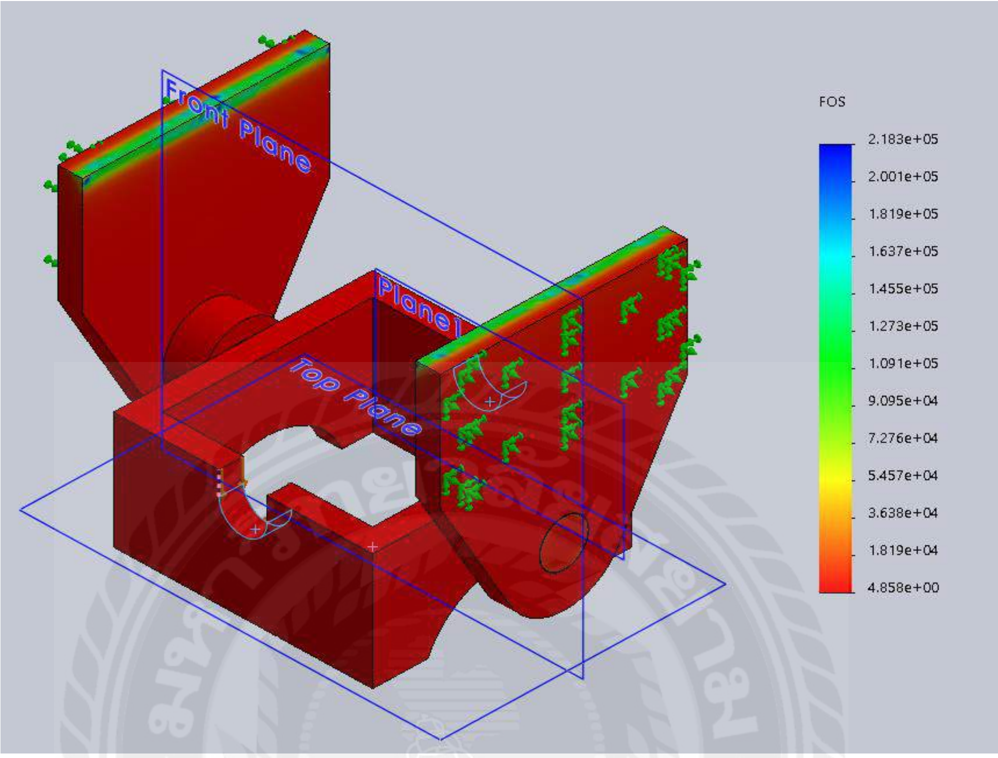


รูปที่ 4.3 ภาพแสดงค่าความเค้น

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งของชิ้นส่วนที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด

ภาพผลการวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุด	**คำอธิบาย**
	จากรูปด้านซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าว เป็นจุดยึดที่ติดกับกระบอกไฮดรอลิกส์ มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดอยู่ที่ค่า 58.19 MPa แต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 283.70 MPa หมายความว่า ชิ้นงานเริ่มยืดตัว แต่ยังไม่เสียรูปร่าง เพราะค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดยังไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก
	จากรูปด้านซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าว เป็นจุดรับน้ำหนักด้านล่างของจุดยึดที่ติดกับกระบอกไฮดรอลิกส์ มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดอยู่ที่ค่า 58.19 MPa แต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 283.70 MPa หมายความว่า ชิ้นงานเริ่มยืดตัว แต่ยังไม่เสียรูปร่าง เพราะค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดยังไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก
	จากรูปด้านซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าว เป็นจุดรับน้ำหนักด้านบนของจุดยึดที่ติดกับกระบอกไฮดรอลิกส์ด้านหน้า มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดอยู่ที่ค่า 58.19 MPa แต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 283.70 MPa หมายความว่า ชิ้นงานเริ่มยืดตัว แต่ยังไม่เสียรูปร่าง เพราะค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดยังไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก
	จากรูปด้านซ้ายผลการวิเคราะห์พบว่าที่ตำแหน่งดังกล่าว เป็นจุดรับน้ำหนักด้านบนของจุดยึดที่ติดกับกระบอกไฮดรอลิกส์ด้านหลัง มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดอยู่ที่ค่า 58.19 MPa แต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 283.70 MPa หมายความว่า ชิ้นงานเริ่มยืดตัว แต่ยังไม่เสียรูปร่าง เพราะค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดยังไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก

4.3.2 ค่าความปลอดภัย (FOS) ค่าสูงสุดอยู่ที่ค่า 4.9 ซึ่งเป็นค่าความปลอดภัยที่อยู่ในช่วงมาตรฐาน ดังนั้นเมื่อใช้แรงกระทำสูงสุดระดับนี้ ชิ้นงานจะไม่เกิดการเปลี่ยนรูป



รูปที่ 4.4 ภาพแสดงค่าความปลอดภัย (FOS)

SIAM UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

รถบรรทุกยกเท หรือ รถดั้มพ์ โดยทั่วไปมีกระบะเปิดโล่งซึ่งติดตั้งบานพับไว้ด้านหลังและติดตั้งแคร่ไฮดรอลิกส์เพื่อยกด้านหน้า ทำให้วัสดุบนกระบะถูกเททิ้งบนพื้นด้านหลังรถบรรทุกที่สถานที่จัดส่ง โดยวัสดุบรรทุก กระบะและกระบอกไฮดรอลิกส์จะเป็นส่วนที่กดน้ำหนักลงบนจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ หากจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ไม่แข็งแรงอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุในขณะใช้งานได้ ดังนั้นจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์จึงเป็นจุดที่ข้าพเจ้าสนใจและนำมาพิจารณาความแข็งแรงในรายงานนี้ โดยพิจารณาความแข็งแรงเพื่อดูว่ามีความเหมาะสมในการออกแบบตามหลักวิศวกรรมหรือไม่ ดังนั้นจึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการพิจารณาเพราะสะดวกและสามารถประมวลผลได้เร็ว

ในการวิเคราะห์เริ่มจากศึกษาคุณสมบัติของเหล็ก SS400 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป ทฤษฎีค่าความปลอดภัย ไฟไนต์เอลิเมนต์ กลศาสตร์วิศวกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คืออะไร มีอะไรบ้าง จากนั้นทำการศึกษาแบบของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ที่ออกแบบโดยกรมทางหลวง โดยศึกษาหาแรงกระทำสูงสุดที่กระทำต่อจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์จากมุมยก 0 – 50 องศา ที่เลือกจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์มาพิจารณาเนื่องจากเป็นจุดที่รับแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุก กระบะ และกระบอกไฮดรอลิกส์ ซึ่งเสี่ยงต่อการเสียหายมากที่สุด หลังจากนั้นนำแรงกระทำสูงสุดที่ได้มาใช้วิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ มีดังต่อไปนี้

จากการศึกษาแรงที่กระทำต่อกระบอกไฮดรอลิกส์ที่มุมยกต่างๆเพื่อแสดงว่าแรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์มีค่าเท่าไร และอยู่ที่มุมไหน ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์กราฟแรงกระทำกับมุมยก พบว่า แรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์มีค่าเท่ากับ 1,680.77 กิโลกรัม หรือ 16,488.35 นิวตัน อยู่ที่มุม 0 องศา

ตารางที่ 5.1 การเลือกมุมยกและแรงกระทำ

มุมยก(องศา)	แรงกระทำ(นิวตัน)
0	16,488.35
10	16,299.90
20	15,732.98
30	14,783.08
40	13,441.47
50	11,684.20

ที่เลือกมุมยกและแรงกระทำดังนี้เพราะเป็นจุดที่รับแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุก กระบะและกระบอกไฮดรอลิกส์ มากที่สุดในขณะยกเท

จากความสัมพันธ์นี้ทำให้เห็นได้ว่า แรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะอยู่ในช่วงกำลังจะยกนั้นเอง

ส่วนต่อมา เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับมุมยก พบว่า เมื่อมีมุมยกที่มากขึ้น จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะรับแรงน้อยลง

และเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงกระทำกับระยะชัก พบว่า เมื่อมีระยะชักที่ยาวมากขึ้น จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์จะรับแรงน้อยลง

ส่วนในการวิเคราะห์ความแข็งแรงนั้น ได้ใช้แรงกระทำสูงสุดต่อจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์มีค่าเท่ากับ 1,680.77 กิโลกรัม หรือ 16,488.35 นิวตันมาวิเคราะห์ และวิเคราะห์ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดทั้งหมด 4 จุด ซึ่งผลการคือ ตำแหน่งที่มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดอยู่ที่ค่า 58.19 MPa แต่ไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก 283.70 MPa หมายความว่า ชิ้นงานเริ่มยืดตัวแต่ยังไม่เสียรูปร่าง เพราะค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดยังไม่เกินค่าความแข็งแรงครากและความแข็งแรงของวัสดุ

ส่วนค่าความปลอดภัย (FOS) ค่าสูงสุดอยู่ที่ค่า 4.9 ซึ่งเป็นค่าความปลอดภัยที่อยู่ในช่วงมาตราฐาน ดังนั้นเมื่อใช้แรงกระทำสูงสุดระดับนี้ ชิ้นงานจะไม่เกิดการเปลี่ยนรูป

หลังจากที่ได้ผลจาการวิเคราะห์ ให้นำผลการวิคราะห์ที่ได้ทั้งหมดมาเขียนสรุป เขียนข้อเสนอแนะ และจัดเรียงทำเป็นเล่มโครงานจนเสร็จสิ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบควรออกแบบให้มีค่าความเค้นฟอนมิสเซสสูงสุดไม่เกินค่าความแข็งแรงคราก และค่าความแข็งแรงวัสดุ เพราะชิ้นงานจะแค่เริ่มยืดตัว แต่ยังไม่เสียรูปร่าง จึงไม่เกิดความเสียหายขณะใช้งาน

ในการออกแบบควรออกแบบให้มีค่าความปลอดภัยของชิ้นงานอยู่ในช่วงค่าความปลอดภัยมาตรฐาน เพราะจะทำให้ชิ้นงานใช้งานได้ดีและไม่เกิดความเสียหายขณะใช้งาน

เพื่อเพิ่มค่าความปลอดภัยให้มากขึ้น อาจเปลี่ยนวัสดุจาก SS 400 เป็น Cold Drawn Steel ซึ่งวัสดุที่มีค่าความปลอดภัยมากขึ้น หมายความว่าวัสดุนั้นมีความแข็งแรงมากขึ้นตามด้วย

บรรณานุกรม

ณัฐชยา มุราชัย. (2556). *การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของจุดยึดที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์*. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เดชา สุขมา, สมบัติ มุกดา,เอกสิทธิ์ ชนินทรภูมิ, ศิวะพงษ์ ลัมพาภิวัฒน์. (2555). *การวิเคราะห์ความแข็งแรงของเครื่องทดสอบแรงดึงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์*. เพชรบุรี: การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ).

บริษัท เหล็กทรัพย์ จำกัด. *แคลตาล็อกเหล็ก*. เข้าถึงได้จาก https://www.zubbsteel.com/ wp-content/uploads/2019/03/Zubbsteel_catalog.pdf

บริษัท ไชยเจริญเทค จำกัด. *เหล็กคืออะไร? ความรู้เรื่องเหล็ก และประเภทของเหล็กที่น่าสนใจ*. เข้าถึงได้จาก https://www.chi.co.th/article/article-831/

ปกรณ์ บุราคร. (2556). *การวิเคราะห์ความแข็งแรงและปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งสำหรับรถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์*. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ศุภัชฎา หาญชนะ. (2552). *การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงชุดโครงสร้างกะบะของเครื่องมือเคลื่อนย้ายไม้ท่อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์*. กรุงเทพฯ: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

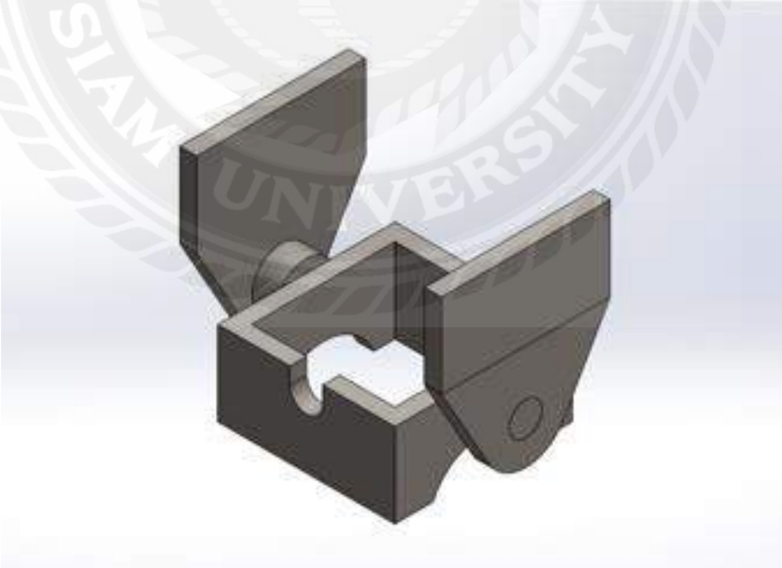
วิธีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

1. เปิดโปรแกรม Solid Work

2. เลือกคำสั่ง New

3. เลือกคำสั่ง Part

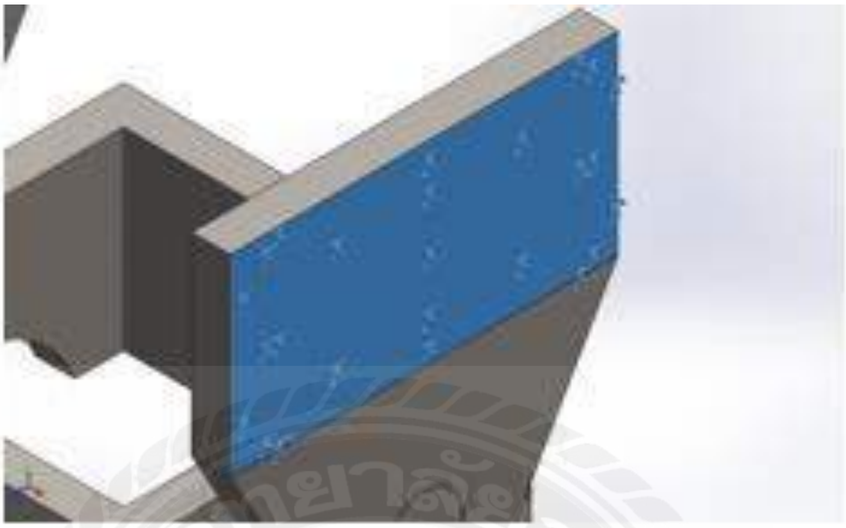
4. สร้างชิ้นงานจากคำสั่ง Sketch และ Feature จะได้ชิ้นงานดังนี้



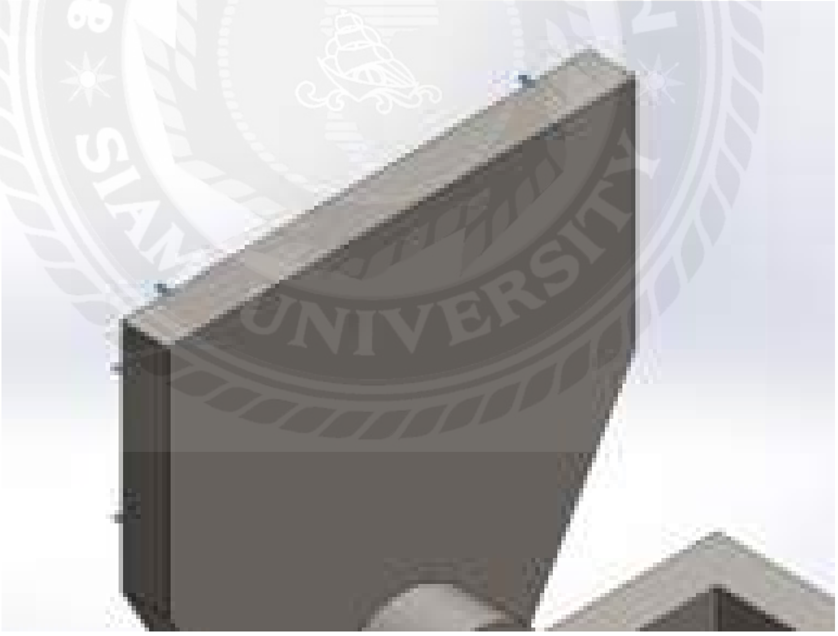
รูปที่ 1 ภาพจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

5. เปิดคำสั่ง Simulation

6. กำหนดจุดคงที่จากคำสั่ง Fixture

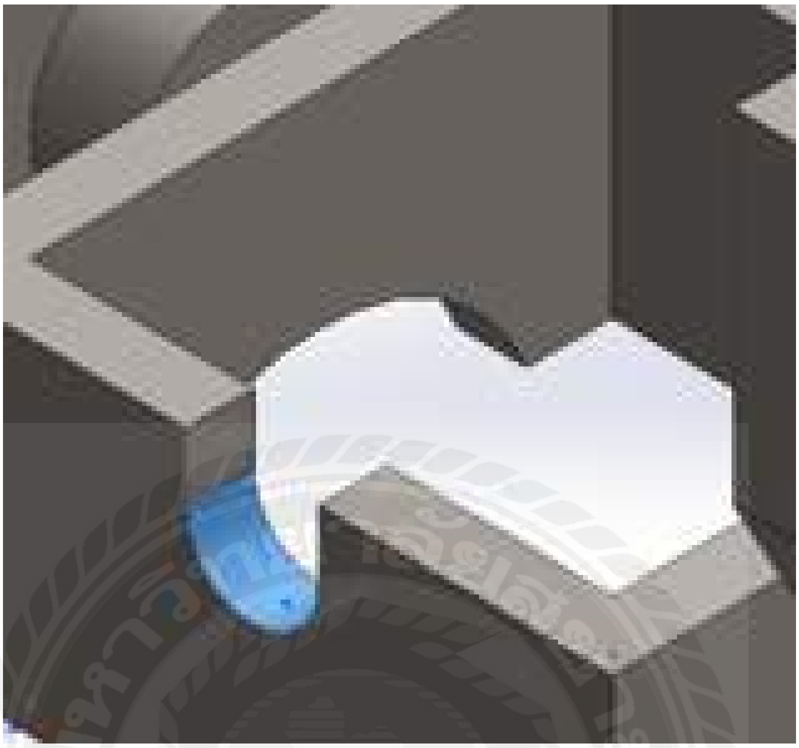


รูปที่ 2 ภาพการกำหนดจุดคงที่ข้างซ้ายของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์



รูปที่ 3 ภาพการกำหนดจุดคงที่ข้างขวาของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

7. กำหนดแรงด้วยคำสั่ง External Loads



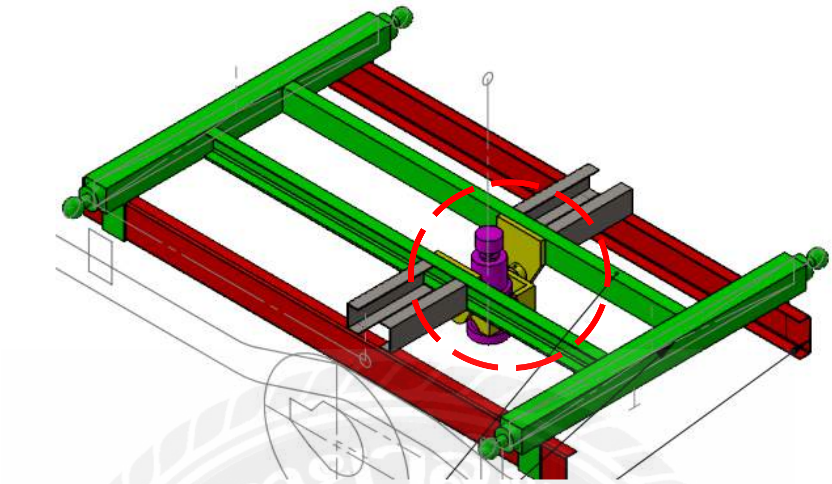
รูปที่ 4 ภาพการกำหนดแรงของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์

กำหนดชนิดของวัสดุ

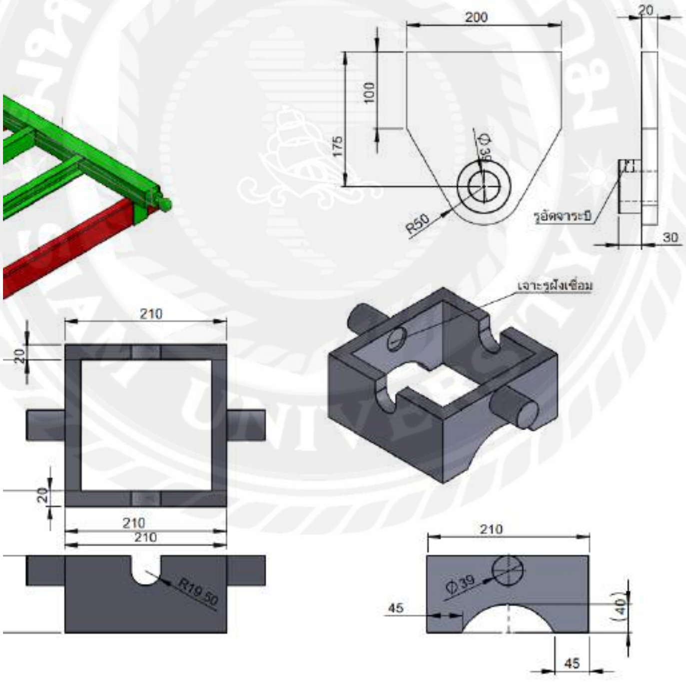
ทำการ Simulation ด้วยคำสั่ง Run This Study

ภาคผนวก ข.

ภาพประกอบ



รูปที่ 5 กระบอกไฮดรอลิกส์และจุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์



รูปที่ 6 จุดยึดด้านล่างกระบอกไฮดรอลิกส์

ภาคผนวก ค.

ภาพประกอบการประกอบงาน

รูปที่ 7 นักศึกษาและพนักงานร่วมถ่ายภาพภายในด้านหน้าสำนักงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา

รูปที่ 8 นักศึกษาและพนักงานร่วมถ่ายภาพภายในโรงซ่อมเครื่องจักรกล3 กับอาจารย์ที่ปรึกษา

ประวัติผู้จัดทำ

รหัสนักศึกษา	6224120001
ชื่อ-นามสกุล	ลักษิกา อู่สุวรรณ
อีเมล์	Godengarage@gmail.com
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ที่อยู่	46 เพชรเกษม 52 แยก 5 แขวงบางด้วน เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160
ผลงาน	การวิเคราะห์ความเค้นและค่าความปลอดภัยของจุดยึดด้านล่างของกระบอกไฮดรอลิกส์
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษา ป.1-ป.6 โรงเรียนวัดจันทร์ประดิษฐาราม มัธยมศึกษา ม.1-ม.6 โรงเรียนวัดนวลนรดิศ ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสยาม