



## รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การออกแบบเพื่อลดต้นทุนและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของฐานรองรับปั้มน้ำประปา

**Design and Cost Reduction and Analysis of Safety for Support Pump**

โดย

นาย มณฑล ผลคิมหันต์ 6103100001

นาย ทศนเทพ อุดมสวัสดิ์ 6103100004

นาย สมโชค วงษ์มงคล 6103100005

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

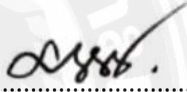
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

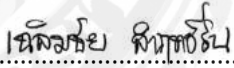
ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2563

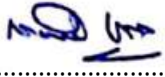
หัวข้อโครงการ : การออกแบบ เพื่อลดต้นทุนและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของ  
ฐานรองรับบิ๊มน้ำประปา  
รายชื่อผู้จัดทำ : นาย มณฑล ผลคิมหันต์ 6103100001  
: นาย ทศนเทพ อุดมสวัสดิ์ 6103100004  
: นาย สมโชค วงษ์มังกล 6103100005  
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา : 3/2563  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

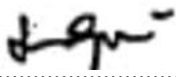
อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ภาควิชา  
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 3/2563

คณะกรรมการการสอบโครงการ

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย)

  
..... พนักงานที่ปรึกษา  
(นาย เฉลิมชัย สำฤทธิริน)

  
..... กรรมการกลาง  
(อ. สมบัติ หิรัญวรรณพงษ์)

  
..... ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา  
(ผศ.ดร. มารุจ ลิ้มปะวัตนะ)

หัวข้อโครงการ : การออกแบบ เพื่อลดต้นทุนและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของ  
ฐานรองรับปั้มน้ำประปา

รายชื่อผู้จัดทำ : นาย มณฑล ผลคิมหันต์ 6103100001  
: นาย ทศนเทพ อุดมสวัสดิ์ 6103100004  
: นาย สมโชค วงศ์มงคล 6103100005

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 3/2020

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

### บทคัดย่อ

ในการออกแบบและลดต้นทุนฐานรองรับเครื่องสูบน้ำประปา โดยใช้เหล็กรงน้ำขนาด 150x75x6.50 mm. โดยมีภาระที่กระทำต่อฐานรองรับเครื่องสูบน้ำเท่ากับ 245.25 N และฐานรองรับมอเตอร์ เท่ากับ 3,825.90 N โดยทาง บริษัท ไฟฟ้าไลน์ จำกัด ได้มอบหมายให้ตรวจสอบค่าความปลอดภัยและระยะ โกงของฐานรองรับ จากผลการวิเคราะห์พบว่าฐานรองรับเครื่องสูบน้ำประปาที่ติดตั้งหน้างาน มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 146.253 และระยะ โกงตัวเท่ากับ 0.108 mm. ราคา 11,346 บาท จากนั้นออกแบบฐานรองรับใหม่และทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป มีทั้งหมด 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 เหล็กรงน้ำขนาด 125x65x6.00 mm. มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 87.394 และระยะ โกงตัวเท่ากับ 0.149 mm. ราคา 8,708.85 บาท

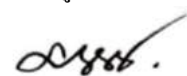
แบบที่ 2 เหล็กรงน้ำขนาด 100x50x5.00 mm. มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 49.111 และระยะ โกงตัวเท่ากับ 0.164 mm. ราคา 6,404.28 บาท

แบบที่ 3 เหล็กรงน้ำขนาด 75x40x5.00 mm. มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 26.450 และระยะ โกงตัวเท่ากับ 0.159 mm. ราคา 4,791.00 บาท

สรุปจากผลการวิเคราะห์เลือกใช้ฐานรองรับเครื่องสูบน้ำประปาที่ออกแบบใหม่ ที่ใช้เหล็กรงน้ำขนาด 75x40x5.00 mm จะลดต้นทุนได้ 6,555 บาทเมื่อเทียบกับฐานรองรับเครื่องสูบน้ำประปาที่ติดตั้งหน้างาน

คำสำคัญ : โครงสร้าง / ออกแบบ / วิเคราะห์ / ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้ตรวจ



**Project Title** : Cost reduction for support water pump

**By** : Mr. Monton Ponkimhun 6103100001  
: Mr. Tasnathep Udomsawat 6103100004  
: Mr. Somchok Wongmongkoa 6103100005

**Advisor** : Dr. Chanchai Wiroonritichai

**Degree** : Bachelor of Engineering

**Major** : Mechanical Engineering

**Faculty** : Engineering

**Semester / Academic Year** : 3/2020

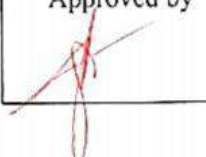
### Abstract

In the design and cost reduction of the water supply pump base, using a steel gutter size 150x75x6.50 mm with the load acting on the pump base equal to 245.25 N and the motor base equal to 3,825.90 N, the Pipeline Company Limited was assigned to check the safety value and the deflection distance of the support base. From the results of the analysis, it was found that the base for the water supply pump installed on site had a security value of 146.253 and the deflection distance was 0.108 mm at 11,346 Baht. They designed a new support base and analyzed it using a ready-made program to produce 3 types: 1) Type 1 Steel gutter size 125x65x6.00 mm, safety value 87.394 and deflection distance 0.149 mm, at 8,708.85 Baht; 2) Type 2 Steel gutter size 100x50x5.00 mm with safety value of 49.111 and deflection distance of 0.164 mm at 6,404.28 Baht; 3) Type 3 Steel gutter size 75x40x5.00 mm with safety value of 26.450 and deflection distance of 0.159 mm at 4,791.00 Baht.

In conclusion, from the analysis results, the newly designed pump support base was selected. It used a steel gutter size 75x40x5.00 mm and reduced the cost of 6,555 Baht, compared to the base to support the water supply pump installed on site.

**Keywords:** Structure / Design / Analysis / Finite Element

Approved by



## กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท ไฟฟ้าไลน์ จำกัด ตั้งแต่วันที่ 19 พฤษภาคม 2564 ถึงวันที่ 28 สิงหาคม 2564 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้ และประสบการณ์ต่าง ๆ ที่ค่ามากกว่าสำหรับรายงานสหกิจศึกษานับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

นาย เฉลิมชัย สำฤทธิริน

วิศวกรงานระบบ (Engineer)

และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล และเป็นปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้การดูแล และให้ความเข้าใจกับชีวิตของการทำงานจริงซึ่งผู้จัดทำ/คณะจัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นาย มณฑล ผลคิมหันต์

นาย ทศนเทพ อุดสวัสดิ์

นาย สมโชค วงษ์มงคล

19 พฤษภาคม 2564

## สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
บทที่ 1 บทนำ.	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ โครงสร้าง	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	3
2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความปลอดภัย	3
2.1.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เกี่ยวข้องกับของแข็ง	3
2.1.3 หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำประปา	10
2.1.4 หลักการลดต้นทุน	13
2.1.5 วัสดุวิศวกรรม	15
2.1.6 ท่อเหล็กดำแบบมีตะเข็บ SCH40 ขนาด 10 นิ้ว	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	16
2.2.1 ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของครอปัดในการลากขึ้นรูปโลหะที่มีรูปทรง ไม่สมมาตรด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	16
2.2.2 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับ แรงกระทำเยื้องศูนย์	17
2.2.3 เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด ของคานต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น	17
2.2.4 เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่น โดยวิธีสติฟเฟิส โดยตรง	18

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.5 การวิเคราะห์วงจรกรองผ่านแถบความถี่แฮร์ฟินีโมโครสตริป โดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์	20
<b>บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน</b>	
3.1 ชื่อและที่ตั้งสถานประกอบการ	20
3.2 ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน	21
3.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารองค์กร	22
3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย	22
3.5 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา	22
3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	22
3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	22
3.7.1 ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง	22
3.7.2 ตั้งหัวข้อโครงการ	22
3.7.3 ขั้นตอนการออกแบบฐานรองรับปั้มน้ำประปาที่ใช้ในโรงงาน	23
3.7.4 ใ้จุดยึดชิ้นงาน	25
3.7.5 ใ้แรงที่ชิ้นงานแรงกดที่ใ้คือน้ำหนักวัสดุที่กดทับกับชิ้นงานทั้งหมด	26
3.7.6 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย	28
3.7.7 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ระยะการโค้งตัว	29
3.7.8 ฐานรองรับปั้มน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก	30
3.8 การคำนวณหาน้ำหนักที่กระทำต่อฐานรองรับน้ำหนักปั้มน้ำประปา	39
3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใ้	40
<b>บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ</b>	
4.1 ขนาดของเหล็กที่ใ้สร้างฐานซัพพอร์ตปั้มน้ำประปา	41
4.1.1 เหล็กทรงน้ำขนาด 150x75x6.50 มิลลิเมตร	35
4.1.2 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 6.0 มิลลิเมตร	39

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.1.3 เหล็กทรงน้ำขนาด 125x65x6.00 มิลลิเมตร	43
4.1.4 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 5.0 มิลลิเมตร	43
4.1.5 เหล็กทรงน้ำขนาด 100x50x5.00 มิลลิเมตร	45
4.1.6 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 4.0 มิลลิเมตร	45
4.1.7 เหล็กทรงน้ำขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร	47
4.1.8 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 3.0 มิลลิเมตร	47
4.2 ราคาประเมินการก่อสร้างฐานรองรับบิ๊มน้ำประปา(BOQ)	49
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	50
5.2 ข้อเสนอแนะ	50
5.2.1 ลดขนาดเหล็ก โครงสร้างฐานรองรับบิ๊มน้ำประปา	51
5.2.2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ระยะโค้งตัวหลังจากลดขนาดเหล็ก	52
5.2.3 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยลดขนาดเหล็ก	53
<b>สรุป</b>	<b>54</b>
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>55</b>
<b>ภาคผนวก</b>	<b>56</b>
<b>แบบรายงานผลการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา</b>	<b>66</b>
<b>ประวัติผู้จัดทำ</b>	<b>69</b>



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
ตารางที่ 2.1 ชนิดของแรงและวัสดุที่นำมาใช้งาน	3
ตารางที่ 2.2 ตารางเหล็กรงน้ำ	15
ตารางที่ 3.1 ตารางเหล็กรงน้ำ	23
ตารางที่ 4.2 ราคาประเมินการสร้างฐานรองรับบ่มน้ำประปา(BOQ)	49
ตารางที่ 5.1 แสดงผลเปรียบเทียบหลังจากปรับปรุง	55



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ	4
รูปที่ 2.2 ปืนแรงเหวี่ยง	11
รูปที่ 2.3 ปืนโรตารี	11
รูปที่ 2.4 ปืนลูกสูบชัก	12
รูปที่ 2.5 ปืนสเปเชียล	12
รูปที่ 3.1 แผนที่ตั้ง บริษัท ไฟฟ้าไลน์ จำกัด	20
รูปที่ 3.2 Terminal 21 Rama3	21
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งงานใน โครงการ Terminal 21 Rama3	22
รูปที่ 3.4 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปา	24
รูปที่ 3.5 ใ้จุดยึดที่โครงสร้าง	25
รูปที่ 3.6 ใ้แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	26
รูปที่ 3.7 ใ้แรงที่กระทำกับโครงสร้าง	27
รูปที่ 3.8 แสดงค่าความปลอดภัยแบบติดตั้งหน้างาน	28
รูปที่ 3.9 แสดงค่าระยะการโค้งตัวแบบติดตั้งหน้างาน	29
รูปที่ 3.10 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	30
รูปที่ 3.11 ค่าโค้งตัวของฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	31
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองของฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	32
รูปที่ 3.13 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	33
รูปที่ 3.14 ค่าโค้งตัวของฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	34
รูปที่ 3.15 ผลการจำลองของฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	35
รูปที่ 3.16 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	36
รูปที่ 3.17 ค่าโค้งตัวของฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	37
รูปที่ 3.18 ผลการจำลองของฐานรองรับน้ำหนักปืนน้ำประปาที่ลดขนาดเหลือ	38
รูปที่ 3.19 แผ่น Name plate บอกสเปคมอเตอร์ปืนน้ำประปา	39
รูปที่ 4.1 โครงสร้างฐานรองรับปืนน้ำประปา(ติดตั้งหน้างาน)	41
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ติดตั้งหน้างาน)	42
รูปที่ 4.3 โครงสร้างฐานรองรับปืนน้ำประปา(ลดขนาดเหลือ)	43

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)	44
รูปที่ 4.5 โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)	45
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)	46
รูปที่ 4.7 โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)	47
รูปที่ 4.8 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)	48
รูปที่ 5.1 ลดขนาดเหล็ก โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา	52
รูปที่ 5.2 คำนวณระยะ โกงตัวใหม่	53
รูปที่ 5.3 คำนวณหาค่า Safety Factor ใหม่	54



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปั๊มน้ำประปา (Pump) เป็นอุปกรณ์สำคัญเพื่อสูบน้ำจากที่ต่ำไปยังที่สูงในอาคารต่างๆ โดยทั่วไปแล้วจะมีทั้งแบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยจะมีการเดินท่อจากเครื่องไปยังจุดต่างๆ เพื่อให้ของเหลวเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งที่อยู่สูงจากตึก ส่วนที่สำคัญในการติดตั้งเครื่องสูบน้ำประปาทางบริษัทจะต้องสร้างฐานรองรับน้ำหนักของเครื่องสูบน้ำประปาขึ้นมา ดังนั้นทางผู้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจึงเห็นปัญหาและความสำคัญที่จะจัดทำรายงานนี้ขึ้นโดยการศึกษาจากการสร้างแบบฐานรองรับน้ำหนักเครื่องสูบน้ำประปาในโรงงานจริงขึ้นมา โดยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อเป็นทางเลือกในการลดต้นทุนของฐานรองรับน้ำหนัก

จากการฝึกสหกิจศึกษาตาม โครงการ สหกิจศึกษาของทางมหาวิทยาลัยจึงได้เลือกในหัวข้อเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของฐานรองรับน้ำหนักเครื่องสูบน้ำประปา โดยทางบริษัทได้มอบหมายงานให้ตัวข้าพเจ้าดูแลในเรื่องระบบสุขาภิบาล ข้าพเจ้าจึงสังเกตเห็นว่าฐานรองรับน้ำหนักเครื่องสูบน้ำประปาที่ทางบริษัทจัดทำขึ้นนั้นสามารถลดต้นทุนในการจัดทำได้และมาตรฐานในการรองรับน้ำหนักใกล้เคียงกัน โดยจากแบบงานที่ได้รับจากโครงการนำไปสร้างและใช้ประโยชน์ได้สูงสุดและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม

### 1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1.2.1 หาค่าความปลอดภัยมาตรฐานที่เหมาะสม และหาค่าระยะ โกงตัวของฐานรองรับเครื่องสูบน้ำ

1.2.2 เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสร้างฐานรองรับน้ำหนักเครื่องสูบน้ำ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 หาค่าความปลอดภัยมาตรฐานของฐานเครื่องสูบน้ำ

1.3.2 การหาระยะการ โกงตัวฐานเครื่องสูบน้ำ

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลังการติดตั้งซึ่งก่อให้เกิดความสิ้นเปลือง

1.4.2 ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย แต่ประสิทธิภาพเท่าเดิม

## 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	มิ.ย. 64	ก.ค. 64	ส.ค. 64	ก.ย. 64
ศึกษาข้อมูล	←→			
ตั้งหัวข้อของโครงการ		←→		
วิเคราะห์ข้อมูล		←→		
ทดสอบระบบ			←→	
สรุปผลและปรับปรุง			←→	
จัดทำเอกสาร				←→

## บทที่ 2

### การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

##### 2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความปลอดภัย

ในการผลิตการออกแบบชิ้นงานเครื่องจักร เครื่องก่อสร้าง หรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานหรือที่หน้างานก่อสร้าง เมื่อจะดำเนินงานใด ๆ ก็ตาม จะต้องมียุทธศาสตร์ไว้สำหรับการออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้แรง หรือกำลังต่าง ๆ มากระทำต่อเครื่องจักร หรือเครื่องมือ ต่าง ๆ มีมากเกินไปที่เครื่องจักร หรือเครื่องมือ นั้น ๆ จะรับได้ค่าเพื่อตั้งกล่าวเรียกว่าค่าความปลอดภัย หากเผื่อน้อยไปก็จะเกิดอันตรายแต่แม้เราจะพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดกับชิ้นงาน เครื่องจักร หรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่เราได้ออกแบบไว้อย่างครบถ้วนแล้ว แต่เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เราไม่สามารถคาดเดาได้อย่างไรก็คิดการใช้ค่าความปลอดภัยมากไปก็ทำให้สิ้นเปลืองยิ่งในยุคนสมัยนี้แล้วการลดต้นทุนในการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นหากใช้ค่าความปลอดภัยมากต้นทุนก็สูงมาก

$$F.S = \frac{P_{fail}}{P_{allow}} \quad \text{หรือ} \quad F.S = \frac{\sigma_{fail}}{\sigma_{allow}} \quad \text{หรือ} \quad F.S = \frac{\tau_{fail}}{\tau_{allow}}$$

F.S. คือ ค่าความปลอดภัย

$P_{fail}$  คือ แรงสูงสุดที่ทำให้เกิดความเสียหาย

$P_{allow}$  คือ แรงที่อนุญาตให้ใช้งานได้

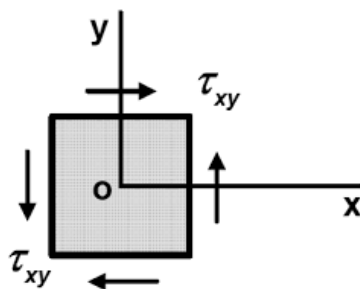
ตารางที่ 2.1 ชนิดของแรงและวัสดุที่นำมาใช้งาน

ชนิดของแรง	เหล็กเหนียว	เหล็กหล่อ
แรงอยู่นิ่ง	1.5-2.0	5-6
แรงที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา	8	10
แรงกระแทกอย่างหนัก	10-15	15-20

##### 2.1.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เกี่ยวกับของแข็ง

รูปที่ 2.1.2 แสดงวัตถุทรงตัน รูปร่างใด ๆ ใน 3 มิติคือ x-y-z โคออร์ดิเนต บนผิวบางส่วน ของวัตถุนี้อาจถูกจับยึดตรึงแน่น (Fixed) ในขณะที่ผิวบางส่วนอาจถูกแรงภายนอกกระทำหรือผิวบางส่วนอาจปล่อยอิสระไว้ (Free Boundary) โดเมนของวัตถุทรงตันสามารถแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติทรงสี่หน้า (Tetrahedral Element) ย่อย ๆ ได้ดังแสดงในรูปอนึ่งวัตถุทรงตันนี้จะมีรูปร่างใด ๆ ก็ได้ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างของเครื่องยนต์ซึ่งอาจมีส่วนเว้าส่วนโค้งหรือกลวงอยู่

ภายในรูปร่างซึ่งมีลักษณะซับซ้อนเช่นนี้สามารถบางออกเป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติทรงสี่หน้าที่มีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากได้



รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ

ที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ตามในวัตถุทรงตันนี้สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งแสดงความสมดุลของแรงในแนวแกน  $x$ ,  $y$  และ  $z$  คือ

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0 \\ \frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0\end{aligned}\quad (2.1)$$

โดย  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  แทนค่าความเค้นฉาก (Normal Stress) ในแนวแกน  $x, y, z$  ตามลำดับ และ  $\tau_x, \tau_y, \tau_z$  แทนค่าความเค้นเฉือน (Shearing Stress)

บนผิวรอบนอกบางส่วนของวัตถุทรงตันนี้อาจประกอบไปด้วยเงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกันไป เช่น ผิวบางส่วนอาจมีการกำหนดระยะของการเคลื่อนตัวในขณะที่ผิวส่วนอื่น ๆ อาจมีการกำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว (Surface Traction) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้คือ

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

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

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

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

$$\vec{n} = n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k} \quad (2.4)$$

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

$$\{\sigma\} = [c]\{\varepsilon\} \quad (2.5)$$

เวกเตอร์ในสมการ (2.5) นี้ประกอบด้วย

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

และ  $\gamma_{xy}$ ,  $\gamma_{xz}$ ,  $\gamma_{yx}$  แทนค่าความเครียดเฉือน

เมทริกซ์ [C] แทนเมทริกซ์ความยืดหยุ่นของวัสดุ (Material Elasticity Matrix) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

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

โดย

E แทนค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus Of Elasticity)

$\nu$  แทนอัตราส่วนของปัวซอง (Poisson, s Ratio)

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

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\sigma_u}{\sigma_x}; \gamma_{xy} = \frac{\sigma_u}{\sigma_y} \frac{\sigma_v}{\sigma_x} \\ \varepsilon_x &= \frac{\sigma_v}{\sigma_z}; \gamma_{xz} = \frac{\sigma_u}{\sigma_z} \frac{\sigma_w}{\sigma_x} \\ \varepsilon_x &= \frac{\sigma_w}{\sigma_z}; \gamma_{xz} = \frac{\sigma_u}{\sigma_z} \frac{\sigma_w}{\sigma_x} \end{aligned} \quad (2.8)$$



กล่าวคือจำนวนตัวไม่รู้ค่าสำหรับปัญหาวัตถุทรงตันคือค่าของการเสียดรูป  $u, v, w$  เท่านั้น เมื่อทราบค่าของการเสียดรูปเหล่านี้แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าของความเครียดย่อยและค่าของความเค้นย่อยตามสมการที่ (2.8) และ (2.5)

ลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u, v, w$  บนเอลิเมนต์ต่างถูกสมมุติให้อยู่ในรูปแบบของเชิงเส้น ยกตัวอย่างเช่น

$$u(x, y, z) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 z \quad (2.9)$$

โดย  $\alpha_i$   $i = 1, 2, 3, 4$  เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสี่ดังนี้

$$\text{จุดต่อ1: } u(x_1, y_1, z_1) = u_1 = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 + \alpha_4 z_1 \quad (2.10)$$

$$\text{ก) จุดต่อ2: } u(x_2, y_2, z_2) = u_2 = \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 + \alpha_4 z_2 \quad (2.10\text{ข})$$

$$\text{จุดต่อ3: } u(x_3, y_3, z_3) = u_3 = \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3 + \alpha_4 z_3 \quad (2.10\text{ค})$$

$$\text{จุดต่อ4: } u(x_4, y_4, z_4) = u_4 = \alpha_1 + \alpha_2 x_4 + \alpha_3 y_4 + \alpha_4 z_4 \quad (2.10\text{ง})$$

สมการ (2.10 ก) ถึง (2.10 ง) สามารถนำมาใช้หาค่าคงที่  $\alpha_i$   $i = 1, 2, 3, 4$  ได้จากนั้นจึงเขียนสมการให้อยู่ในรูปแบบใหม่ได้คือ

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= N_1 u_1 + N_2 u_2 + N_3 u_3 + N_4 u_4 \\ &= [N] \{u\} \end{aligned}$$

(2.11)

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

$$N_i(x, y, z) = L_i(x, y, z) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.12)$$

โดย  $L_i$  เรียกว่าโคออร์ดิเนตปริมาตร (Volume Coordinate) ซึ่งมีรายละเอียดคือ

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

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

$$a_1 = \begin{vmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix} ; c_1 \begin{vmatrix} x_2 & 1 & z_2 \\ x_3 & 1 & z_3 \\ x_4 & 1 & z_4 \end{vmatrix} \quad (2.14ก)$$

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

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

$$a_2 = \begin{vmatrix} x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ x_1 & y_1 & z_1 \end{vmatrix} \quad (2.15ข)$$

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

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

โดยเมทริกซ์ฟังก์ชัน การประมาณภายใน  $[N]$  มีรายละเอียดดังแสดงในสมการ (2.12) ถึง (2.14) เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าอันดับสูงขึ้นไปอีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่าเป็นเอลิเมนต์อันดับ 2 (Quadratic) นั้นประกอบด้วย 10 จุดต่อ โดยมีจุดต่อหมายเลข 1 ถึง 4 อยู่ที่มุมทั้งสี่และหมายเลข 5 ถึง 10 อยู่ที่กึ่งกลางของขอบทั้งหก

เอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงมากกว่าเอลิเมนต์แบบ 4 จุดต่อจากการสมมุติลักษณะการเคลื่อนตัวซึ่งมีอันดับสูงกว่าด้วยการใช้จำนวนจุดต่อที่มากกว่าฟังก์ชันการประมาณภายในของเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายสำหรับเอลิเมนต์แบบ 4 จุดต่อ ซึ่งเริ่มจากการสมมุติลักษณะการกระจายของค่าเคลื่อนตัวเช่น  $u(x, y, z)$  ให้แปรผันไปกับ  $x, y, z$  ขึ้นไปถึงกำลังสอง

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

โดย  $\alpha_i$   $i = 1$  ถึง  $10$  เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสิบในทำนองเดียวกันกับ เอลิเมนต์แบบ 4 จุด หลังจากได้  $\alpha_i$  ทั้งสิบค่านี้แล้วให้แทนกลับลงในสมการ (2.16) เราสามารถเขียนลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u$  ในทิศแกน  $x$  ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อทั้งสิบได้ดังนี้

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

โดย

$$\begin{aligned} N_1 &= L_1 (2L_1 - 1) \quad i = 1, 2, 3, 4 \\ N_5 &= 4L_1L_2 ; N_8 = 4L_2L_3 \\ N_6 &= 4L_1L_3 ; N_9 = 4L_3L_4 \\ N_7 &= 4L_1L_4 ; N_{10} = 4L_2L_4 \end{aligned} \quad (2.18)$$

ในทำนองเดียวกันลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $v$  และ  $w$  ในทิศแกน  $y$  และ  $z$  สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อทั้งสิบได้เช่นกัน คือ

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

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

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าไม่ว่าจะเป็นแบบ 4 จุดต่อหรือแบบ 10 จุดต่อ สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method Of Weighted Residuals) เริ่มจากการคูณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยด้วยฟังก์ชันน้ำหนักซึ่งในที่นี้คือ ฟังก์ชันการประมาณภายใน  $N_i$  แล้วอินทิเกรตตลอดทั่วทั้งปริมาตรของเอลิเมนต์นั้นจากนั้นจึงกำหนดให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับศูนย์นั้นคือ

$$\int_V N_i \left( \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) dV = 0$$

$$\int_V N_i \left( \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) dV = 0 \quad (2.21)$$

$$\int_V N_i \left( \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \right) dV = 0$$

โดย  $V$  แทนปริมาตรของเอลิเมนต์นั้น ๆ ส่วนฟังก์ชันการประมาณภายใน  $N_i$  ในสมการ (2.10) ขึ้นอยู่กับชนิดของเอลิเมนต์ที่ใช้ยกตัวอย่างเช่น หากเราเลือกใช้เอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อแล้วฟังก์ชัน การประมาณภายในจะเกิดจากการเขียนลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u, v, w$  ในสมการ (2.9) รวมเข้าด้วยกันคือ

$$[\delta] = [N(x, y, z)] [\delta] \quad (2.22)$$

$$\text{โดย } [\bar{\delta}]^T = [u \ v \ w]$$

$$[\bar{\delta}]^T = [u_1 \ v_1 \ w_1 \ u_2 \ v_2 \ w_2 \ u_3 \ v_3 \ w_3 \ u_4 \ v_4 \ w_4] \quad (2.23)$$

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

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial w}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \end{Bmatrix} = [B(x, y, z)] \{\delta\} \quad (2.24)$$

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

$$[N] \{\delta\} = \{F\} \quad (2.25)$$

โดย [K] แทนเมทริกซ์ของความแข็งแรงแรง (Stiffness Matrix) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$[K] = [B] [C] [B]^T V \quad (2.26)$$

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

ส่วนเวกเตอร์  $\{F\}$  ทางด้านขวามือของสมการ (2.25) แทนโหนดเวกเตอร์ (Load Vector) ซึ่งอาจเกิดแรงดัน (Pressure) ที่กระทำบนผิวภายนอกยกตัวอย่างเช่นหากด้านซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 2-3-4 เป็นด้านที่ผิวภายนอกของโมเดลซึ่งถูกแรงดันที่มีค่า  $P_x, P_y, P_z$  กระทำในทิศแกน x, y, z ตามลำดับแล้วเวกเตอร์  $\{F\}$  ที่เกิดขึ้นคือ

$$[F] = \frac{A_{1-2-3}}{3} [0 \ 0 \ 0 \ p, p, p, p, p, p, p, p] \quad (2.27)$$

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

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมไฟไนต์เอลิเมนต์เมทริกซ์ดังสมการ (2.26) และ (2.27) นี้เองที่นำไปประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์และฝังตัวอยู่ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาทรูปทรงตันใด ๆ ภายใต้งื่อนไขขอบเขตต่าง 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

### 2.1.3 หลักการทำงานของปั้มน้ำประปา

ในปัจจุบันเครื่องปั้มน้ำจัดเป็นอุปกรณ์เครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมาก เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค การเกษตร คมนาคม อุตสาหกรรม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียเพื่อรักษาภาวะแวดล้อมที่ดีให้กับมนุษย์ ซึ่งวิวัฒนาการของเครื่องปั้มน้ำในปัจจุบันได้เปลี่ยนไปจากเดิมที่ใช้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาเป็นการใช้พลังงานจากไอน้ำ จากเครื่องยนต์ และที่นิยมกันมาก คือ การใช้ไฟฟ้า เนื่องจากความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

1. การแยกประเภทปั้ม ปัจจุบันได้มีการจัดแบ่งแยกประเภทของปั้มหลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ดังนั้นจึงมีการจัดหมวดหมู่ออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั้ม ซึ่งได้แก่

ประเภทแบบปั๊มแรงเหวี่ยง ( Centrifugal ) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยง  
หนีจุดศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นแบบ Roto – dynamic



รูปที่ 2.2 ปั๊มแรงเหวี่ยง

ประเภทโรตารี ( Rotary ) เพิ่มพลังงาน โดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง



รูปที่ 2.3 ปั๊มโรตารี

ประเภทลูกสูบชัก ( Reciprocating ) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในระบบสูบ



รูปที่ 2.4 ปั๊มลูกสูบชัก

ประเภทพิเศษ ( Special ) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้



รูปที่ 2.5 ปั๊มสเปเชียล

2. แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ ประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ( Dynamic ) ประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ( Positive Displacement ) คือ การเคลื่อนที่โดยขึ้นส่วนของเครื่องสูบลม ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารีและ แบบลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน นอกจากการแบ่งเป็นสองแบบตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังอาจแบ่งแยกปั๊มตามวัตถุประสงค์การใช้งานของแต่ละชนิดด้วย เช่น ปั๊มดับเพลิง ปั๊มลม ปั๊มสุญญากาศ ปั๊มน้ำบาดาล เป็นต้น

3. คุณสมบัติของปั๊มแต่ละชนิด ลักษณะและการทำงานของเครื่องปั๊มแรงเหวี่ยงปั๊มแรงเหวี่ยง เป็นปั๊มที่ได้รับความนิยมในการใช้งานสูงสุดเมื่อเทียบกับปั๊มชนิดอื่น ๆ เนื่องจากปั๊มประเภทนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง เหมาะสมกับการใช้งานหลายประเภทประกอบกับการดูแลรักษาอย่างง่ายส่วนประกอบของปั๊มแรงเหวี่ยงดังที่แสดงในรูป มีใบพัดอยู่ในเสื้อเครื่องสูบลมรูปหอยโข่ง ( Volute Casing ) ให้พลังงานแก่ของเหลวโดยการหมุนของใบพัด ทำให้สามารถยกน้ำจากระดับต่ำขึ้นไปสู่ระดับสูงได้

หลักการทำงาน คือ พลังงานจะเข้าสู่ปั๊มโดยผ่านเพลาลูกสูบซึ่งมีใบพัดติดอยู่ เมื่อใบพัดหมุนของเหลวภายในปั๊มจะไหลจากส่วนกลางของใบพัดไปสู่ส่วนปลายของใบพัด ( Vane ) ซึ่งจากการกระทำของแรงเหวี่ยงจากแผ่นใบพัดนี้จะทำให้เสดความดัน ( pressure head ) ของเหลวเพิ่มขึ้น เมื่อของเหลวได้รับความเร่งจากแผ่นใบพัดก็จะทำให้มีเสดความเร็วสูงขึ้นส่งผลให้ของเหลวไหลจากปลายของใบพัดเข้าสู่เสื้อปั๊มรูปหอยโข่ง แล้วออกไปสู่ทางออกของปั๊มในขณะเดียวกันก็เปลี่ยนเสดความเร็วเป็นความดัน ดังนั้นเสดที่ให้แก่ของเหลวต่อหนึ่งหน่วยความหนักเรียกว่า เสดรวมของปั๊ม

#### 2.1.4 หลักการลดต้นทุน

การวิเคราะห์คุณค่า (Value Analysis, VA) ได้เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในวงการอุตสาหกรรมประเทศสหรัฐอเมริกาในยุคสงครามโลกครั้งที่ 2 (ค.ศ. 1938-1945) ซึ่งในสมัยนั้นได้เกิดปัญหาการขาดแคลนและราคาที่สูงขึ้นของวัตถุดิบที่เป็นหัวใจของอุตสาหกรรมซึ่งได้แก่เหล็กทุกชนิด ทองแดง, บรอนซ์, ดีบุก, นิกเกิล, บอลเบริง รวมถึงสารตัวนำ ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ทำให้เกิดผลกระทบต่อการผลิตที่ไม่สามารถนำวัตถุดิบนั้น ๆ มาใช้เพื่อทำการผลิตได้

ลอเรนซ์ ดีไมล์ (Lawrence D.Miles) ซึ่งเป็นวิศวกรจัดซื้อของบริษัท เยนเนอรัล อิเล็กทริก หรือ GE (General Electric Company) ได้รับมอบหมายให้ทำการจัดหาวัตถุดิบสำคัญเพื่อใช้ในการผลิตเครื่อง (Turbo-Supercharger) จาก 50 เครื่อง/สัปดาห์ให้ได้ 1000 เครื่อง/สัปดาห์เพื่อนำไปใช้งานสำหรับเครื่องบิน B-29 ซึ่งเป็นการยากที่จะสามารถผลิตได้ตามเป้าหมายที่วางไว้แต่ลอเรนซ์ ดีไมล์ ก็ไม่ได้รู้สึกท้อถอยหรือยอมแพ้เขาได้ตั้งปณิธานว่าถ้าไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้จะต้องหาหน้าที่การทำงาน (Function) ของมันให้ได้จะทำอย่างไรที่จะให้ได้หน้าที่การทำงานที่



เหมือนกันโดยใช้เครื่องจักรหรือคนหรือวัสดุซึ่งเราจะสามารถหาได้เมื่อลอเรนซ์ ดีไมล์ ได้ใช้ความพยายามอย่างหนักหลาย ๆ ครั้งก็มีหนทางที่จะประสบผลสำเร็จได้จนกระทั่งผลการทดสอบทางวิศวกรรมผ่านการพิสูจน์และสามารถส่งมอบให้กองทัพสหรัฐได้ทันเวลาที่กำหนดดังนั้นคำว่าหน้าที่การทำงาน (Function) จึงเป็นคำที่สำคัญในการพัฒนาเทคนิคทางการ

การวิเคราะห์คุณค่าหรือวิศวกรรมคุณค่านั้นอาจเรียกต่างกันแต่ต่างก็มีหลักการพื้นฐานอันเดียวกันซึ่งการเรียกใช้นั้นขึ้นอยู่กับว่าจะถูกนำไปใช้ในงานอะไรซึ่งจำกัดความของค่าว่าการวิเคราะห์คุณค่าหรือวิศวกรรมคุณค่าจะมีคุณสมบัติดังนี้

1. สามารถแจกแจงหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้นได้
2. หาคุณค่าของหน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์
3. สามารถหาต้นทุนของหน้าที่ที่มีค่าต่ำสุดโดยไม่ทำให้คุณภาพลดลงหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าการวิเคราะห์คุณค่าเป็นเทคนิคที่มีระบบเพื่อจัดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นออกไปโดยที่หน้าที่ 19 การทำงานของระบบหรือบริการนั้นยังคงเหมือนเดิม และรักษาไว้ซึ่งคุณภาพ ตลอดจนความน่าเชื่อถือได้

จากข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าจุดมุ่งหมายหลักของการวิเคราะห์คุณค่าคือการลดต้นทุนการผลิตหรือการจัดค่าใช้จ่ายที่เกินความจำเป็นหรือไม่จำเป็นออกไปโดยที่ผลิตภัณฑ์นั้นยังคงมีคุณภาพและความน่าเชื่อถือได้อยู่

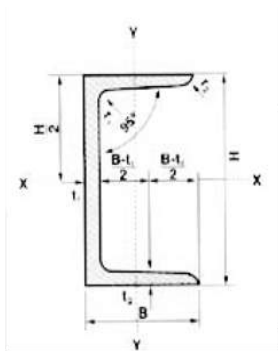
ซึ่งในขณะที่การใช้เทคนิคของ VA/VE แพร่หลายอยู่นั้นได้เกิดศัพท์ใหม่ซึ่งเรียกต่าง ๆ กันไปตามชนิดของธุรกิจดังต่อไปนี้

- VC = Value Control      มุ่งการศึกษาไปที่การควบคุมคุณภาพ และต้นทุนการผลิต
- VB = Value Buying      มุ่งไปที่การจัดซื้อวัสดุและผลิตภัณฑ์จากผู้ขาย
- VR = Value Research    ใช้ในห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบ
- VI = Value Improvement ใช้เมื่อบริษัทมีการปรับปรุงผลิตภัณฑ์และแนะนำเข้าสู่ตลาด
- จะเรียกการปรับปรุงคุณค่า

VM = Value Management ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารซึ่งไม่ว่าจะใช้ศัพท์ใดในการเรียกขนาดต่างเป็นไปเพื่อจุดประสงค์ในการมุ่งไปยังหน้าที่การทำงาน (Function) ของมันและไม่ว่าจะมีการประยุกต์ใช้ในหน่วยงานใดงานที่มีคุณค่านั้นสามารถช่วยประหยัดเงินหรืองบประมาณในการลงทุนได้

### 2.1.5 วัสดุวิศวกรรม

ตารางที่ 2.2 ตารางเหล็กทรงน้ำ



ตารางที่	Channels	(TIS 1227 : 1996 / JIS G3192 : 1990)
	(Grade SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540)	
Moment of Inertia	I	= $Ar^2$
Radius of Gyration	r	= $\sqrt{\frac{I}{A}}$
Modulus of Section	Z	= $\frac{I}{C}$
	A	= Sectional Area

Dimensios (mm)					Sectional Area (cm <sup>2</sup> )	Weight (kg/m)	Moment of Inertia (cm <sup>4</sup> )		Radius of Gyration (cm)		Modulus of Section (cm <sup>3</sup> )	
H x B	t1	t2	r1	r2			Ix	Iy	rx	ry	Zx	Zy
50 x 25	5	6	6	3	4.92	3.86	16.8	2.49	1.85	0.71	6.73	1.48
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 x 50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	188	26	3.97	1.48	37.6	7.52
125 x 65	6	8	8	4	17.11	13.4	424	61.8	4.98	1.9	67.8	13.4
150 x 75	6.5	10	10	5	23.71	18.6	861	117	6.03	2.22	115	22.4
150 x 75	9	12.5	15	7.5	30.59	24	1050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 x 75	7	10.5	11	5.5	27.2	21.4	1380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 x 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	1,950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 x 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	2,490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 x 90	9	13	14	7	44.07	34.6	4,180	294	9.74	2.58	334	44.5
	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	4,680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 x 90	9	13	14	7	48.57	38.1	6,440	309	11.5	2.52	429	45.7
	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	7,410	360	11.5	2.54	494	54.1
	12	16	19	9.5	61.9	48.6	7,870	379	11.3	2.48	525	56.4
380 x 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	14,500	535	14.5	2.78	763	70.5
	13	20	24	12	85.71	67.3	17,600	655	14.3	2.76	926	87.8

#### 1. เหล็กทรงน้ำ

เหล็กทรงน้ำ (C-Channel) เป็นเหล็กที่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.1227-2539 ผลิตจากเหล็กกล้ารีดมีลักษณะเป็นรูปตัวยูใช้สำหรับงานโครงสร้างโครงสร้างหลังคาโกดังแท่นเครื่อง หอคอยและโครงสร้างขนาดใหญ่ เหล็กทรงน้ำสามารถรับน้ำหนักได้ดีด้วยความแข็งแรงรูปทรงมาตรฐานจึงใช้กันมาก เช่น สะพาน เสาตอม่อ โครงสร้างรถยนต์เหล็กทรงน้ำใช้ทำแชสซีรถเหล็กทรงน้ำขนาดมาตรฐานจะต้องมีหน้าตัดเรียบปีกขาทั้งสองด้านจะต้องเท่ากันเสมอความหนาและขนาดต้องเสมอกันตลอดทั้งเส้น เพื่อสะดวกในการประกอบชิ้นงานให้สวยงามยิ่งขึ้น

เหล็กทรงน้ำมีหลายขนาดให้เลือกตามลักษณะการใช้งานนิยมเรียกขนาดเป็นนิ้วขนาด 2 นิ้วขึ้นไปจนถึงขนาด 12 นิ้ว ข้อควรระวังในปัจจุบันมีเหล็กทรงน้ำตัวเบาจำหน่ายมากเมื่อรับน้ำหนักหรือแรงมากจะเกิดการบิดงอเสียรูปทรงจึงจำเป็นต้องตรวจสอบขนาดและสเปคต้องไม่พลาดเกิน

2% รวมถึงต้องมีใบรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมถ้าเหล็กวางน้ำบางยี่ห้อที่มีตัวพิมพ์นูนก็ควรพิมพ์อย่างถูกต้องตามแบบที่กำหนดไว้ด้วย

## 2. ท่อเหล็กดำแบบมีตะเข็บ SCH40 ขนาด 12 นิ้ว

นิยมเรียกกันว่าท่อดำท่อเหล็กนี้ผลิตขึ้นมาจากเหล็กกล้าคุณภาพสูงและได้ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรมาตรฐานควบคุมโดยวิศวกรและผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยมีมาตรฐานการตรวจสอบที่มีคุณภาพสูงมากเนื่องจาก โครงสร้างเหล็กรูปพรรณวงกลมแบบมาตรฐาน มอก. 107-2533 ชั้นคุณภาพ HS40 มีความยาว 6000mm ต่อเส้น

ท่อที่มีตะเข็บเป็นท่อที่เหมาะสมกับแรงดันที่ไม่สูงนัก เช่น เป็นท่อปล่อยน้ำทิ้งท่อปล่อยลมไหลผ่านท่อน้ำประปาสาเหตุที่ไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องทนแรงดันสูงเพราะกรรมวิธีการผลิตการเชื่อมรอยต่อให้ติดกลายเป็นท่อมีโอกาสจะเกิดรอยแตกตรงท่อได้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

### 2.2.1 ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของครอปัดในการลากขึ้นรูปโลหะที่มีรูปทรงไม่สมมาตรด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ชื่อผู้แต่ง สุริยา ประสมทอง พ.ศ. 2555 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปัญหาการลากขึ้นรูปที่พบบ่อย คือ การฉีกขาดและการเกิดรอยย่นสาเหตุเกิดจากแรงกดขึ้นงานต้านแรงกดมากเกินไปอาจทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุและถ้าแรงกดน้อยเกินไปทำให้เกิดรอยย่นของวัสดุการควบคุมสภาวะการไหลของโลหะแผ่นในงานขึ้นรูปสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลดหรือเพิ่มแรงกดขึ้นงานหรือลดแรงเสียดทานระหว่างผิวแม่พิมพ์กับขึ้นงานแต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถควบคุมการไหลของโลหะแผ่นเฉพาะในบริเวณได้ดังนั้นจึงมีความพยายามหาวิธีการควบคุมสภาวะการไหลของโลหะแผ่นขึ้นโดยอาศัยการขีดขวางการไหลตัวของโลหะด้วยสันเล็ก ๆ ที่เรียกว่าครอปัด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ครอปัดที่มีรูปร่างหน้าตัดครึ่งวงกลมหน้าตัดรูปตัววีและหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าโดยมีตัวแปรที่ศึกษาคืออิทธิพลแรงกดขึ้นงาน 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ วัสดุที่ใช้ในการศึกษาเหล็กเกรด SPCC, SPCD และ SPCE ที่มีผลกระทบต่อการไหลตัวของโลหะแผ่นที่ไหลเข้าสู่ช่องเปิดตายในการลากขึ้นรูปโดยใช้รูปทรงของครอปัดที่แตกต่างกันแรงกดขึ้นงานที่แตกต่างกันและวัสดุต่างชนิดกันแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปทรงของครอปัดแรงกดขึ้นงานและชนิดของวัสดุมีผลกระทบต่อการไหลตัวของโลหะแผ่นเป็นอันมากจากการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่าแรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซ็นต์ ครอปัดหน้าตัดครึ่งวงกลมและวัสดุเกรด SPCE โลหะสามารถไหลตัวได้ดีทำให้ขึ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและรอยย่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีความแตกต่างกันเฉลี่ย 7.4 เปอร์เซ็นต์ โดยวัดจากความหนาที่เปลี่ยนไปของวัสดุแต่ละจุด

ดังนั้นจึงสรุปผลการเปลี่ยนรูปร่างสุดท้ายของวัสดุจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับรูปร่างจริงซึ่งผลการทดลองและวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำนายและหาแนวทางการแก้ไขรูปทรงของครอปิคในการลากขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**2.2.2 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำเอียงศูนย์**  
 ชื่อผู้แต่ง วรการ อนันตเสนา พ.ศ. 2558 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนองานวิจัยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติของเสาสั้นเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำเอียงศูนย์โดยพิจารณาผลกระทบจากการโอบรัดตัวของคอนกรีตงานวิจัยเริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำตรงศูนย์ โดยตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลจากการทดสอบในอดีตและนำแบบจำลองไปศึกษาผลกระทบของตัวแปรออกแบบประกอบด้วยความกว้างแผ่นปีกของเหล็ก รูปพรรณและระยะห่างเหล็กเสริมปลอกต่อพฤติกรรมกำลังรับแรงอัดตรงศูนย์ของเสาวัสดุผสมจากการวิเคราะห์พบว่าความกว้างแผ่นปีกมีผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่การโอบรัดตัวสูงของคอนกรีตภายในเสาโดยที่ความกว้างแผ่นปีกมากจะส่งผลให้บริเวณพื้นที่การโอบรัดตัวสูงมีพื้นที่มากและระยะห่างเหล็กเสริมปลอกมีผลกระทบต่อกำลังภายหลังกำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาโดยเสาที่มีระยะห่างเหล็กเสริมปลอกน้อยจะสูญเสียกำลังช้ากว่าเสาที่มีระยะห่างเหล็กเสริมปลอกมากจากนั้นได้พัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำเอียงศูนย์โดยตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลจากการทดสอบในอดีตและนำแบบจำลองไปสร้างเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดร่วมกันของเสาวัสดุผสมรวมทั้งศึกษาผลกระทบของตัวแปรออกแบบประกอบด้วยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังครากของเหล็กรูปพรรณต่อเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังของเสาวัสดุผสม และเปรียบเทียบกับเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังด้วยวิธีการกระจายหน่วยแรงแบบพลาสติกที่เสนอโดยข้อกำหนด AISC360-1 จากการวิเคราะห์พบว่าเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังที่เสนอโดยข้อกำหนด AISC360-10 มีความปลอดภัยในการออกแบบเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตแต่จะมีความปลอดภัยน้อยลงเมื่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงหรือกำลังครากของเหล็กรูปพรรณมีค่าสูงขึ้น

**2.2.3 เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือน และ โมเมนต์ดัดของคาน**  
 ต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น

ชื่อผู้แต่ง พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภาพันธ์ พ.ศ. 2537 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดของคานต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่นใช้สำหรับหาแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดมากที่สุดคานที่นำมาทำการวิจัยคือคานต่อเนื่อง 12 ช่วงคานซึ่งแต่ละช่วงคานมีความยาว

โมเมนต์อินเนอร์เซียและโมดูลัสของความยืดหยุ่นไม่เท่ากันทุกช่วงความยาวโมเมนต์อินเนอร์เซียและโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคานช่วงแรกทางซ้ายมือกำหนดให้เป็นหนึ่งส่วนความยาวโมเมนต์อินเนอร์เซียและโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคานช่วงอื่น ๆ กำหนดไว้เป็นอัตราส่วนกับช่วงคานแรกซ้ายมือวิธีวิจัยกระทำได้โดยให้น้ำหนักหนึ่งหน่วยเคลื่อนผ่านไปตามตำแหน่งของจุดแบ่งบนคานต่อเนื่องซึ่งแต่ละช่วงคานแบ่งออกเป็น 5 ส่วนแบ่งแล้วคำนวณแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการของสมการห้าโมเมนต์ (Five-Moment Equation) เมื่อทราบแรงปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่น้ำหนักหนึ่งหน่วยกระทำบนคานก็สามารถคำนวณแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่ตำแหน่งจุดแบ่งตามความยาวช่วงคานได้จากนั้นนำผลที่ได้มาเขียนเส้นอิทธิพลสำหรับปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือนและโมเมนต์คัตได้ทำการพล็อตเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของคานต่อเนื่อง 12 ช่วงคานซึ่งมีค่า  $K=0, 0.001, 0.01$  และ  $0.1$  เมตร/ตัน โดย  $W=0, 0.12, 1.2$  และ  $12$  ตามลำดับ สำหรับ  $W=0$  มีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยา 8 ช่วงคานมีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงเฉือน 7 ช่วงคานและมีผลต่อเส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัต 6 ช่วงคานเมื่อ  $W$  มีค่ามากขึ้นจะมีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและโมเมนต์คัตจำนวนมากขึ้นจนกระทั่ง  $W=12$  จะมีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและโมเมนต์คัตทุกช่วงคาน

#### 2.2.4 เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยืดหยุ่นโดยวิธีสติเฟเนสโดยตรง

ชื่อผู้แต่ง ศุภวุฒิ ดวนดวน พ.ศ. 2544 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาเส้นอิทธิพลสำหรับระยะโค้งมุมหมุนแรงเฉือนโมเมนต์คัตและแรงปฏิกิริยาของคานต่อเนื่อง 2 ถึง 12 ช่วงคานบนฐานรองรับที่ยืดหยุ่นได้ในแนวนานกับแรงปฏิกิริยาโดยมีค่าคงที่ของสปริงที่ฐานรองรับความยาวช่วงคาน โมดูลัสยืดหยุ่น โมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละช่วงคานเปลี่ยนแปลงได้การวิเคราะห์กระทำโดยวิธีสติเฟเนสโดยตรงโดยแบ่งคานแต่ละช่วงออกเป็นชิ้นส่วนย่อยแล้วให้น้ำหนักหนึ่งหน่วยกระทำที่จุดแบ่งเหล่านั้นคำนวณหาระยะโค้งมุมหมุนแรงเฉือนโมเมนต์คัตและแรงปฏิกิริยาที่จุดต่อต่าง ๆ เนื่องจากน้ำหนักหนึ่งหน่วยกระทำที่แต่ละจุดแบ่งเพื่อนำผลที่ได้มาเขียนเส้นอิทธิพลต่อไปจากการวิจัยพบว่าเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแกร่งที่ฐานรองรับเพิ่มขึ้นอัตราค่าเพิ่มของค่าพิกัดสูงสุดของระยะโค้งมุมหมุนโมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วงคานและที่ฐานรองรับและโมเมนต์ลบที่กึ่งกลางช่วงคานของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแกร่งมากกว่าจะมีค่ามากกว่าของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแกร่งน้อยกว่าแต่อัตราการลดลงของค่าพิกัดสูงสุดของแรงเฉือนที่ฐานรองรับและแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแกร่งมากกว่าจะมีค่าน้อยกว่าของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแกร่งน้อยกว่าส่วนอัตราการ

เพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพิกัดสูงสุดของแรงเฉือนที่กึ่งกลางช่วงคานและโมเมนต์ลบที่ฐานรองรับ ไม่เปลี่ยนแปลงโดยมีนัยสำคัญกับค่าตัวประกอบความแข็งแรงและเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแรงที่ฐานรองรับเพิ่มขึ้นจำนวนช่วงคานที่มีผลต่อค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลของระยะ โกงมุมหมุน แรงเฉือน โมเมนต์คัดและแรงปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแรงเท่ากับ 0, 1.326, 2.5 และ 25 จำนวน ช่วงคานที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 7, 8, 10 และ 12 ช่วงคานตามลำดับสำหรับตัวประกอบความแข็งแรงที่มีค่ามากกว่า 25 จะมีผลต่อค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลอย่าง มีนัยสำคัญกับคานต่อเนื่องมากกว่า 12 ช่วงคาน

**2.2.5 การวิเคราะห์ห้วงจรกรองผ่านแถบความถี่แฮร์พินไลน์ไมโครสตริปโดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์** ชื่อผู้แต่ง ชาญไชย ไทยเจียม พ.ศ.2540 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยบัณฑิตวิทยาลัย

วิเคราะห์ห้วงจรกรองความถี่แบบไมโครสตริปโดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ในตัวอย่างวงจรกรองผ่านแถบความถี่แฮร์พินไลน์ไมโครสตริปการวิเคราะห์อาศัยสมการอินทิกรัลในรูปศักย์แม่เหล็กชนิดเวกเตอร์ศักย์ไฟฟ้าชนิดสเกลาร์และฟังก์ชันของกรีน ผลเฉลยของสมการอินทิกรัลสามารถหาได้โดยใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปแบบของค่าพารามิเตอร์กระจายซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยในอดีตและผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมอิมู ซอฟ รวมถึงผลการวัดที่ได้จากวงจรตัวอย่างที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าสอดคล้องกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ห้วงจรกรองความถี่แบบไมโครสตริปได้



สถานที่ปฏิบัติงาน : ถนนพระราม 3



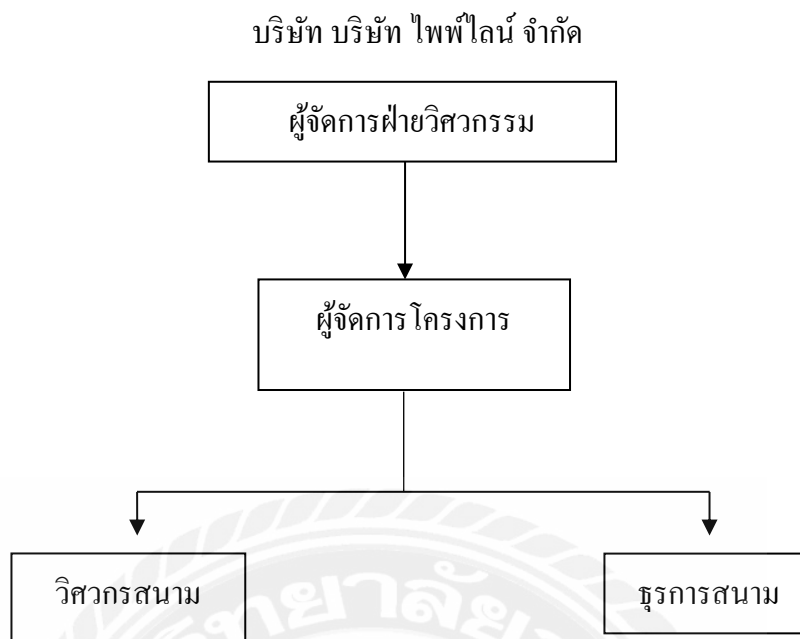
รูปที่ 3.2 Terminal 21 Rama3

### 3.2 ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน

ชื่อ โครงการ : Terminal 21 Rama3  
ที่ตั้ง : 3766 ถนน พระราม 3 แขวง บางโคล่ เขต บางคอแหลม  
จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10120  
จุดเด่น : ออกแบบ และติดตั้งงานระบบสุขาภิบาล



### 3.3 รูปแบบการจัดองค์การและการบริหารองค์กร



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งงานในโครงการ Terminal 21 Rama3

### 3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย

ตำแหน่งที่นักศึกษารับผิดชอบ	: วิศวกรสนาม
ลักษณะงานที่นักศึกษารับผิดชอบ	: ตรวจสอบช่างติดตั้งงานระบบสาขาภิบาล

### 3.5 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

ชื่อพนักงานที่ปรึกษา	: นาย เฉลิมชัย สำฤทธิริน
ตำแหน่ง	: วิศวกรงานระบบ (Engineer)
แผนก	: งานระบบ (Mechanical Engineer)

### 3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

เริ่มปฏิบัติงาน	: วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2564
สิ้นสุดการปฏิบัติงาน	: วันที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2564

### 3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.7.1 ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง

สอบถามถึงหัวข้อโครงการในหัวเรื่องต่าง ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม

#### 3.7.2 ตั้งหัวข้อโครงการ

หาหัวข้อโครงการโดยการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาถึงความเป็นไปได้ในโครงการรวมถึงขอคำชี้แนะในการเจอปัญหาในการทำโครงการ

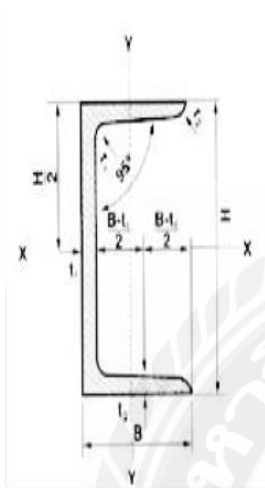
### 3.7.3 ขั้นตอนการออกแบบฐานรองรับปั๊มน้ำประปาที่ใช้ในหน้างาน

1. กดเข้าไปโปรแกรมสำเร็จรูป

2. ออกแบบเหล็กกรงน้ำตามขนาด C channel 5 นิ้ว 2 แบบ

ฐานรองรับน้ำหนักทั้งแบบเดิม และที่ออกแบบใหม่ขนาด 125x65 mm และขนาด 150x75mm

ตารางที่ 3.1 ตารางเหล็กกรงน้ำ

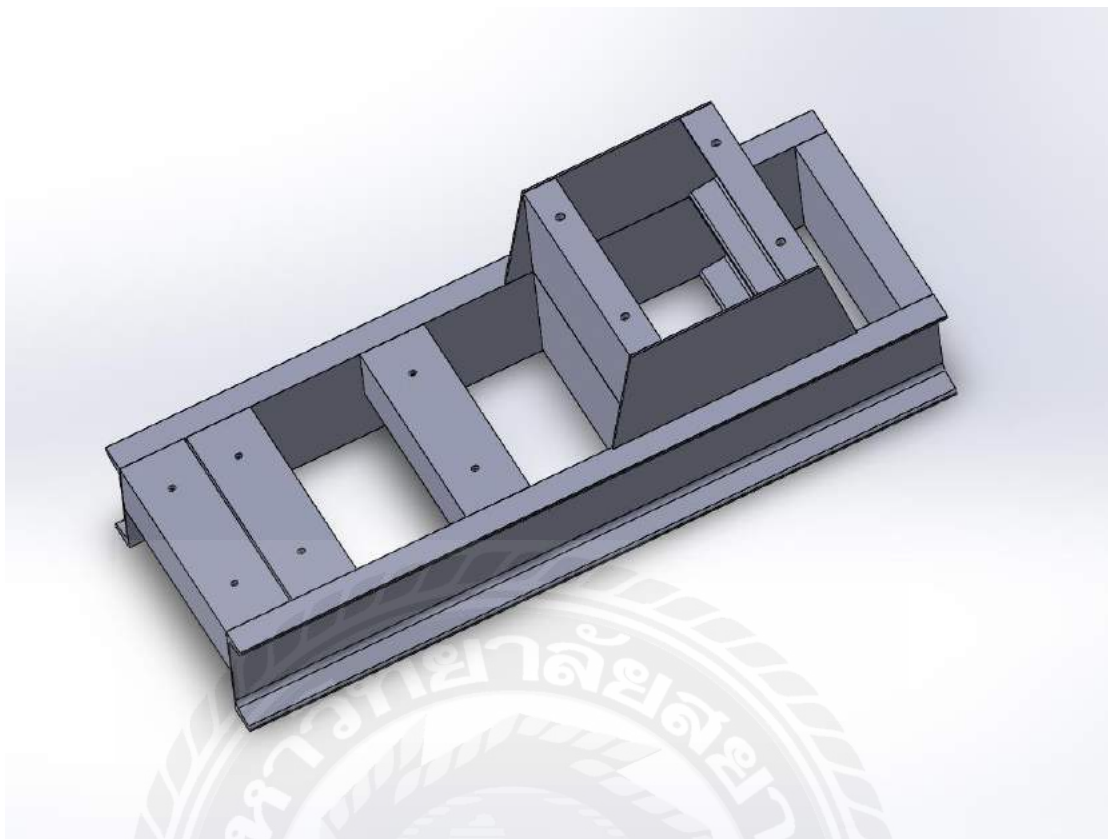


ตารางที่	Channels	(TIS 1227 : 1996 / JIS G3192 : 1990)
----------	----------	--------------------------------------

(Grade SM400, SM490, SM520, SS400, SS490 or SS540)

$$\begin{aligned} \text{Moment of Inertia} \quad I &= Ar^2 \\ \text{Radius of Gyration} \quad r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ \text{Modulus of Section} \quad Z &= \frac{I}{C} \\ A &= \text{Sectional Area} \end{aligned}$$

Dimensios (mm)					Sectional Area (cm <sup>2</sup> )	Weight (kg/m)	Moment of Inertia (cm <sup>4</sup> )		Radius of Gyration (cm)		Modulus of Section (cm <sup>3</sup> )	
H x B	t1	t2	r1	r2			Ix	Iy	rx	ry	Zx	Zy
50 x 25	5	6	6	3	4.92	3.86	16.8	2.49	1.85	0.71	6.73	1.48
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	75.3	12.2	2.92	1.17	20.1	4.47
100 x 50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	188	26	3.97	1.48	37.6	7.52
125 x 65	6	8	8	4	17.11	13.4	424	61.8	4.98	1.9	67.8	13.4
150 x 75	6.5	10	10	5	23.71	18.6	861	117	6.03	2.22	115	22.4
150 x 75	9	12.5	15	7.5	30.59	24	1050	147	5.86	2.19	140	28.3
180 x 75	7	10.5	11	5.5	27.2	21.4	1380	131	7.12	2.19	153	24.3
200 x 80	7.5	11	12	6	31.33	24.6	1,950	168	7.88	2.32	195	29.1
200 x 90	8	13.5	14	7	38.65	30.3	2,490	277	8.02	2.68	249	44.2
250 x 90	9	13	14	7	44.07	34.6	4,180	294	9.74	2.58	334	44.5
	11	14.5	17	8.5	51.17	40.2	4,680	329	9.56	2.54	374	49.9
300 x 90	9	13	14	7	48.57	38.1	6,440	309	11.5	2.52	429	45.7
	10	15.5	19	9.5	55.74	43.8	7,410	360	11.5	2.54	494	54.1
	12	16	19	9.5	61.9	48.6	7,870	379	11.3	2.48	525	56.4
380 x 100	10.5	16	18	9	69.39	54.5	14,500	535	14.5	2.78	763	70.5
	13	20	24	12	85.71	67.3	17,600	655	14.3	2.76	926	87.8



รูปที่ 3.4 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหนักปั้มน้ำประปา

เหล็กโครงสร้างที่ใช้ในการสร้างฐานรองรับน้ำหนักปั้มน้ำประปาประกอบด้วยเหล็กดังนี้

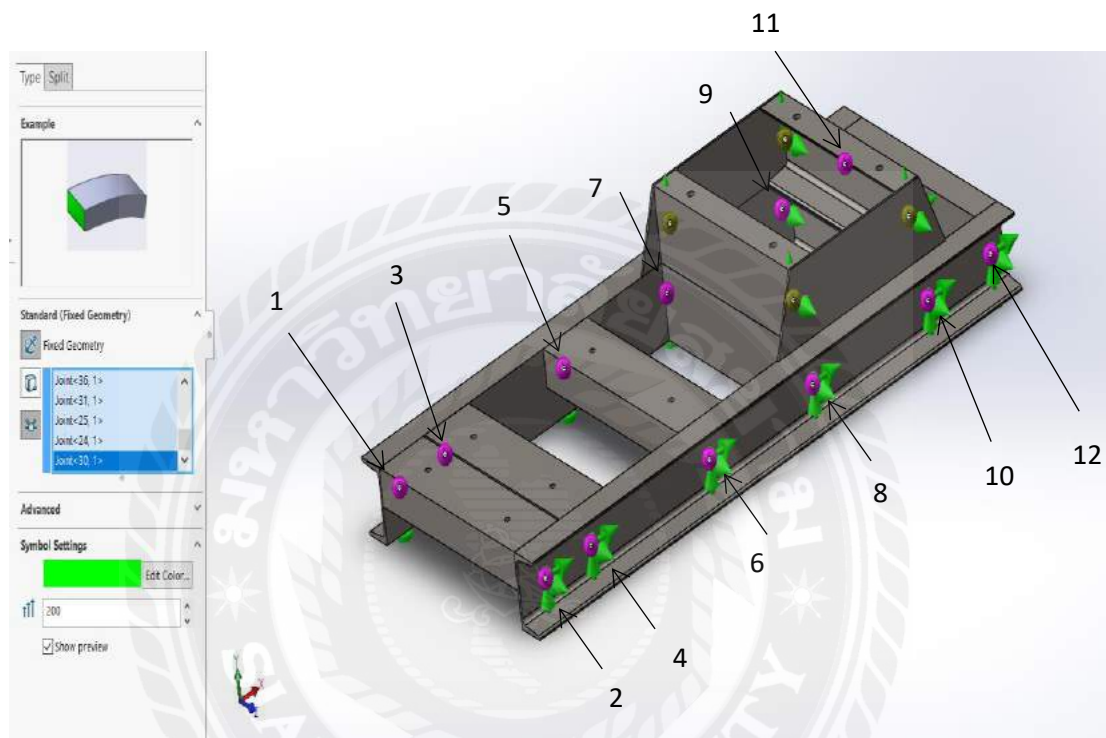
1. เหล็กทรงน้ำขนาด 150x75x6.50 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านข้าง
2. เหล็กทรงน้ำขนาด 150x75x6.50 มิลลิเมตร โครงสร้างคานรับน้ำหนักปั้มน้ำประปา
3. เหล็กทรงน้ำขนาด 150x75x6.50 มิลลิเมตร โครงสร้างฐานรองรับมอเตอร์
4. เหล็กทรงน้ำขนาด 150x75x6.50 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านหลัง

### 3.7.4 ใส่จุดยึดชิ้นงาน

จุดยึดของชิ้นงานคือจุดที่ไม่มีเคลื่อนไหว สิ่งสัมผัสกับพื้นโดยตรงไม่มีการขยับโดยจุดยึด  
ตรึงตำแหน่งไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่และไม่หมุน ทั้ง 12 จุด คือจุดที่ไม่มีการเคลื่อนตัว

หมายเลข 1 ถึง 6 คือจุดรับน้ำหนักกับปั๊มสูบน้ำประปาไม่มีการเคลื่อนไหว

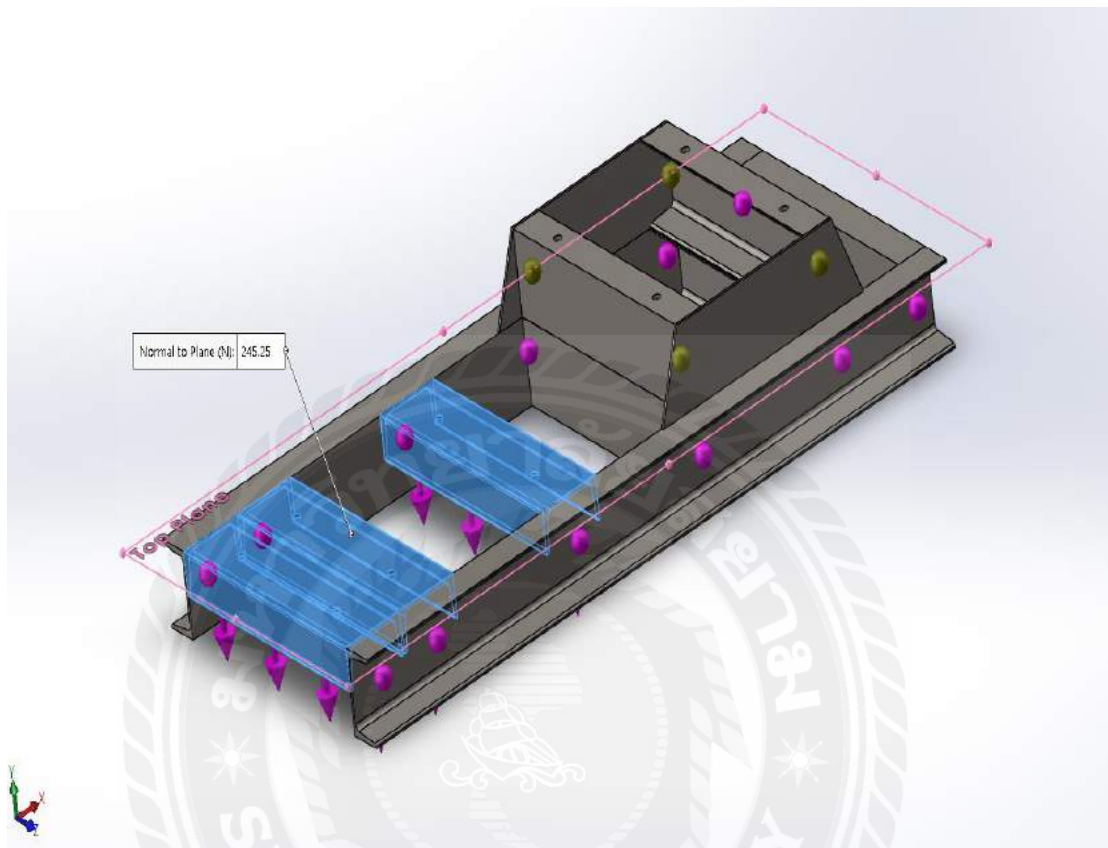
หมายเลข 7 ถึง 12 คือจุดรองรับน้ำหนักมอเตอร์ไม่มีการเคลื่อนไหว



รูปที่ 3.5 ใส่จุดยึดที่โครงสร้าง

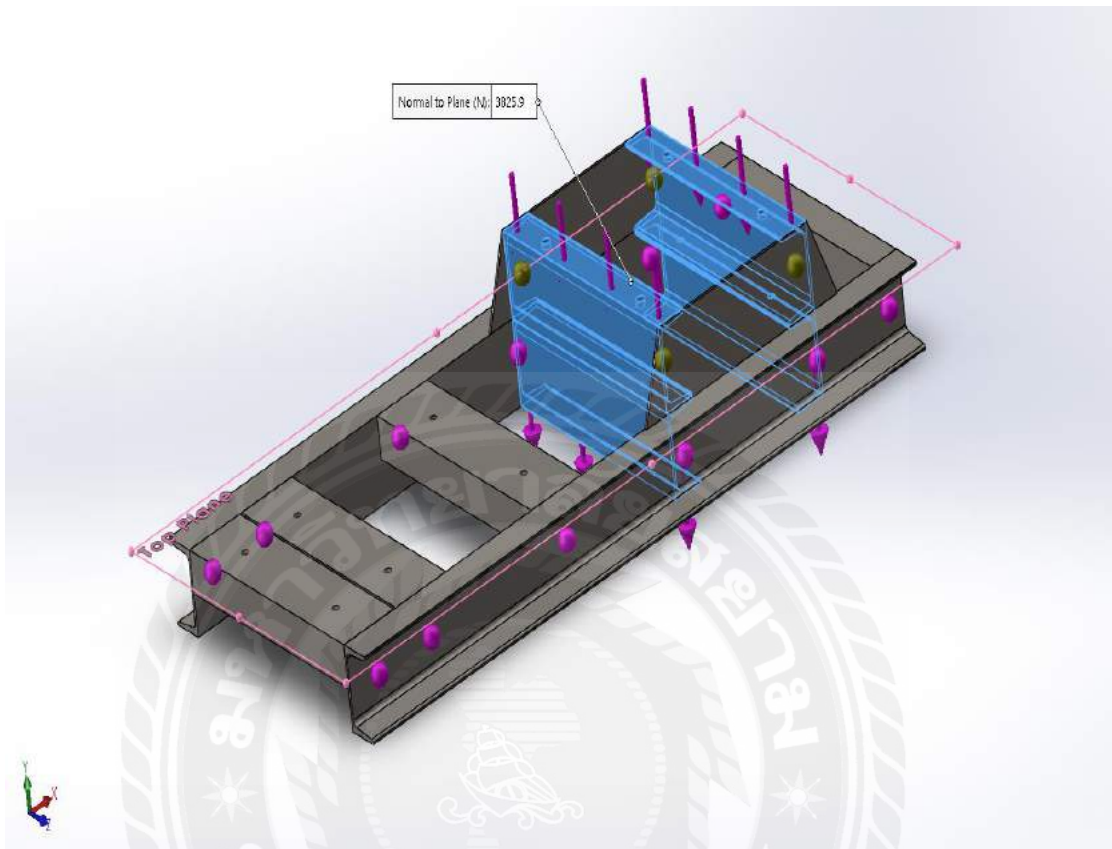
### 3.7.5 ใส่แรงที่ชิ้นงาน แรงกดที่ใส่ คือน้ำหนักวัสดุที่กดทับกับชิ้นงานทั้งหมด ได้แก่

#### 3.7.5.1 ใส่แรงที่ฐานรองรับน้ำหนักด้านหน้าเพื่อรองรับน้ำหนักปั๊มน้ำ 245.25 N



รูปที่ 3.6 ใส่แรงที่กระทำกับโครงสร้าง

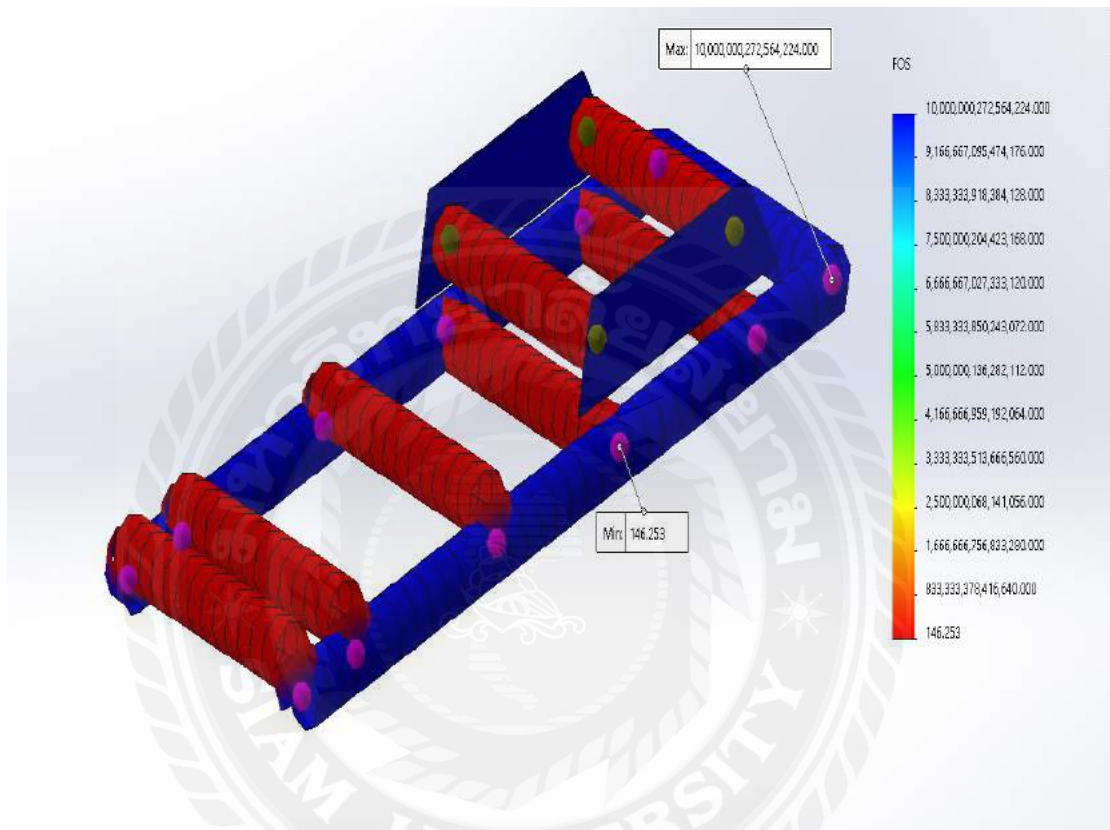
### 3.7.5.2 ใส่แรงที่ฐานรองรับน้ำหนักด้านหลังเพื่อรองรับน้ำหนักมอเตอร์ 3825.9 N



รูปที่ 3.7 ใส่แรงที่กระทำกับโครงสร้าง

### 3.7.6 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คำนวณหาค่าความปลอดภัยของโครงสร้างฐานรองรับบ่อน้ำประปานี้ ขณะรับแรงต่างๆของชิ้นงานเข้าไปจะมีค่าความปลอดภัยเท่าใด

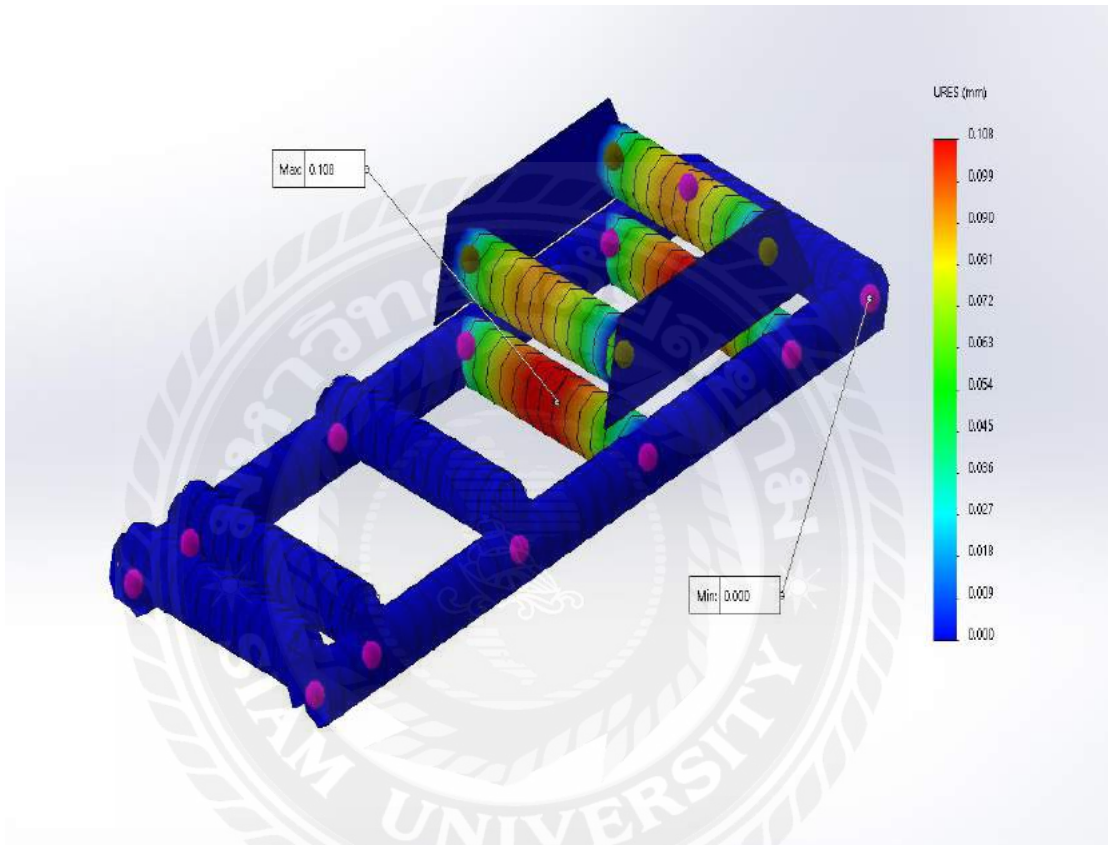


รูปที่ 3.8 แสดงค่าความปลอดภัยแบบติดตั้งหน้างาน

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor = 146.253

### 3.7.7 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ระยะการโก่งตัว

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คำนวณค่าการโก่งตัวของโครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา นี้ ขณะรับแรงต่างๆของชิ้นงานเข้าไปจะมีลักษณะความเสียหายอย่างไร



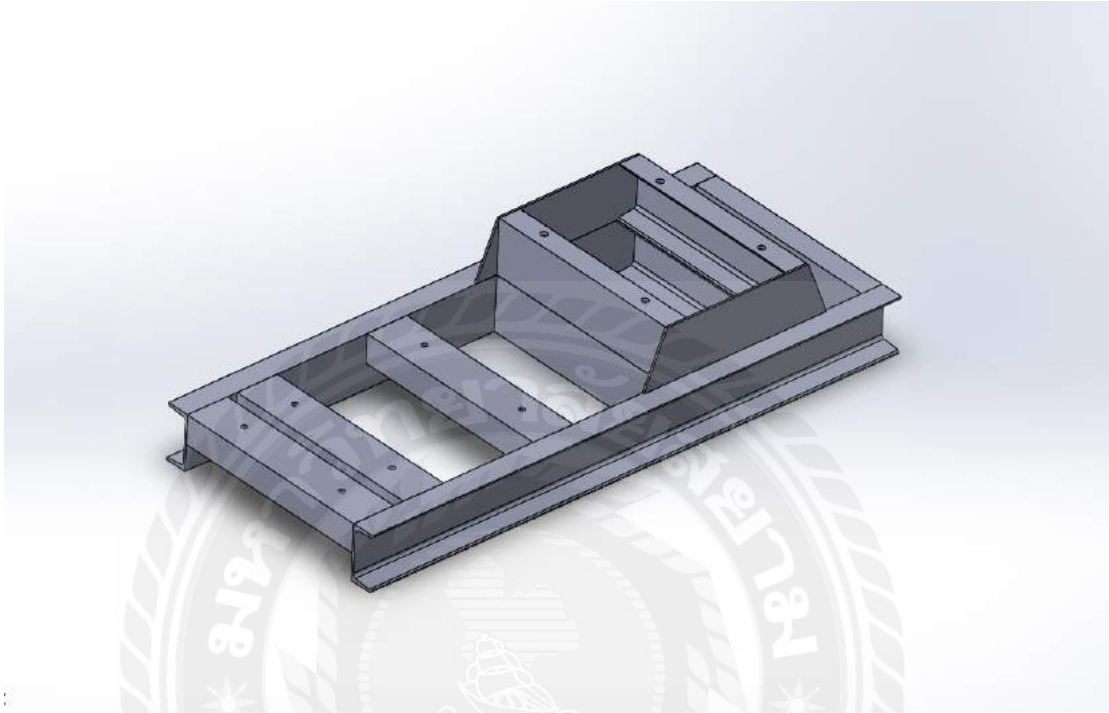
รูปที่ 3.9 แสดงค่าระยะการโก่งตัวแบบติดตั้งหน้างาน

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโก่งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.108mm



### 3.7.8 ฐานรองรับปั้มน้ำประปาที่ลดขนาดหลัก

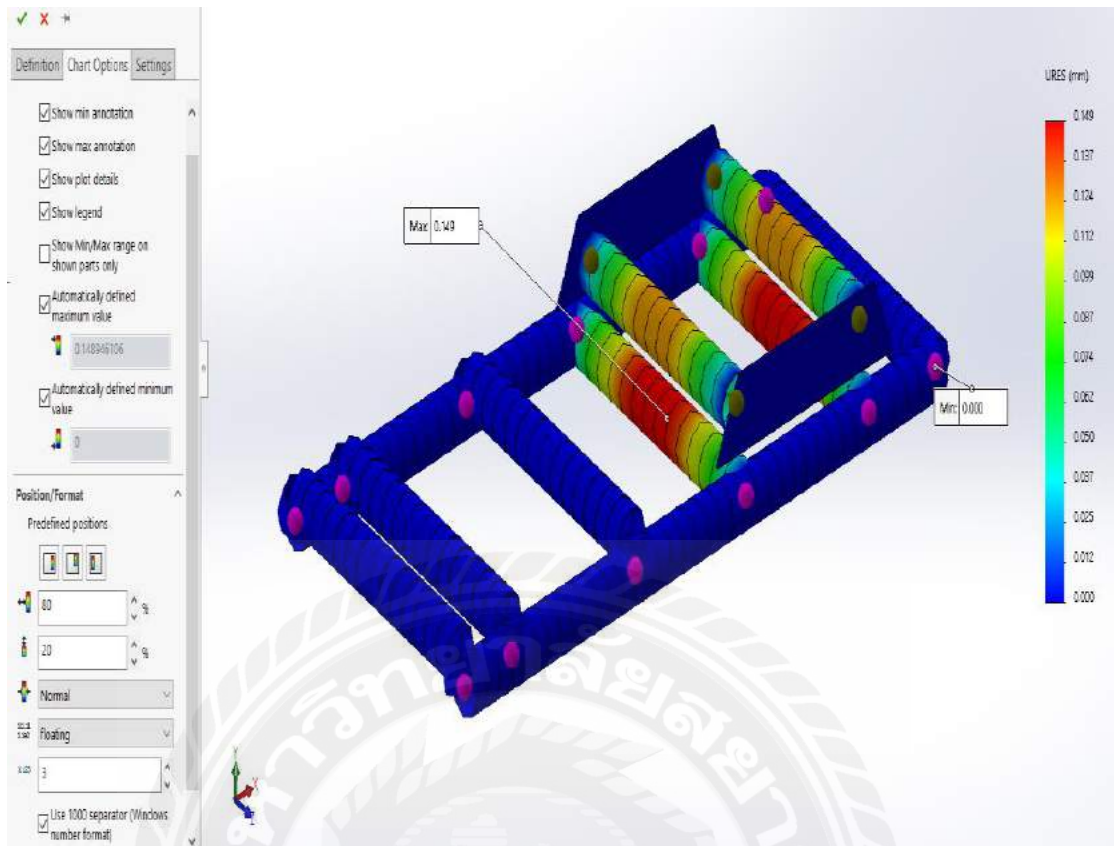
#### 3.7.8.1 ขั้นตอนการลดขนาดหลักฐานรองรับปั้มน้ำประปา ( 125x65x6.00 mm )



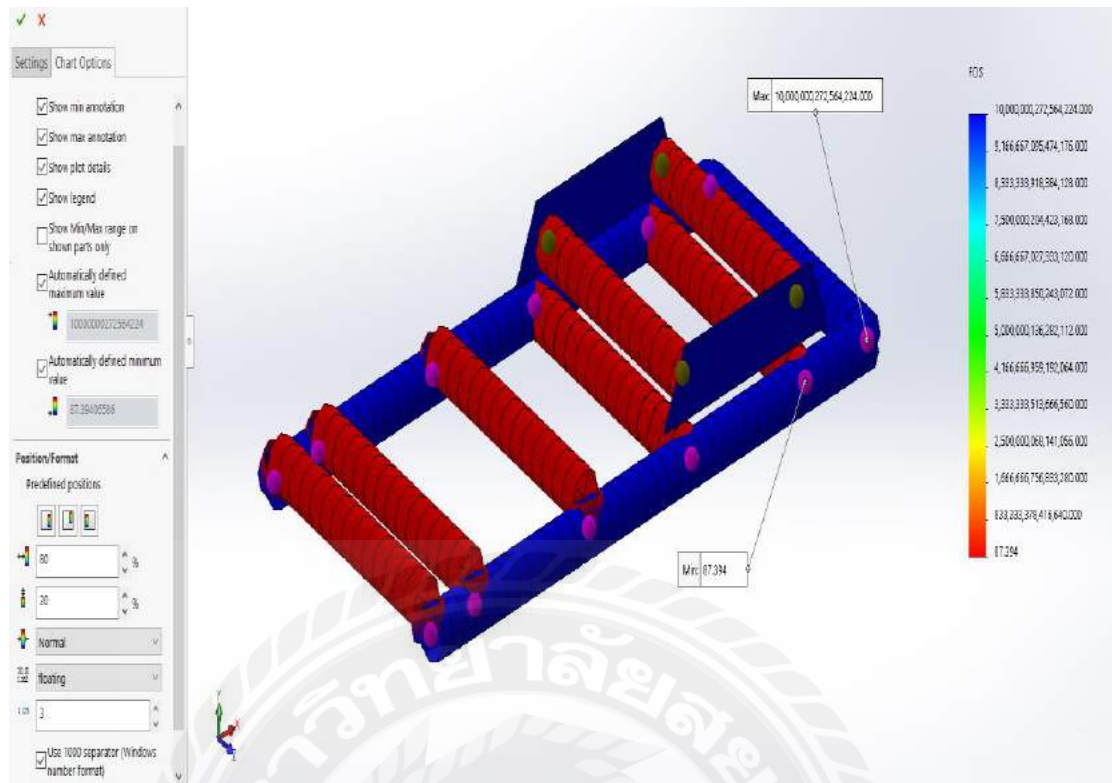
รูปที่ 3.10 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปาที่ลดขนาดหลัก

เหล็กโครงสร้างที่ใช้ในการสร้างฐานรองรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปาประกอบด้วยเหล็กดังนี้

1. เหล็กทรงน้ำขนาด 125x65x6.00 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านข้าง
2. เหล็กทรงน้ำขนาด 125x65x6.00 มิลลิเมตร โครงสร้างคานรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปา
3. เหล็กทรงน้ำขนาด 125x65x6.00 มิลลิเมตร โครงสร้างฐานรองรับมอเตอร์
4. เหล็กทรงน้ำขนาด 125x65x6.00 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านหลัง



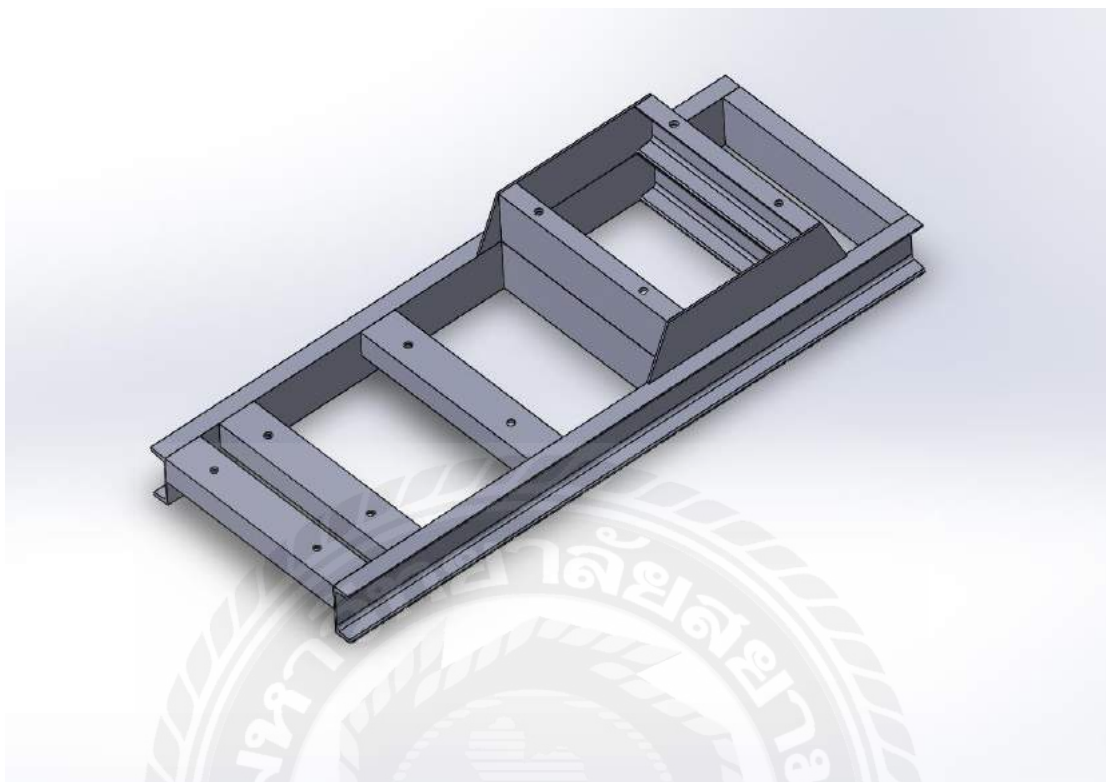
รูปที่ 3.11 ค่าโก่งตัวของฐานรองรับน้ำหนักรับน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก  
จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโก่งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.149 mm



รูปที่ 3.12 ผลการจำลองของฐานรองรับน้ำหนักรถบรรทุกที่ลดขนาดหลัก

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor = 87.394

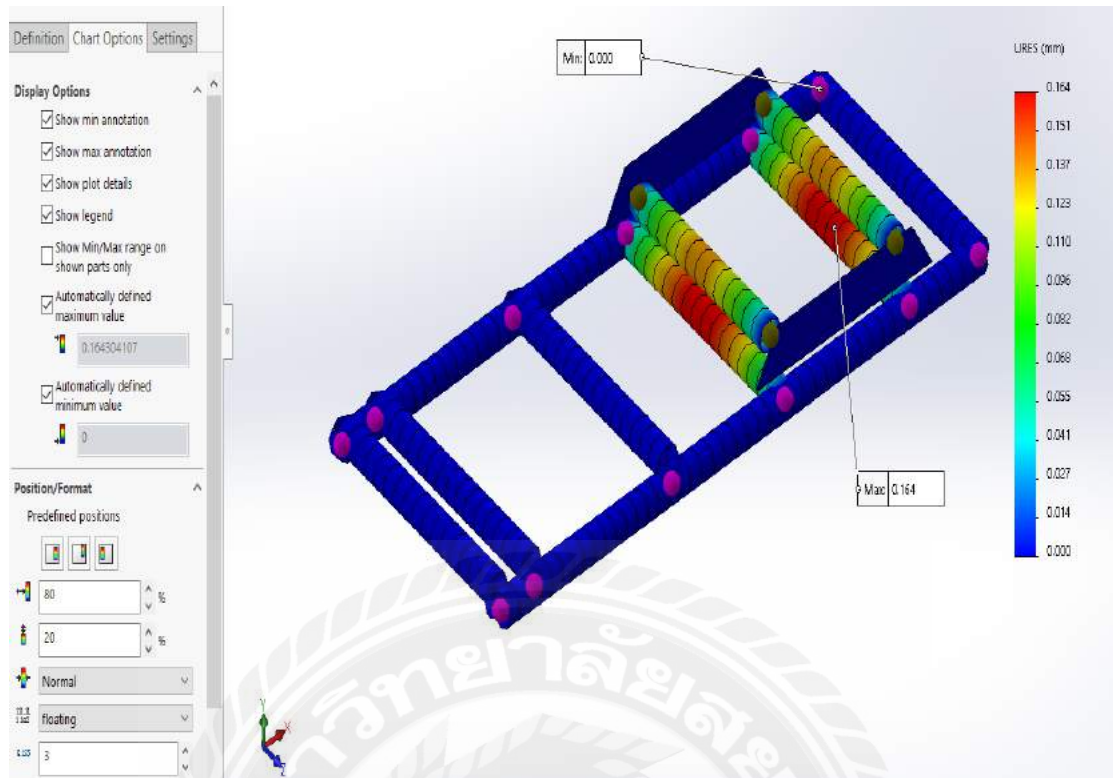
### 3.7.8.2 ขั้นตอนการลดขนาดเหล็กฐานรองรับปั้มน้ำประปา ( 100x50x5.00 mm )



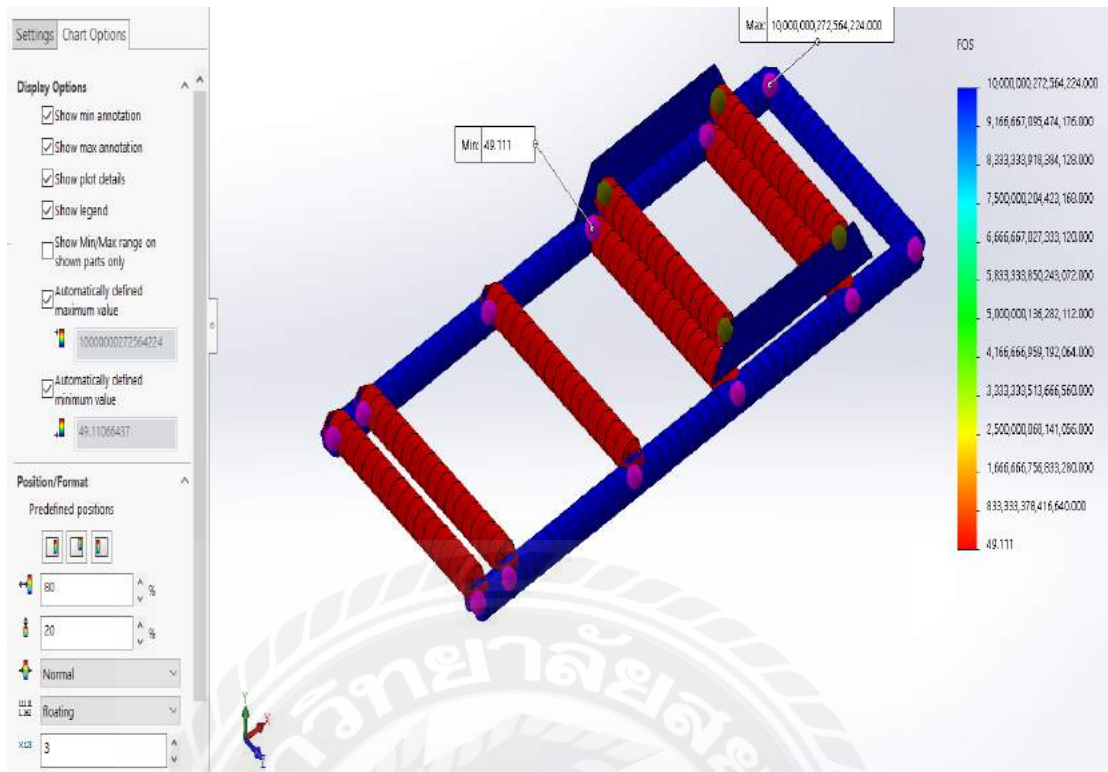
รูปที่ 3.13 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก

เหล็กโครงสร้างที่ใช้ในการสร้างฐานรองรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปาประกอบด้วยเหล็กดังนี้

1. เหล็กทรงน้ำขนาด 100x50x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านข้าง
2. เหล็กทรงน้ำขนาด 100x50x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างคานรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปา
3. เหล็กทรงน้ำขนาด 100x50x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างฐานรองรับมอเตอร์
4. เหล็กทรงน้ำขนาด 100x50x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านหลัง



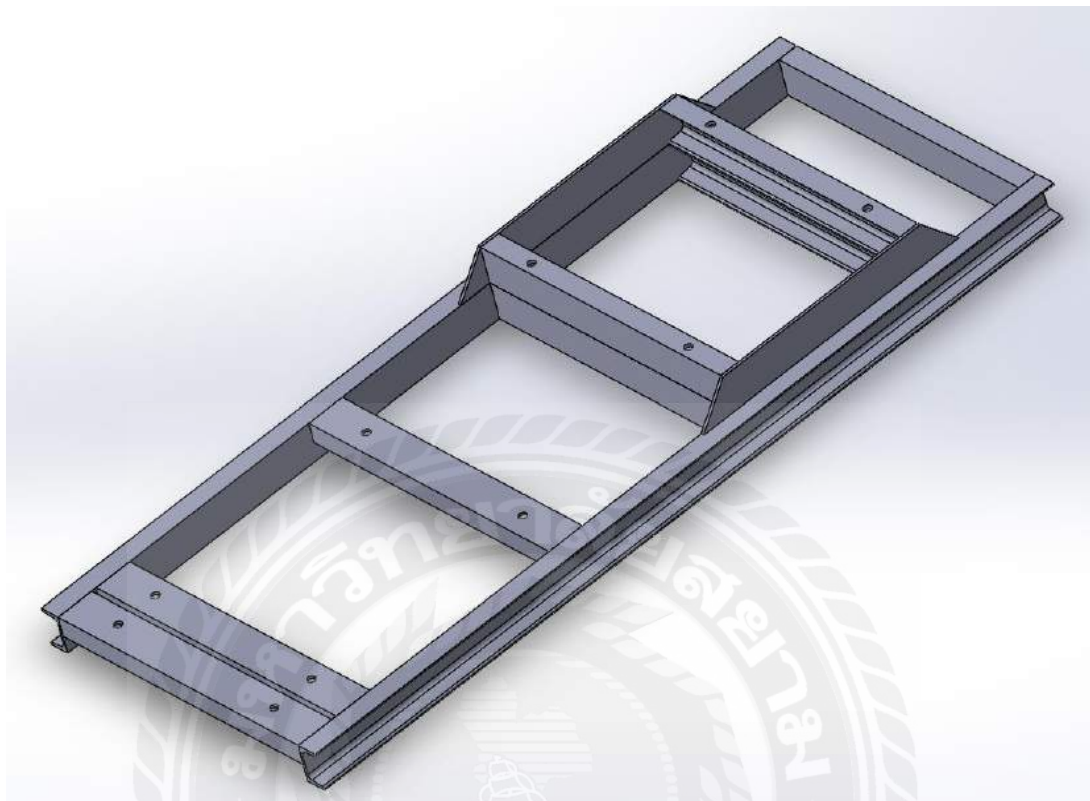
รูปที่ 3.14 ค่าโก่งตัวของฐานรองรับน้ำหนักบีมน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก  
จากการจำลอง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโก่งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.164 mm



รูปที่ 3.15 ผลการจำลองของฐานรองรับน้ำหนักรีดน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor = 49.111

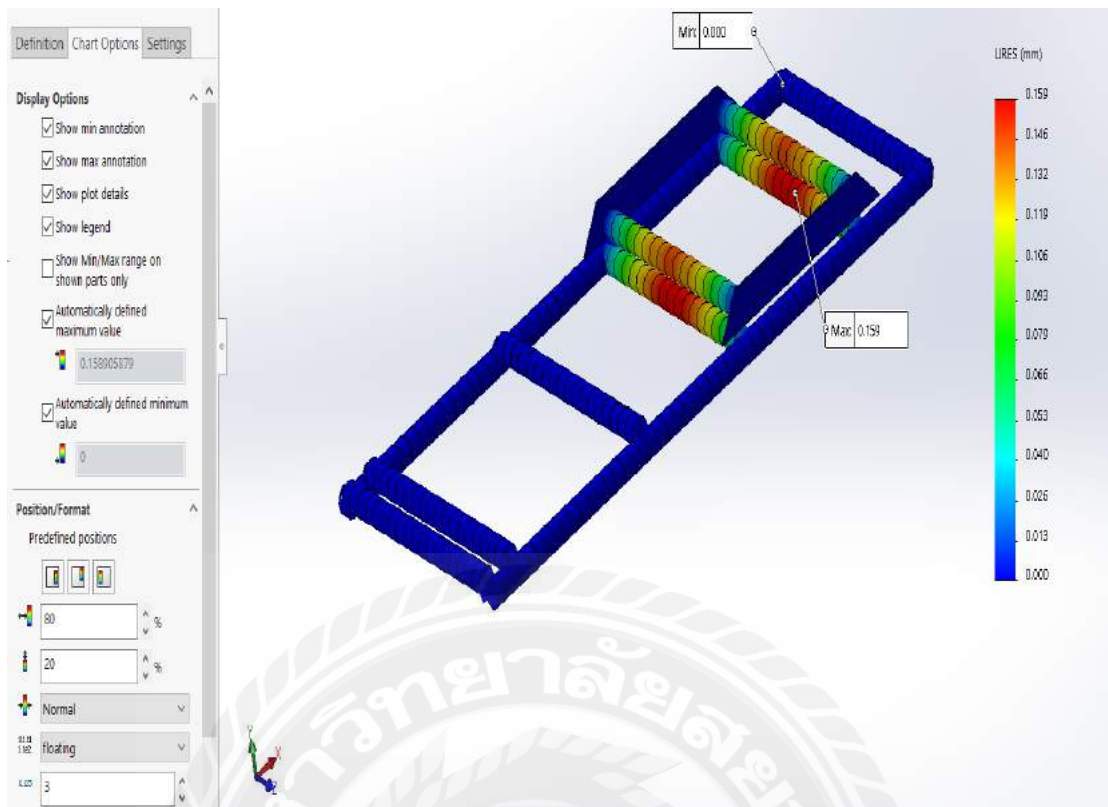
3.7.8.3 ขั้นตอนการลดขนาดเหล็กฐานรองรับปั้มน้ำประปา (ขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.16 โครงสร้างฐานรองรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก

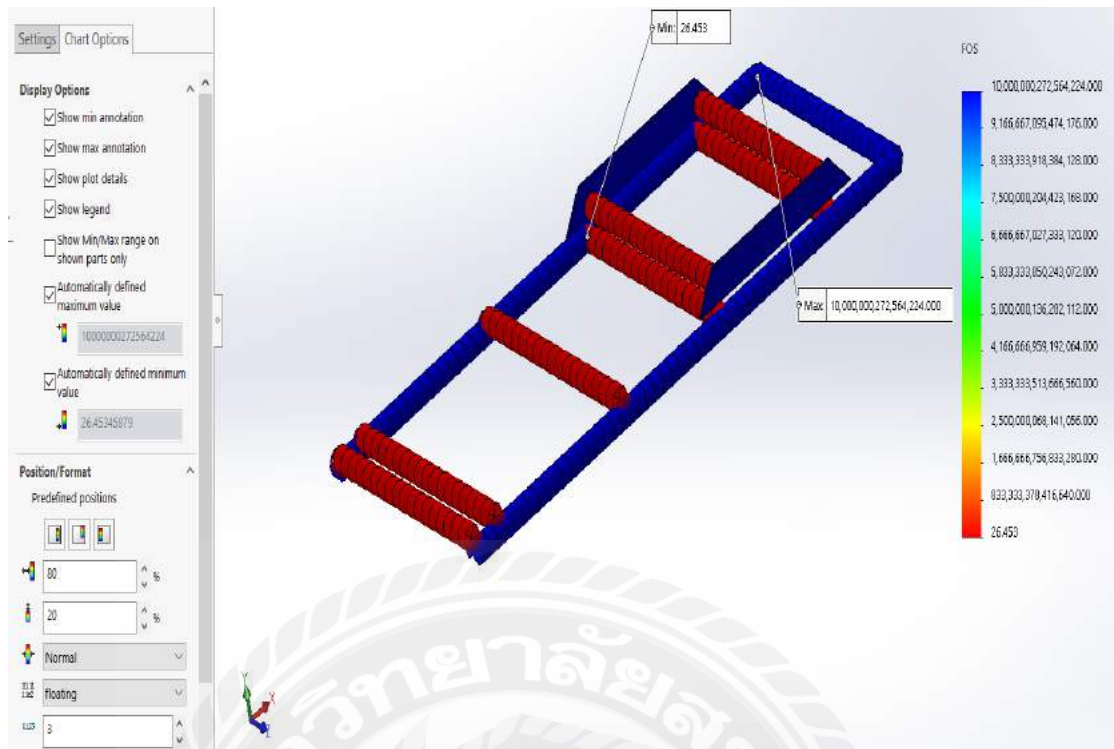
เหล็กโครงสร้างที่ใช้ในการสร้างฐานรองรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปาประกอบด้วยเหล็กดังนี้

1. เหล็กทรงน้ำขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านข้าง
2. เหล็กทรงน้ำขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างคานรับน้ำหน้กปั้มน้ำประปา
3. เหล็กทรงน้ำขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างฐานรองรับมอเตอร์
4. เหล็กทรงน้ำขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร โครงสร้างหลักด้านหลัง



รูปที่ 3.17 ค่าโค้งตัวของฐานรองรับน้ำหนักรับน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก  
จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโค้งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.159 mm





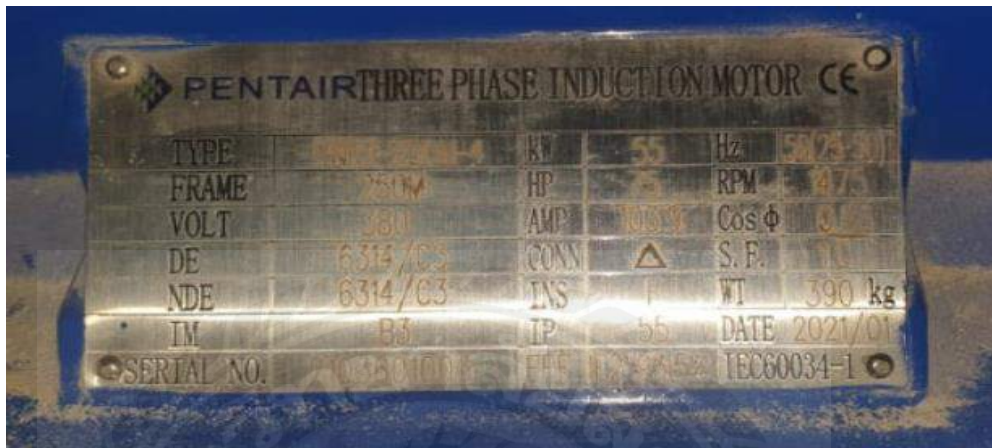
รูปที่ 3.18 ผลการจำลองของฐานรองรับน้ำหนักรับน้ำประปาที่ลดขนาดหลัก

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor = 26.453

### 3.8 การคำนวณน้ำหนักที่กระทำต่อฐานรองรับปั้มน้ำประปา

น้ำหนักปั้มน้ำประปาอ้างอิงมาจากแคตตาล็อกบริษัท (บริษัทไม่อนุญาตให้นำมาเผยแพร่)

$$\text{น้ำหนักปั้มน้ำ} = 25\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 = 245.25 \text{ N}$$



รูปที่ 3.19 แผ่น Name plate บอกสเปคมอเตอร์ปั้มน้ำประปา

$$\text{น้ำหนักมอเตอร์ 75 HP} = 390\text{Kg} \times 9.81\text{m/s}^2 = 3825.9 \text{ N}$$

ดังนั้นรวมน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำต่อฐานรองรับปั้มน้ำประปาประกอบด้วยน้ำหนักมอเตอร์และน้ำหนักปั้มน้ำ

$$245.25\text{N} + 3825.9\text{N} = 4,071.8 \text{ N}$$

การจำลองใช้ฐานรองรับปั้มน้ำประปาแรงที่กระทำต่อฐานรองรับเท่ากับ 4,071.8 N

### 3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

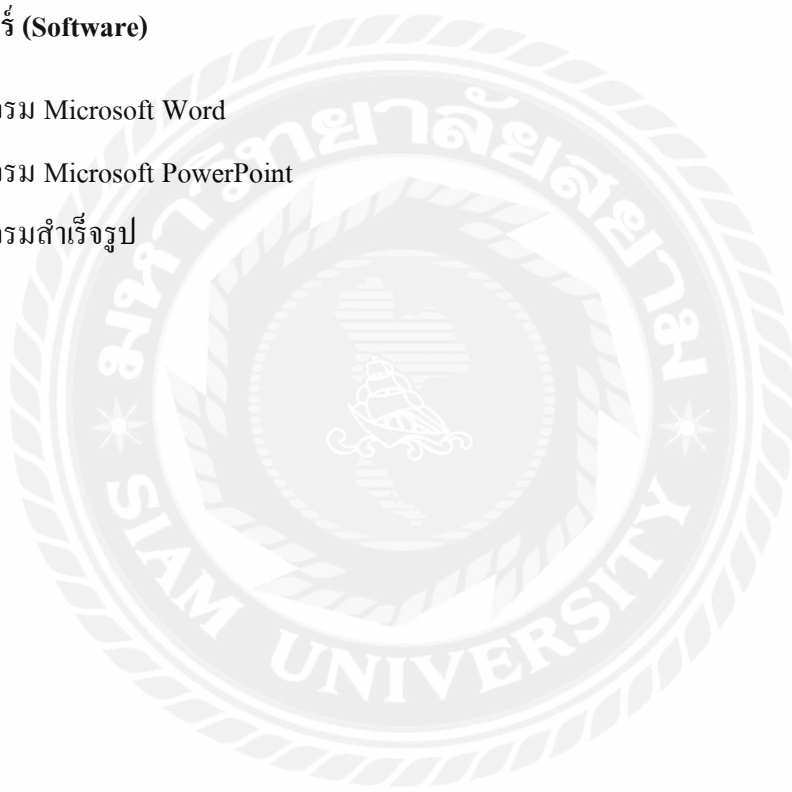
รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทำโครงการโดยใช้เครื่องฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เช่น

#### ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1. คอมพิวเตอร์ รุ่น ASUS
2. เครื่องปรีน
3. กล้องถ่ายรูป ซัมซุง S21
4. เครื่องถ่ายเอกสาร

#### ซอฟต์แวร์ (Software)

1. โปรแกรม Microsoft Word
2. โปรแกรม Microsoft PowerPoint
3. โปรแกรมสำเร็จรูป



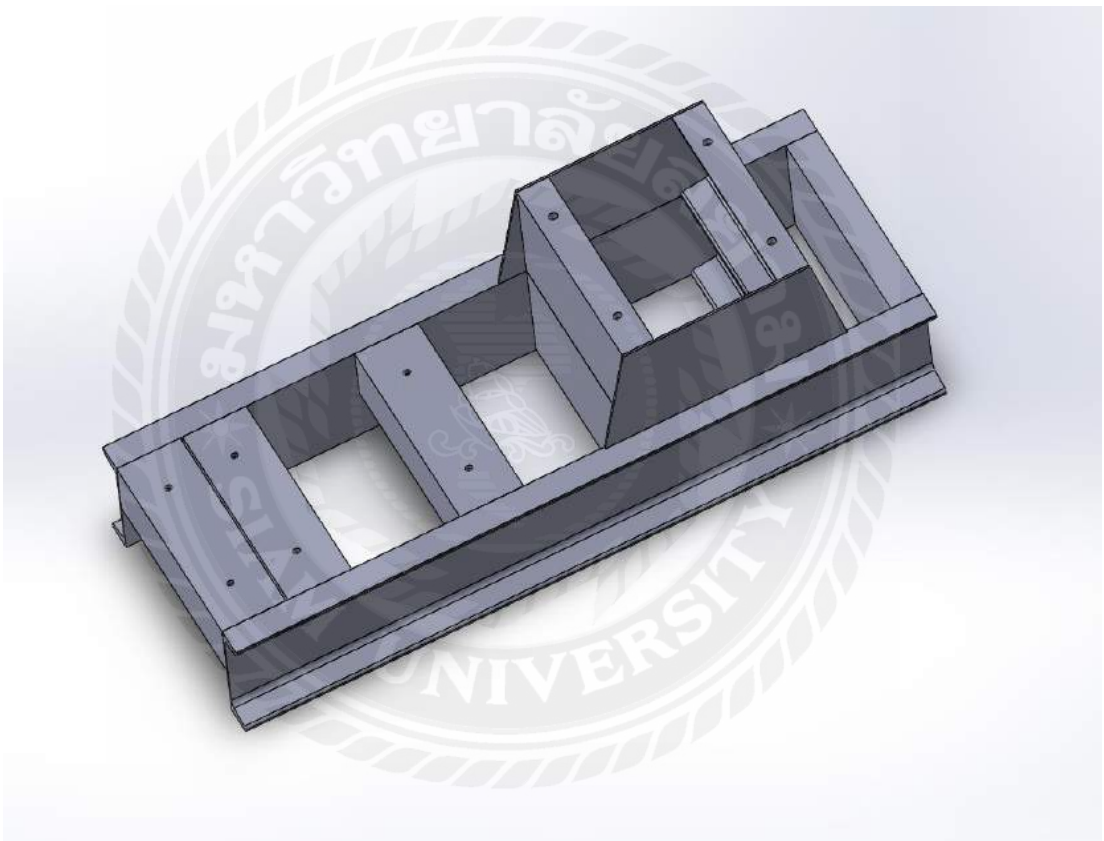
## บทที่ 4

### ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ

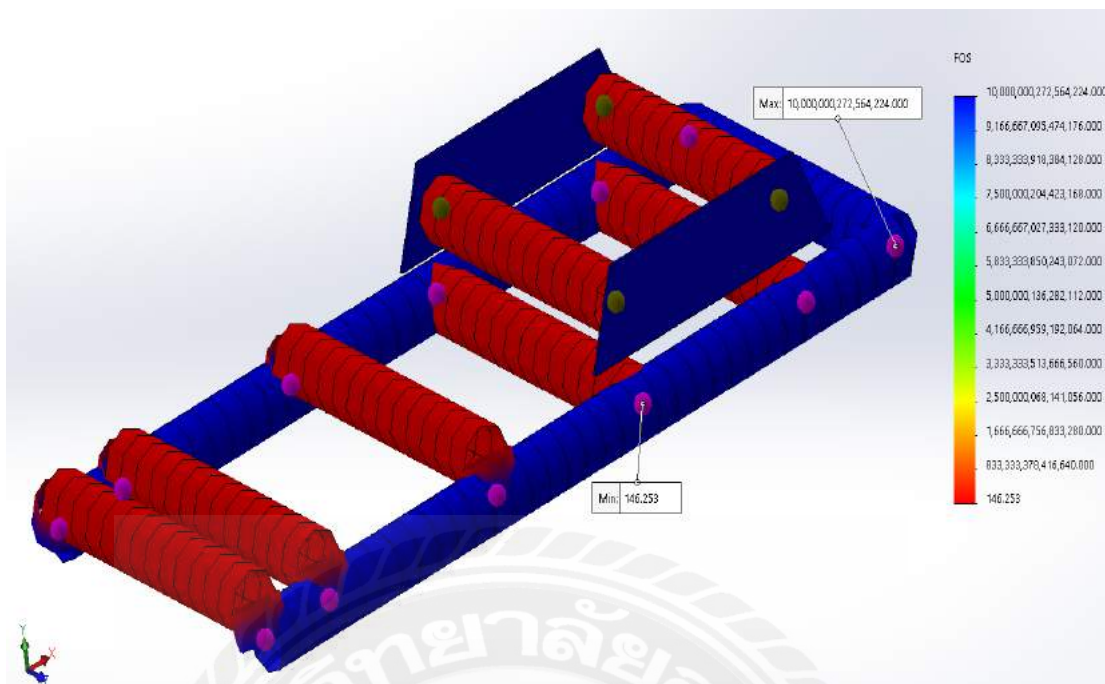
#### 4.1 ขนาดของเหล็กที่ใช้สร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา

4.1.1 เหล็กทรงน้ำขนาด 150x75x6.50 มิลลิเมตร

4.1.2 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 6.0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ติดตั้งหน้างาน)

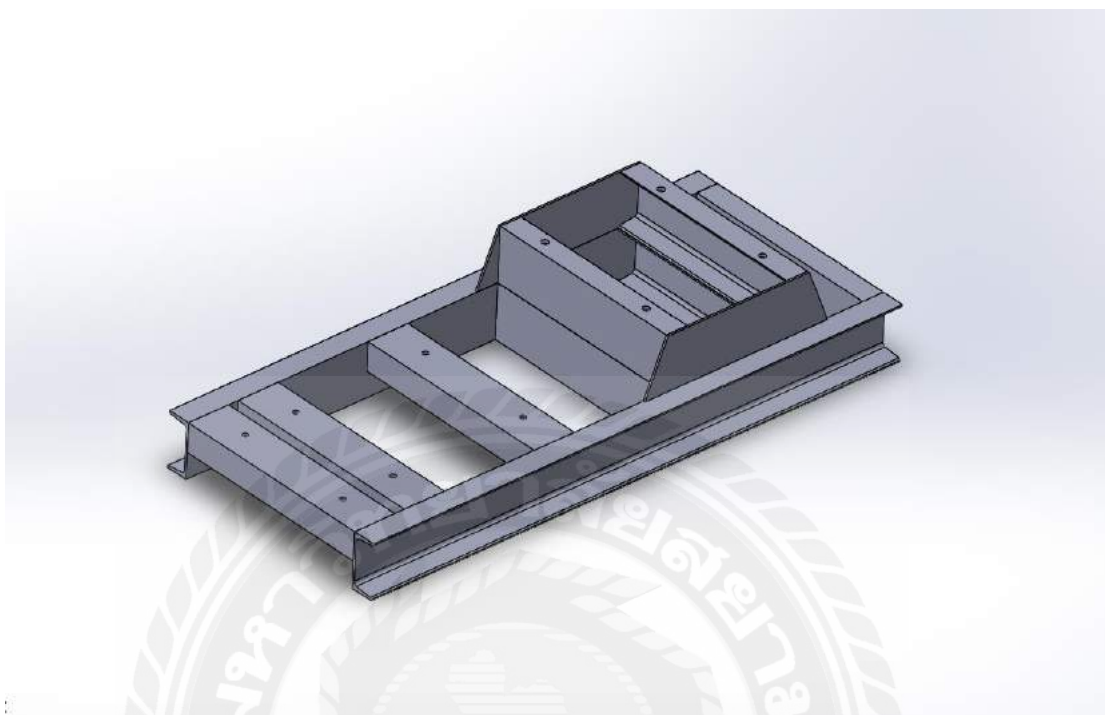


รูปที่ 4.2 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ติดตั้งหน้างาน)

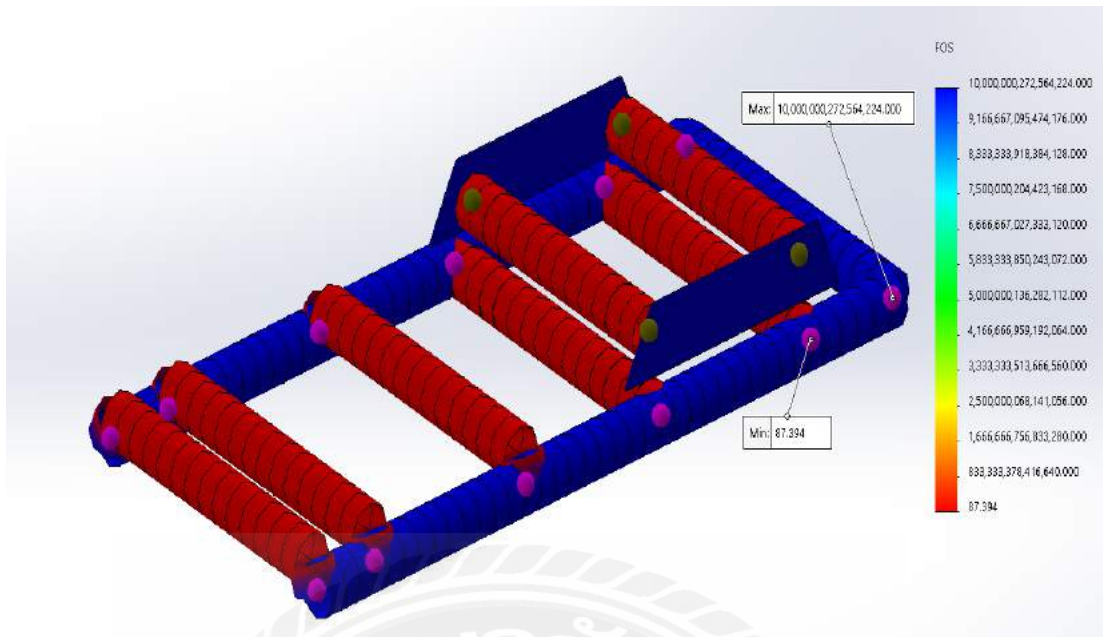
โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ติดตั้งหน้างาน)นี้ผลลัพธ์การจำลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูปมีค่าความปลอดภัยที่ 146.253 มีความปลอดภัยที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

4.1.3 เหล็กทรงน้ำขนาด 125x65x6.00 มิลลิเมตร

4.1.4 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 5.0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.3 โครงสร้างฐานรองรับปั๊มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)

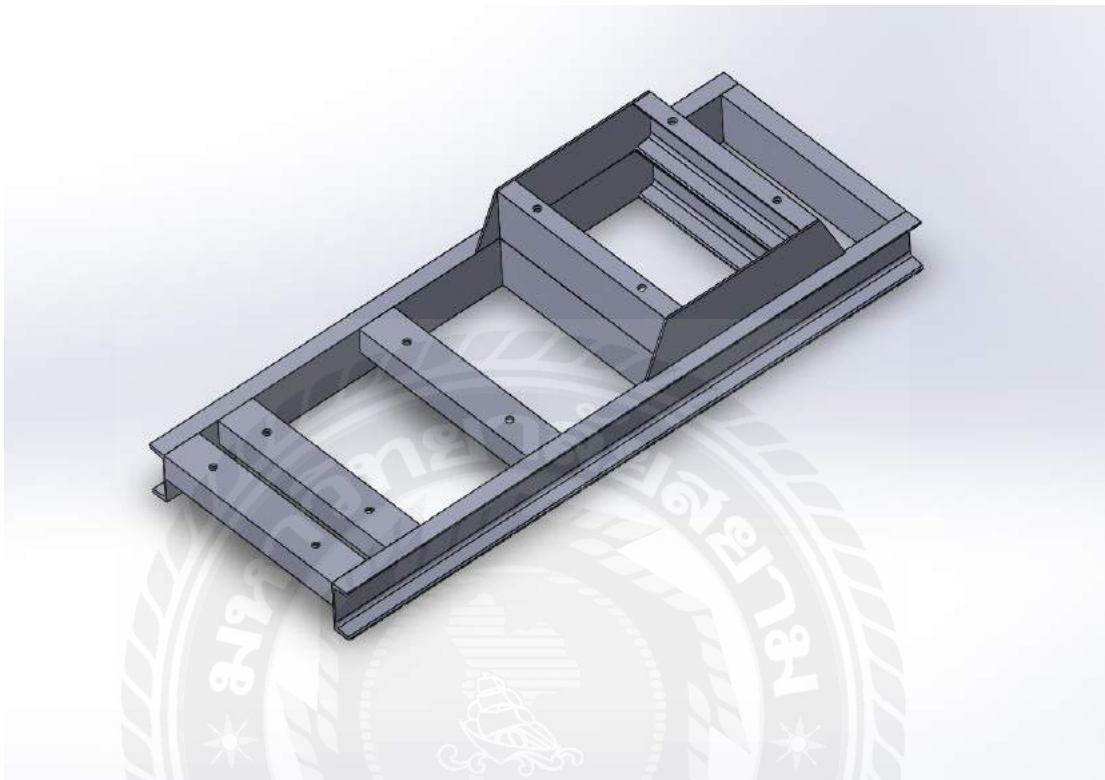


รูปที่ 4.4 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)

โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)นี้ผลลัพธ์การจำลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูปมีค่าความปลอดภัยที่ 87.394 มีความปลอดภัยที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

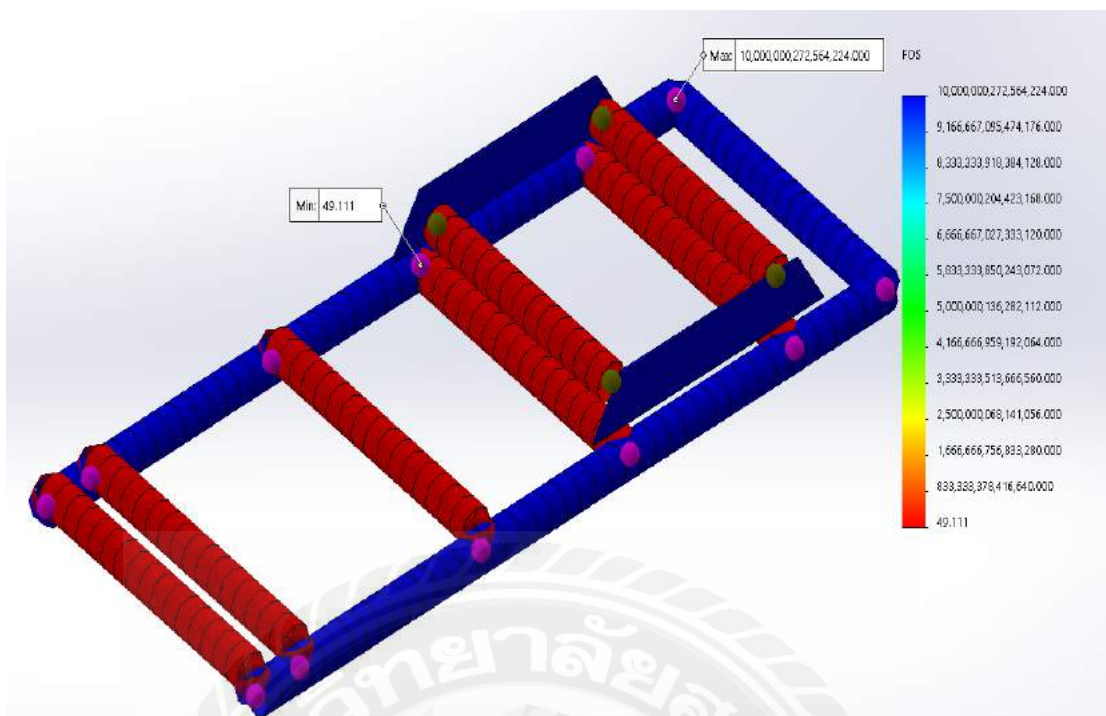
4.1.5 เหล็กทรงน้ำขนาด 100x50x5.00 มิลลิเมตร

4.1.6 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 4.0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)



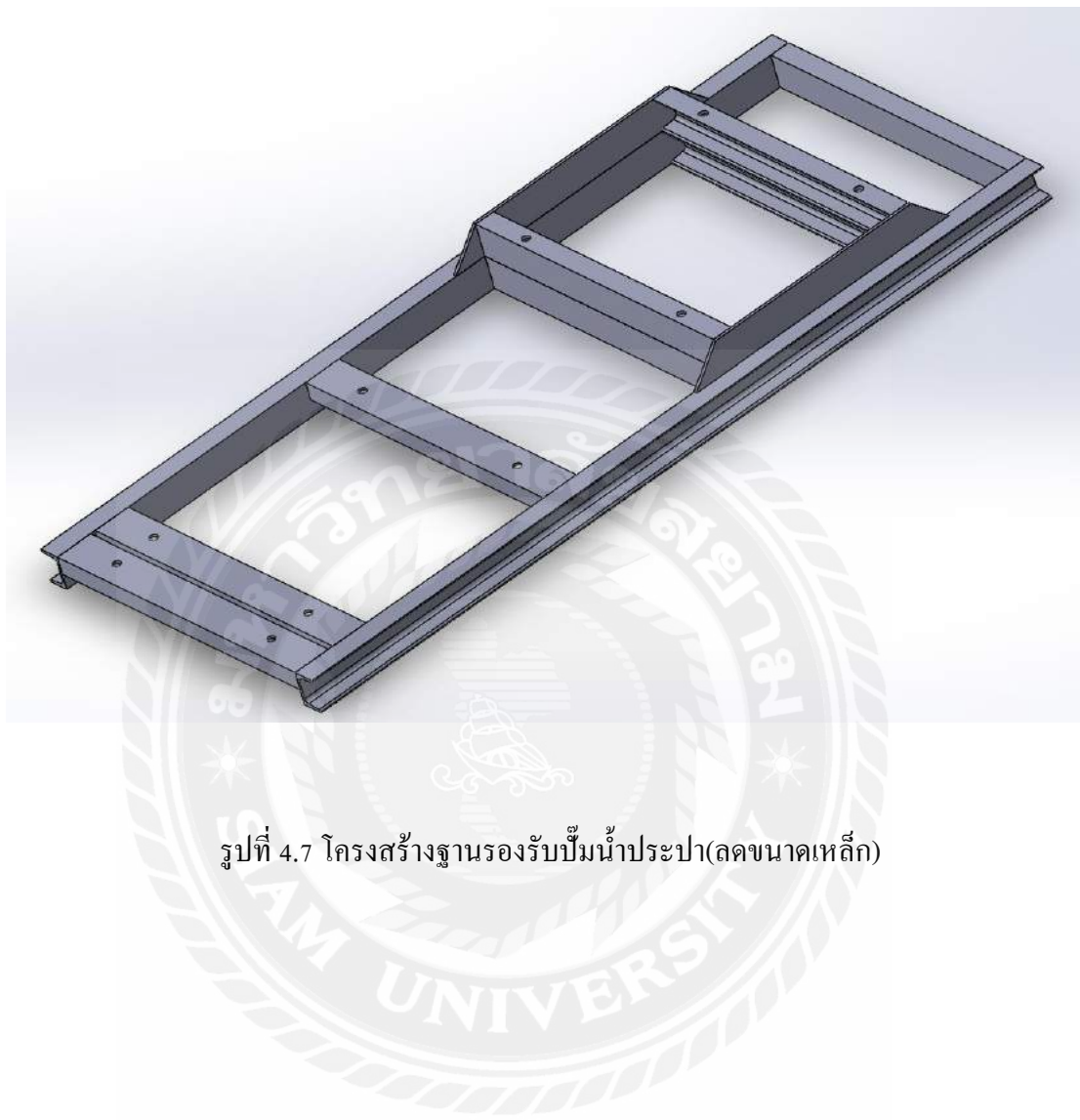


รูปที่ 4.6 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)

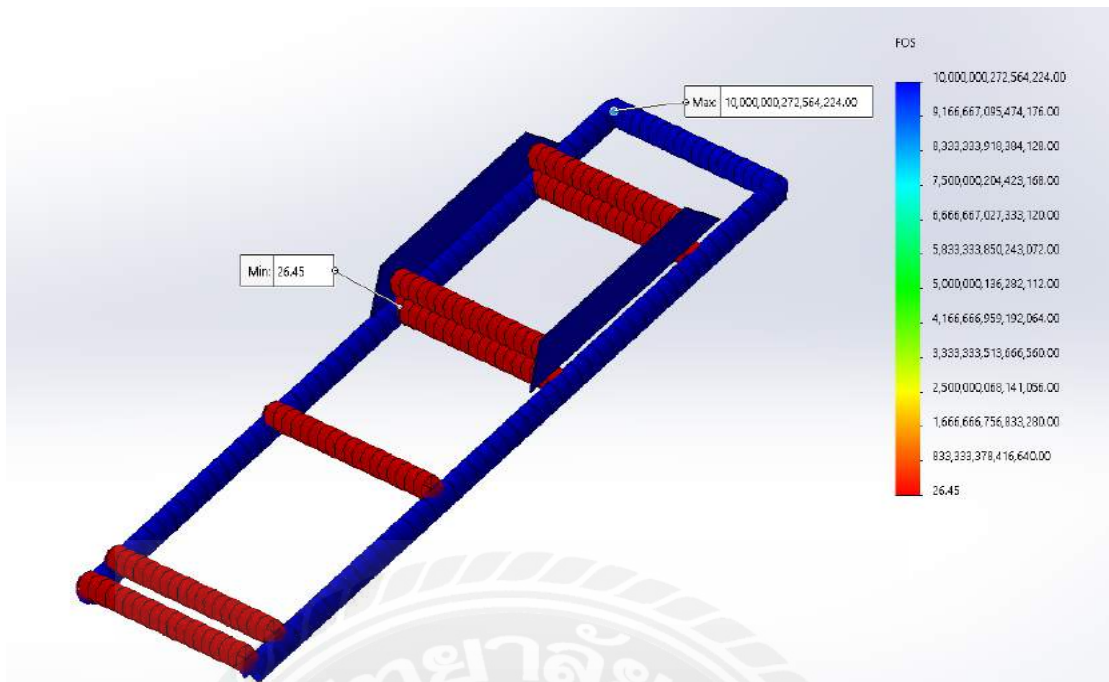
โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)นี้ผลลัพธ์การจำลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูปมีค่าความปลอดภัยที่ 49.111 มีความปลอดภัยที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

4.1.7 เหล็กทรงน้ำขนาด 75x40x5.00 มิลลิเมตร

4.1.8 เหล็กแผ่น (1,219.2x2,438.4 มิลลิเมตร) 3.0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.7 โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)

โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(ลดขนาดเหล็ก)นี้ผลลัพธ์การจำลองโดยโปรแกรมสำเร็จรูปมีค่าความปลอดภัยที่ 26.45 มีความปลอดภัยที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

#### 4.2 ราคาประเมินการสร้างฐานรองรับปั๊มน้ำประปา(BOQ)

รูปแบบฐานรองรับปั๊มน้ำประปา	ขนาดเหล็ก รางน้ำ	ราคา เหล็ก รางน้ำ	ขนาดเหล็กแผ่น	ราคาเหล็ก แผ่น	Safety factor	ราคา รวม
1	ขนาด 150x75x6.50 (2เส้น)	3,188 บาท 1 เส้น	(1,219.2x2,438.4มม.) 6.0มม. (1แผ่น)	4,970บาท	146.253	11,346 บาท
2	ขนาด 125x65x6.00 (2เส้น)	2,290 บาท 1 เส้น	(1,219.2x2,438.4มม.) 5.0มม. (1แผ่น)	4,142.85 บาท	87.394	8,708. 85บาท
3	ขนาด 100x50x5.00 (2เส้น)	1,545 บาท 1 เส้น	(1,219.2x2,438.4มม.) 4.0มม. (1แผ่น)	3,314.28 บาท	49.111	6,404. 28บาท
4	ขนาด 75x40x5.00 (2เส้น)	1,153 บาท 1 เส้น	(1,219.2x2,438.4มม.) 3.0มม. (1แผ่น)	2,485บาท	26.45	4,791 บาท

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ชิ้นงานจากผลการวิเคราะห์ฐานรองรับปั้มน้ำประปาขนาด 150x75x6.50 โครงสร้างแบบเดิมที่ใช้งานอยู่เปรียบเทียบกับ โครงสร้างที่ลดขนาดเพื่อลดต้นทุนในการสร้างนั้นสามารถรับน้ำหนักได้จริงนำมาเปรียบเทียบแล้ว โครงสร้างที่เราลดขนาดนั้นมีค่าความปลอดภัยน้อยกว่า แต่ก็เพียงพอสำหรับที่จะรับน้ำหนักที่ 4,071.8 นิวตันต่อเมตร ตามผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

1. เพื่อทดสอบคุณภาพของฐานรองรับปั้มน้ำประปาเมื่อใช้แรงกดลงที่ตำแหน่งของพื้นที่ใช้งานจะรู้ผลลัพธ์ออกมาโดยทันที

1.1 ผลการจำลอง โดยใช้โปรแกรมที่กดลงหน้าแปลน = 245.25 N

และแรงกดลงที่มอเตอร์ = 3825.9 N

ค่าความปลอดภัย ที่ได้ = 146.253

1.2 ผลการจำลอง โดยใช้โปรแกรมหาระยะ โกง่งลงตัว

ระยะ โกง่งตัว ที่ได้ = 0.108 mm

2. เพื่อทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วนำไปพัฒนาให้มีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทดลองพบว่า โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา มีขนาดเหล็กที่ใหญ่เกินความจำเป็นและมีต้นทุนสูง ควรมีการลดขนาดเหล็กเพื่อลดต้นทุนของฐานรองรับปั้มน้ำประปา ในกรณีเลือกใช้วัสดุของโครงการนี้มีปัจจัยเพื่อลดต้นทุนและค่าความปลอดภัยยังอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

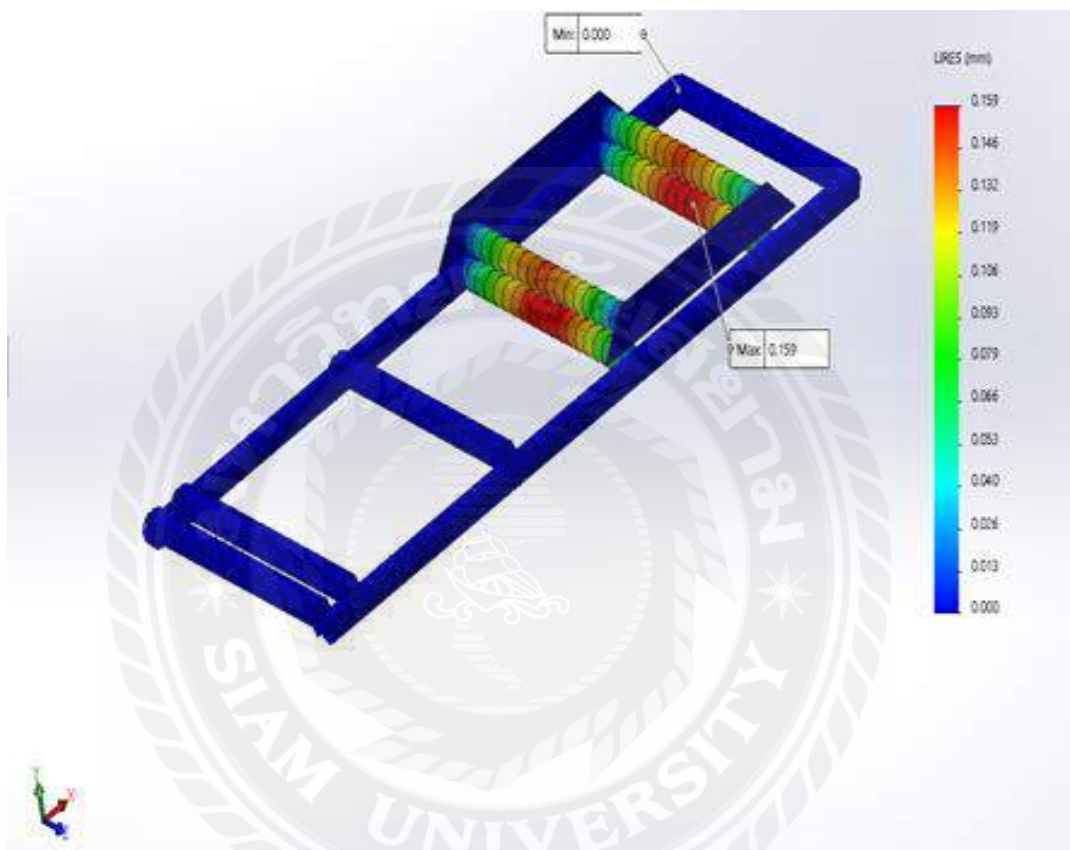
### 5.2.1 ลดขนาดเหล็กโครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา



รูปที่ 5.1 ลดขนาดเหล็กโครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา

### 5.2.2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ระยะโก่งตัวหลังจากลดขนาดเหล็ก

จำลองชิ้นงานใหม่อีกครั้ง ให้รับแรงกดที่พื้นที่ใช้งานของฐานรองรับปั้มน้ำประปา จำลองค่าความปลอดภัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป แรงที่กดลงหน้าแปลน 245.25 N และแรงกดลงที่มอเตอร์ 3825.9 N ในพื้นที่ใช้งานของฐานรองรับปั้มน้ำประปา

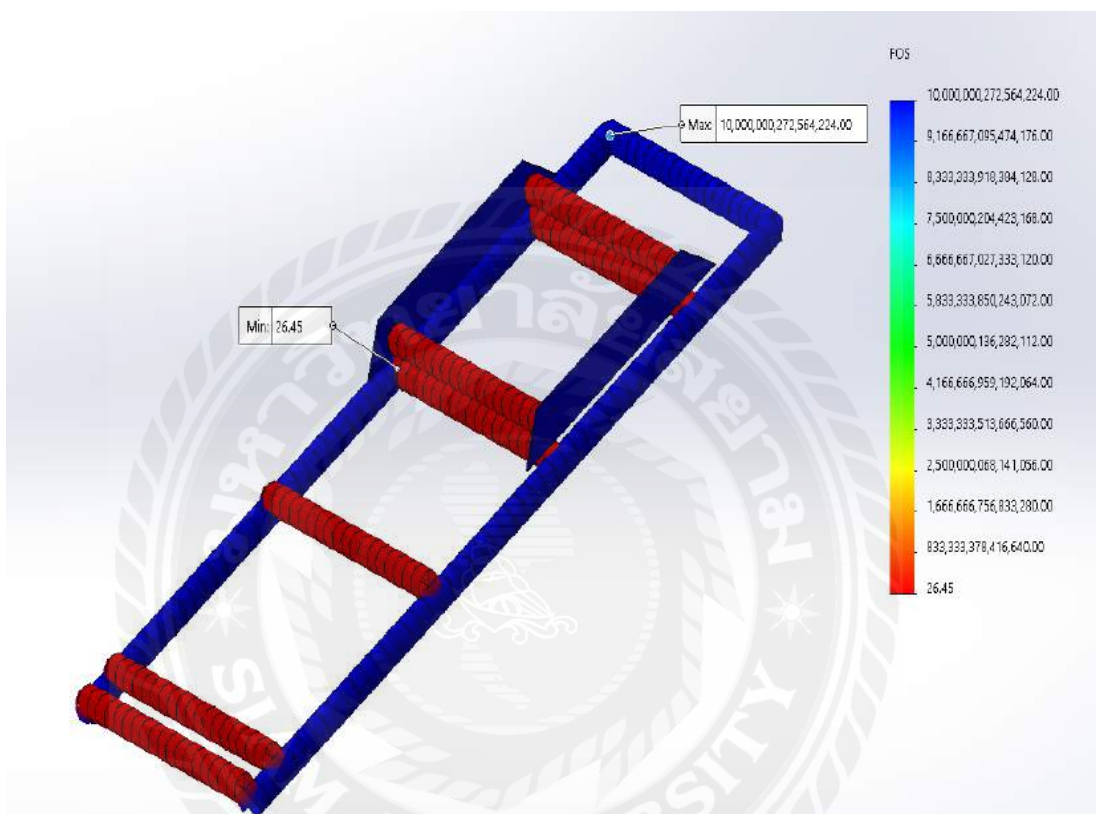


รูปที่ 5.2 คำนวณระยะโก่งตัวใหม่

จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปหาค่าโก่งตัวได้เท่ากับ 0.159 mm

### 5.2.3 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย

จำลองชิ้นงานใหม่อีกครั้ง ให้รับแรงกดที่พื้นที่ใช้งานของฐานรองรับปั้มน้ำประปา จำลองค่าการโก่งตัวโดยใช้โปรแกรมแรงที่กดลงหน้าแปลน 245.25 N และแรงกดลงที่มอเตอร์ 3825.9 N ในพื้นที่ใช้งานของฐานรองรับปั้มน้ำประปา



รูปที่ 5.3 กำหนดค่า Safety Factor ใหม่

จากการคำนวณ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปหาค่าความปลอดภัยได้เท่ากับ 26.45



## สรุป

หลังจากลดขนาดเหล็กทรงน้ำที่ใช้ในการสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปาจึงมีค่า Safety Factor น้อยลงแต่จะช่วยลดต้นทุนในการสร้างได้มากขึ้น

ตารางที่ 5.1 แสดงผลเปรียบเทียบหลังจากปรับปรุง

รายการ	ขนาดเหล็ก	Safety Factor	Displacement	ราคาเหล็ก แต่ละขนาด
ก่อนปรับปรุง	150x75x6.50 mm	146.253	0.108 mm	11,346 บาท
หลังปรับปรุง	75x40x5.00 mm	26.45	0.159 mm	4,791บาท

จากการทดลองลดขนาดฐานรองรับปั้มน้ำประปาจึงได้ค่าต่างๆดังนี้

ค่าความปลอดภัยจากการทดลองของเหล็กขนาด 75x40x5.00 มม. คือ 26.45 ซึ่งยังอยู่ในค่ามาตรฐานชิ้นงานจึงมีความปลอดภัยอยู่

ค่าระยะโก่งตัวจากการทดลองของชิ้นงาน คือ 0.159 มม.

จากการแก้ไขดังกล่าวทำให้โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปามีค่าความปลอดภัยลดลง 119.803 และ มีระยะ โก่งตัวเพิ่มขึ้น 0.051 mm ทำให้มีค่าใช้จ่ายลดลง 6,555 บาท

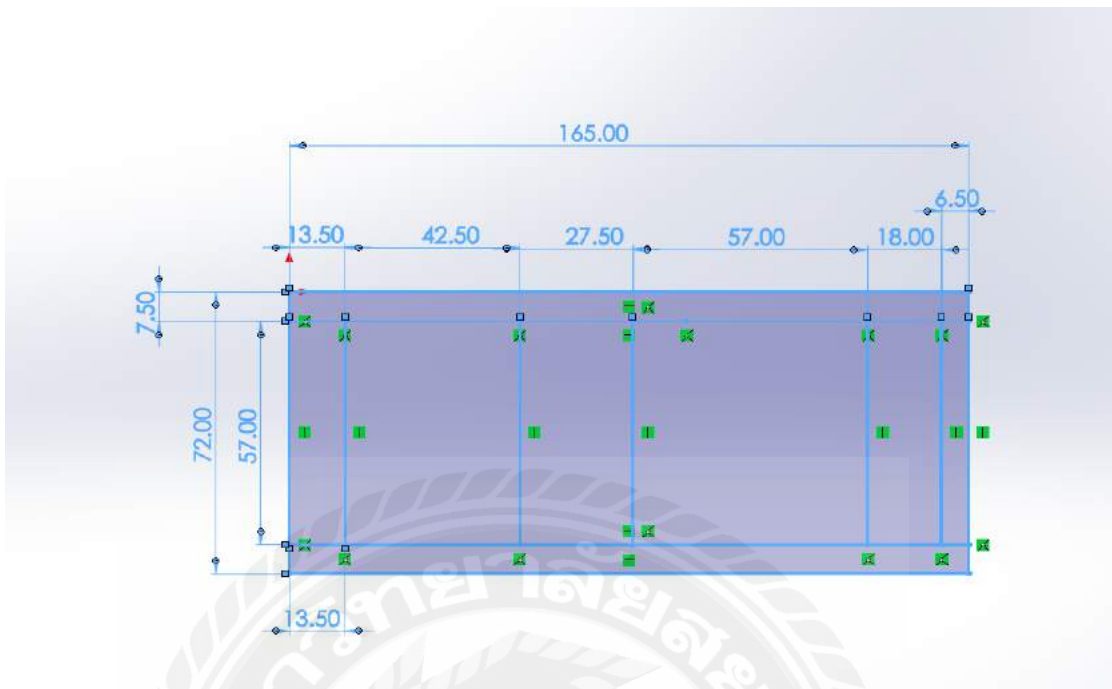
## บรรณานุกรม

- วริทธิ์ อิงภากรณ์. (2556). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราโมทย์ เดชอำไพ. (2555). ไฟในต์เอเลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท HOME & FAC. บทความวัสดุวิศวกรรม  
เข้าถึงได้จาก <https://www.homeandfac.com>
- บริษัท GLOBAL HOUSE. ระบบเครื่องสูบน้ำประปา  
เข้าถึงได้จาก <https://dlink.me/YzvQk>
- สุริยา ประสมทอง. (2555). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของครอปัดในการลากขึ้นรูปโลหะที่มีรูปทรงไม่สมมาตรด้วยการจำลองด้วยไฟในต์เอเลิเมนต์  
เข้าถึงได้จาก <https://dlink.me/p88LY>
- พงษ์ภลัย ภัทรประภาพันธ์. (2537). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย เส้นอิทธิพลสำหรับ แรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนและ โมเมนต์ค้ดของ คานต่อเนื่อง ที่มีความแข็งเกร็งแรงค้ดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น  
เข้าถึงได้จาก <https://dlink.me/peopq>
- ศุภวุฒิ ดวนด้วน. (2544). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่น โดยวิธีสตีเฟเนส โดยตรง  
เข้าถึงได้จาก <https://dlink.me/EW9Ey>



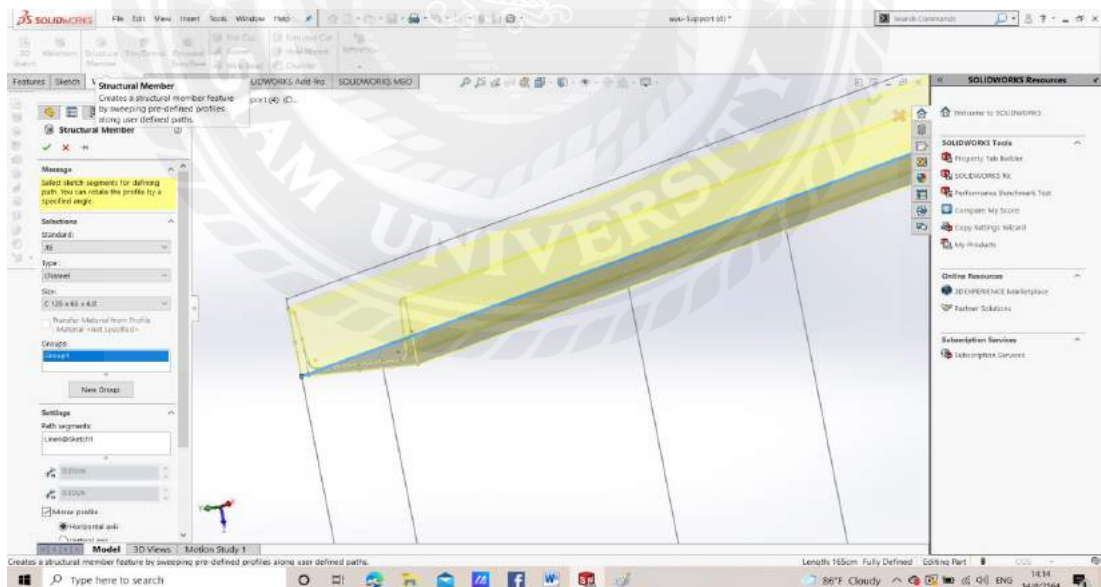
**ภาคผนวก**

## 1. Sketch ขนาดที่ต้องการวาด



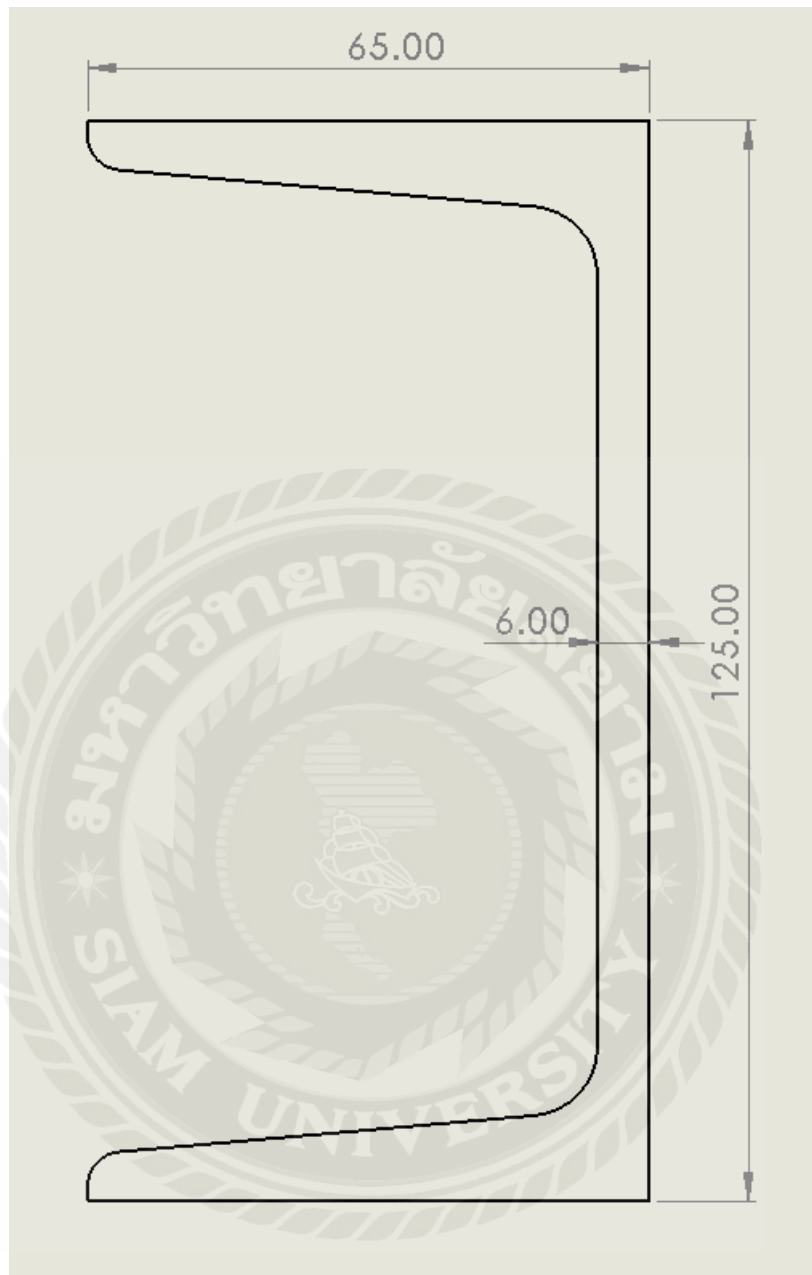
รูปที่ 1 Sketch แบบ

## 2. ที่แถบเมนู Weldments เลือก Structural Member เพื่อสร้างเหล็กทรงน้ำ



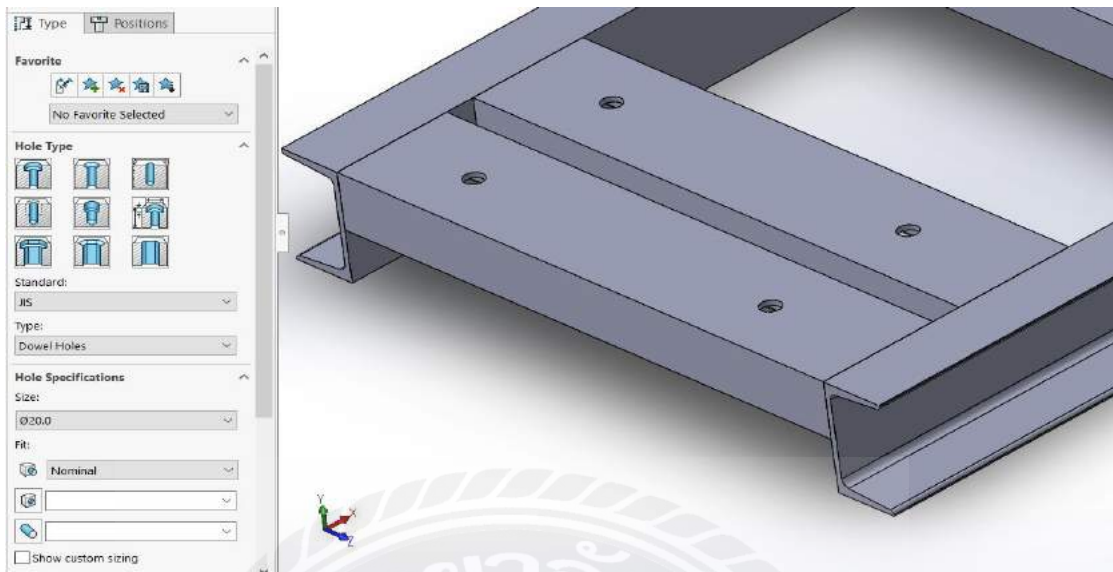
รูปที่ 2 ใช้คำสั่งวาดเหล็ก

2.1 หน้าตัดเหล็กทรงน้ำหนักขนาด 125x65x6.0 mm



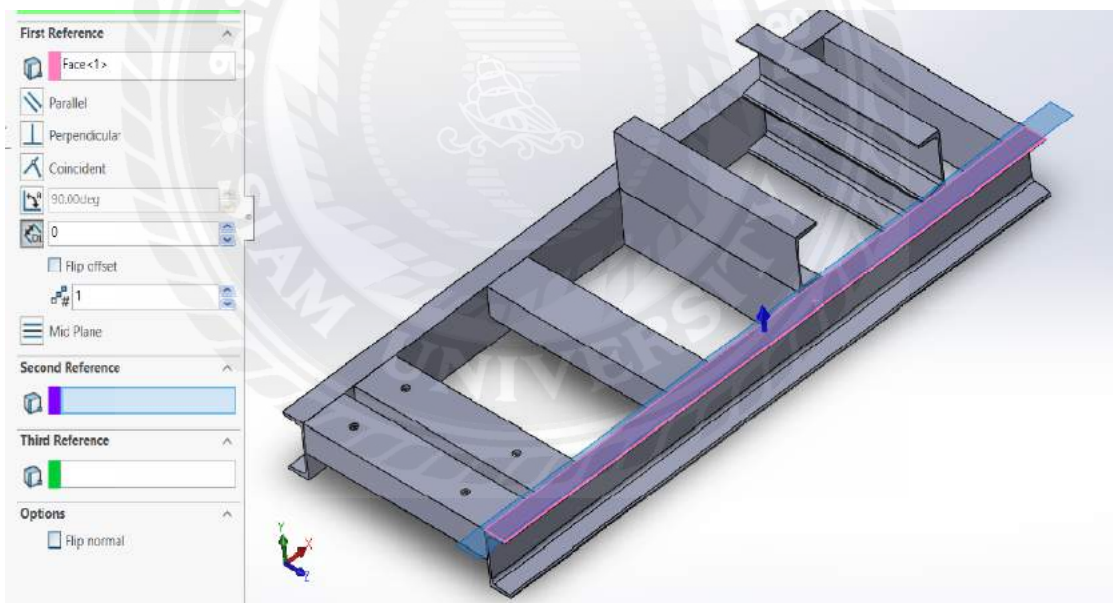
รูปที่ 2.1 หน้าตัดเหล็กทรงน้ำหนักขนาด 125x65x6.0 mm

### 3. เจาะรูชิ้นงาน



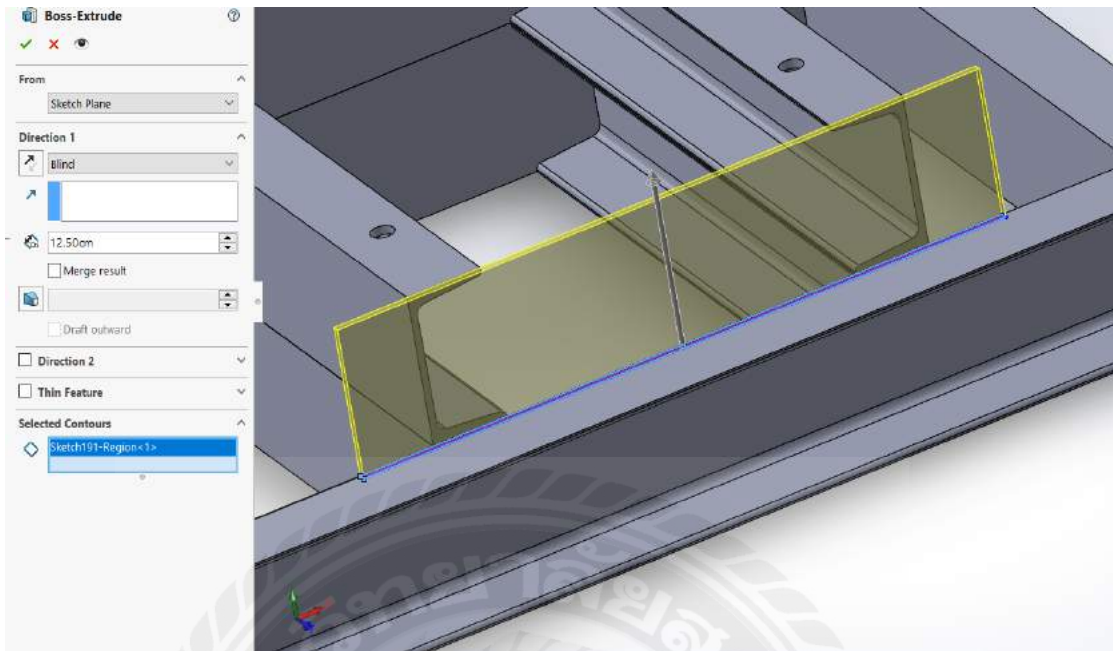
รูปที่ 3 เจาะรูโครงสร้างฐานรองรับ

### 4. กำหนดจุดใส่เหล็กแผ่น



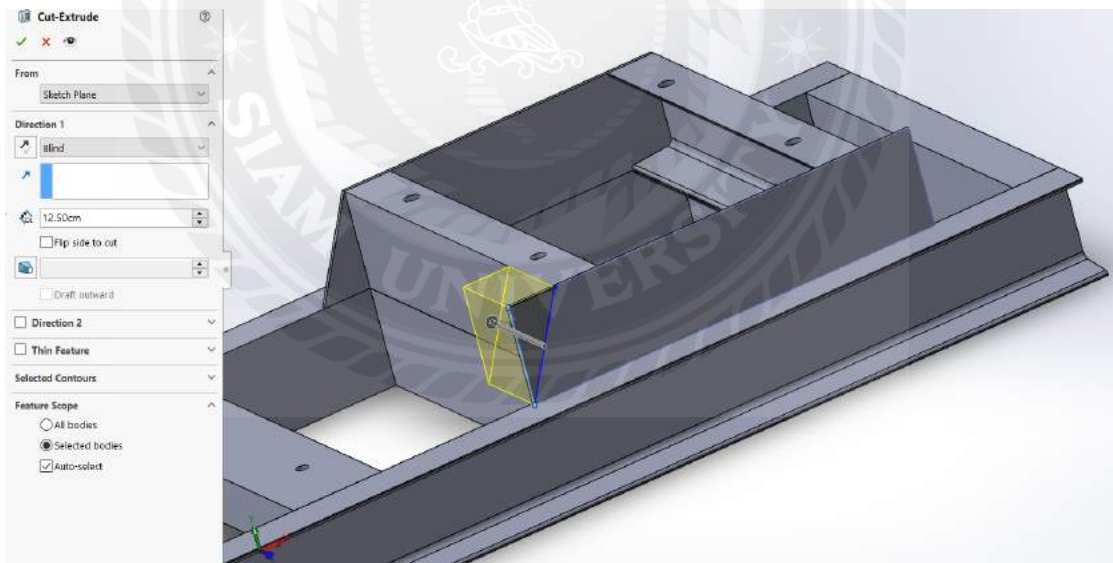
รูปที่ 4 กำหนดจุดใส่เหล็กแผ่น

## 5. ขั้นตอนการสร้างเหล็กแผ่น



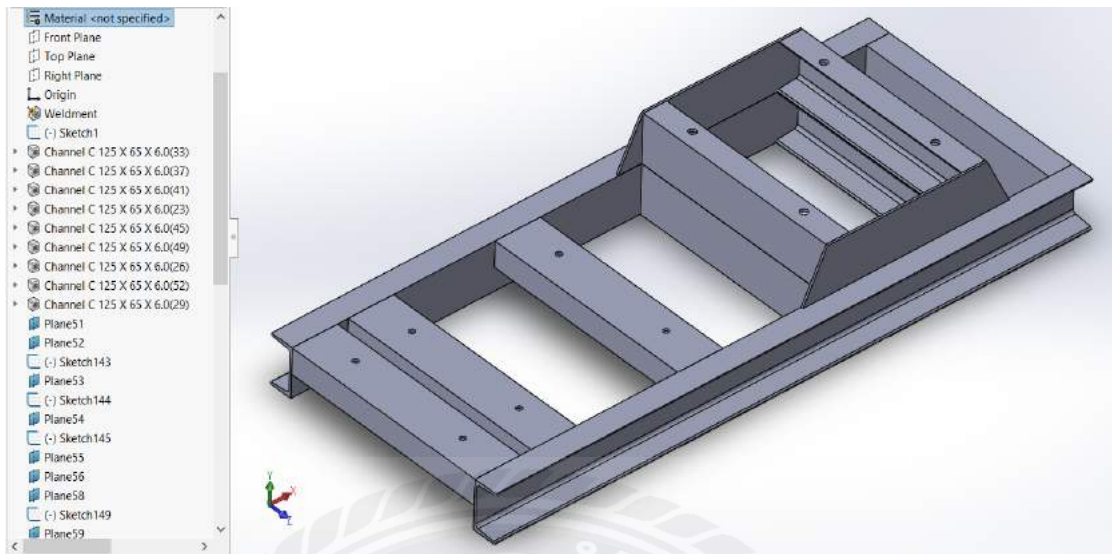
รูปที่ 5 กำหนดขนาดเหล็กแผ่น

## 6. ใช้คำสั่ง Extrude-cut เพื่อตัดเหล็กแผ่น



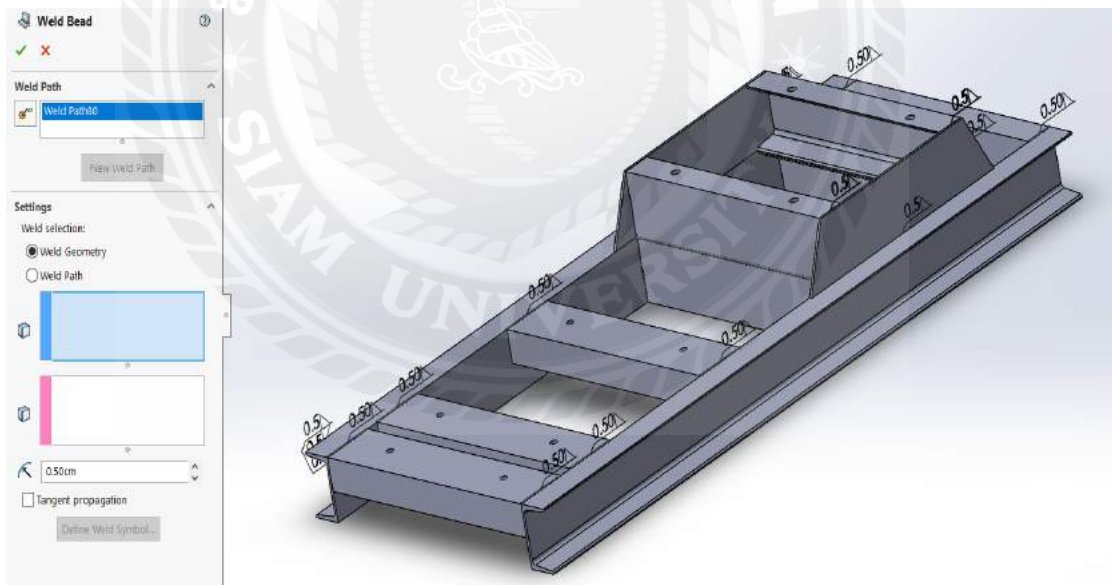
รูปที่ 6 ใช้คำสั่ง Extrude-cut

## 7. โครงสร้างฐานรองรับปั้มน้ำประปา(แบบสำเร็จ)



รูปที่ 7 โครงสร้างฐานรองรับ(สำเร็จ)

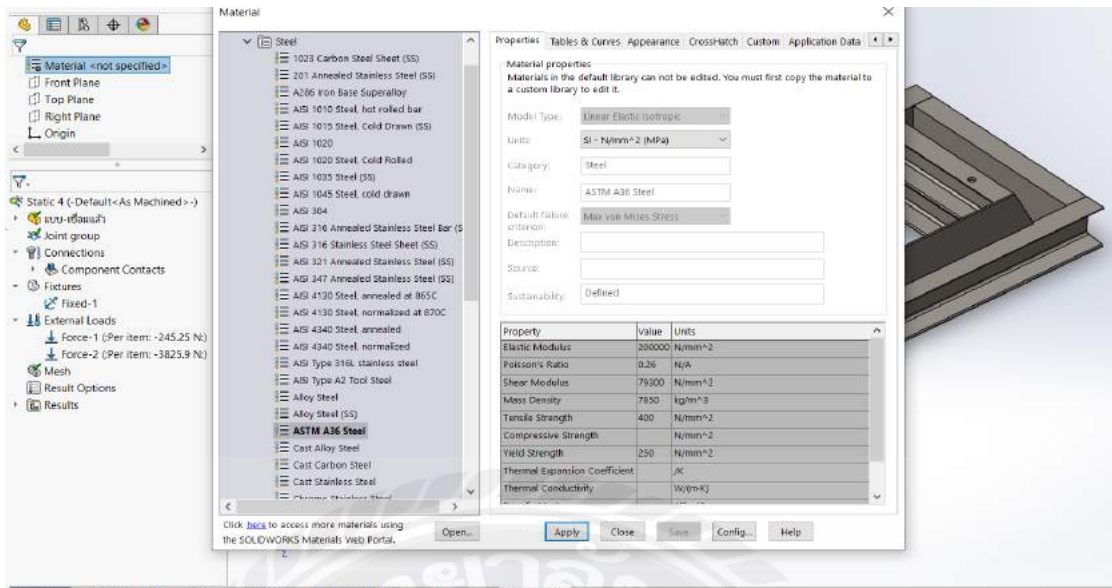
## 8. ใช้คำสั่ง Weld Bead ในขั้นตอนการใส่จุดเชื่อม



รูปที่ 8 ใช้คำสั่ง Weld Bead เพื่อเชื่อมโครงสร้าง

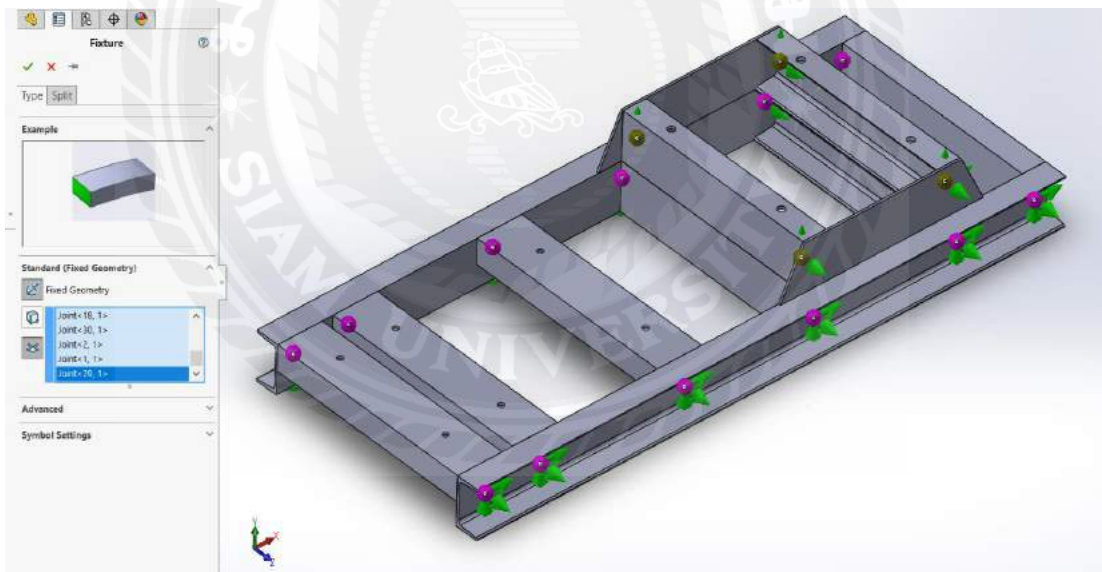


## 9. ไปที่คำสั่ง Material เลือกวัสดุให้ชิ้นงาน ASTM A36 Steel



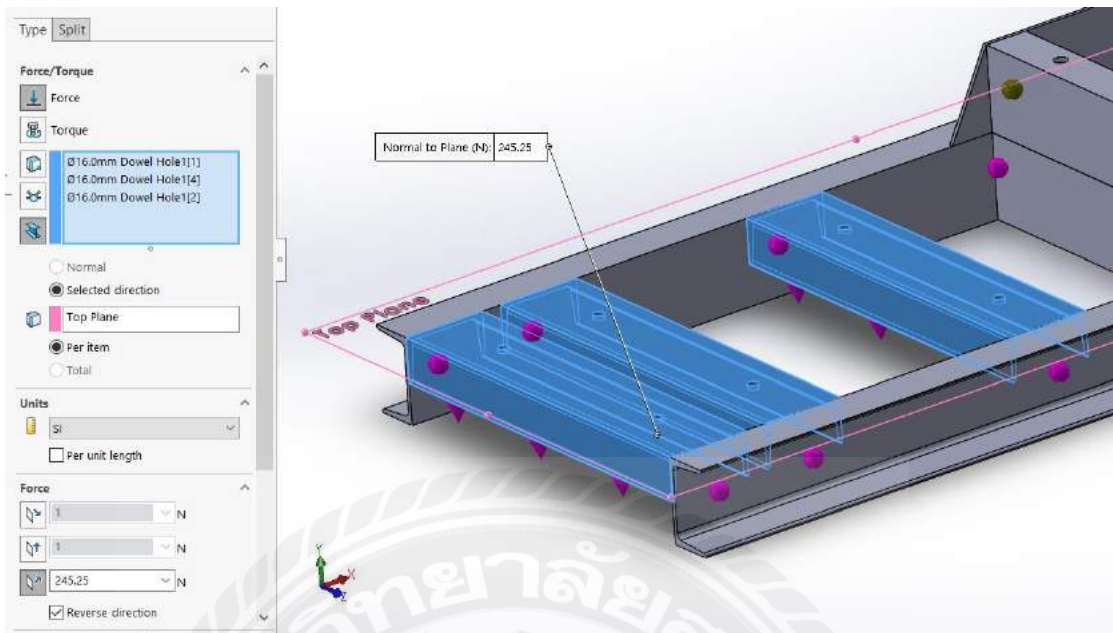
รูปที่ 9 เลือกวัสดุสำหรับชิ้นงาน

## 10. กำหนดจุดยึด โครงสร้าง



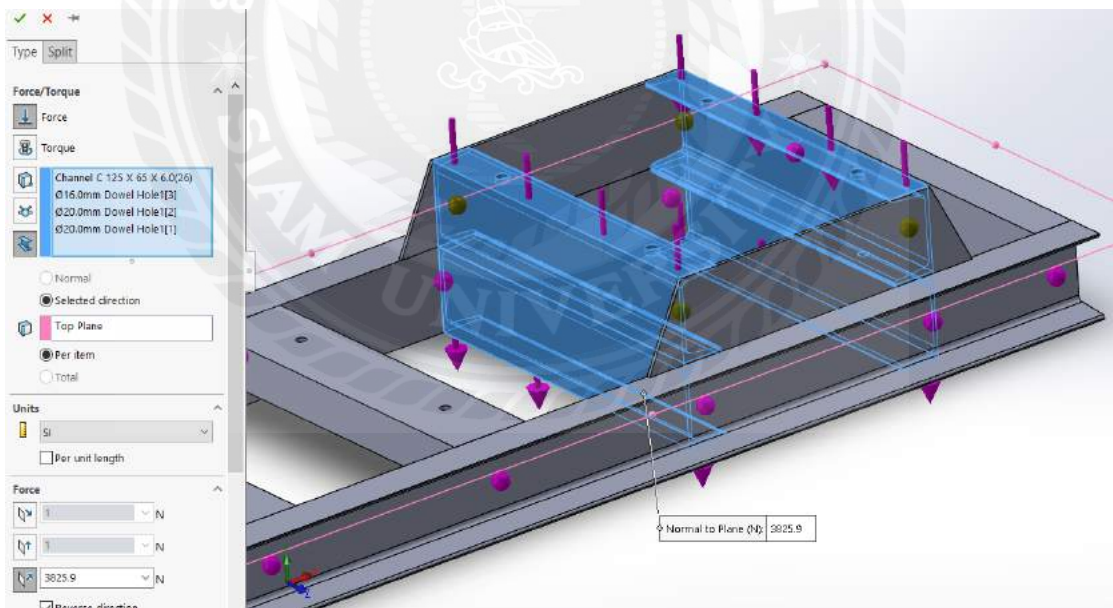
รูปที่ 10 ใส่จุดยึดโครงสร้าง

### 11. ใส่แรงจุดรองรับน้ำหนักด้านหน้า(ป้อนสูบน้ำประปา)



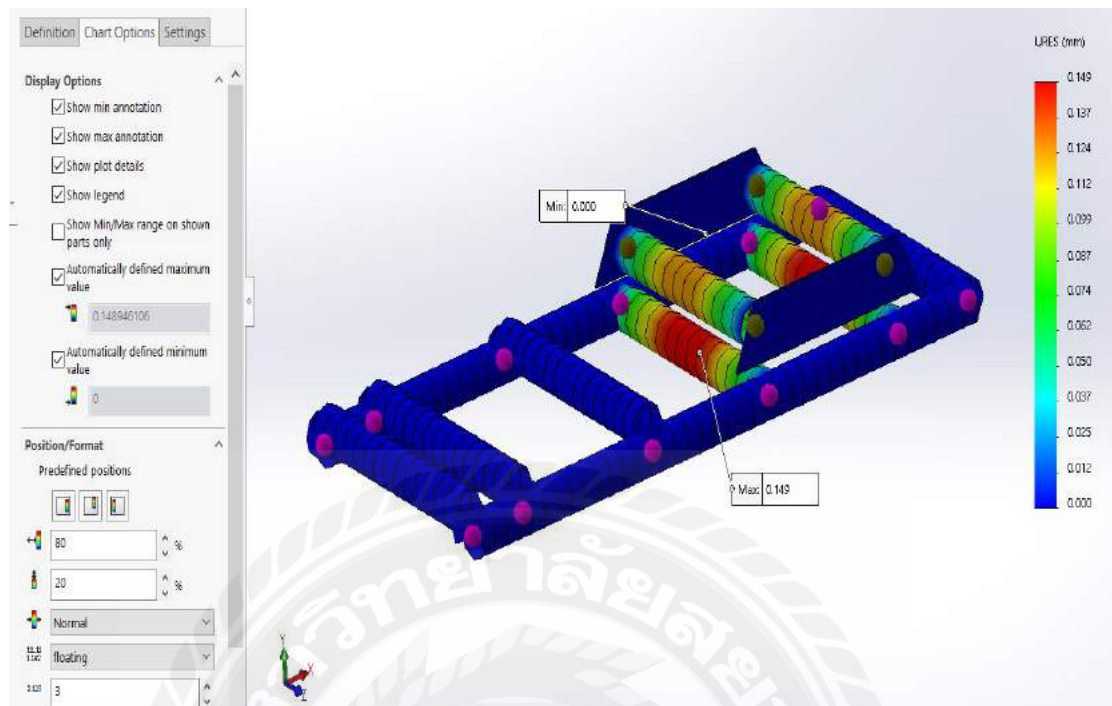
รูปที่ 11 ใส่แรงที่จุดรองรับด้านหน้า

### 12. ใส่แรงจุดรองรับมอเตอร์



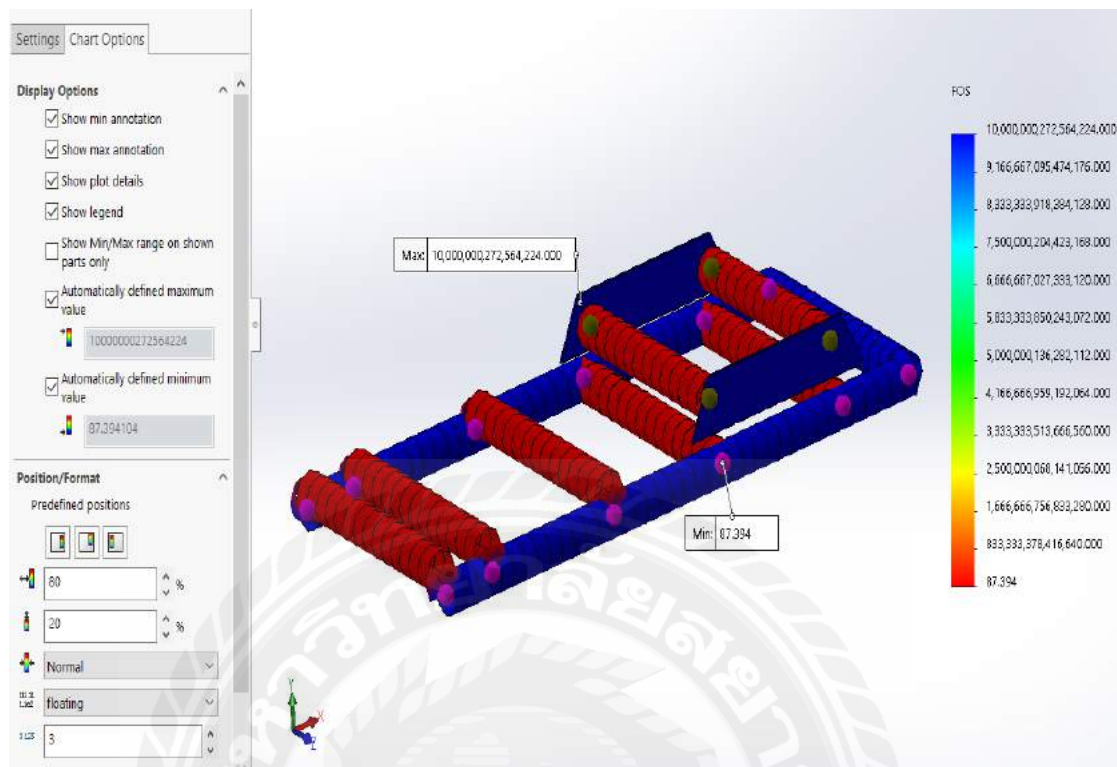
รูปที่ 12 ใส่แรงจุดรองรับมอเตอร์

### 13. แสดงค่าโค้งตัวของฐานรองรับน้ำหนักปั้มน้ำประปา



รูปที่ 13 ค่าโค้งตัวของฐานรองรับน้ำหนักปั้มน้ำประปาที่ลดขนาดเหล็ก  
จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโค้งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.149 mm

## 14. แสดงค่า Safety Factor



รูปที่ 14 แสดงค่าความปลอดภัยแบบ(ลดขนาดเหล็ก)จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor = 87.394







## ประวัติผู้จัดทำ



รหัสนักศึกษา	6103100001
ชื่อ-นามสกุล	นาย มณฑล ผลคิมหันต์
อีเมลล์	montonponkimhun@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์	086-950-3503
สาขา	วิศวกรรมศาสตร์
ที่อยู่	62/32 ซอย5 หมู่บ้านเนเชอรัล ซอยประชาอุทิศ 76 ถนนเลียบทางด่วน เขต ทุ่งครุ แขวง ทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ผลงาน	การออกแบบเพื่อลดต้นทุนฐานซัพพอร์รรองรับปั้มน้ำประปา





รหัสนักศึกษา	6103100004
ชื่อ-นามสกุล	นาย ทศนเทพ อุดมสวัสดิ์
อีเมลล์	teysanhero@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์	080-654-9974
สาขา	วิศวกรรมศาสตร์
ที่อยู่	569 พุทรมณฑลสาย1 ซอย5 เขต ภาษีเจริญ แขวง บางด้วน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ผลงาน	การออกแบบเพื่อลดต้นทุนฐานรองรับปีมน้ำประปา



รหัสนักศึกษา 6103100005

ชื่อ-นามสกุล นาย สมโชค วงษ์มงคล

อีเมลล์ baszapk88@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์ 061-754-8600

สาขา วิศวกรรมศาสตร์

ที่อยู่ 61 ซอยเพชรเกษม 88 เขตบางแค แขวงบางแคเหนือ จังหวัด  
กรุงเทพมหานคร

ผลงาน การออกแบบเพื่อลดต้นทุนฐานรองรับปีมน้ำประปา