



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยอุปกรณ์รองรับท่อ  
ในส่วนท่อน้ำเข้าหอระบายความร้อนขนาด 12 นิ้ว

**Design and Analysis of Safety Parameters of Pipe Support Equipment in  
12 Inch Pipe Support for Cooling Towers**

โดย

นาย จูติ อ่อนชัย 6003120002

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงการ : การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยอุปกรณ์รองรับท่อ  
ในส่วนท่อน้ำเข้าหอบายความร้อนขนาด 12 นิ้ว  
รายชื่อผู้จัดทำ : นาย ฐิติ อ่อนชัย 6003120002  
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา : 3/2562  
อาจารย์ที่ปรึกษา : คร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา ภาควิชา  
วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 3/2562

คณะกรรมการการสอบโครงการ

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย)

  
..... พนักงานที่ปรึกษา

(นาย สหภัศ เลิศไพฑูรย์พันธ์)

  
..... กรรมการกลาง

(ดร. ชานิดา พิทยานนท์)

  
..... ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา

(ผศ.ดร. มารุจ ลิ้มปะวัฒน์)

วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2563

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา  
เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

ตามที่นาย จูติ อ่อนชัย นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยามได้เข้าปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษาระหว่างวันที่ 25 พฤษภาคม 2563 ถึงวันที่ 4 กันยายน 2563 ในแผนกฝ่ายเครื่องกล ตำแหน่ง วิศวกร ณ บริษัท เอ็ม ไอ อี กรุ๊ป จำกัด

แก้ไขโดยได้รับมอบหมายงานจากทางแผนกควบคุมคุณภาพให้ใช้วิชาที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการทำงานและได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพให้มีความถูกต้องเพื่อให้เกิดความเข้าใจในหน้าที่หลักการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้มาตรฐาน

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดแล้วข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้ จำนวน 1 เล่มเพื่อขอรับคำปรึกษา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ

นาย จูติ อ่อนชัย

นักศึกษาสหกิจศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

## กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท เอ็มไออี กรุ๊ป จำกัด ตั้งแต่ วันที่ 25 พฤษภาคม 2563 ถึงวันที่ 4 กันยายน 2563 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้และ ประสบการณ์ ต่าง ๆ ที่ล้ำค่ามากมายสำหรับรายงานสหกิจศึกษานี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและ สนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

คุณนาย สหภัศ เลิศไพฑูรย์พันธ์ วิศวกรงานระบบ (Engineer)

และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็น บริการในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจกับชีวิตของ การทำงานจริงซึ่งผู้จัดทำ/คณะจัดทำขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นายฐิติ อ่อนชัย

4 กันยายน 2563

หัวข้อโครงการ : การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยอุปกรณ์รองรับท่อ  
ในส่วนท่อเข้าหอบายความร้อนขนาด 12 นิ้ว

รายชื่อผู้จัดทำ : นาย จูติ อ่อนชัย 6003120002

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ : วิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา : 3/2562

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

### บทคัดย่อ

ในการออกแบบอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว จำนวน 2 ตัวซึ่งภาระที่กระทำต่ออุปกรณ์รองรับท่อเท่ากับ 4,413.72 N. โดยทาง บริษัท เอ็ม ไออี มอบหมายให้ตรวจสอบค่าความปลอดภัยและระยะโก่งตัวโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทั้งหมด 3 แบบโดยแบบที่ 1 มีขนาดอุปกรณ์รองรับท่อ 125×65 mm. แบบที่ 2 มีขนาดอุปกรณ์รองรับท่อ 100×50 mm. และแบบที่ 3 มีขนาดอุปกรณ์รองรับท่อ 150×75 mm. จากผลการวิเคราะห์พบว่าแบบที่ 1 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 21 และระยะโก่งตัวเท่ากับ 0.034 mm. แบบที่ 2 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 11.64 และระยะโก่งตัวเท่ากับ 0.075 mm. และแบบที่ 3 มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 35.13 และระยะโก่งตัวเท่ากับ 0.019 mm.

สรุปจากผลการวิเคราะห์เลือกใช้แบบที่ 2 ที่มีขนาดอุปกรณ์รองรับท่อ 100×50 mm. จะลดต้นทุนได้ 179.10 บาทต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 1 ตัวและหอบายความร้อนน้ำเข้ามีอุปกรณ์รองรับท่อ 2 ตัวดังนั้นสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 385.32 บาท

คำสำคัญ : โครงสร้าง / ออกแบบ / วิเคราะห์ / ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้ตรวจ

ร.ก.พ.

**Project Title** : Design and Analysis of Safety Values of Pipe Support  
Equipment in 12 inch Pipe for Cooling Towers

**By** : Mr. Thiti Onchai 6003120002

**Advisor** : Dr. Chanchai Wiroonritichai

**Degree** : Bachelor of Engineering

**Major** : Mechanical Engineering

**Faculty** : Engineering

**Semester / Academic Year** : 3/2019

### Abstract

In designing two 12-inch pipe supports, the load on the pipe support is 4,413.72N, MIE Company was assigned to inspect the safety factors and deflection by using a total of 3 types of prefabricated programs. Type 1 had 1 pipe support device size 125 × 65mm, type 2 had pipe support device size 100 × 50mm, and type 3 had size of pipe support device 150 × 75mm. According to the analysis results, it was found that type 1 had a safety factor of 21 and a deflection of 0.034mm, type 2 had a safety factor of 11.64 and a deflection of 0.075mm, and type 3 has a safety factor of 35.13 and a deflection of 0.019mm.

The analysis resulted in the selection of type 2, with a size of 100 × 50mm pipe support equipment, the cost was 179.10 Baht per single pipe support device and the inlet cooling tower has 2 pipe support devices, so production costs were reduced to 385.32 Baht.

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

Approved by



## สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
บทที่ 1 บทนำ.	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตความสามารถ โครงการ	2
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	3
2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความปลอดภัย	3
2.1.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกี่ยวข้องกับของแข็ง	4
2.1.3 หลักการทำงานของหอระบายความร้อน	10
2.1.4 หลักการลดต้นทุน	13
2.1.5 วัสดุวิศวกรรม	14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	15
2.2.1 ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของดรอปปิดในการลากขึ้นรูปโลหะที่มีรูปทรง ไม่สมมาตรด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	15
2.2.2 การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับ แรงกระทำเยื้องศูนย์	16
2.2.3 เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือนและโมเมนต์ คดของ คานต่อเนื่องที่มีความแข็งเกร็งแรงคดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น	17
2.2.4 เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่นโดยวิธีสติฟเนส โดยตรง	17
2.2.5 การวิเคราะห์วงจรกรองผ่านแถบความถี่แฮร์ฟิโนไลน์ไมโครสตริป โดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์	18



## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน</b>	
3.1 ชื่อและที่ตั้งสถานประกอบการ	20
3.2 ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน	21
3.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงานขององค์กร	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 ตั้งหัวข้อ โครงการงาน	22
3.7.3 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์รองรับท่อ 12 นิ้ว	23
3.8 การคำนวณหาหน้าหนักที่กระทำต่ออุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว	34
3.9 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	35
<b>บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ</b>	
4.1 จากผลการทดลองโดยการใช้ โปรแกรมกดแรงบนชิ้นงานจะมีแรงกระทำเท่ากับ 4,413.72 N.	36
4.1.1 แบบที่1เหล็กขนาด 125×65 mm. หาค่าความปลอดภัยระยะ โกงตัว	36
4.1.2 แบบที่2เหล็กขนาด 100×50 mm. หาค่าความปลอดภัยระยะ โกงตัว	38
4.1.3 แบบที่3เหล็กขนาด 150×75 mm. หาค่าความปลอดภัยระยะ โกงตัว	40
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
<b>บรรณานุกรม</b>	44
<b>ภาคผนวก</b>	45
<b>ประวัติผู้จัดทำ</b>	61



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
ตารางที่ 2.1 ชนิดของแรงและวัสดุที่นำมาใช้งาน	3
ตารางที่ 2.2 ขนาดของเหล็กทรงน้ำ	14
ตารางที่ 3.1 ตารางเหล็กทรงน้ำ	22
ตารางที่ 3.2 ขนาด ยูแบนขนาด 12 นิ้ว	25
ตารางที่ 3.3 ขนาดท่อเหล็กดำขนาด 12 นิ้ว	27
ตารางที่ 4.1 ค่าความปลอดภัยและระยะโค้งตัว	42



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ	4
รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของหอบะบายความร้อน	10
รูปที่ 2.3 หอบะบายความร้อนแบบการใช้พัดลมในการดูอากาศขึ้นมาระบาย ร้อนทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำและลมขนานกัน	11
รูปที่ 2.4 หอบะบายความร้อนแบบทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำและลมตั้งฉากกัน	12
รูปที่ 3.1 แผนที่ตั้ง บริษัท เอ็ม ไออี กรุป จำกัด.	19
รูปที่ 3.2 สตาร์ ไทโครอิเล็กทรอนิกส์ บางปะอิน	20
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งงานในโครงการ นิว คลัสติ้งทาวเวอร์	21
รูปที่ 3.4 เหล็กทรงน้ำขนาด U chanel 6 นิ้ว ขนาด 125×65 mm.	23
รูปที่ 3.5 ประกอบเหล็กทรงน้ำเข้าด้วยกัน	24
รูปที่ 3.6 เหล็กยูแบนขนาด 12 นิ้ว	26
รูปที่ 3.7 สร้างท่อขนาด 12 นิ้ว	28
รูปที่ 3.8 ภาพรวมอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว	29
รูปที่ 3.9 ใส่จุดยึดที่เหล็ก	30
รูปที่ 3.10 ใส่แรงให้ขึ้นงาน	31
รูปที่ 3.11 แสดงค่า ความปลอดภัย	32
รูปที่ 3.12 ค่าโก่งตัวของวัตถุ	33
รูปที่ 4.1 เหล็กทรงน้ำ125×65 mm.	36
รูปที่ 4.2 ผลการจำลองของเหล็กทรงน้ำ ขนาด125×65 mm.	37
รูปที่ 4.3 ค่าโก่งตัวของเหล็กขนาด125×65 mm.	37
รูปที่ 4.4 เหล็กทรงน้ำ100×50 mm.	38
รูปที่ 4.5 ผลการจำลองของเหล็กทรงน้ำ ขนาด100×50 mm.	39
รูปที่ 4.6 ค่าโก่งตัวของเหล็กขนาด100×50 mm.	39
รูปที่ 4.7 เหล็กทรงน้ำขนาด150×75 mm.	40
รูปที่ 4.8 ผลการจำลองของเหล็กทรงน้ำ ขนาด150×75 mm.	41
รูปที่ 4.9 ค่าโก่งตัวของเหล็กขนาด150×75 mm.	41

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้วิธีการระเหยตัวของน้ำ (Evaporation) ในขบวนการจะมีการสูญเสียน้ำไปส่วนหนึ่งแต่น้ำส่วนใหญ่ยังคงนำกลับมาใช้ได้อีกโดยปกติเราสามารถจะนำ หอระบายความร้อนไปใช้ในการระบายความร้อนของน้ำในการหล่อเย็นกับอุปกรณ์ใด ๆ ก็ได้ เช่นการหล่อเย็นอุปกรณ์ในขบวนการผลิตการหล่อเย็นอุปกรณ์ในโรงผลิตกระแสไฟฟ้า ฯลฯ แต่การใช้หอระบายความร้อนที่เป็นที่รู้จักกันดีที่สุดก็คือการใช้หอระบายความร้อนในการระบายความร้อนจากระบบปรับอากาศการที่หอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้น้ำสามารถถ่ายเทความร้อนไปสู่อากาศได้นั้นสามารถอธิบายได้คือหอระบายความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการฉีดน้ำมันที่อุณหภูมิสูงให้กระจายตัวออกเป็นละอองเล็ก ๆ ตกผ่านแผงกระจายละอองน้ำ (Baffles or Fill Materina) ละอองน้ำเหล่านี้จะเกาะตัวกับแผงกระจายละอองน้ำ ทำให้เกิดเป็นพื้นที่เปียกซึ่งจะสัมผัสกับอากาศที่ถูกดูดผ่านแผงกระจายละอองน้ำก่อให้เกิดขบวนการถ่ายเทความร้อนสัมผัสระหว่างน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำขณะเดียวกันนั้นละอองน้ำบางส่วนก็จะระเหยตัวกลายเป็นไอน้ำไปในอากาศเพราะอากาศในขณะนั้นยังมีสภาพไม่อิ่มตัว น้ำจึงสามารถระเหยกลายเป็นไอน้ำได้ดีมากซึ่งขบวนการระเหยกลายเป็นไอของละอองน้ำนี้จำเป็นต้องใช้ความร้อน ดังนั้นละอองน้ำที่ระเหยตัวจึงดึงความร้อนจากปริมาณน้ำที่เหลืออยู่อาจกล่าวได้ว่าขบวนการถ่ายเทความร้อนภายในหอระบายความร้อน

ในปัจจุบันการติดตั้งหอระบายความร้อนยังมีปัญหาในการออกแบบขนาดอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว ที่ไม่ถูกต้องตามมาตรฐานวิศวกรรม ซึ่งยังไม่มีการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องและเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว นั้นปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจึงเล็งเห็นความสำคัญของการออกแบบอุปกรณ์รองรับท่อ 12 นิ้ว ให้หลักวิศวกรรมและลดต้นทุนในการสร้างอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว ของ บริษัท สตาร์ส ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยและระยะโค้งตัวของอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว

### 1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1.2.1 เพื่อหาค่าความปลอดภัยและระยะโค้งตัวของอุปกรณ์รองรับท่อน้ำเข้าหอระบาย

ความร้อนขนาด 12 นิ้ว

1.2.2 เพื่อลดต้นทุนในการจัดซื้ออุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

การออกแบบขนาดอุปกรณ์รองรับท่อน้ำเข้าหอบายความร้อนขนาด 12 นิ้วจำนวน 3 แบบ แบบที่ 1 มีขนาด 125×65 mm. แบบที่ 2 มีขนาด 100×50 mm. และแบบที่ 3 มีขนาด 150×75 mm.

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลังการติดตั้งซึ่งก่อให้เกิดความสิ้นเปลืองในการแก้ไข

1.4.2 สามารถใช้โปรแกรมในการออกแบบระบบอุปกรณ์รองรับขนาดท่อต่าง ๆ ได้

### 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ก.ค. 63	ส.ค. 63	ก.ย. 63	ต.ค. 63	ต.ค. 63
ศึกษาข้อมูล	↔				
ตั้งหัวข้อของโครงการ		↔			
วิเคราะห์ข้อมูล			↔		
ทดสอบระบบ				↔	
สรุปผลและปรับปรุง					↔
จัดทำเอกสาร					↔

## บทที่ 2

### การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

##### 2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความปลอดภัย

ในการผลิตการออกแบบชิ้นงานเครื่องจักร เครื่องก่อสร้างหรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานหรือที่หน้างานก่อสร้าง เมื่อจะดำเนินงานใด ๆ ก็ตาม จะต้องมีความปลอดภัยไว้สำหรับการออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้แรงหรือกำลังต่าง ๆ มากกระทำต่อเครื่องจักรหรือเครื่องมือต่าง ๆ มีมากเกินไปที่เครื่องจักรหรือเครื่องมืออื่น ๆ จะรับได้ค่าเผื่อดังกล่าวเรียกว่าค่าความปลอดภัย หากเผื่อน้อยไปก็เกิดอันตราย แต่แม้เราจะพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดกับชิ้นงาน เครื่องจักรหรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่เราได้ออกแบบไว้อย่างครบถ้วนแล้ว แต่เหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เราไม่สามารถคาดเดาได้อย่างไรก็ดีการใช้ค่าความปลอดภัยมากไปก็ทำให้สิ้นเปลืองยิ่งในยุคนสมัยนี้แล้วการลดต้นทุนในการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นหากใช้ค่าความปลอดภัยมากต้นทุนก็สูงมาก

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

F.S. คือ ค่าความปลอดภัย

$P_{fail}$  คือ แรงสูงสุดที่ทำให้เกิดความเสียหาย

$P_{allow}$  คือ แรงที่อนุญาตให้ใช้งานได้

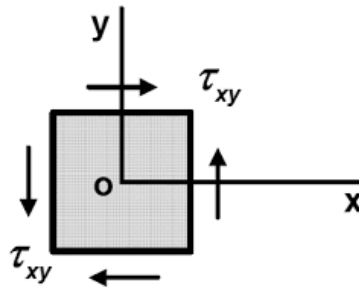
ตารางที่ 2.1 ชนิดของแรงและวัสดุที่นำมาใช้งาน

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 บนผิวบางส่วนของวัตถุนี้อาจถูกจับยึดตรึงแน่น (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

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

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)

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



กล่าวคือจำนวนตัวไม่รู้ค่าสำหรับปัญหาวัตถุทรงตันคือค่าของการเสียรูป  $u, v, w$  เท่านั้น เมื่อทราบค่าของการเสียรูปเหล่านี้แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าของความเครียดย่อยและค่าของความเค้นย่อยตามสมการที่ (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

$$\text{จุดต่อ 1: } u(x_1, y_1, z_1) = u_1 = \alpha_1 + \alpha_2 x_1 + \alpha_3 y_1 + \alpha_4 z_1 \quad (2.10ก)$$

$$\text{จุดต่อ 2: } u(x_2, y_2, z_2) = u_2 = \alpha_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 y_2 + \alpha_4 z_2 \quad (2.10ข)$$

$$\text{จุดต่อ 3: } u(x_3, y_3, z_3) = u_3 = \alpha_1 + \alpha_2 x_3 + \alpha_3 y_3 + \alpha_4 z_3 \quad (2.10ค)$$

$$\text{จุดต่อ 4: } u(x_4, y_4, z_4) = u_4 = \alpha_1 + \alpha_2 x_4 + \alpha_3 y_4 + \alpha_4 z_4 \quad (2.10ง)$$

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

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

โดย  $[N]$  เรียกว่า เมทริกซ์ของการประมาณภายในเอลิเมนต์

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

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

โดย  $L_i$  เรียกว่า โคออร์ดิเนตปริมาตร (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

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

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

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

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

เอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถให้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงสูงมากกว่าเอลิเมนต์แบบ 4 จุดต่อจากการสมมุติลักษณะการเคลื่อนตัวซึ่งมีอันดับสูงกว่าด้วยการใช้จำนวนจุดต่อที่มากกว่า ฟังก์ชันการประมาณภายในของเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายสำหรับเอลิเมนต์แบบ 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 เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสิบในทำนองเดียวกันกับเอลิเมนต์แบบ 4 จุด หลังจากได้  $\alpha_i$  ทั้งสิบค่านี้แล้วให้แทนกลับลงในสมการ (2.16) เราสามารถ

เขียนลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u$  ในทิศทาง  $x$  ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่จุดต่อทั้งสิบได้ดังนี้

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

โดย

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

ในทำนองเดียวกันลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $v$  และ  $w$  ในทิศทาง  $y$  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) เริ่มจากการคูณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยด้วยฟังก์ชันน้ำหนักซึ่งในที่นี้คือฟังก์ชันการประมาณภายใน  $N_i$  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 จุดต่อแล้วฟังก์ชันการประมาณภายในจะเกิดจากการเขียนลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u, v, w$  ในสมการ (2.9) รวมเข้าด้วยกันคือ

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

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

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

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  $[B]$  แทนเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดย่อยและการเคลื่อนตัวที่จุดต่อจากการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตค้ำตามสมการ (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) แทนโหลดเวกเตอร์ (Load Vector) ซึ่งอาจเกิดแรงดัน (Pressure) ที่กระทำบนผิวภายนอกยกตัวอย่างเช่นหากด้านซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 2-3-4 เป็นด้านที่ผิวภายนอกของโมเดลซึ่งถูกแรงดันที่มีค่า  $P_x, P_y, P_z$  กระทำในทิศแกน  $x, y, z$  ตามลำดับแล้วเวกเตอร์  $\{F\}$  ที่เกิดขึ้นคือ

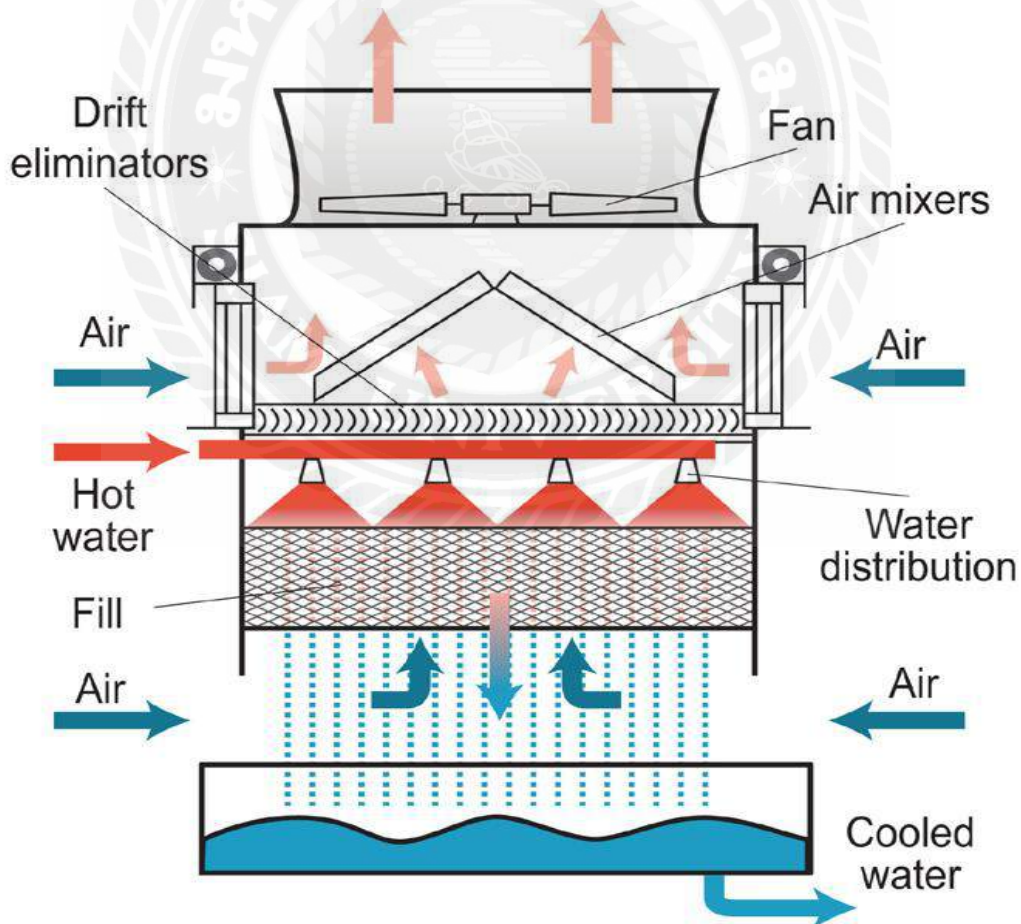
$$[F] = \frac{A_{1-2-3}}{3} [0 \ 0 \ 0 \ p, p, p, p, p, p, p, p] \quad (2.27)$$

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

สมการไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมไฟไนต์เอลิเมนต์เมทริกซ์ดังสมการ (2.26) และ (2.27) นี้เองที่นำไปประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์และฝังตัวอยู่ในไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาทรงตันใด ๆ ภายใต้งื่อนไขขอบเขตต่าง ๆ กันได้สมการไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกคำนวณขอบเขตลงบนระบบสมการรวมนี้แล้วจึงแก้สมการรวมทั้งระบบเพื่อหาค่าของการเคลื่อนตัว  $u, v, w$  ในทิศทาง  $x, y, z$  ของทุก ๆ จุดต่อ เมื่อสมการค่าของการเคลื่อนตัว  $u, v, w$  ของทุก ๆ จุดต่อแล้วคำนวณหาค่าความเครียดย่อยในแต่ละเอลิเมนต์โดยใช้สมการ (2.19) ก่อนนำไปหาค่าความเค้นย่อยโดยใช้สมการ (2.5) ต่อไป

### 2.1.3 หลักการทำงานของหอระบายความร้อน

หอระบายความร้อน หรือหอหล่อเย็นแบบเปียก (Wet-Cooling Tower) ทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) ที่มีอุณหภูมิสูง ให้กลายเป็นน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิต่ำ โดยน้ำหล่อเย็น จะเป็นเหมือนบ่อน้ำกลางที่เอาไปใช้ระบายความร้อนในเครื่องจักรในโรงงาน เช่น ระบายความร้อนในเลื่อยปัม (Pump) ระบายความร้อนในเลื่อยของคอมเพรสเซอร์หรือกังหันไอน้ำ (Compressor and Steam Turbine) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นต้น

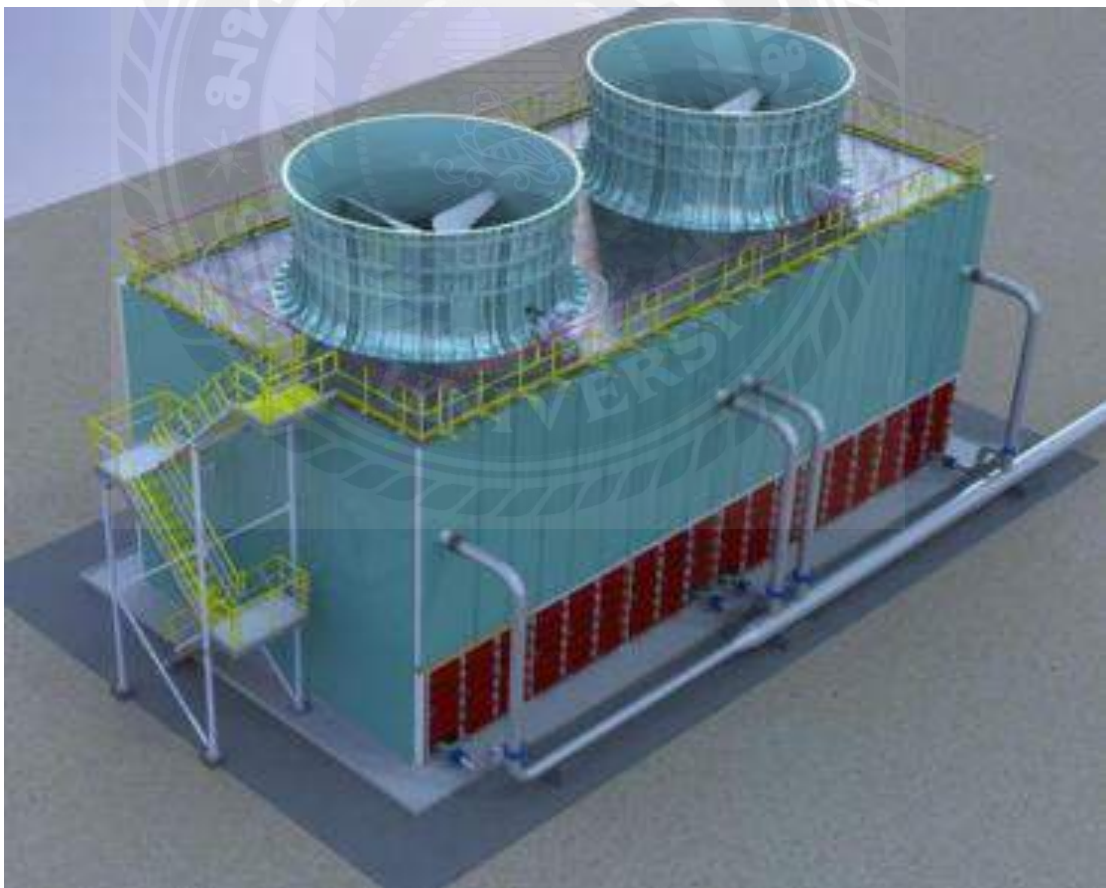


รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของหอระบายความร้อน

น้ำร้อนจากระบบจะถูกฉีดผ่าน (Spray Nozzle) ออกมาเป็นละอองน้ำร้อนเป็นฝอยเล็ก ๆ ตรงตำแหน่งท่อสี่แดงหลังจากนั้นจะไหลเข้าไปในฟิล (Fill) ที่เป็นแผ่นเพิ่มพื้นที่สัมผัสในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากลมเย็นโดยทำให้อุณหภูมิของน้ำในส่วนนี้ลดลงซึ่งเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบ (Sensible Heat) หรือพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและน้ำเย็นที่ผ่านฟิลเลอร์จะตกลงมาในอ่างน้ำ (Cooling Basin) และจะถูกปั๊มเข้าไปในระบบถัดไป

ในขณะเดียวกันหยดน้ำบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอน้ำ (Evaporation) ซึ่งส่วนนี้จะดึงความร้อนออกจากระบบแบบ ( Latent Heat ) พลังงานในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอโดยไอน้ำที่ระเหยจะถูกพาไปกับลมธรรมชาติแต่ไอน้ำในส่วนนี้จะถูกควบคุมโดยการติดตั้งละอองน้ำ ( Drift Eliminator) ไม่ให้การระเหยมีมากเกินไปเมื่อเทียบจากการออกแบบ (Wet-Bulb Temperature และค่า Humidity) ในหอระบายความร้อนครับ โดยน้ำหล่อเย็นในส่วนนี้ที่ระเหยกลายเป็นไอ จะสูญหายออกจากระบบไป แต่ถือว่าปริมาณน้อยมาก (ต่ำกว่า 5%) ถ้าเทียบกับระบบใหญ่โดยชนิดของ หอระบายความร้อนแบ่งใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด คือ

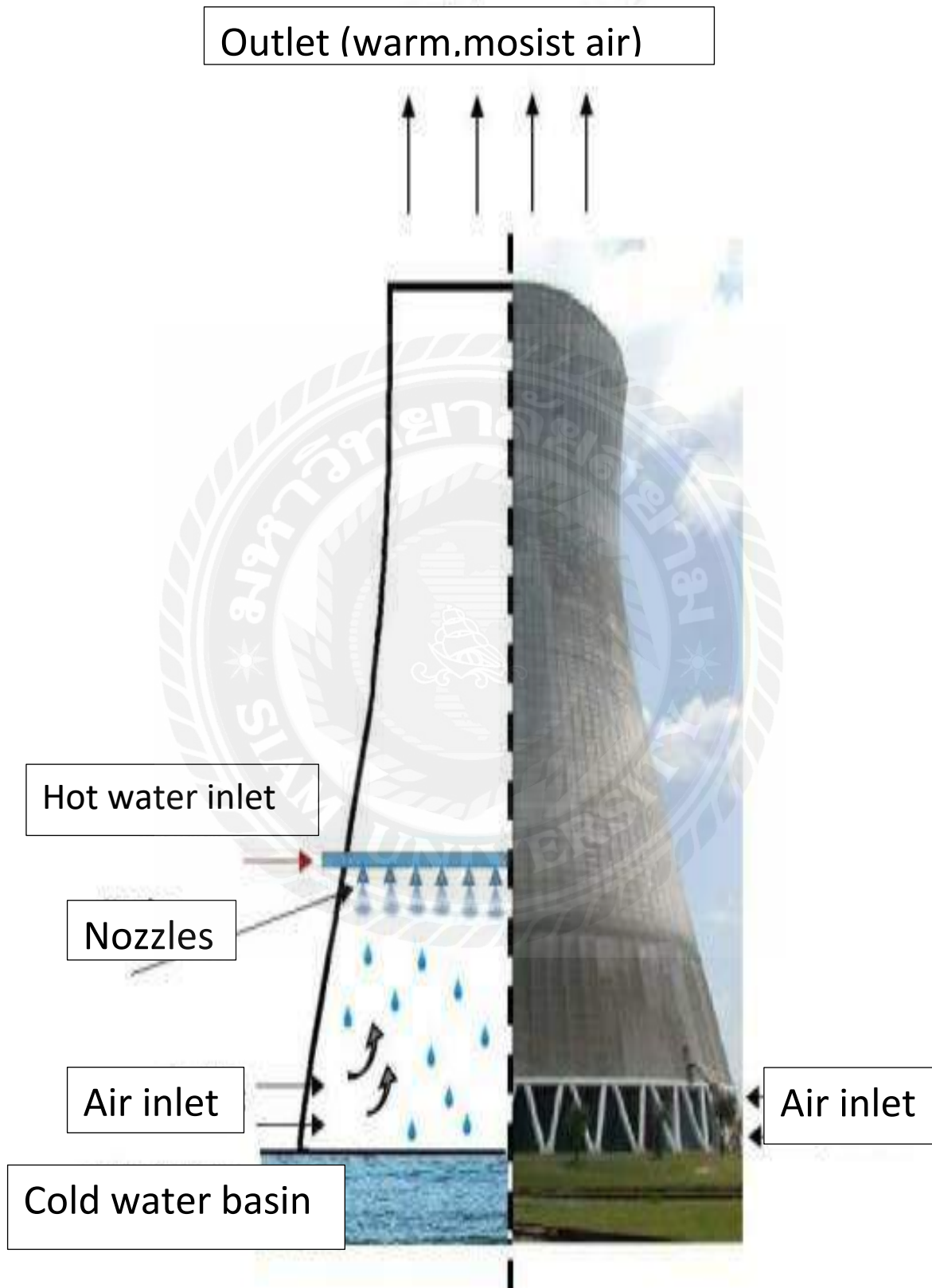
1. หอระบายความร้อนแบบ (Force Draft, Induce Draft ) หรือการใช้พัดลมในการดูดอากาศขึ้นมาระบายร้อนทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำและลมขนานกัน



รูปที่ 2.3 หอระบายความร้อนแบบการใช้พัดลมในการดูดอากาศขึ้นมาระบายร้อนทิศทางการเคลื่อนที่ของน้ำและลมขนานกัน



2. หอระบายความร้อน แบบ (Natural Draft) ที่สททางการเคลื่อนที่ของน้ำและลมตั้งจากกัน



รูปที่ 2.4 หอระบายความร้อนแบบที่สททางการเคลื่อนที่ของน้ำและลมตั้งจากกัน



## 2.1.4 หลักการลดต้นทุน

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

ลอเรนซ์ ดีไมล์ (Lawrence D.Miles) ซึ่งเป็นวิศวกรจัดซื้อของบริษัท เชนเนอรัล อิเล็กทริก หรือ GE (General Electric Company) ได้รับมอบหมายให้ทำการจัดหาวัตถุดิบสำคัญเพื่อใช้ในการผลิตเครื่อง (Turbo-Supercharger) จาก 50 เครื่อง/สัปดาห์ให้ได้ 1000 เครื่อง/สัปดาห์เพื่อนำไปใช้งานสำหรับเครื่องบิน B-29 ซึ่งเป็นการยากที่จะสามารถผลิตได้ตามเป้าหมายที่วางไว้แต่ ลอเรนซ์ ดีไมล์ ก็ไม่ได้รู้สึกท้อถอยหรือยอมแพ้เขาได้ตั้งปณิธานว่าถ้าไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้จะต้องหาหน้าที่การทำงาน (Function) ของมันให้ได้จะอย่างไรที่จะทำให้ได้หน้าที่การทำงานที่เหมือนกันโดยใช้เครื่องจักรหรือคนหรือวัสดุซึ่งเราจะสามารถหาได้เมื่อลอเรนซ์ ดีไมล์ ได้ใช้ความพยายามอย่างหนักหลาย ๆ ครั้งก็มีหนทางที่จะประสบผลสำเร็จได้จนกระทั่งผลการทดสอบทางวิศวกรรมผ่านการพิสูจน์และสามารถส่งมอบให้กองทัพสหรัฐได้ทันเวลาที่กำหนดดังนั้นคาดว่าหน้าที่การทำงาน (Function) จึงเป็นคำที่สำคัญในการพัฒนาเทคนิคทางการ

การวิเคราะห์คุณค่าหรือวิศวกรรมคุณค่านั้นอาจเรียกต่างกันแต่ต่างก็มีหลักการพื้นฐานอันเดียวกันซึ่งการเรียกใช้นั้นขึ้นอยู่กับว่าจะถูกนำไปใช้งานอะไรซึ่งคำจำกัดความของการวิเคราะห์คุณค่าหรือวิศวกรรมคุณค่าจะมีคุณสมบัติดังนี้

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

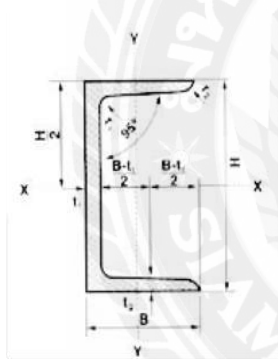
VR = Value Research ใช้ในห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบ

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 ผลิตจากเหล็กกล้ารีดมีลักษณะเป็นรูปตัวยูใช้สำหรับงานโครงสร้าง โครงสร้างหลังคาโกดังแทนเครื่องหอคอยและโครงสร้างขนาดใหญ่ เหล็กทรงน้ำสามารถรับน้ำหนักได้ดีด้วยความแข็งแรงรูปทรงมาตรฐานจึงใช้กันมาก เช่น สะพาน เสาตอม่อ โครงสร้างรถยนต์เหล็กทรงน้ำใช้ทำแชสซีรถเหล็กทรงน้ำขนาดมาตรฐานจะต้องมีหน้าตัดเรียบปีกขาทั้งสองด้านจะต้องเท่ากันเสมอความหนาและขนาดต้องเสมอกันตลอดทั้งเส้น เพื่อสะดวกในการประกอบชิ้นงานให้สวยงามยิ่งขึ้น

เหล็กทรงน้ำมีหลายขนาดให้เลือกตามลักษณะการใช้งานนิยมเรียกขนาดเป็นนิ้วขนาด 2 นิ้วขึ้นไปจนถึงขนาด 12 นิ้ว ข้อควรระวังในปัจจุบันมีเหล็กทรงน้ำตัวเบาจำหน่ายมากเมื่อรับน้ำหนักหรือแรงมากจะเกิดการบิดงอเสียรูปทรงจึงจำเป็นต้องตรวจสอบขนาดและสเปคต้องไม่พลาดเกิน 2% รวมถึงต้องมีใบรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรมถ้าเหล็กทรงน้ำบางยี่ห้อไม่มีตัวพิมพ์นูนก็ควรพิมพ์อย่างถูกต้องตามแบบที่กำหนดไว้ด้วย

## 2. ท่อเหล็กดำแบบมีตะเข็บ SCH40 ขนาด 12 นิ้ว

นิยมเรียกกันว่าท่อดำท่อเหล็กนี้ผลิตขึ้นมาจากเหล็กกล้าคุณภาพสูงและได้ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรมาตรฐานควบคุมโดยวิศวกรและผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยมีมาตรฐานการตรวจสอบที่มีคุณภาพสูงมากเนื่องจากโครงสร้างเหล็กรูปพรรณวงกลมแบบมาตรฐาน มอก. 107-2533 ชั้นคุณภาพ HS40 มีความยาว 6000mm ต่อเส้น

ท่อที่มีตะเข็บเป็นท่อที่เหมาะสมกับแรงดันที่ไม่สูงนัก เช่น เป็นท่อปล่อยน้ำทิ้งท่อปล่อยลมไหลดผ่านท่อน้ำประปาสาเหตุที่ไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องทนแรงดันสูงเพราะกรรมวิธีการผลิตการเชื่อมรอยต่อให้ติดกลายเป็นท่อมีโอกาสจะเกิดรอยแตกตรงท่อได้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

2.2.1 ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของครอปปิดในการลากขึ้นรูปโลหะที่มีรูปทรงไม่สมมาตรด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ ชื่อผู้แต่ง สุริยา ประสมทอง พ.ศ. 2555 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปัญหาการลากขึ้นรูปที่พบบ่อย คือ การฉีกขาดและการเกิดรอยย่นสาเหตุเกิดจากแรงกดขึ้นงานถ้าแรงกดมากเกินไปอาจทำให้เกิดการฉีกขาดของวัสดุและถ้าแรงกดน้อยเกินไปทำให้เกิดรอยย่นของวัสดุการควบคุมสภาวะการไหลของโลหะแผ่นในงานขึ้นรูปสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลดหรือเพิ่มแรงกดขึ้นงานหรือลดแรงเสียดทานระหว่างผิวแม่พิมพ์กับขึ้นงานแต่วิธีดังกล่าวไม่สามารถควบคุมการไหลของโลหะแผ่นเฉพาะในบริเวณได้ดังนั้นจึงมีความพยายามหาวิธีการ

ควบคุมสภาวะการไหลของโลหะแผ่นขึ้น โดยอาศัยการขัดขวางการไหลตัวของโลหะด้วยสันเล็ก ๆ ที่เรียกว่าครอปปิด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ครอปปิดที่มีรูปร่างหน้าตัดครึ่งวงกลมหน้าตัดรูปตัววีและหน้าตัดสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า โดยมีตัวแปรที่ศึกษาคืออิทธิพลแรงกดขึ้นงาน 30, 50 และ 70 เปอร์เซนต์ วัสดุที่ใช้ในการศึกษาเหล็กเกรด SPCC, SPCD และ SPCE ที่มีผลกระทบต่อการไหลตัวของโลหะแผ่นที่ไหลเข้าสู่ช่องเปิดตายในการลากขึ้นรูปโดยใช้รูปทรงของครอปปิดที่แตกต่างกันแรงกดขึ้นงานที่แตกต่างกันและวัสดุต่างชนิดกันแล้วนำผลมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปทรงของครอปปิดแรงกดขึ้นงานและชนิดของวัสดุมีผลกระทบต่อการไหลตัวของโลหะแผ่นเป็นอันมากจากการเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่าแรงกดขึ้นงาน 50 เปอร์เซนต์ ครอปปิดหน้าตัดครึ่งวงกลมและวัสดุเกรด SPCE โลหะสามารถไหลตัวได้ดีทำให้ขึ้นงานไม่เกิดการฉีกขาดและรอยยุบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่ามีความแตกต่างกันเฉลี่ย 7.4 เปอร์เซนต์ โดยวัดจากความหนาที่เปลี่ยนไปของวัสดุแต่ละจุด ดังนั้นจึงสรุปผลการเปลี่ยนรูปร่างสุดท้ายของวัสดุจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สอดคล้องกับรูปร่างจริงซึ่งผลการทดลองและวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำนายและหาแนวทางการแก้ไขรูปทรงของครอปปิดในการลากขึ้นรูปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

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

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนองานวิจัยการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติของเสาสั้นเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำเยื้องศูนย์โดยพิจารณาผลกระทบจากการโอบรัดตัวของคอนกรีตงานวิจัยเริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำตรงศูนย์ โดยตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลจากการทดสอบในอดีตและนำแบบจำลองไปศึกษาผลกระทบของตัวแปรออกแบบประกอบด้วยความกว้างแผ่นปีกของเหล็กรูปพรรณและระยะห่างเหล็กเสริมปลอกต่อพฤติกรรมกำลังรับแรงอัดตรงศูนย์ของเสาวัสดุผสมจากการวิเคราะห์พบว่าความกว้างแผ่นปีกมีผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่การโอบรัดตัวสูงของคอนกรีตภายในเสาโดยที่ความกว้างแผ่นปีกมากจะส่งผลให้บริเวณพื้นที่การโอบรัดตัวสูงมีพื้นที่มากและระยะห่างเหล็กเสริมปลอกมีผลกระทบต่อกำลังภายในหลังกำลังรับแรงอัดสูงสุดของเสาโดยเสาที่มีระยะห่างเหล็กเสริมปลอกน้อยจะสูญเสียกำลังช้ากว่าเสาที่มีระยะห่างเหล็กเสริมปลอกมากจากนั้นได้พัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำเยื้องศูนย์โดยตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลจากการทดสอบในอดีตและนำแบบจำลองไปสร้างเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังรับแรงตามแนวแกนและแรงดัดร่วมกันของเสาวัสดุผสมรวมทั้งศึกษาผลกระทบของตัวแปรออกแบบประกอบด้วยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลัง

ครากของเหล็กรูปพรรณต่อเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังของเสาวัสดุผสมและเปรียบเทียบกับเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังด้วยวิธีการกระจายหน่วยแรงแบบพลาสติกที่เสนอโดยข้อกำหนด AISC360-1 จากการวิเคราะห์พบว่าเส้นปฏิสัมพันธ์กำลังที่เสนอโดยข้อกำหนด AISC360-10 มีความปลอดภัยในการออกแบบเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตแต่จะมีความปลอดภัยน้อยลงเมื่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงหรือกำลังครากของเหล็กรูปพรรณมีค่าสูงขึ้น

### 2.2.3 เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคาน

ต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น

ชื่อผู้แต่ง พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภาพันธ์ พ.ศ. 2537 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดของคานต่อเนื่องที่มีความแข็งแรงแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น ใช้สำหรับหาแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดมากที่สุดคานที่นำมาทำการวิจัยคือคานต่อเนื่อง 12 ช่วงคานซึ่งแต่ละช่วงคานมีความยาว โมเมนต์อินเนอร์เซียและ โมดูลัสของความยึดหยุ่นไม่เท่ากันทุกช่วงคานความยาวโมเมนต์อินเนอร์เซียและ โมดูลัสของความยึดหยุ่นของคานช่วงแรกทางซ้ายมือกำหนดให้เป็นหนึ่งส่วนความยาว โมเมนต์อินเนอร์เซียและ โมดูลัสของความยึดหยุ่นของคานช่วงอื่น ๆ กำหนดไว้เป็นอัตราส่วนกับ ช่วงคานแรกซ้ายมือวิธีวิจัยกระทำได้โดยให้นำหนักหนึ่งหน่วยเคลื่อนผ่านไปตามตำแหน่งของจุด แบ่งบนคานต่อเนื่องซึ่งแต่ละช่วงคานแบ่งออกเป็น 5 ส่วนแบ่งแล้วคำนวณแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการของสมการห้าโมเมนต์ (Five- Moment Equation) เมื่อทราบแรงปฏิกิริยาที่สัมพันธ์กับ ตำแหน่งที่น้ำหนักหนึ่งหน่วยกระทำบนคานก็สามารถคำนวณแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดที่ตำแหน่ง จุดแบ่งตามความยาวช่วงคานได้จากนั้นนำผลที่ได้มาเขียนเส้นอิทธิพลสำหรับปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดได้ทำการพล็อตเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัด ของคานต่อเนื่อง 12 ช่วงคานซึ่งมีค่า  $K=0, 0.001, 0.01$  และ  $0.1$  เมตร/ตัน โดย  $W=0, 0.12, 1.2$  และ  $12$  ตามลำดับ สำหรับ  $W=0$  มี ผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยา 8 ช่วงคานมีผลต่อเส้นอิทธิพล ของแรง เฉือน 7 ช่วงคานและมีผลต่อเส้นอิทธิพลของ โมเมนต์ดัด 6 ช่วงคานเมื่อ  $W$  มีค่ามากขึ้นจะมีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดจำนวนมากช่วงคานขึ้นจนกระทั่ง  $W=12$  จะมีผลต่อเส้นอิทธิพลของ แรงปฏิกิริยาแรงเฉือนและ โมเมนต์ดัดทุกช่วงคาน

### 2.2.4 เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่นโดยวิธีสติเฟนส์โดยตรง

ชื่อผู้แต่ง สุภวดี ดวนดวน พ.ศ. 2544 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาเส้นอิทธิพล สำหรับระยะ โคง่มุมหมุนแรงเฉือน โมเมนต์ดัดและแรงปฏิกิริยาของคานต่อเนื่อง 2 ถึง 12 ช่วงคาน

บนฐานรองรับที่ยึดหยุ่นได้ในแนวนานกับแรงปฏิกิริยาโดยมีค่าคงที่ของสปริงที่ฐานรองรับความยาวช่วงคาน โมดูลัสยึดหยุ่น โมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละช่วงคานเปลี่ยนแปลงได้การวิเคราะห์กระทำโดยวิธีสตีเฟนส์โดยตรงโดยแบ่งคานแต่ละช่วงออกเป็นชิ้นส่วนย่อยแล้วให้นำหน้าหนึ่งหน่วยกระทำที่จุดแบ่งเหล่านั้นคำนวณหาระยะโก่งมูมมุมแรงเฉือน โมเมนต์คัตและแรงปฏิกิริยาที่จุดต่อต่าง ๆ เนื่องจากนำหน้าหนึ่งหน่วยกระทำที่แต่ละจุดแบ่งเพื่อนำผลที่ได้มาเขียนเส้นอิทธิพลต่อไปจากการวิจัยพบว่าเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแรงที่ฐานรองรับเพิ่มขึ้นอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพิกัดสูงสุดของระยะโก่งมูมมุม โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วงคานและที่ฐานรองรับและ โมเมนต์ลบที่กึ่งกลางช่วงคานของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแรงมากกว่าจะมีค่ามากกว่าของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแรงน้อยกว่าแต่อัตราลดลงของค่าพิกัดสูงสุดของแรงเฉือนที่ฐานรองรับและแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแรงมากกว่าจะมีค่าน้อยกว่าของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าพิกัดสูงสุดของแรงเฉือนที่กึ่งกลางช่วงคานและ โมเมนต์ลบที่ฐานรองรับไม่เปลี่ยนแปลง โดยมีนัยสำคัญกับค่าตัวประกอบความแข็งแรงและเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแรงที่ฐานรองรับเพิ่มขึ้นจำนวนช่วงคานที่มีผลต่อค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลของระยะโก่งมูมมุมแรงเฉือน โมเมนต์คัตและแรงปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแรงเท่ากับ 0, 1.326, 2.5 และ 25 จำนวน ช่วงคานที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 7, 8, 10 และ 12 ช่วงคานตามลำดับสำหรับตัวประกอบความแข็งแรงที่มีค่ามากกว่า 25 จะมีผลต่อค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลอย่าง มีนัยสำคัญกับคานต่อเนื่องมากกว่า 12 ช่วงคาน

2.2.5 การวิเคราะห์ห้วงจรกรองผ่านแถบความถี่แอร์พินไลน์ไมโครสตริปโดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ ชื่อผู้แต่ง ชาญไชย ไทยเจียม พ.ศ.2540 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยบัณฑิตวิทยาลัย

วิเคราะห์ห้วงจรกรองความถี่แบบไมโครสตริปโดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ในตัวอย่างวงจรกรองผ่านแถบความถี่แอร์พินไลน์ไมโครสตริปการวิเคราะห์อาศัยสมการอินทิกรัลในรูปสก็แม์เหล็กชนิดเวกเตอร์ศักย์ไฟฟ้าชนิดสเกลาร์และฟังก์ชันของกรีน ผลเฉลยของสมการอินทิกรัลสามารถหาได้โดยใช้เทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปของค่าพารามิเตอร์กระจายซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยในอดีตและผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมอ็อบโซฟ รวมถึงผลการวัดที่ได้จากวงจรตัวอย่างที่สร้างขึ้นพบว่ามีค่าสอดคล้องกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ห้วงจรกรองความถี่แบบไมโครสตริปได้

### บทที่ 3

#### รายละเอียดการปฏิบัติการ

รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติจะกล่าวถึง ชื่อ-ที่ตั้งของสถานประกอบการลักษณะโดยรวมของสถานประกอบการรูปแบบการบริหารองค์กรตำแหน่งงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย ระยะเวลาที่ปฏิบัติ ขั้นตอนวิธีการดำเนิน อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานโครงการสหกิจ

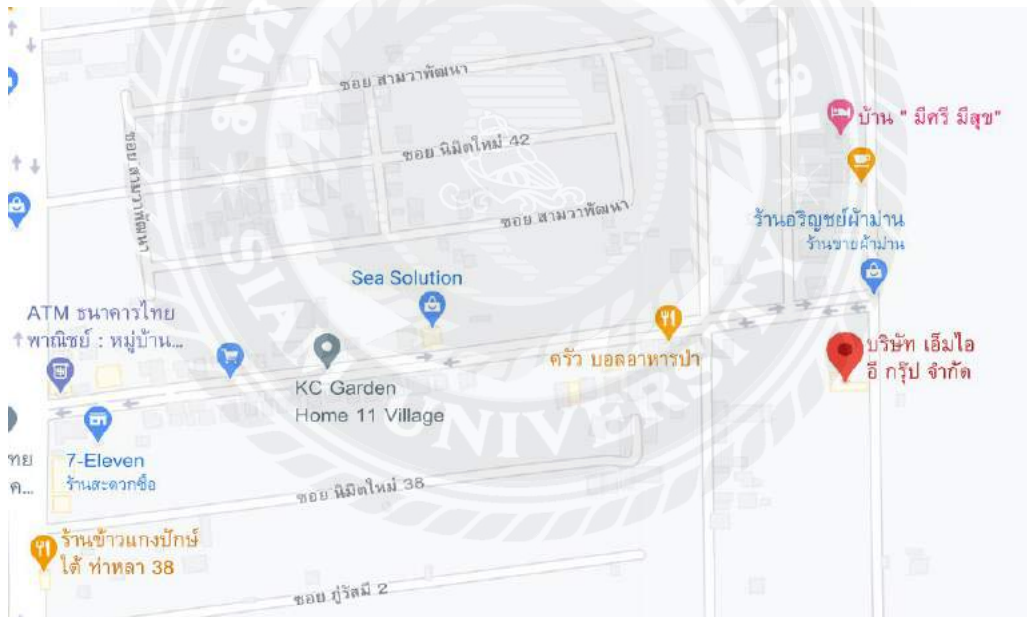
#### 3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

สำนักงานใหญ่ : 96/27 ถนนไทยรามัญ แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10150

รายละเอียดบริษัท : รับเหมาก่อสร้างและออกแบบ

โทรศัพท์ :02-993-3019

โทรสาร :02-993-2180



รูปที่ 3.1 แผนที่ตั้ง บริษัท เอ็ม ไอ อี กรุ๊ป จำกัด



สถานที่ปฏิบัติงาน : ถนนอุดมสรยุทธ์ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน



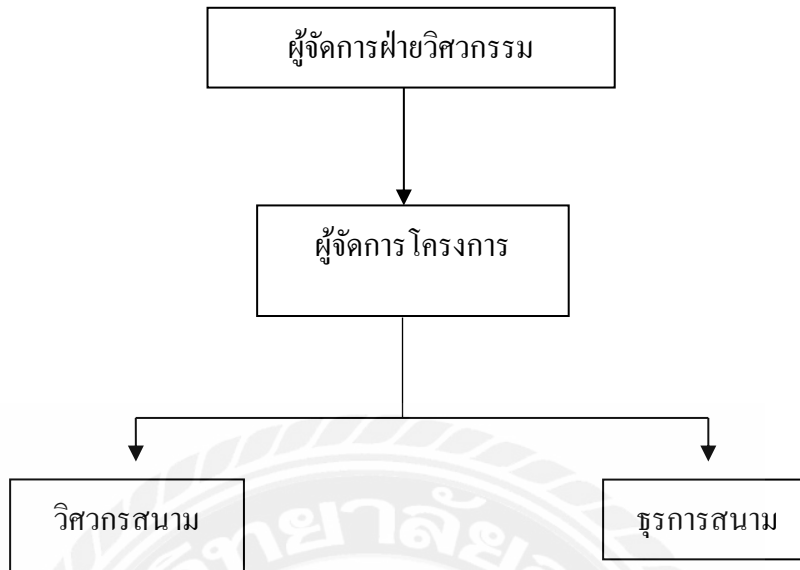
รูปที่ 3.2 สตาร์ส ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บางปะอิน

### 3.2 ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน

ชื่อ โครงการ : อินสทอลเลชัน นิว คลูลิ่งทาวเวอร์  
ที่ตั้ง : นิคมอุตสาหกรรม ถนน อุดมสรยุทธ์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา  
จุดเด่น : นิคมอุตสาหกรรม

### 3.3 รูปแบบการจัดองค์การและการบริหารองค์กร

บริษัท เอ็ม ไอ อี กรุ๊ป จำกัด



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งงานในโครงการ นิว คลังทาวเวอร์

### 3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย

ตำแหน่งงานที่นักศึกษารับผิดชอบ : วิศวกรสนาม

ลักษณะงานที่นักศึกษารับผิดชอบ : ตรวจสอบช่างติดตั้งงานคลังทาวเวอร์

### 3.5 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

ชื่อพนักงานที่ปรึกษา : นาย สหภัต เลิศไพฑูรย์พันธ์

ตำแหน่ง : วิศวกรงานระบบ (Engineer)

แผนก : งานระบบ (Mechanical Engineer)

### 3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

เริ่มปฏิบัติงาน : วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2563

สิ้นสุดการปฏิบัติงาน : วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2563

### 3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.7.1 ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง

สอบถามถึงหัวข้อโครงการในหัวเรื่องต่าง ๆ ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม

#### 3.7.2 ตั้งหัวข้อโครงการ

หาหัวข้อโครงการโดยการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาถึงความเป็นไปได้ในโครงการรวมถึง

ขอคำชี้แนะในการเจอปัญหาในการทำโครงการ

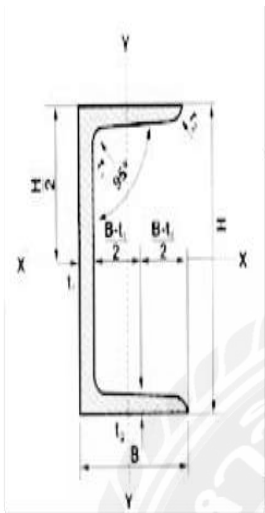
### 3.7.3 ขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว

1. กดเข้าไปโปรแกรมสำเร็จรูป

2. ออกแบบเหล็กกรงน้ำตามขนาด U chanel 6 นิ้ว 3 แบบ

แบบที่ 1 มีขนาด 125x65 mm. แบบที่ 2 มีขนาด 100x50 mm. แบบที่ 3 มีขนาด 150x75 mm.

ตารางที่ 3.1 ตารางเหล็กกรงน้ำ



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

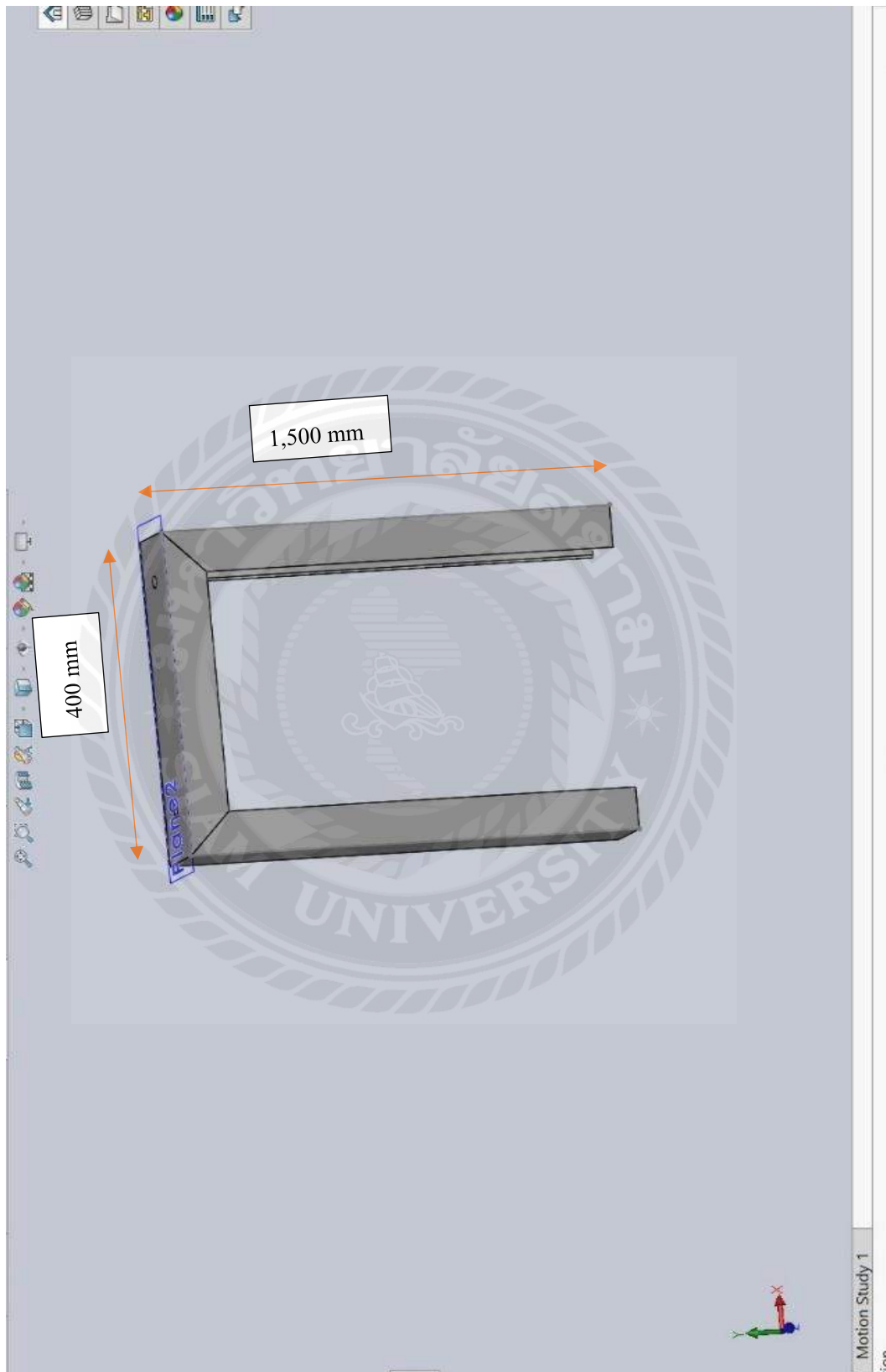


H x B	Dimensios (mm)				Sectional Area (cm <sup>2</sup> )	Weight (kg/m)	Moment of Inertia (cm <sup>4</sup> )		Radius of Gyration (cm)		Modulus of Section (cm <sup>3</sup> )	
	t1	t2	r1	r2			Ix	Iy	rx	ry	Zx	Zy
50 x 25	5	6	6	3	4.92	3.86	16.8	2.49	1.85	0.71	6.73	1.48
75 x 40	5	7	8	4	8.818	6.92	75.3	12.2	2.92	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



รูปที่3.4 เหล็กทรงน้ำขนาด U chanel 6 นิ้ว ขนาด 125×65 mm.

3. ประกอบอุปกรณ์รองรับท่อ สูง 1,500×400 mm.



รูปที่ 3.5 ประกอบเหล็กทรงน้ำเข้าด้วยกัน




4.สร้างยูแบน ขนาด 12 นิ้ว

ตารางที่ 3.2 ขนาด ยูแบนขนาด12นิ้ว

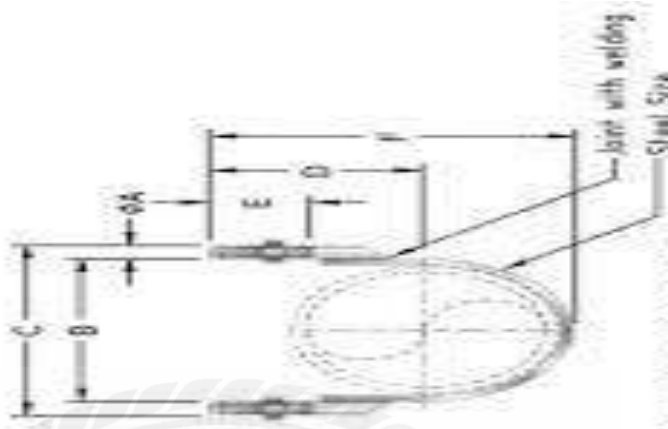
**STRAP U-BOLT ( ยูแบน )**

DIMENSION: MM.

NORMAL PIPE SIZE		ROD	Dimension					STEEL SIZE	
mm	Inch.		A	B	C	D	E		F
50	2"	3/8"	60	80	80	75	48	110	3.0 x 2.5
65	2 1/2"	3/8"	80	93	80	80	55	122	3.0 x 2.5
80	3"	3/8"	94	110	90	90	58	140	3.0 x 3.2
100	4"	1/2"	124	143	118	60	60	163	4.0 x 3.2
125	5"	1/2"	150	170	130	75	75	208	4.0 x 3.2
150	6"	5/8"	180	201	140	75	75	230	5.0 x 3.8
200	8"	5/8"	222	252	185	90	90	303	5.0 x 3.8
250	10"	3/4"	274	310	215	105	105	357	5.0 x 5.0
300	12"	7/8"	324	364	240	105	105	408	5.0 x 5.0

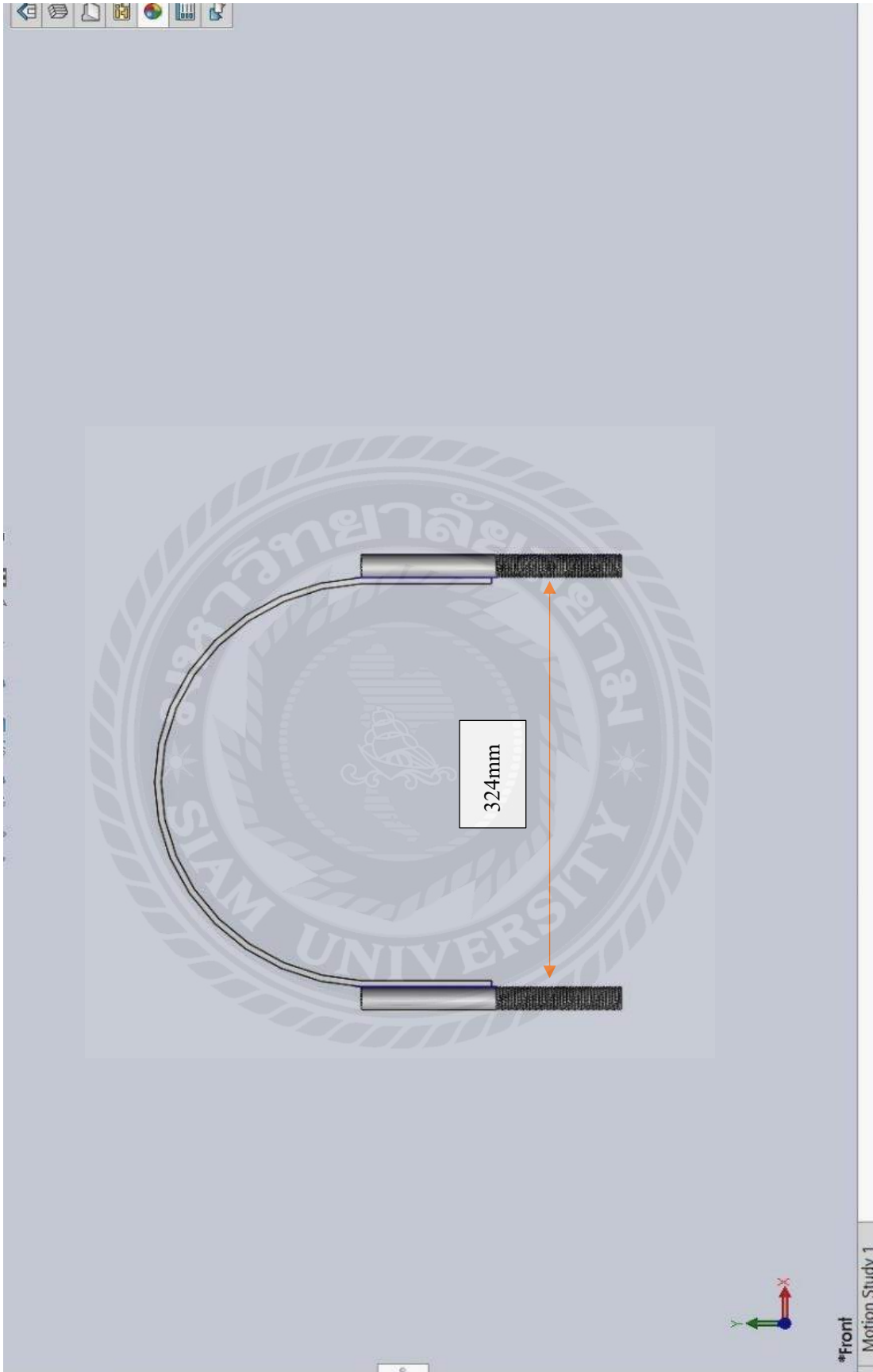


**Material : Steel**  
**Plating : Zinc Cr+6**



\* ขนาด PIPE SUPPORT เป็นแบบขนาด ทั่วไป  
เหล็กชุบสังกะสี





รูปที่ 3.6 เหล็กยูแบนขนาด 12 นิ้ว

5สร้างท่อขนาด12นิ้ว SCH40 มีตะเข็บ ยาว5,859.30 mm.

ตารางที่3.3 ขนาดท่อเหล็กดำขนาด 12 นิ้ว

ขนาด		SCH 40				SCH 80			
SIZE		รุ่น มีตะเข็บ(ERW) และไม่มีตะเข็บ(SML)				รุ่น มีตะเข็บ(ERW) และไม่มีตะเข็บ(SML)			
(INCH)	O.D.(MM.)	หนามม.	น้ำหนัก กก.	ราคาERW	ราคา SML	หนามม.	น้ำหนัก กก.	ราคาERW	ราคา SML
1/4"	13.80	2.20	3.80		850	3.00	4.80		1,100
3/8"	17.10	2.30	5.10		1,050	3.20	6.60		1,360
1/2"	21.30	2.80	7.60	430	1,100	3.70	9.72	570	1,450
3/4"	26.70	2.90	10.10	570	1,290	3.90	13.10	760	1,650
1"	33.40	3.40	15.00	840	1,560	4.50	19.40	1,100	1,980
1-1/4"	42.20	3.60	20.30	1,140	2,040	4.90	26.80	1,520	2,730
1-1/2"	48.30	3.70	24.30	1,360	2,400	5.10	32.50	1,840	3,300
2"	60.30	3.90	32.60	1,700	2,620	5.50	44.90	2,350	3,660
2-1/2"	73.00	5.20	51.70	2,700	4,100	7.00	68.50	3,600	5,550
3"	88.90	5.50	67.70	3,530	5,370	7.60	91.60	4,820	7,440
3-1/2"	101.60	5.70	81.40	4,560	6,700	8.10	111.78	6,000	9,000
4"	114.30	6.00	96.40	5,030	7,650	8.60	134.00	7,050	11,100
5"	141.30	6.60	131.00	6,830	10,390	9.50	186.00	9,950	15,300
6"	168.30	7.10	170.00	8,870	13,490	11.00	255.00	13,420	20,760
8"	219.10	8.20	255.00	13,300	21,680	12.70	388.00	20,500	33,690
10"	273.00	9.30	362.00	19,160	30,780	15.10	575.00	30,300	50,220
12"	323.80	10.30	478.00	25,330	41,800	17.50	792.00	41,700	68,850
14"	355.60	11.10	567.00	30,200	51,780	19.00	948.00	50,100	89,100
16"	406.40	12.70	739.00	39,400	79,500	21.40	1,220.00		114,690
18"	457.20	14.30	936.00	50,000	182,250				
20"	508.00	15.10	1,104.00	59,000	214,920				
24"	609.60	17.48	1,531.44	84,000	290,890				

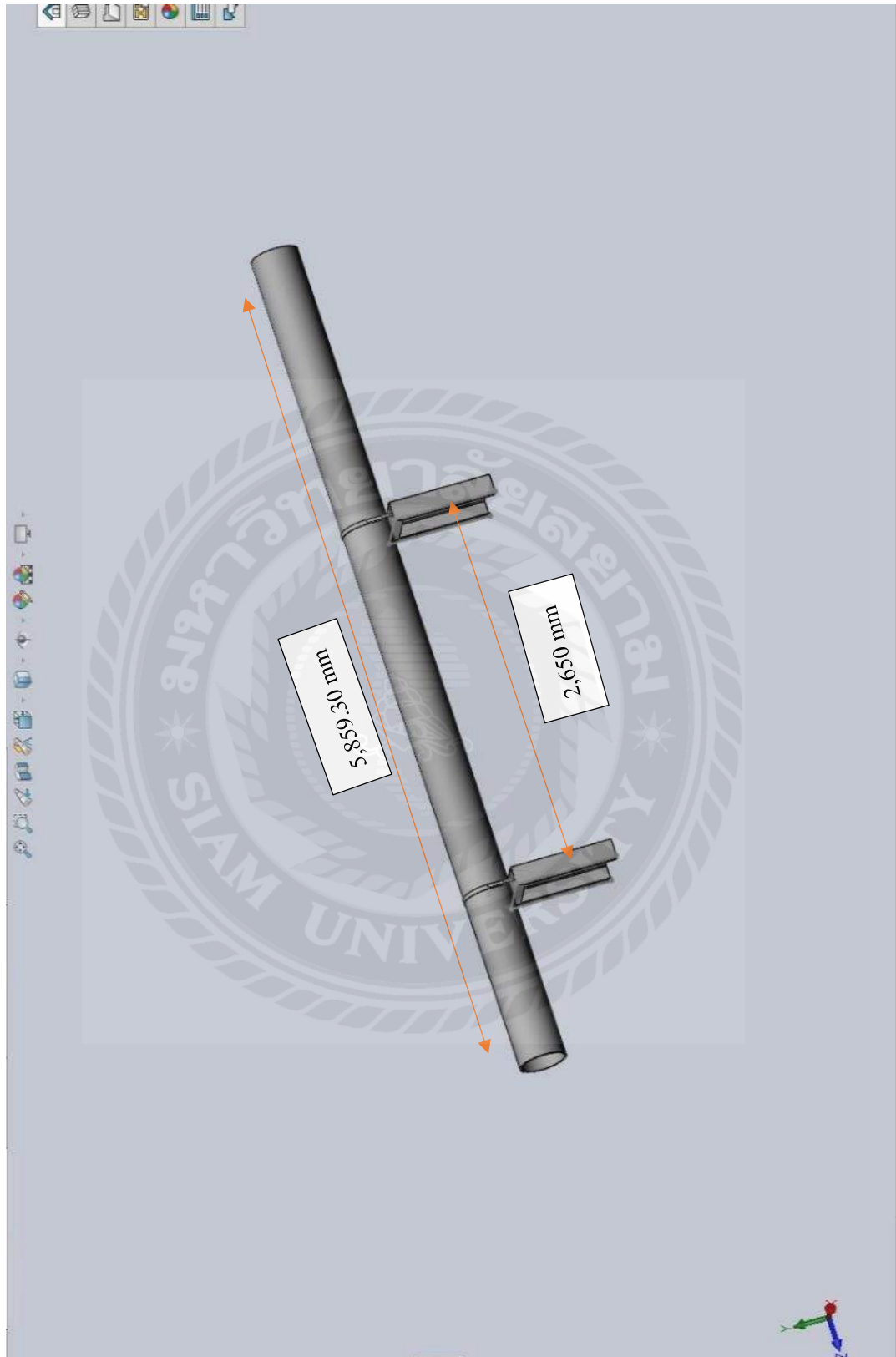






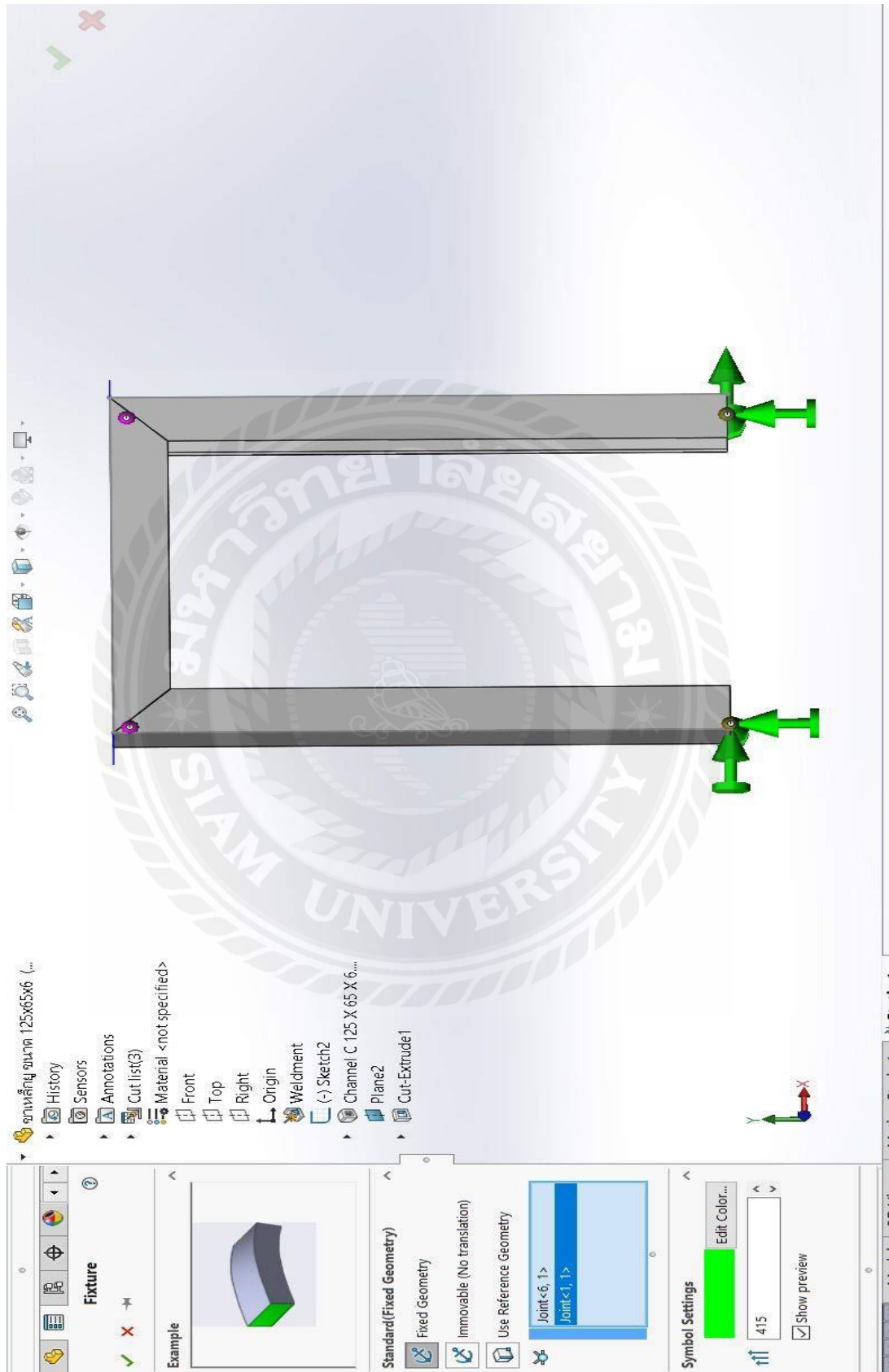
รูปที่ 3.7 สร้างท่อขนาด 12 นิ้ว

## 6. ประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน



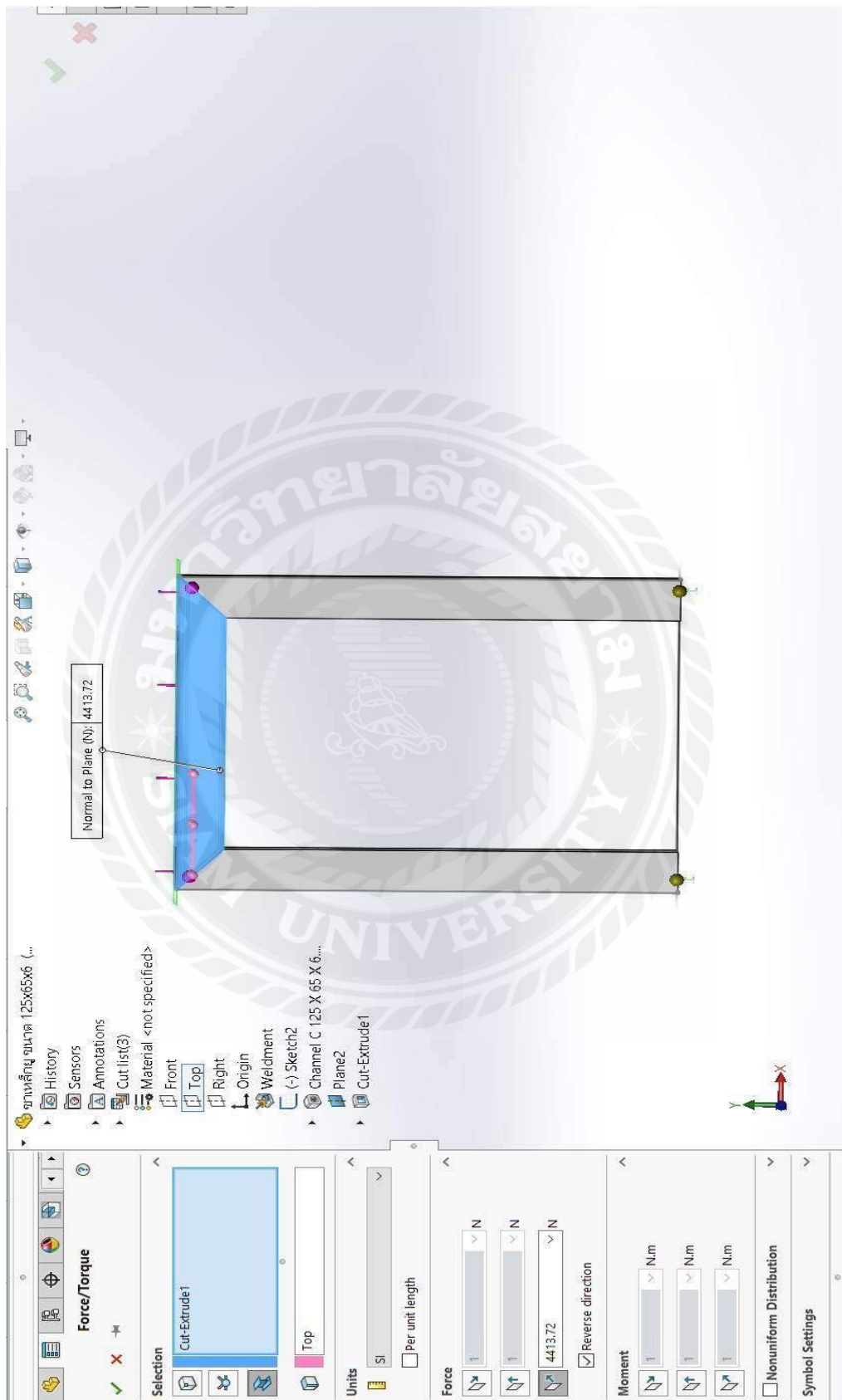
รูปที่ 3.8 ภาพรวมอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว

7. ใส่จุดยึดชิ้นงาน Fixture เหล็ก U chanel 6 นิ้ว ขนาด 125×65 mm. สูง 1,500×400 mm.



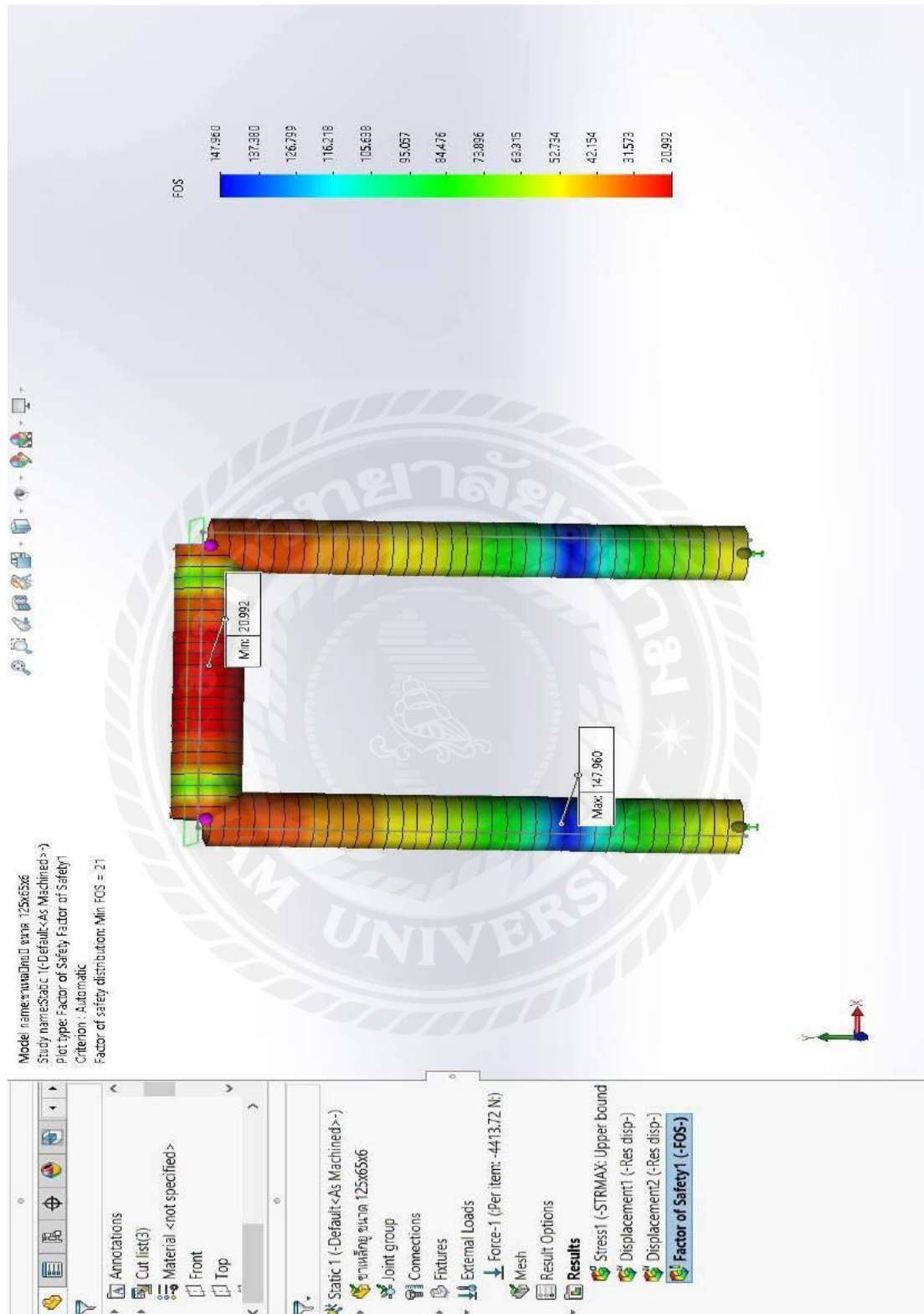
รูปที่ 3.9 ใส่จุดยึดที่เหล็ก

8 ใส่แรงที่ชิ้นงาน เหล็ก U chanel 6 นิ้ว ขนาด 125× 65 mm. สูง 1,500×400 mm.



รูปที่ 3.10 ใส่แรงให้ชิ้นงาน

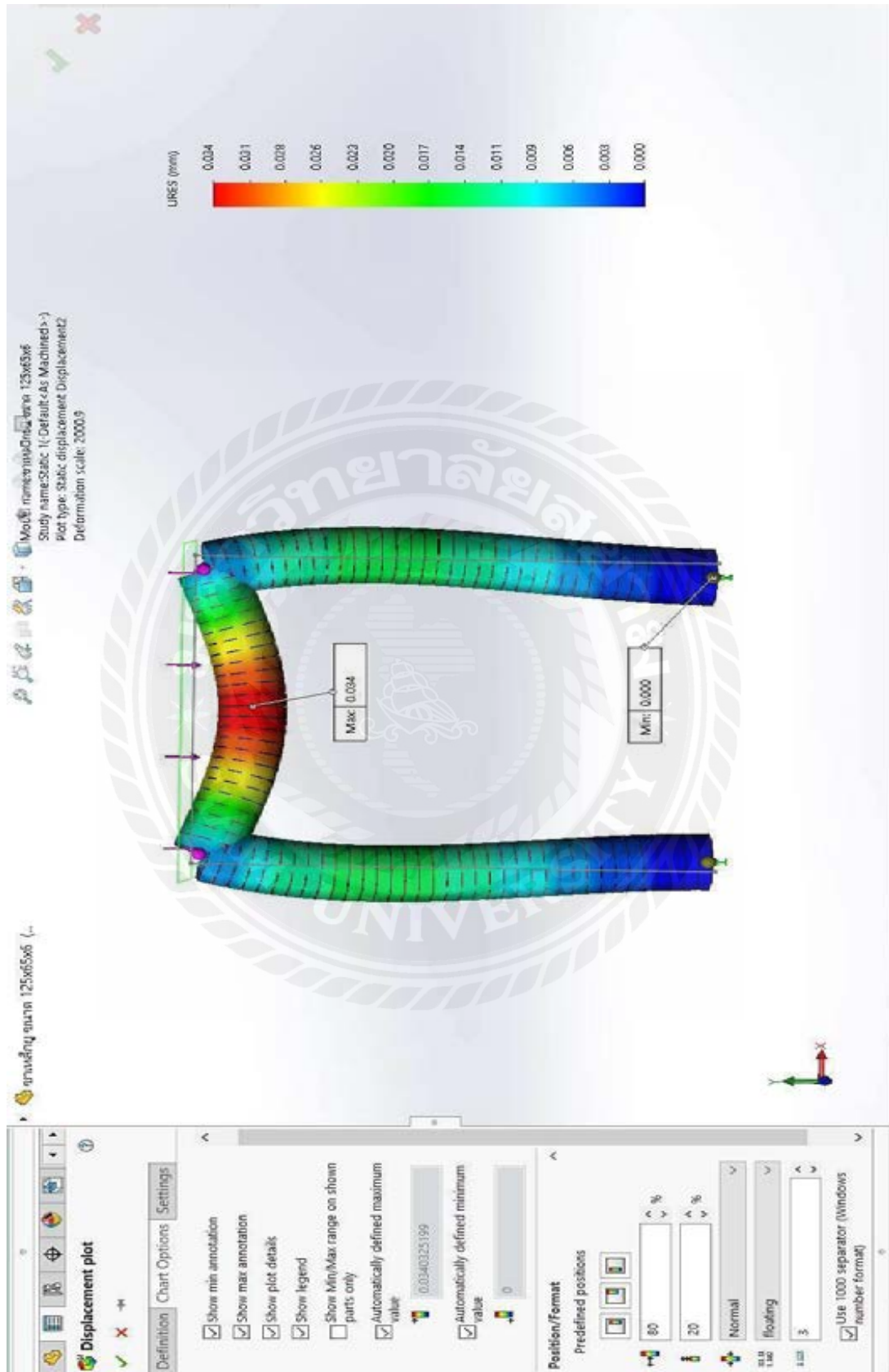
## 9 Simulation ทาค่า Safety of Factor



รูปที่ 3.11 แสดงค่า ความปลอดภัย



## 10. ทหาระยะโค้งตัว



รูปที่ 3.12 ค่าโค้งตัวของวัตถุ

### 3.8 การคำนวณหาน้ำหนักที่กระทำต่ออุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้ว

น้ำหนักของยูเบน 12 นิ้ว (ตัวที่1) =  $5 \text{ kg.} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 49.05 \text{ N.}$

น้ำหนักของยูเบน 12 นิ้ว (ตัวที่2) =  $5 \text{ kg.} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 49.05 \text{ N.}$

รวม 98.1N

น้ำหนักท่อเหล็กดำตะเข็บในขนาด 12 นิ้ว SCH40 =  $466.79 \text{ kg.} \times 9.81 \text{ m/s}^2$

เท่ากับ 4,579.21 N.



หาน้ำหนักน้ำในท่อ  $r = 151.6 \text{ mm.}$  ความยาว =  $5,859.30 \text{ mm.}$

ใช้สูตร  $\pi \times r^2 \times h$

เท่ากับ  $\pi \times (151.6)^2 \text{ mm.} \times 5,859.30 \text{ mm.}$

เท่ากับ  $423,052,250.8 \text{ mm}^3.$

$$\begin{aligned} \text{แปลงเป็นลิตร } L &= \frac{\text{mm}^3}{1,000,000} \\ &= \frac{423,052,250.8 \text{ mm}^3}{1,000,000} \end{aligned}$$

เท่ากับ 423.05 L. แปลงเป็นกิโลกรัมเท่ากับ 423.05 kg.

$423.05 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$

เท่ากับ 4,150.12 N.

ดังนั้นรวมน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำต่ออุปกรณ์รองรับท่อประกอบด้วยยูเบนจำนวน 2 ตัว

ท่อเหล็กดำแบบมีตะเข็บขนาด 12 นิ้ว SCH40 และน้ำหนักน้ำภายในท่อ

$98.1 \text{ N.} + 4,579.21 \text{ N.} + 4,150.12 \text{ N.}$

เท่ากับ 8,827.43 N.

เนื่องจาก อุปกรณ์รองรับท่อมี่จำนวน 2 ชุดแต่การจำลองใช้อุปกรณ์รองรับท่อ 1 ตัวดังนั้นแรงที่

กระทำต่ออุปกรณ์รองรับท่อเท่ากับ 4,413.72 N.

### 3.8 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

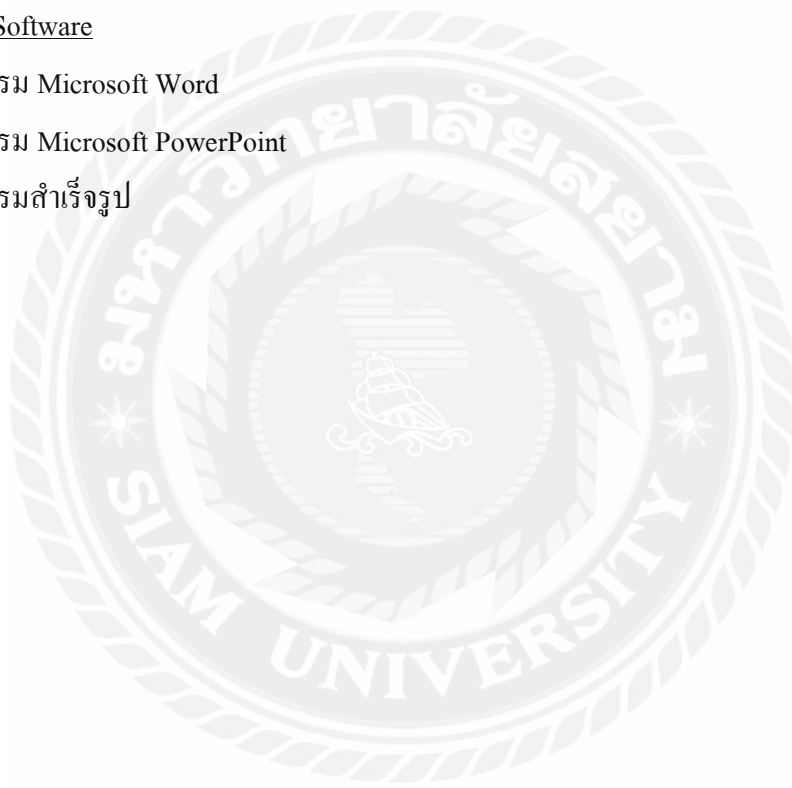
รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทำโครงการ โดยใช้เครื่องฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

#### Hardware

- 1.คอมพิวเตอร์ รุ่น MSI GF62 8RE
- 2.เครื่องปริ้น
- 3.กล้องถ่ายรูป I phone 6
- 4.เครื่องถ่ายเอกสาร
5. กระดาษ A4

#### Software

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





## บทที่ 4

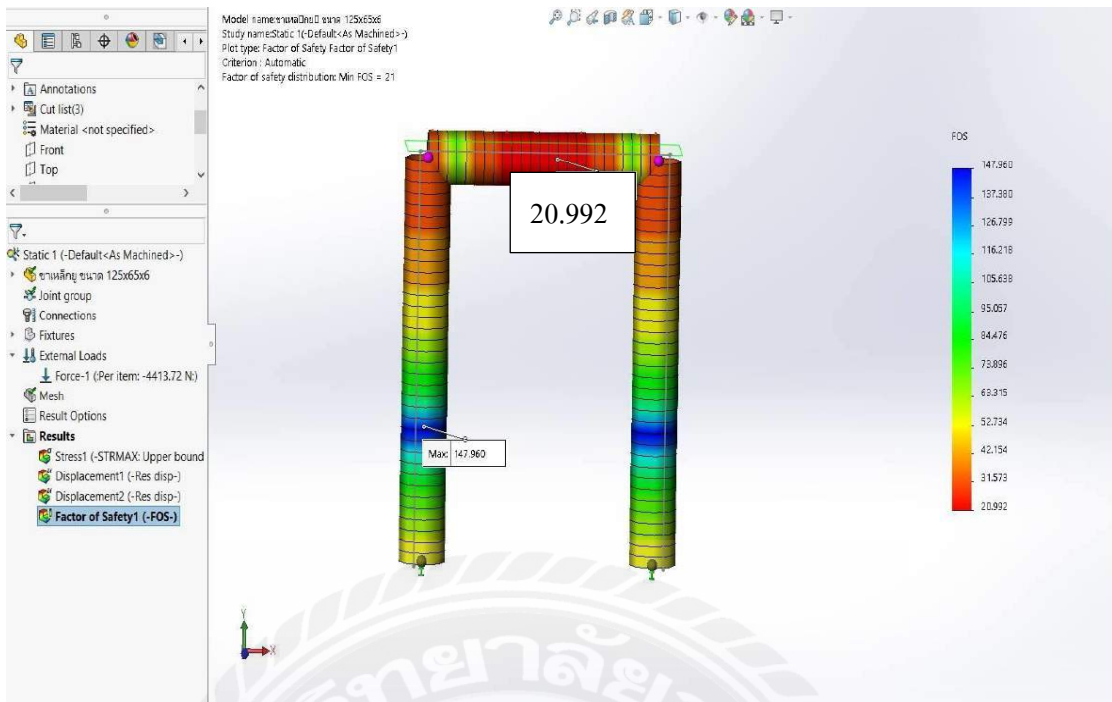
### ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ

4.1 จากผลการทดลองโดยการใช้ โปรแกรมมอดแรงบนชิ้นงาน จะมีแรงกระทำ เท่ากับ 4,413.72 N.

4.1.1 แบบที่ 1 เหล็กขนาด 125×65 mm. หาค่าความปลอดภัยและระยะโก่งตัว

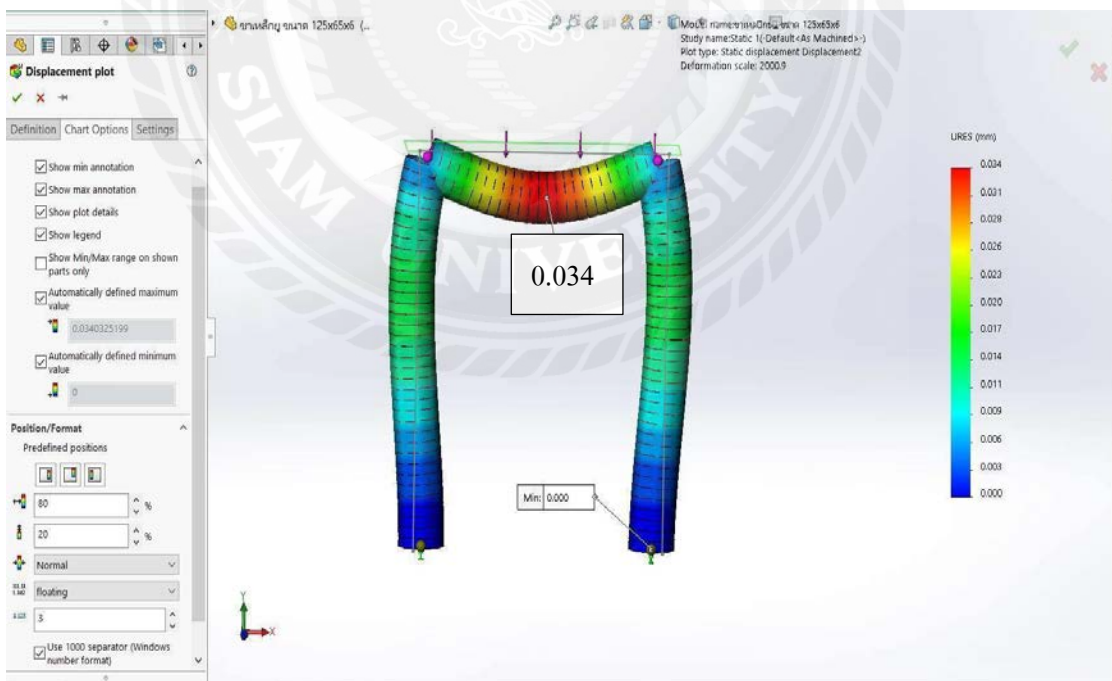


รูปที่ 4.1 เหล็กรางน้ำ 125×65 mm.



รูปที่ 4.2 ผลการจำลองของเหล็กทรงน้ำ ขนาด 125×65 mm.

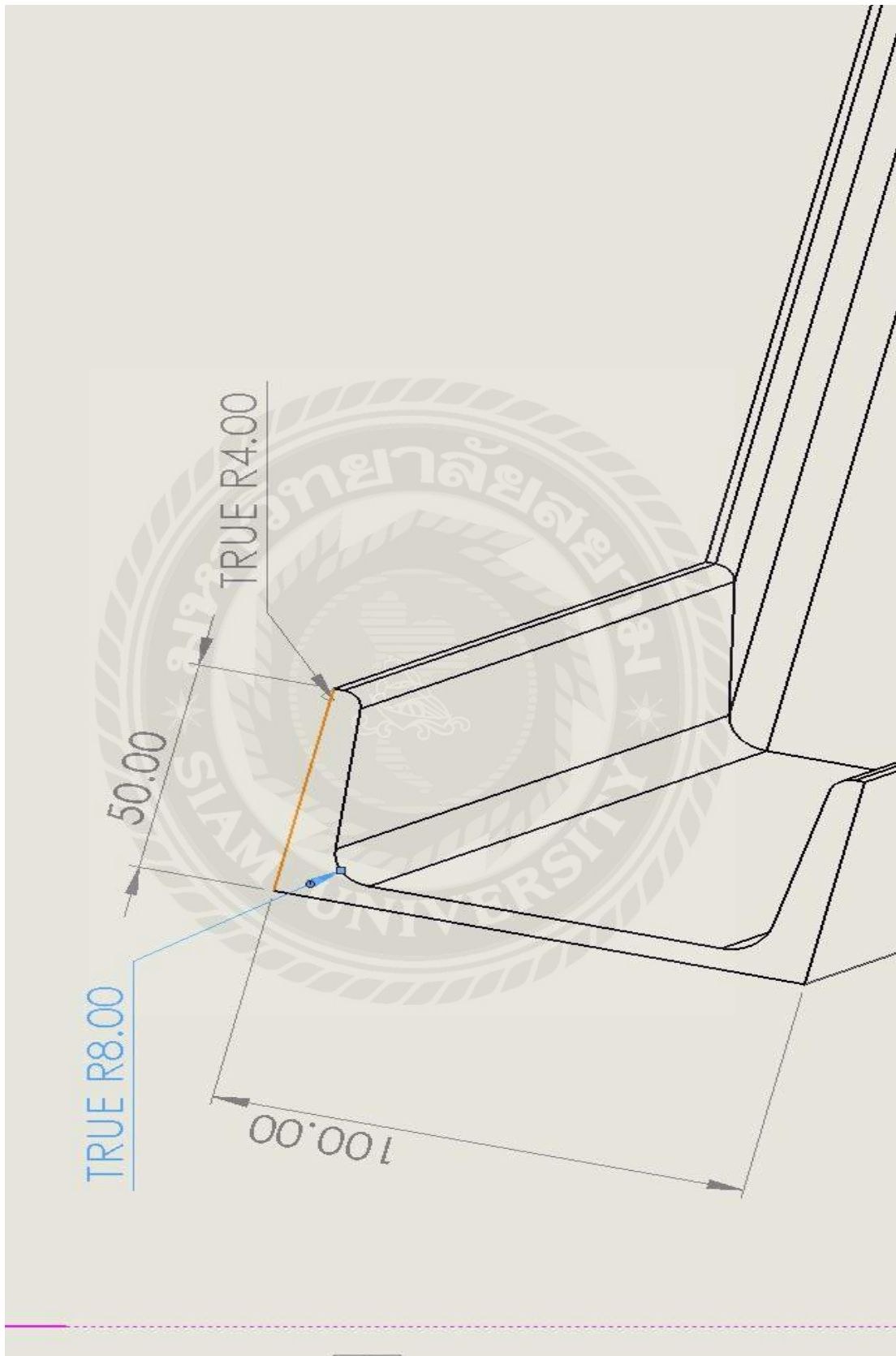
จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor = 21



รูปที่ 4.3 ค่าโก่งตัวของเหล็กขนาด 125×65 mm.

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโก่งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.034 mm.

4.1.2 แบบที่ 2 เหล็กขนาด 100×50 mm. หาค่าความปลอดภัยระยะโคงตัว

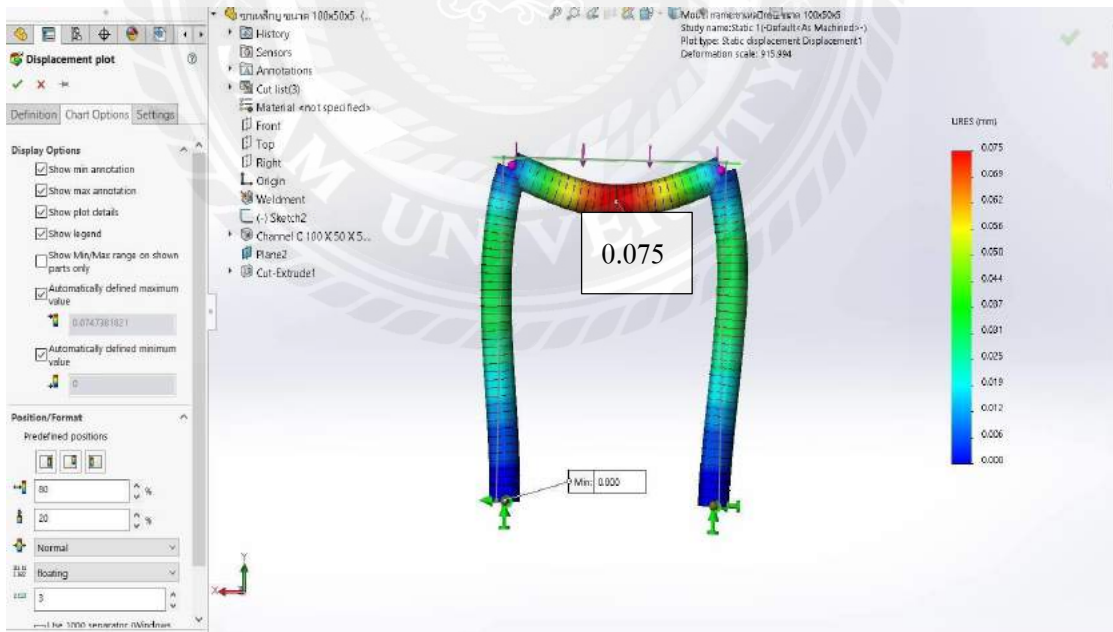


รูปที่ 4.4 เหล็กกรงน้ำ 100×50 mm.



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองของเหล็กทรงน้ำ ขนาด 100×50 mm.

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor=11.64

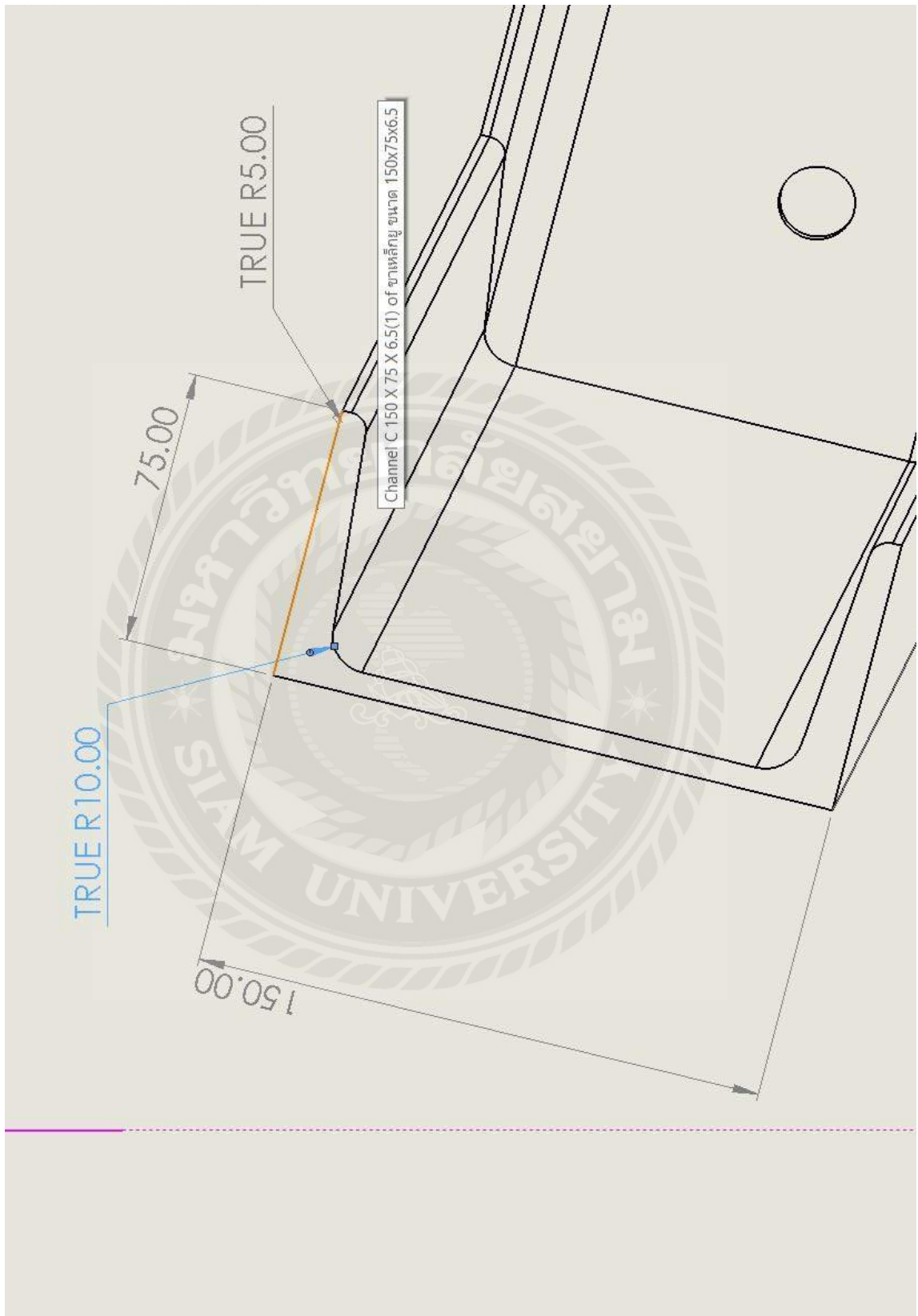


รูปที่ 4.6 ค่าโก่งตัวของเหล็กขนาด 100×50 mm.

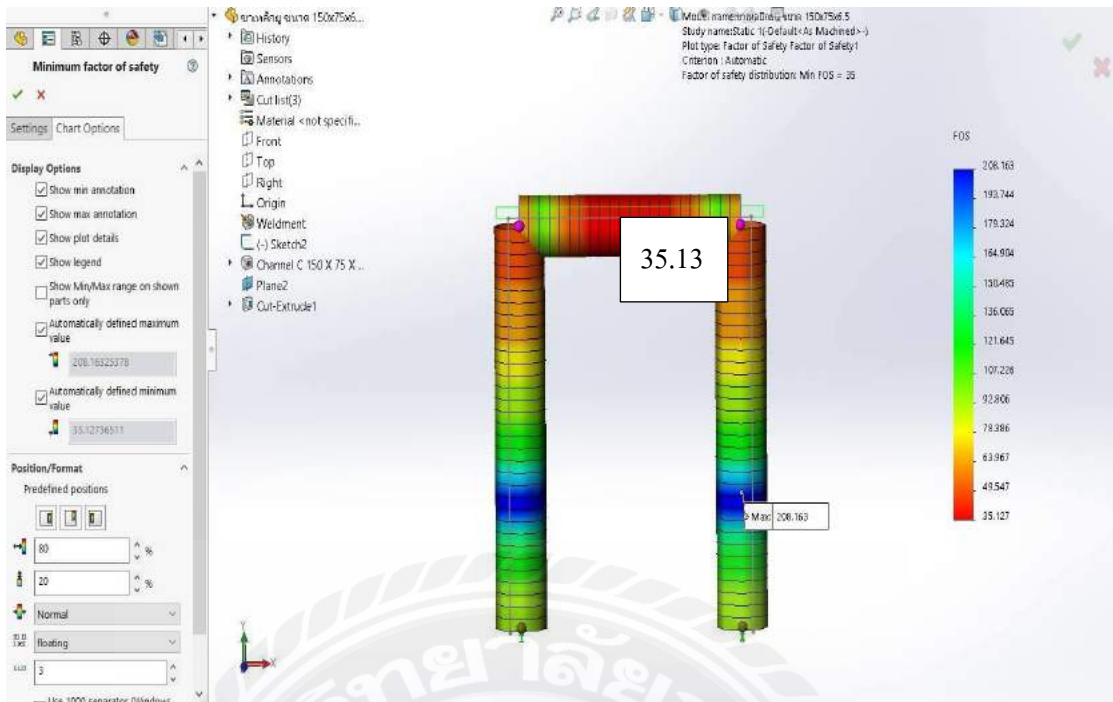
จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโก่งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.075 mm.



4.1.3 แบบที่3 เหล็กขนาด 150×75 mm. หาค่าความปลอดภัยระยะโค้งตัว

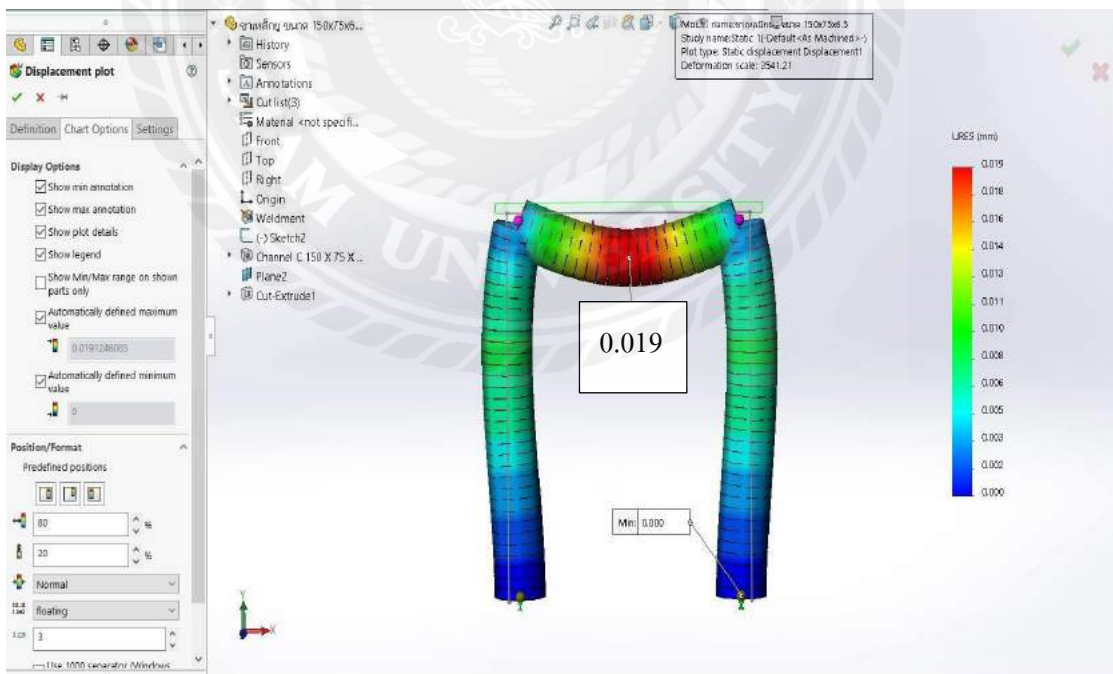


รูปที่ 4.7 เหล็กทรงน้ำขนาด 150×75 mm.



รูปที่ 4.8 ผลการจำลองของเหล็กทรงน้ำ ขนาด150×75 mm.

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่า Safety Factor=35.13



รูปที่ 4.9 ค่าโก่งตัวของเหล็กขนาด150×75 mm.

จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป พบว่า ค่าโก่งตัวของวัตถุเท่ากับ 0.019 mm.

ตารางที่ 4.1 ค่าความปลอดภัยและระยะโค้งตัว

รายละเอียด				
ขนาด( HxB ) (mm.)	กว้าง×สูง (mm.)	น้ำหนักที่กดต่อ จุด ทั้งหมด1จุด (N)	ค่าความปลอดภัย	ค่าโค้งตัว (mm.)
125x65	400×,1500	4,413.72	21	0.034
100x50	400×1,500	4,413.72	11.64	0.075
150x75	400×1,500	4,413.72	35.13	0.019

ตารางอธิบายค่าความปลอดภัยและระยะโค้งตัวของเหล็กทรงน้ำทั้ง 3 แบบที่ผ่านกาคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทั้ง 3 แบบโดยแบบที่ 1 มีขนาด125x65 mm. มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 21 และระยะโค้งตัวเท่ากับ0.034 mm. แบบที่ 2 มีขนาด100x50 mm. มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 11.64 และระยะโค้งตัวเท่ากับ0.075 mm. และแบบที่ 3 มีขนาด150x75 mm. มีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 35.13 และระยะโค้งตัวเท่ากับ0.019 mm. เลือกใช้เหล็กแบบที่ 2 เพราะค่ากำหนดความปลอดภัยเท่ากับ 3แบบที่มีขนาด 125x65 mm. ยาว 6,000 mm. ราคา 1,570.50 บาท ใช้ขนาด 1,900 mm. ราคาต้นทุนต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 12 นิ้ว 1 ตัวราคา 497.32บาท

แบบที่2มีขนาด 100x50 mm. ยาว 6,000 mm. ราคา 1,005.20 บาท ใช้ขนาด 1,900 mm. ราคาต้นทุนต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 12 นิ้ว 1 ตัวราคา 318.31บาท

จากผลการวิเคราะห์เลือกใช้แบบที่2 ที่มีขนาดอุปกรณ์รองรับท่อ 100×50 mm. จะลดต้นทุนได้ 179.10 บาทต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 1 ตัวและหมาะบายความร้อนน้ำเข้ามีอุปกรณ์รองรับท่อ 2 ตัว ดังนั้นสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 385.32 บาท

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การจัดทำ โครงการนี้ขึ้นมาเพื่อทำการเปรียบเทียบค่า Safety Factor และระยะโก่งตัวของ เหล็กทรงน้ำ ขนาด 125×65 mm. ,100×50 mm. และ 150×75 mm. โดยจุดประสงค์หลัก คือเพื่อ ทดสอบคุณภาพของเหล็กทรงน้ำแต่ละขนาดเมื่อใช้แรงกดลงที่ตำแหน่งของอุปกรณ์รองรับท่อที่วาง ไว้บนเหล็กทรงน้ำทั้งเส้นก็จะรู้ผลลัพธ์ออกมาโดยผลที่ได้

ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Simulation ที่ที่ Force =4,413.72 N.

ค่าความปลอดภัย ของ เหล็กทรงน้ำ ขนาด 125x65 mm. เท่ากับ 21 ระยะโก่งตัว 0.034 mm.

ค่าความปลอดภัย ของ เหล็กทรงน้ำ ขนาด 100x50 mm. เท่ากับ 11.64 ระยะโก่งตัว 0.075 mm.

ค่าความปลอดภัย ของ เหล็กทรงน้ำ ขนาด 150x75 mm. เท่ากับ 35.13 ระยะโก่งตัว 0.019 mm.

เลือกใช้เหล็กแบบที่2 เพราะค่ากำหนดความปลอดภัยเท่ากับเท่ากับ 3

แบบที่ 1 มีขนาด 125x65 mm. ยาว 6,000 mm. ราคา 1,570.50 บาท ใช้ขนาด 1,900 mm. ราคา ต้นทุนต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 12 นิ้ว 1 ตัวราคา 497.32บาท

แบบที่ 2 มีขนาด 100x50 mm. ยาว 6,000 mm. ราคา 1,005.20 บาท ใช้ขนาด 1,900 mm. ราคา ต้นทุนต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 12 นิ้ว 1 ตัวราคา 318.31บาท

จากผลการวิเคราะห์เลือกใช้แบบที่ 2 ที่มีขนาดอุปกรณ์รองรับท่อ 100×50 mm. จะลดต้นทุน ได้ 179.10 บาทต่ออุปกรณ์รองรับท่อ 1 ตัวและห้ระยะบายความร้อนน้ำเข้ามีอุปกรณ์รองรับท่อ 2 ตัว ดังนั้นสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 385.32 บาท

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์รองรับท่อที่ขนาดเดียวกันได้เช่นการวิเคราะห์หาค่าความ ปลอดภัยและลดต้นทุนของอุปกรณ์รองรับท่อขนาด 12 นิ้วในส่วนน้ำออกห้ระยะบายความร้อน



## บรรณานุกรม

- ชาญไชย ไทยเจียม. (2540). การวิเคราะห์วงจรกรองผ่านแถบความถี่แฮร์ฟิไนต์ไมโครสตริป โดยใช้วิธีสมการอินทิกรัลร่วมกับเทคนิคไฟไนต์เอลิเมนต์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นายช่างมาแชร์. (2563). หลักการทำงานของหอระบายความร้อน. เข้าถึงได้จาก <https://naichangmashare.com>
- บริษัท HOME & FAC. (2563). บทความวัสดุวิศวกรรม. เข้าถึงได้จาก <https://www.homeandfac.com>
- ปราโมทย์ เศษอำไพ. (2555). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภาพันธ์. (2537). เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนและโมเมนต์คัตของคานต่อเนื่องที่มีความแข็งเกร็งแรงคัตเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรการ อนันตเสนา. (2558). การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของเสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีตรับแรงกระทำเอียงศูนย์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วริทธิ์ อิงภากรณ์. (2556). การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภวุฒิ ดวนดาวน์. (2544). เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่น โดยวิธีสติฟเฟิสโดยตรง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุริยา ประสมทอง. (2555). ศึกษาอิทธิพลรูปทรงของครอปบีคในการลากขึ้นรูปโลหะที่มีรูปทรงไม่สมมาตรด้วยการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

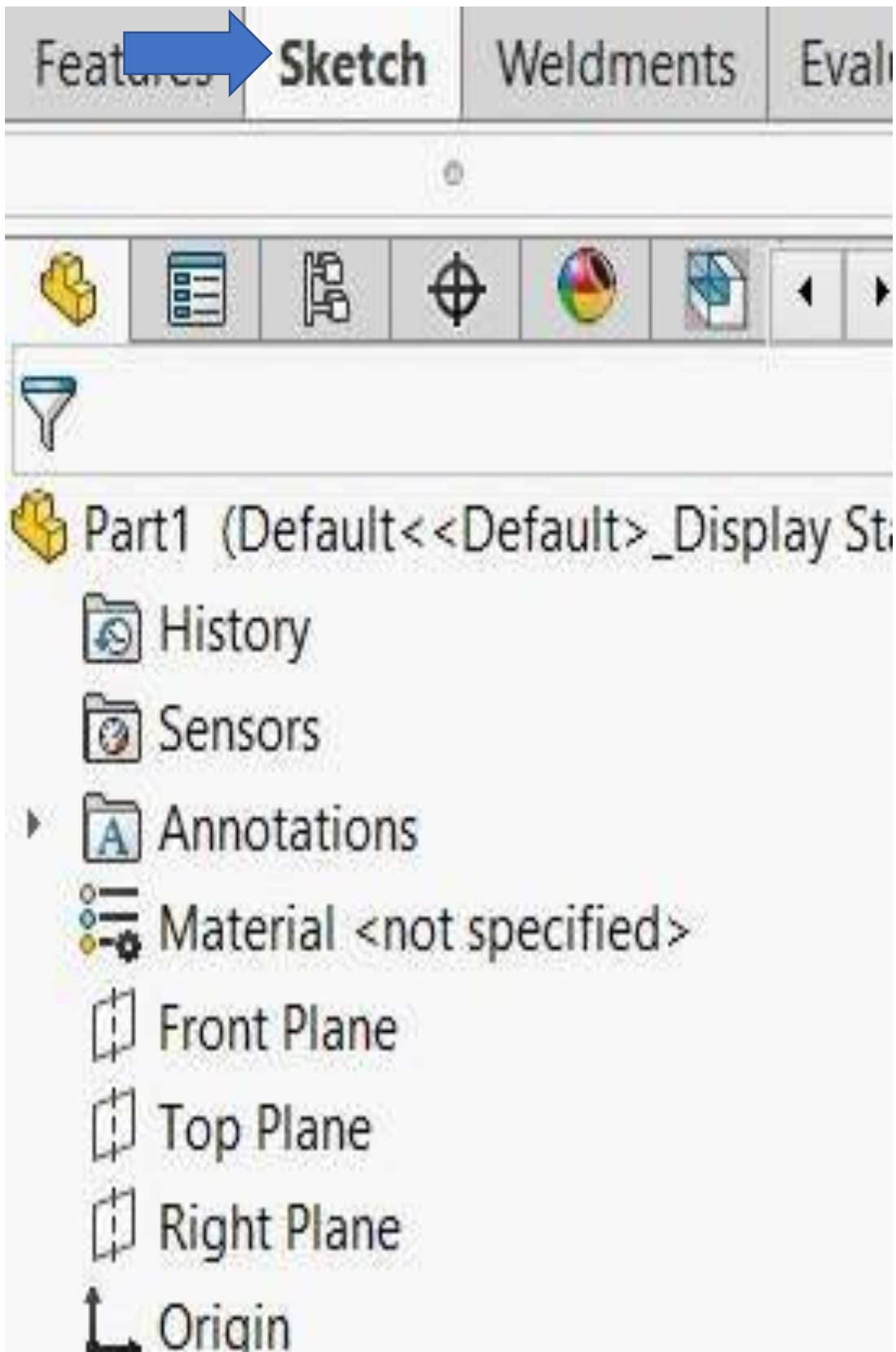
**ภาคผนวก**

**การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยอุปกรณ์รองรับ**

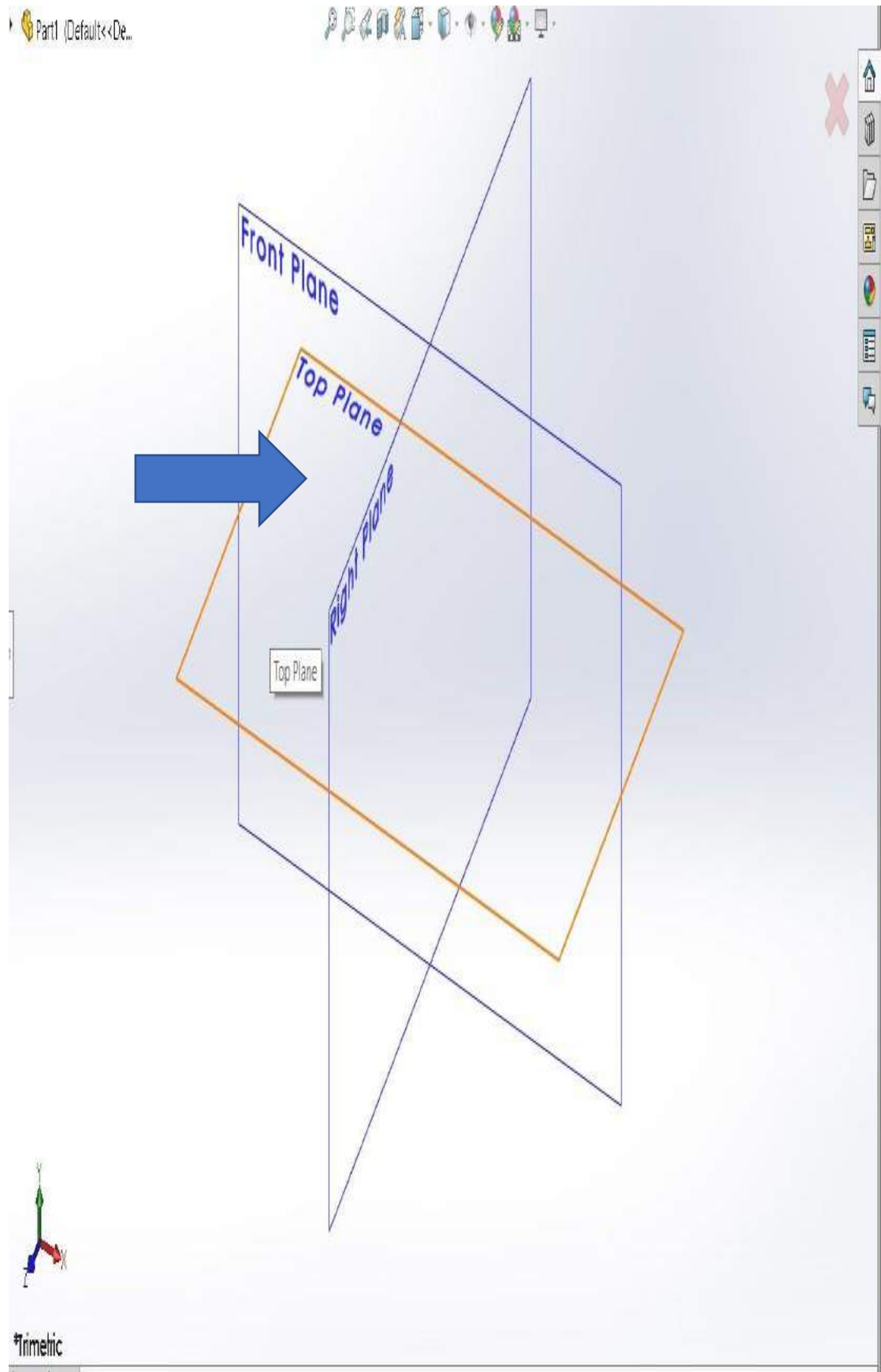
**ในส่วนท่อน้ำเข้าหาระบายความร้อนขนาด 12 นิ้ว**

1.เข้าโปรแกรมสำเร็จรูป

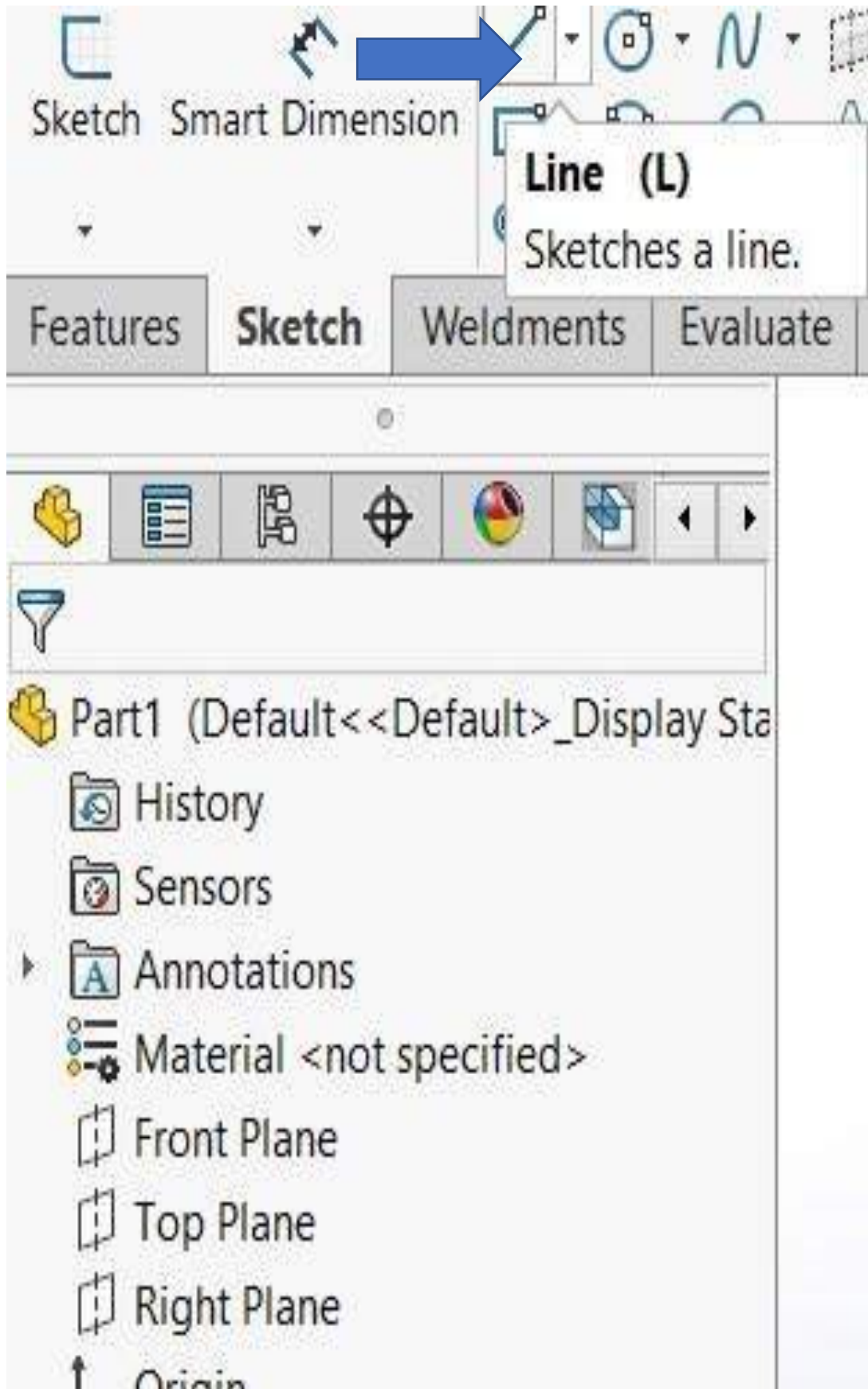
2.กดที่ Sketch



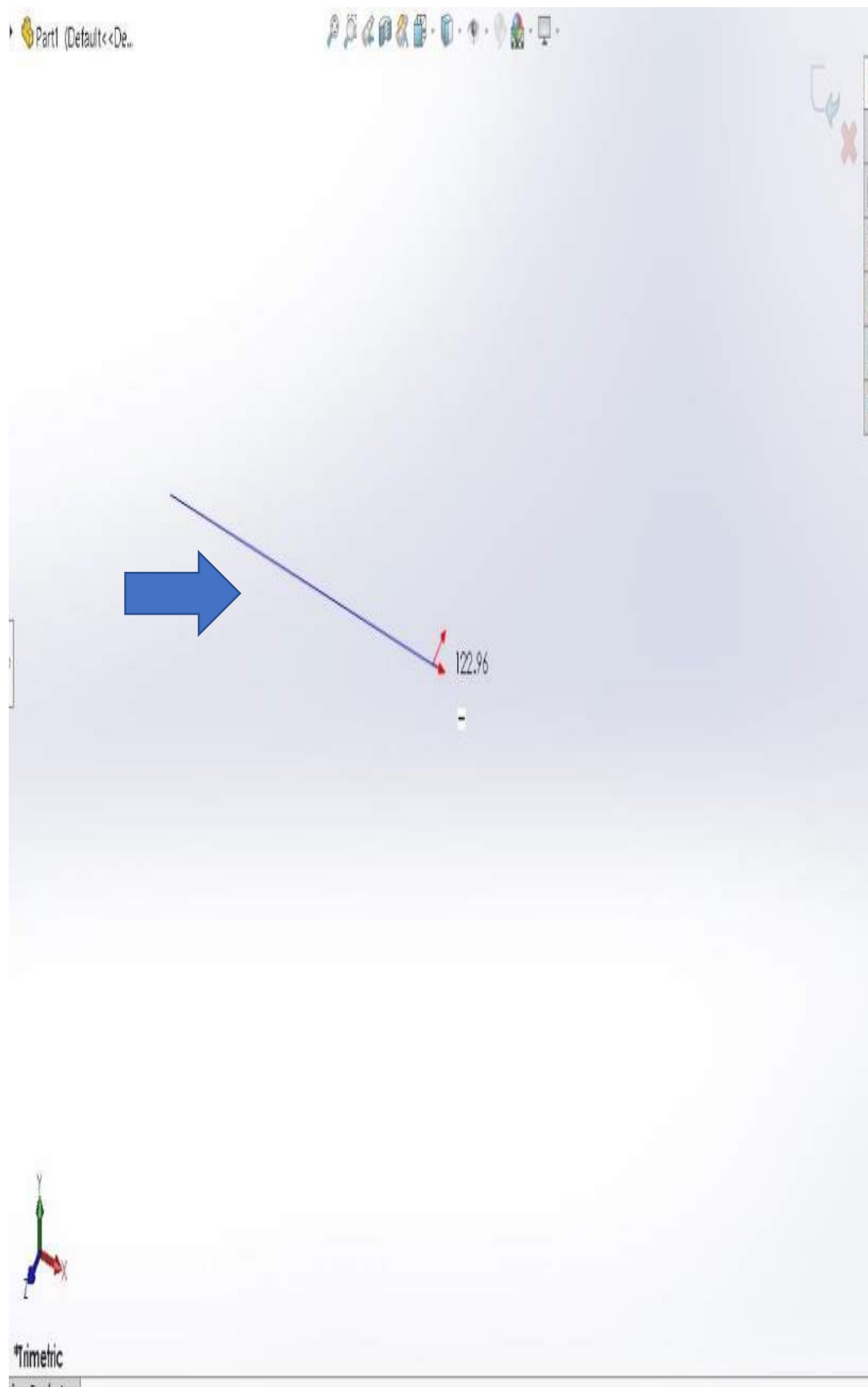
### 3. กศ Top Plan



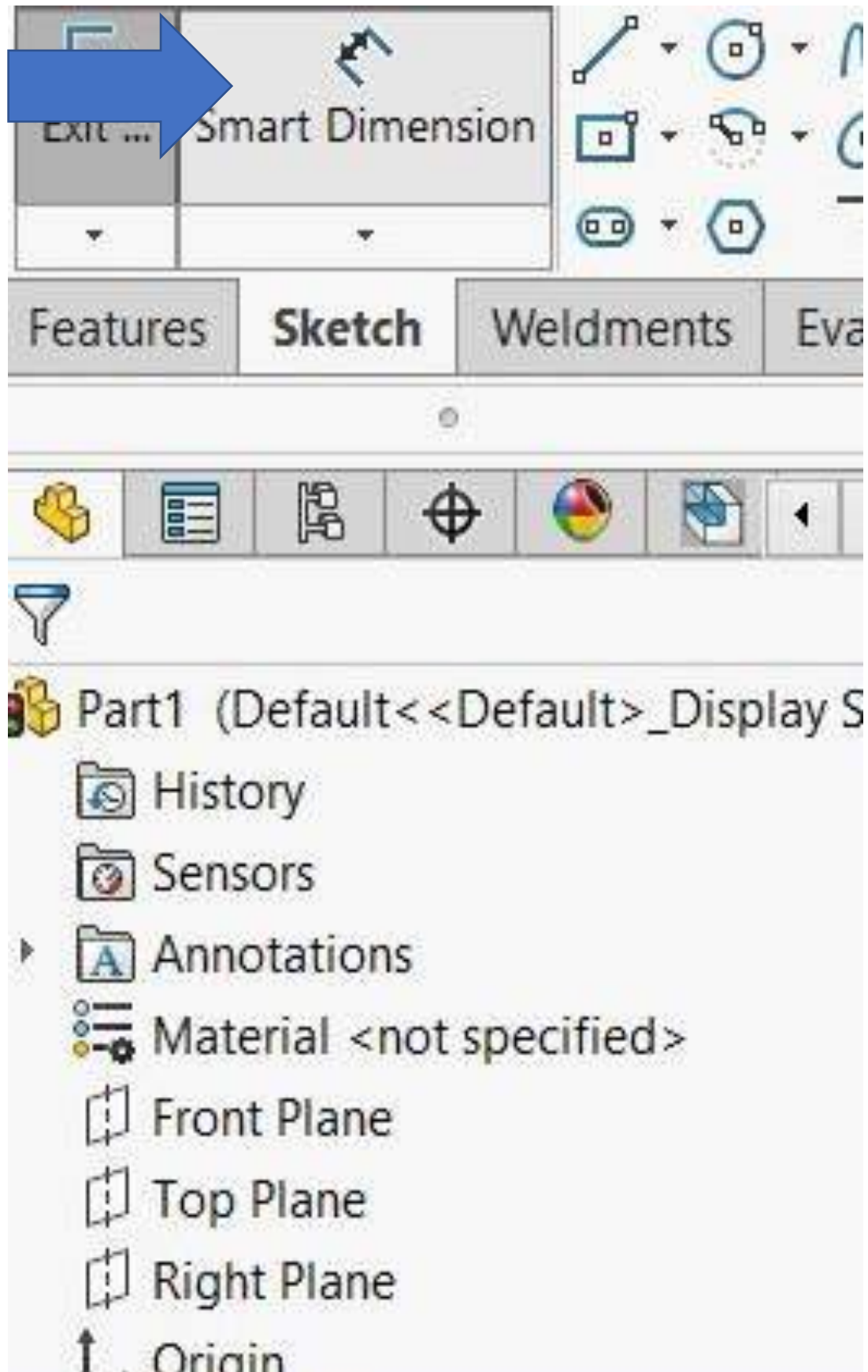
4.00 Sketches a line



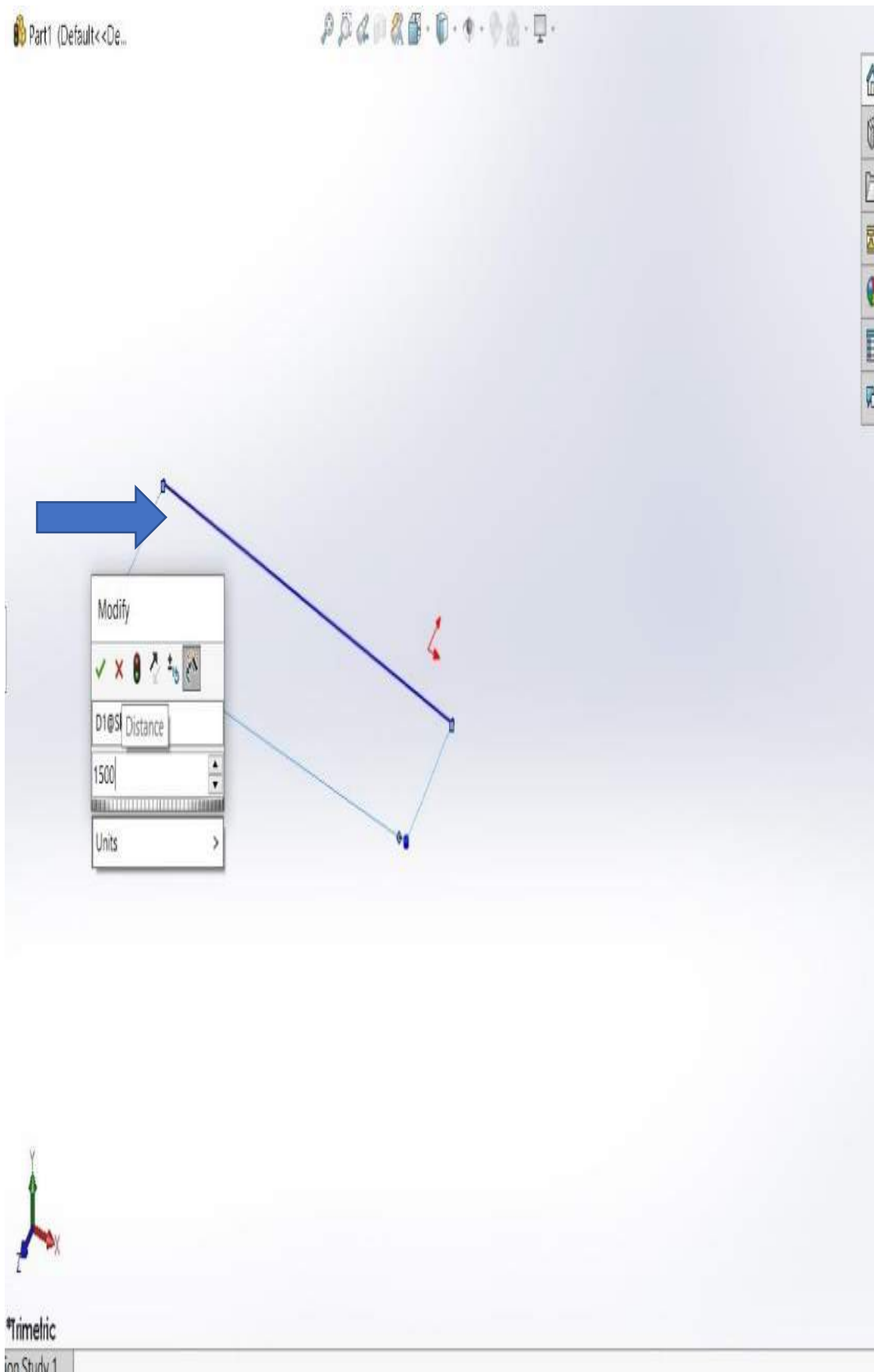
## 5. สร้างเส้นตรง 1 เส้น



6. ၈၈ Smart Dimension

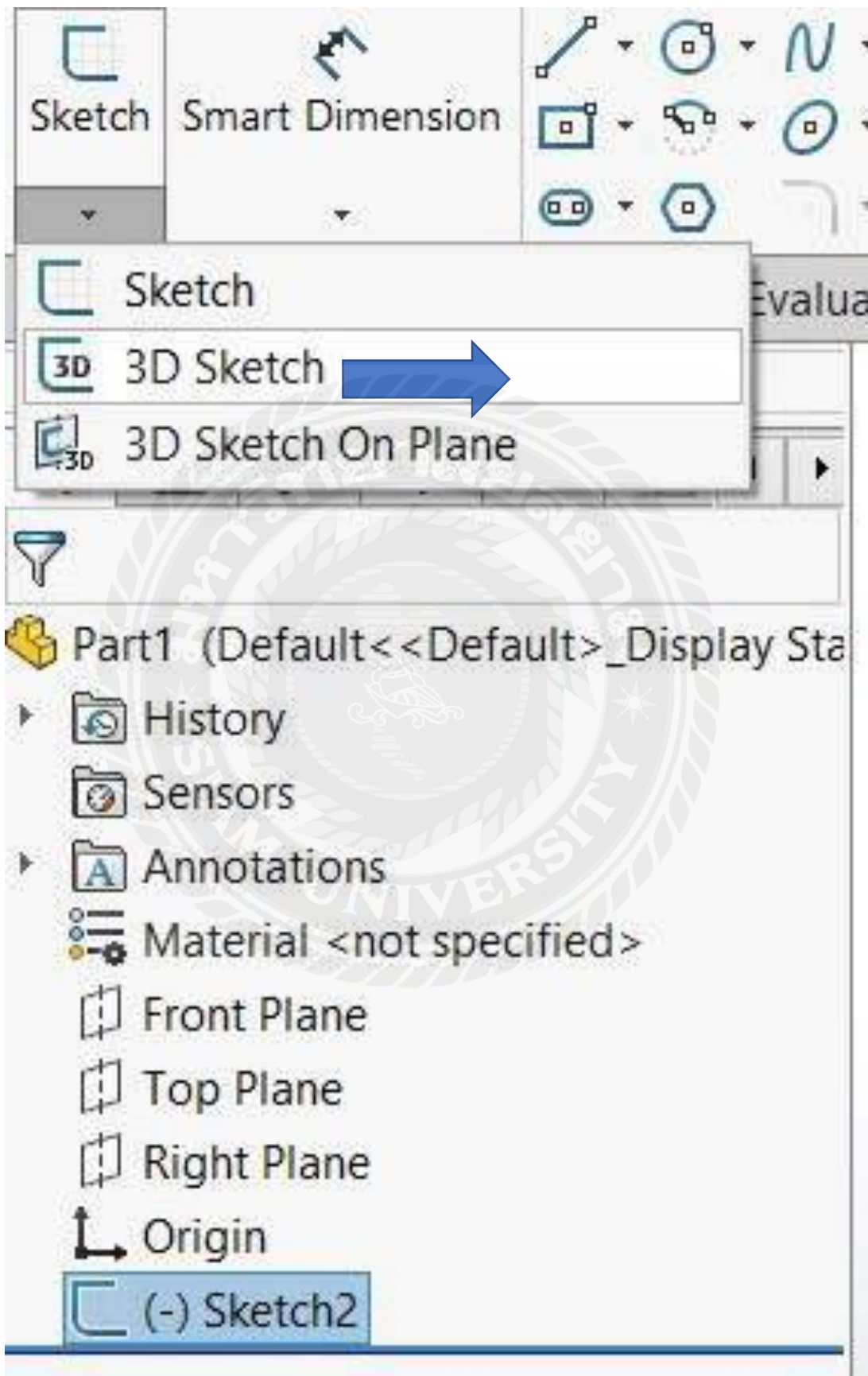


## 7. กำหนดค่าความยาวของเส้นกรางน้ำ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

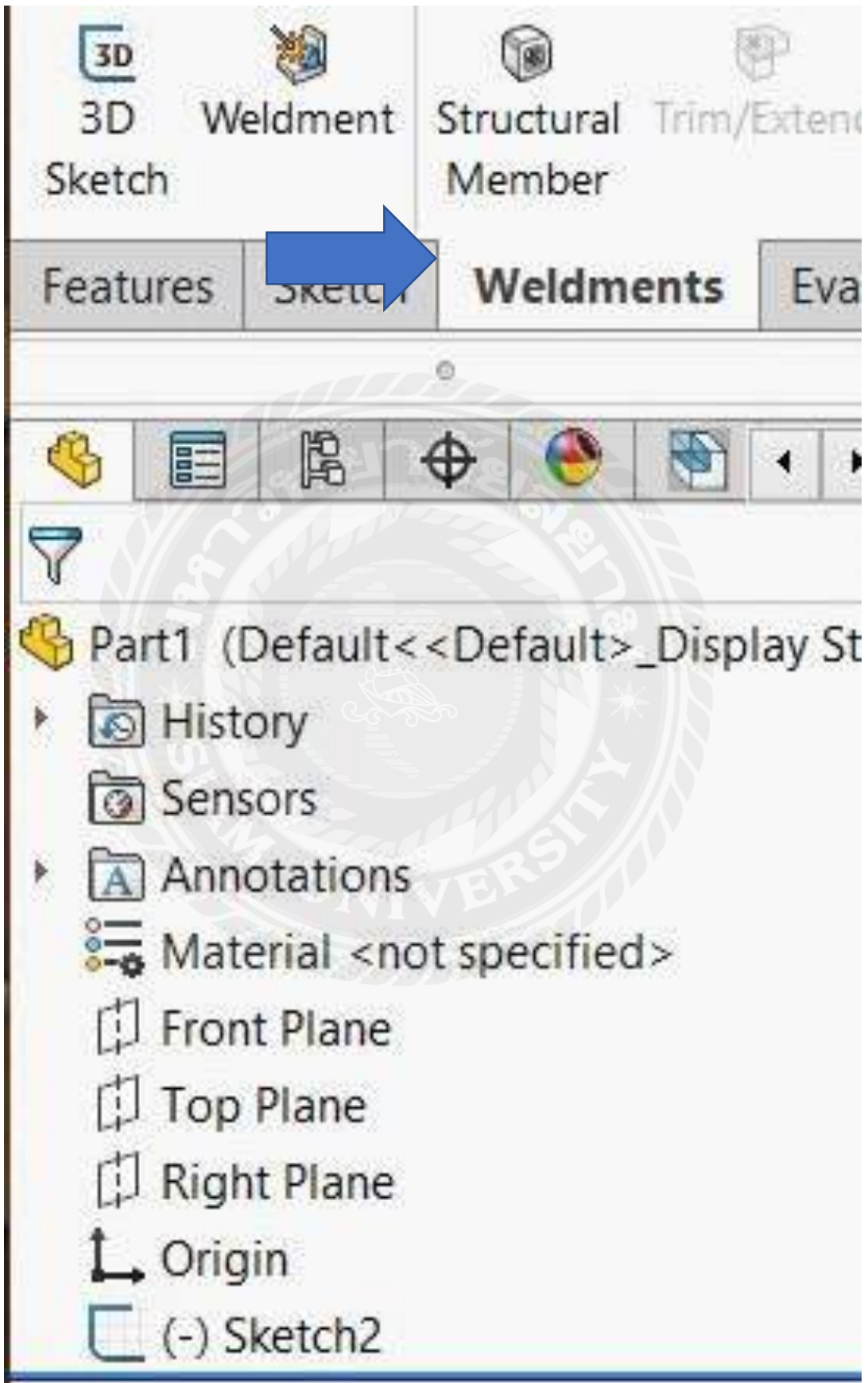




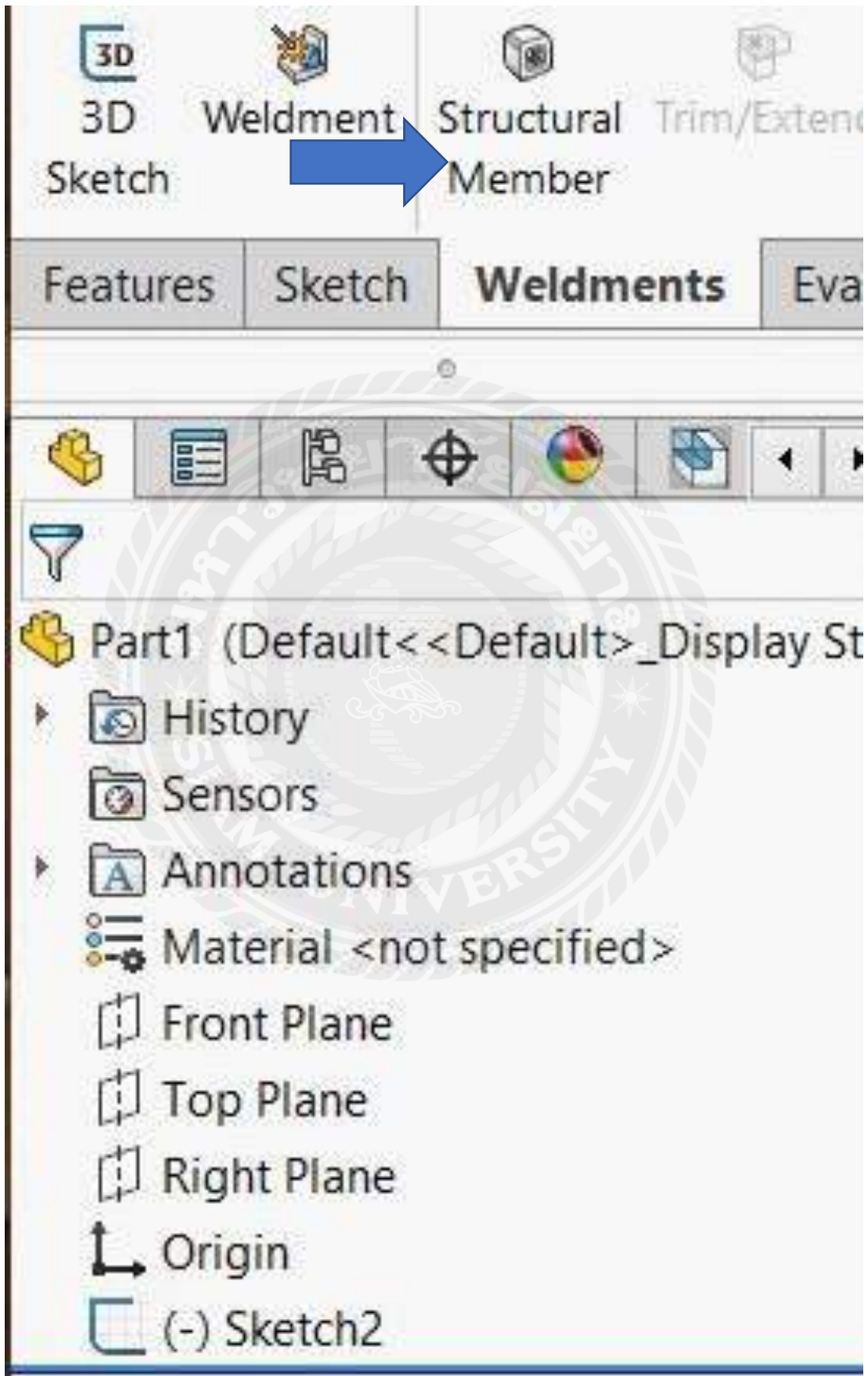
8. ၈၈ 3D Sketh



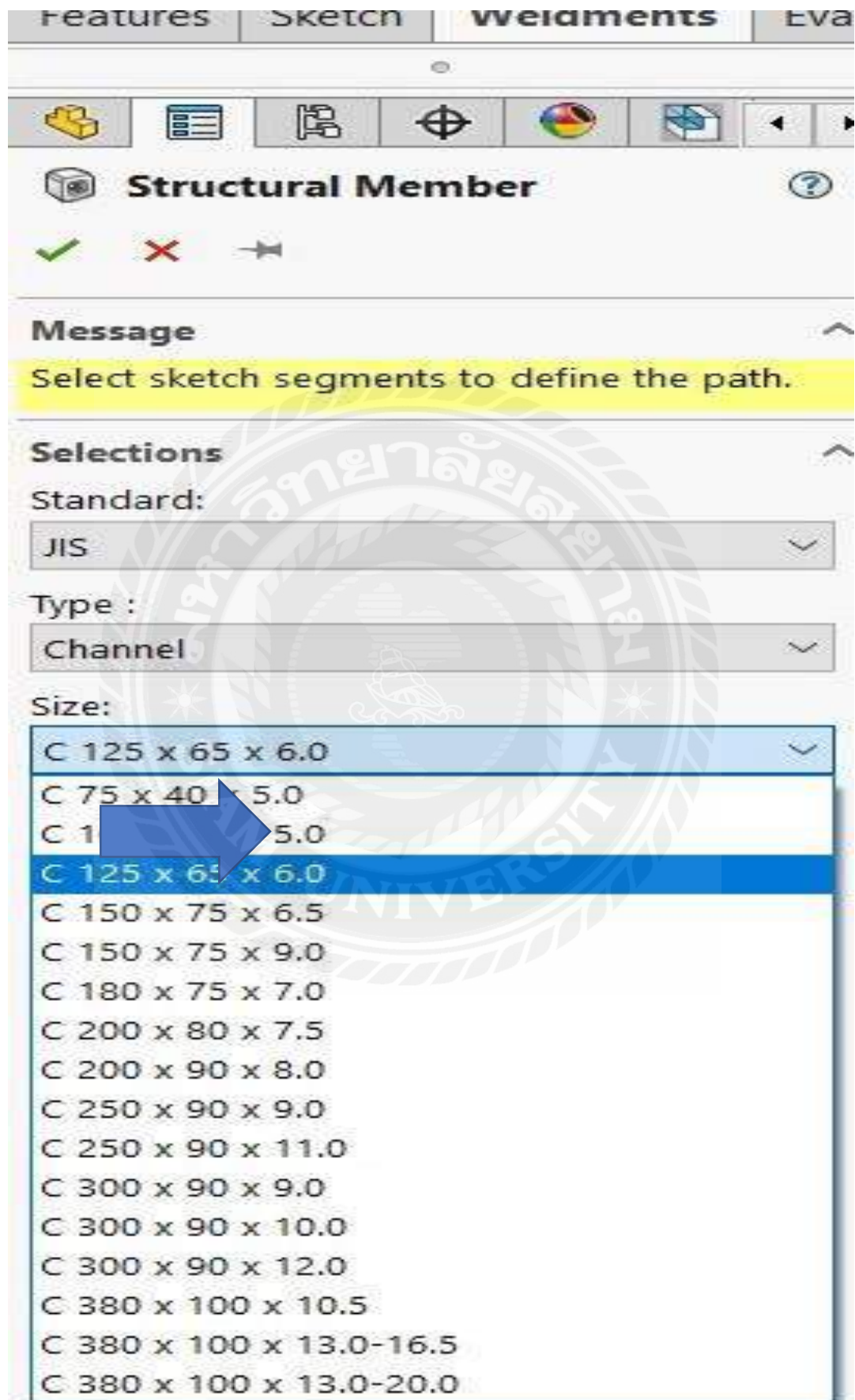
9. ๓๓ Weldments



10. กด Structural member



## 11. กำหนดค่าHxB





12. กดไปที่เส้นที่เรากำหนดความยาวไว้



13. กคตักถูก

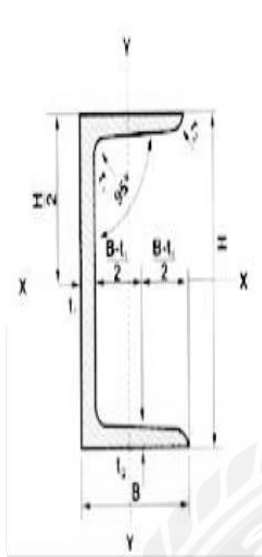


14. ได้ชิ้นงานที่เราต้องการ





แสดงข้อมูลเกี่ยวกับเหล็กรางน้ำ



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

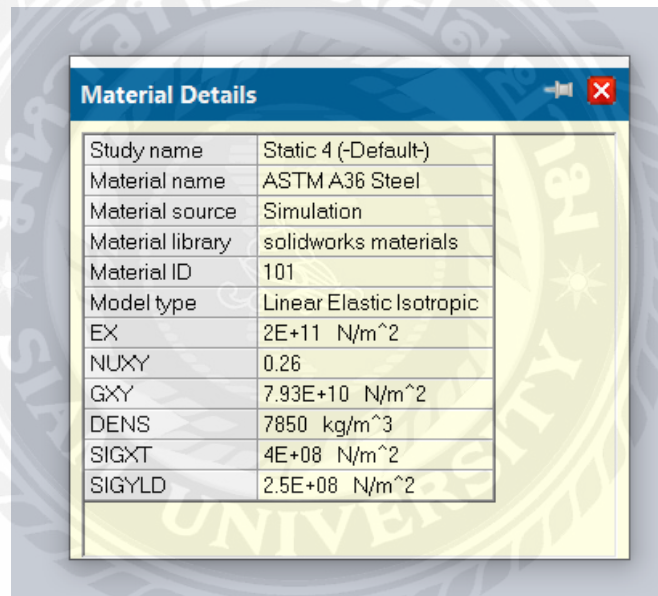
แสดงข้อมูลกับเหล็กที่ใช้ ASTM A36 Steel

เกรดเหล็ก	รูปแบบ	คาร์บอนสูงสุด%	แมงกานีส%	ฟอสฟอรัสสูงสุด%	ซัลเฟอร์สูงสุด%	ซิลิคอน%
A36	ส่วนเหล็ก	0.26	-	0.04	0.05	≤0.40

หมายเหตุ : มีปริมาณทองแดงเมื่อมีการระบุค่าตั้งชื่อของคุณ

สมบัติเชิงกลของเสาแสดคาร์บอน A36

เกรดเหล็ก	รูปแบบ	ความต้านแรงดึง ksi [MPa]	จุดผดดอบแทนขั้นต่ำ ksi [MPa]	การยืดตัวใน 8 นิ้ว [200 มม.], นาที,%	การยืดตัวใน 2 นิ้ว [50 มม.], นาที,%
A36	ส่วนเหล็ก	58 - 80 [400 - 550]	36 [250]	20	21



## ประวัติผู้จัดทำ



รหัสนักศึกษา	6003120002
ชื่อ-นามสกุล	นายฐิติ อ่อนชัย
อีเมล	Tee20911@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์	080-060-9980
สาขา	วิศวกรรมศาสตร์
ที่อยู่	877/3 ซ45 ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ แขวงทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพฯ 10140
ผลงาน	การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยอุปกรณ์รองรับท่อน้ำเข้าหา ระบายความร้อนขนาด12นิ้ว
ประวัติการศึกษา	ประถมศึกษา ป.1-ป.6 โรงเรียนนาหลวง มัธยมศึกษา ม.1-ม.6 โรงเรียนนาหลวง มัธยมศึกษา ม.3-ม.6 โรงเรียนวัดพุทธบูชา ป.ว.ส วิทยาลัยเทคนิคราชสีหราชราม(คำ) เทคนิคยานยนต์ ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยสยาม คณะ วิศวกรรมเครื่องกล3ปี