



รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยฐานรองรับหอบระบายความร้อน  
ขนาด 4,489 กิโลกรัม

Design and Analyze for Structure of Cooling Tower Size 4,489 kg

โดย

นาย ชนเกียรติ เรืองสง 6003100026

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2562



## จดหมายนำส่งรายงาน

วันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2563

เรื่อง ขอส่งรายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา  
เรียน อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย

ตามที่นาย ธนเกียรติ เรืองสง นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ได้เข้าปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษาระหว่างวันที่ 25 พฤษภาคม 2563 ถึง วันที่ 4 กันยายน 2563 ในแผนกฝ่ายเครื่องกล ตำแหน่ง วิศวกร ณ บริษัท เอ็ม ไอ อี กรุ๊ป จำกัด

โดยได้รับมอบหมายจากทางแผนกควบคุมคุณภาพให้ใช้วิชาที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการทำงานและได้รับมอบหมายให้ปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพให้มีความถูกต้อง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในหน้าที่ หลักการทำงานของระบบ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้มาตรฐาน

บัดนี้การปฏิบัติงานสหกิจศึกษาได้สิ้นสุดแล้วข้าพเจ้าจึงขอส่งรายงานดังกล่าวมาพร้อมกันนี้ จำนวน 1 เล่มเพื่อขอรับคำปรึกษา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

ขอแสดงความนับถือ  
นาย ธนเกียรติ เรืองสง

## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

การที่ผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัท เอ็มไออี กรุ๊ป จำกัด ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2563 ถึงวันที่ 4 กันยายน 2563 ส่งผลให้ผู้จัดทำได้รับความรู้และ ประสบการณ์ต่างๆที่มีค่ามากมายสำหรับรายงานสหกิจศึกษาลงฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

คุณนาย สหภัศ เลิศไพฑูรย์พันธ์ วิศวกรงานระบบ (Engineer)

และบุคคลท่านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจกับชีวิตของการทำงานจริง ซึ่งผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นาย ธนเกียรติ เรืองสง

4 กันยายน 2563

ชื่อโครงการ	: การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยกับฐานรองรับหอบะบายความร้อนขนาด 4,489 กิโลกรัม
ชื่อนักศึกษา	: ธนเกียรติ เรืองสง
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ดร.ชาญชัย วิรุณฤทธิชัย
ระดับการศึกษา	: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
คณะ	: วิศวกรรมศาสตร์
ภาคการศึกษา	: 3/2562

## บทคัดย่อ

ในการออกแบบฐานรองรับหอบะบายความร้อนขนาด 4,489 กิโลกรัม แต่ทางบริษัท เอ็ม ไอ อี ต้องการทราบความสามารถของโครงสร้างในการรับน้ำหนักได้ตามหลักวิศวกรรมจึงมอบหมายให้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างขนาด 150 x 100 mm โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ที่ได้ค่าความปลอดภัย เท่ากับ 36.30 ซึ่งได้ค่าความปลอดภัยมากกว่าเกณฑ์มาตรฐานบริษัทต้องการลดต้นทุนและใช้วัสดุที่เหมาะสม จึงทำการออกแบบใหม่เพื่อให้ได้โครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักได้จริงและทำการเปรียบเทียบกับฐานรองรับใหม่ที่ออกแบบโดย อ้างอิงจากขนาด 150 x 75 mm ซึ่งเป็นเหล็กเล็กที่สุดของเหล็กไวด์แฟรงค์ค์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ผลจากการวิเคราะห์ พบว่าโครงสร้างที่ออกแบบใหม่ขนาด 150 x 75 mm ได้ค่าความปลอดภัยวัสดุ เท่ากับ 26.46 และทำการเปรียบเทียบกับฐานรองรับขนาด 200 x 100 mm ซึ่งเป็นเหล็กใหญ่กว่าหนึ่งขนาดของเหล็กไวด์แฟรงค์ค์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปผลจากการวิเคราะห์ พบว่าโครงสร้างที่ออกแบบใหม่ขนาด 200 x 100 mm ได้ค่าความปลอดภัยวัสดุ เท่ากับ 39.64 ดังนั้นในการออกแบบฐานรองรับหอบะบายความร้อนขนาด 4,489 กิโลกรัม ใช้เหล็กไวด์แฟรงค์ค์ขนาด 150 x 75 mm ทำให้สามารถลดต้นทุนได้ 957.22บาทต่อเสา เทียบกับเหล็กไวด์แฟรงค์ค์ขนาด 150 x 100 mm ที่ใช้หน้างานจริง โครงการนี้มี 16 เสาจึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 15,315.52 บาท

คำสำคัญ : ฐานรองรับ / ออกแบบ / วิเคราะห์ / ไฟไนต์เอลิเมนต์

ผู้ตรวจ



**Project Title** : Design and Analyze for Structure of Cooling Tower Size 4,489 kg  
**By** : Mr. Thanakead Ruangsong  
**Advisor** : Dr. Chanchai Wiroonritichai  
**Degree** : Bachelor of Engineering  
**Major** : Mechanical Engineering  
**Faculty** : Engineering  
**Semester / Academic Year** : 3/2019

### Abstract

The design the base for cooling tower size 4,489 kg, but the company wanted to know the structural capacity to carry the weight according to engineering principles, therefore assigned to analyze the structure size 150 x 100 mm by the analysis package. The safety factor is 36.30 which is higher than the standard safety factor. The company wants to reduce costs and use suitable materials. Therefore, the redesign was made to obtain a structure that can actually support the weight and compare it with the newly designed support. Based on the dimensions of 150 x 75 mm, which is the smallest of the Wide frank steel, the results were analyzed using a software package. It was found that the newly designed structure of 150 x 75 mm had a material safety factor of 26.46 and was compared with the new support designed Based on 200 x 100 mm, which is one size larger than that of Wide frank steel using a ready program. It was found that the newly designed structure of 200 x 100 mm has a material safety factor of 39.64, so in the design of the 4,489 kg cooling tower support base, 150 x 75 mm Wide frank steel was used. The original cost 957.22 baht per pole, When compared with wide frank steel, size 150 x 100 mm, that was used on site, with 16 columns, thus reduced the total cost of 15,315.52 baht.

**Keyword** : Structure / Design / Analyze / Finite Element

Approved By

.....

## สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
หกบทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตความสามารถโครงการ	1
1.4 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	3
2.1.1. ทฤษฎีเกี่ยวกับความปลอดภัย	3
2.1.2 ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์เกี่ยวข้องกับของแข็ง	4
2.1.3 ขนาดของเหล็กไวต์เฟรงค์	11
2.1.4 วัสดุวิศวกรรม	12
2.1.5 ความคุ้มค่าในการเลือกใช้วัสดุ	12
2.1.6 ชนิดของเหล็ก	13
2.1.7 คุณสมบัติของเหล็ก	15
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	16
2.2.1 การวิเคราะห์ความเสียหายของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการทรุดตัวของฐานรองรับ	17
2.2.2 การวิเคราะห์การโก่งเดาะและการสันอิสรแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้างทรงโค้ง ที่มีฐานรองรับต่างระดับกัน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	18

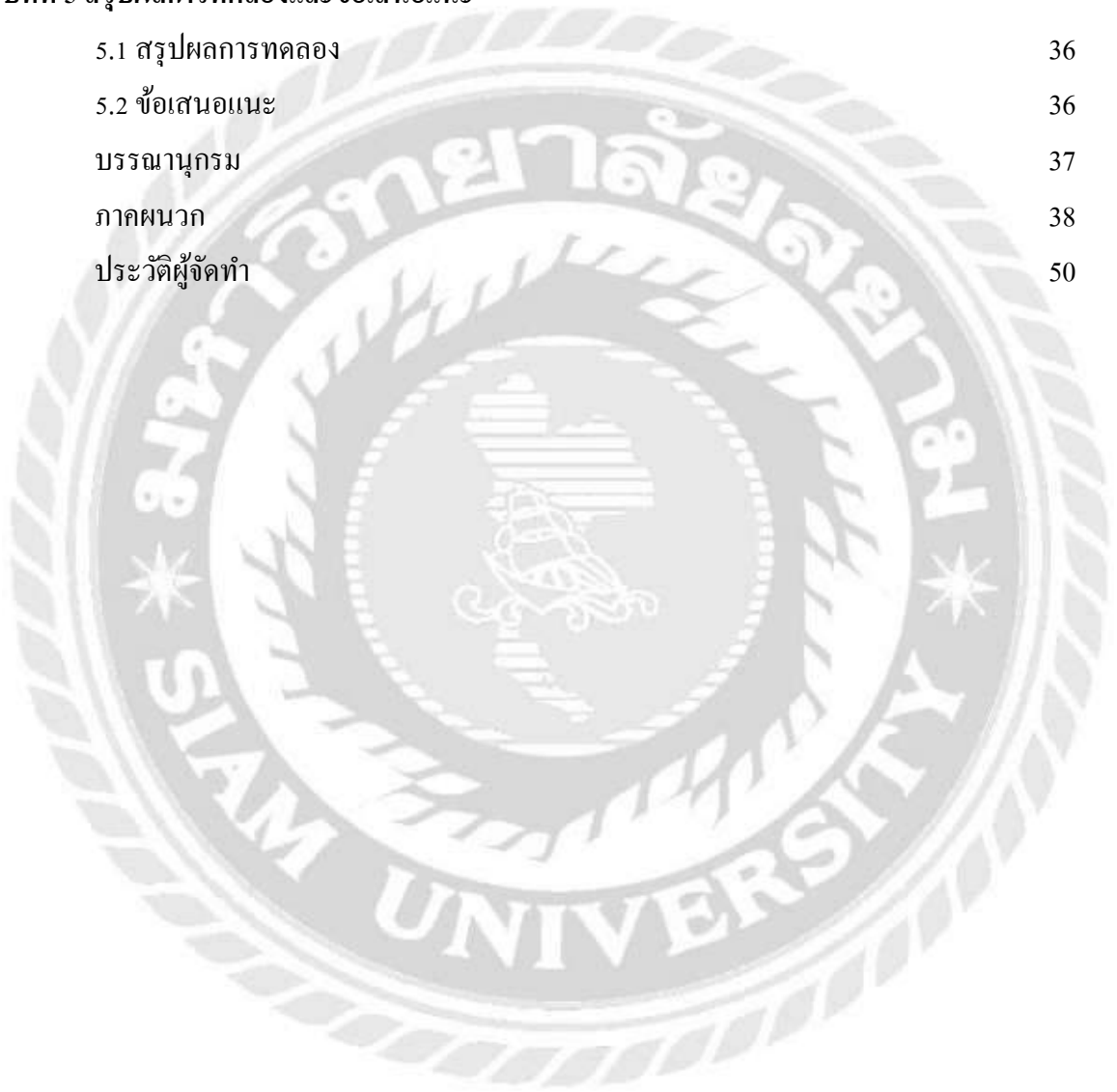
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา	
2.2.3 เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนและโมเมนต์ค้ดของ คานต่อเนื่อง ที่มีความแข็งเกร็งแรงค้ดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น	18
2.2.4 เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่น โดยวิธีสตีเฟนส โดยตรง	19
2.2.5 การวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤตของโครงสร้างทาง โค้งที่ยึดหดตัวได้ตามแนวแกน	20
<b>บทที่ 3 รายละเอียดการปฏิบัติงาน</b>	
3.1 ชื่อและที่ตั้งสถานประกอบการ	21
3.2 ลักษณะของสถานที่ปฏิบัติงาน	22
3.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงานขององค์กร	23
3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย	23
3.5 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา	23
3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	23
3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	23
3.7.1 ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง	23
3.7.2 ตั้งหัวข้อ โครงการงาน	23
3.7.3 ขั้นตอนการออกแบบฐานรองรับ ( Cooling Tower)	23
3.8 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้	28
<b>บทที่ 4 ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ</b>	
4.1 ผลการทดลองโดยโปรแกรมที่ใช้ค่า 15914.2725 N ที่จุดใช้งาน	29
4.1.1 ผลการทดลองหาค่าความปลอดภัย	30
4.2 สรุปผลการทดลอง	35



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	36
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
บรรณานุกรม	37
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้จัดทำ	50



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	2
ตารางที่ 2.1 ชนิดของแรงและวัสดุที่นำมาใช้งาน	4
ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองเหล็กไวต์เฟรงค์ทั้ง 3 ขนาดโดยใช้โปรแกรม	35



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใดๆ	5
รูปที่ 2.2 การดูขนาดเหล็กวายุแฟรงค์	13
รูปที่ 3.1 บริษัท เอ็มไออีกรุ๊ป จำกัด	21
รูปที่ 3.2 แผนที่ตั้ง บริษัท เอ็มไออี กรุ๊ป จำกัด	22
รูปที่ 3.3 สตาร์ต ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บางปะอิน	22
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งงานในโครงการ นิว คูลิ่งทาวเวอร์	23
รูปที่ 3.5 โครงสร้างเหล็กไวด์แฟรงค์	24
รูปที่ 3.6 ใส่จุดยึดที่เหล็ก	25
รูปที่ 3.7 ใส่แรงที่กระทำกับเหล็ก	26
รูปที่ 3.8 แสดงค่าความปลอดภัย	27
รูปที่ 4.1 ภาพร่าง เหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 150mm x 75mm	29
รูปที่ 4.2 ผลการจำลองแรงกระทำเหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 150mm x 75mm	30
รูปที่ 4.3 ภาพร่าง เหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 150 x 100 mm	31
รูปที่ 4.4 ผลการจำลองแรงกระทำเหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 150 x 100 mm	32
รูปที่ 4.5 ภาพร่าง เหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 200mm x 100mm	33
รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแรงกระทำเหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 200 x 100 mm	34

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการติดตั้ง หอระบายความร้อน (Cooling Tower) ยังมีปัญหาในการออกแบบ ขนาดที่ไม่ถูกต้องตามมาตรฐานวิศวกรรม ซึ่งยังไม่มีมีการแก้ไขปัญหาที่ถูกต้องและเพื่อเป็นแนวทาง ในการแก้ไขปัญหาสำหรับการติดตั้ง หอระบายความร้อน นั้นจากการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจึง เล็งเห็นความสำคัญของการออกแบบฐานรองรับให้เหมาะสมกับการรับน้ำหนักหอระบายความร้อน โดยแก้ไขปัญหาของโครงการติดตั้งฐานรองรับหอระบายความร้อน บริษัท สตาร์ส ไมโคร อิเล็กทรอนิกส์ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอินและได้รับมอบหมายงานจากบริษัท เอ็มไออี กรุ๊ป จำกัด ให้ดูแลในส่วนของการตรวจสอบการติดตั้งฐานรองรับหอระบายความร้อน ให้เหมาะสมกับการรับ น้ำหนักหอระบายความร้อนของโครงการจำเป็นต้องใช้ความรู้ทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นทาง ผู้ปฏิบัติงานสหกิจศึกษาจึงเห็นถึงปัญหาและความสำคัญที่จะจัดทำรายงานนี้ขึ้น โดยการศึกษาจาก สร้างแบบฐานรองรับหอระบายความร้อนในหน้าจริงขึ้นมาโดยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อเป็นแนว ทางการตรวจสอบเพื่อศึกษาความถูกต้องตามมาตรฐานวิศวกรรม

จากการฝึกสหกิจศึกษาตามโครงการ สหกิจศึกษาของทางมหาวิทยาลัยจึงได้เลือกในหัวข้อ เรื่องออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยฐานรองรับหอระบายความร้อนขนาด 4,489 kg ทาง บริษัทได้มอบหมายงานให้ดูแลในเรื่องการควบคุมคุณภาพการสร้างฐานรองรับหอระบายความร้อนจากแบบงานที่ได้รับจากทางโครงการนำไปสร้างและใช้งานให้เป็นประโยชน์สูงสุดและ ถูกต้องตามหลักการทางวิศวกรรม

### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยฐานรองรับหอระบายความร้อน

### 1.3 ขอบเขตความสามารถของโครงการ

1.3.1 การหาค่าความปลอดภัยของเหล็ก วัสดุแฟรงค์ขนาด 150 x 75 mm

1.3.2 การหาค่าความปลอดภัยของเหล็ก วัสดุแฟรงค์ขนาด 150 x 100 mm

1.3.3 การหาค่าความปลอดภัยของเหล็ก วัสดุแฟรงค์ขนาด 200 x 100 mm

### 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 เพื่อให้เข้าใจในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการปรับปรุง

1.4.2 เพื่อสามารถใช้โปรแกรมในการออกแบบฐานรองรับได้

### 1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ค.63	มิ.ย.63	ก.ค.63	ส.ค.63
ปรึกษาพนักงานพี่เลี้ยง	←→			
ตั้งหัวข้อของโครงการ	←→			
รวบรวมข้อมูล		←→		
พัฒนาโครงการ		←→		
ทดสอบระบบ			←→	
จัดทำเอกสาร				←→

## บทที่ 2

### การทบทวนเอกสารและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

##### 2.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความปลอดภัย

ในการผลิตการออกแบบชิ้นงานเครื่องจักรเครื่องก่อสร้างหรือแม้แต่การขนถ่ายวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานหรือที่หน้างานก่อสร้าง เมื่อจะดำเนินงานใด ๆ ก็ตาม จะต้องมีการคำนวณไว้สำหรับการออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้แรงหรือกำลังต่าง ๆ มากกระทำต่อเครื่องจักรหรือเครื่องมือต่าง ๆ มีมากเกินไปที่เครื่องจักรหรือเครื่องมืออื่น ๆ จะรับได้ค่าเพื่อตั้งกล่าวเรียกว่าค่าความปลอดภัย หากเผื่อน้อยไปก็จะเกิดอันตราย แต่แม้เราจะพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเกิดกับชิ้นงาน เครื่องจักรหรือเครื่องมือต่าง ๆ ที่เราได้ออกแบบไว้อย่างครบถ้วนแล้ว แต่เหตุการณ์ต่างๆที่เราไม่สามารถคาดเดาได้อย่างไรก็ดีการใช้ค่าความปลอดภัยมากไปก็ทำให้สิ้นเปลืองยิ่งในยุคสมัยนี้แล้วการลดต้นทุนในการผลิตเป็นสิ่งที่จำเป็นหากใช้ค่าความปลอดภัยมากต้นทุนก็สูงมาก

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

F.S. คือ ค่าความปลอดภัย

$P_{fail}$  คือ แรงสูงสุดที่ทำให้เกิดความเสียหาย

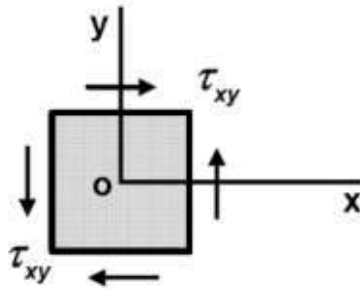
$P_{allow}$  คือ แรงที่อนุญาตให้ใช้งานได้

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 แสดงวัตถุทรงตันรูปร่างใด ๆ ใน 3 มิติคือ x-y-z โคออร์ดิเนต บนผิวบางส่วนของวัตถุนี้อาจถูกจับยึดตรึงแน่น (Fixed) ในขณะที่ผิวบางส่วนอาจถูกแรงภายนอกกระทำหรือผิวบางส่วนอาจปล่อยอิสระไว้ (Free Boundary) โดเมนของวัตถุทรงตันสามารถแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติทรงสี่หน้า (Tetrahedral Element) ย่อย ๆ ได้ดังแสดงในรูป อนึ่ง วัตถุทรงตันนี้ จะมีรูปร่างใด ๆ ก็ได้ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างของเครื่องยนต์ซึ่งอาจมีส่วนเว้าส่วนโค้งหรือกลวงอยู่ภายในรูปร่างซึ่งมีลักษณะซับซ้อนเช่นนี้สามารถแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบ 3 มิติทรงสี่หน้าที่มีขนาดเล็กเป็นจำนวนมากได้



รูปที่ 2.1 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของวัตถุทรงตันภายใต้แรงกระทำใด ๆ

ที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ตามในวัตถุทรงตันนี้ สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งแสดงความสมดุลของแรงในแนวแกน  $x$ ,  $y$  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)

บนผิวรอบนอกบางส่วน of วัตถุทรงตันประกอบไปด้วยเงื่อนไขขอบเขตที่แตกต่างกันไป เช่น ผิวบางส่วนอาจมีการกำหนดระยะของการเคลื่อนตัวในขณะที่ผิวส่วนอื่น ๆ อาจมีการ กำหนดเงื่อนไขของความเค้นที่ผิว (Surface Traction) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้คือ

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

โดย  $T_x, T_y, T_z$  แทนค่าความเค้น ที่ผิวในทิศแกน  $x, y, z$  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 จุดที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นค่าของความเค้นย่อย (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) ซึ่งมี รายละเอียดดังนี้

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

โดย E แทนค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus Of Elasticity)

และ  $\nu$  แทนอัตราส่วนของปัวส์ซง (Poisson, s Ratio)

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

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



กล่าวคือจำนวนตัวไม่รู้ค่าสำหรับปัญหาวัตถุทรงตันคือค่าของการเสียรูป  $u, v, w$  เท่านั้นเมื่อทราบค่าของการเสียรูปเหล่านี้แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าของความเครียดย่อยและค่าของความเค้นย่อยตามสมการที่ (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  $i = 2, 3, 4$  สามารถเขียนออกมาได้ในทำนองเดียวกัน โดยใช้การวนสลับเปลี่ยนตัวเลข(Cyclic Permutation) เช่น

$$a_2 = \begin{vmatrix} x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \\ x_1 & y_1 & z_1 \end{vmatrix}$$

ดังนั้น ลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u, v, w$  ในแนวแกน  $x, y, z$  บนเอลิเมนต์ ทรงสี่หน้าแบบ 4จุดต่อก็คือ

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

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

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

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

โดย  $\alpha_i$   $i = 1$  ถึง  $10$  เป็นค่าคงที่ซึ่งหาได้จากเงื่อนไขที่จุดต่อทั้งสิบในทำนองเดียวกันกับ เอลิเมนต์แบบ 4 จุด หลังจากได้  $\alpha_i$  ทั้งสิบค่านี้แล้วให้แทนกลับลงในสมการ (2.16) เราสามารถ เขียนลักษณะการกระจายของค่าการเคลื่อนตัว  $u$  ในทิศแกน  $x$  ในรูปแบบของค่าการเคลื่อนตัวที่ จุดต่อทั้งสิบได้ดังนี้

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

โดย

$$N_i = L_i (2L_i - 1) \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.18 \text{ ก})$$

$$N_5 = 4L_1 L_2 ; N_8 = 4L_2 L_3$$

$$N_6 = 4L_1 L_3 ; N_9 = 4L_3 L_4 \quad (2.18 \text{ ข})$$

$$N_7 = 4L_1 L_4 ; N_{10} = 4L_2 L_4$$

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 จุดต่อสามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method Of Weighted Residuals) เริ่มจากการคูณสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยด้วยฟังก์ชันน้ำหนักซึ่งในที่นี้คือฟังก์ชัน การประมาณภายใน  $N_i$  แล้วอินทิเกรตตลอดทั่ว ปริมาตรของเอลิเมนต์นั้นจากนั้นจึงกำหนดให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับศูนย์นั่นคือ

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

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

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

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

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

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] แทนเมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดย่อยและการเคลื่อนตัวที่จุดต่อจากการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตค่างตามสมการ (2.21) นี้ทำให้เกิดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับเอลิเมนต์ทรงสี่หน้าแบบ 4 จุดต่อ ประกอบด้วย 12 สมการย่อยซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ดังนี้

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

โดย [K] แทนเมทริกซ์ของความแข็งแกร่ง (Stiffness Matrix) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$[K] = [B] [C] [B]^T V$$

โดย [C] แทนเมทริกซ์ความยืดหยุ่น ของวัสดุตามสมการ (2.7)

และ V แทนปริมาตรของเอลิเมนต์ที่พิจารณาอยู่นั้น

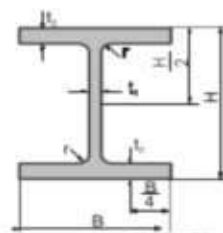
ส่วนเวกเตอร์ {F} ทางด้านขวามือของสมการ (2.25) แทนโหลดเวกเตอร์ (Load Vector) ซึ่งอาจเกิดแรงดัน (Pressure) ที่กระทำบนผิวภายนอกยกตัวอย่างเช่นหากด้านซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ 2-3-4 เป็นด้านที่ผิวภายนอกของโมเดลซึ่งถูกแรงดันที่มีค่า  $P_x, P_y, P_z$  กระทำในทิศแกน x, y, z ตามลำดับแล้วเวกเตอร์ {F} ที่เกิดขึ้นคือ

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

โดย  $A_{1-2-3}$  แทนพื้นที่ของด้านซึ่งประกอบด้วยจุดต่อ2-3-4 เป็นต้น

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

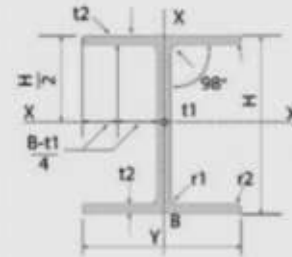
### 2.1.3 ขนาดของไวด์แฟรงค์ ( Wide Flange )



รูปที่ 2.2 การตรวจสอบขนาดเหล็กไวด์แฟรงค์

STANDARD SECTIONAL DIMENSION (MM.)				WEIGHT		SECTIONAL AREA (CM <sup>2</sup> )
H x B	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	r	kg/m	kg/6m	
100x50	5.0	7	8	9.3	55.80	11.85
150x75	5.0	7	8	14.0	84.00	17.85
148x100	6.0	9	11	21.1	126.60	26.84
200x100	5.5	8	11	21.3	127.80	27.16
194x150	6.0	9	13	30.6	183.60	39.01
250x125	6.0	9	12	29.6	177.60	37.66
244x175	7.0	11	16	44.1	264.60	56.24
300x150	6.5	9	13	36.7	220.20	46.78
294x200	8.0	12	18	56.8	340.80	72.38
350x175	7.0	11	14	49.6	297.60	63.14
340x250	9.0	14	20	79.7	478.20	101.50
400x200	8.0	13	16	66.0	396.00	84.12
390x300	10.0	16	22	107.0	642.00	136.00
450x200	9.0	14	16	76.0	456.00	96.76
440x300	11.0	18	24	124.0	744.00	157.40
500x200	10.0	16	20	89.6	537.60	114.20
488x300	11.0	18	26	128.0	768.00	163.50
600x200	11.0	17	22	106.0	636.00	134.40
588x300	12.0	20	28	151.0	906.00	192.50
594x302	14.0	23	28	175.0	1050.00	222.40
700x300	13.0	24	28	185.0	1110.00	235.50
800x300	14.0	26	28	210.0	1260.00	267.40
900x300	16.0	28	28	243.0	1458.00	309.80

PRODUCT IN 3D



รูปที่ 2.1.3 ขนาดของเหล็กไวด์แฟรงค์

ข้อแตกต่างของเหล็กเหล็กไวด์แฟรงค์ เหล็กไอบีเอ็ม และ เหล็กเอชบีเอ็ม

แยกความแตกต่างของเหล็กจากลักษณะกายภาพ หรือ ลักษณะของเหล็ก

ข้อแตกต่างของเหล็กไวด์แฟรงค์ เอชบีเอ็ม และ ไอบีเอ็ม <https://steelxpert.lekkla.com/flange-ibeam-hbeam-rayong/>

- เหล็กไวด์แฟรงค์ WF จะมีลักษณะเด่นตรงที่ ความกว้างของแผ่นเหล็กตรงกลางจะมากกว่าปีกทั้งที่ข้าง และ มีความหนาเท่ากันตลอดทั้งแผ่น เหล็กโครงสร้างชนิดนี้จึงมีเนื้อเดียวกัน ไม่มีรอยเชื่อมระหว่างส่วนต่างๆ

- เหล็กไวด์แฟรงค์ เหมาะสำหรับงานก่อสร้าง เสา คาน โครงสร้างหลังคา นิยมในงานโครงสร้าง ซึ่งนำมาใช้แทนโครงสร้างคอนกรีต เพราะการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน ลดขั้นตอนการทำงาน การดูแลรักษาที่ทำได้ง่ายกว่า และมีสไตส์ที่โดดเด่นกว่า

- เหล็กเอชบีเอ็ม เหล็ก ตัว H ลักษณะเด่นคือ ปีกมีความกว้างเท่ากันกับความกว้างของแผ่นตรงกลาง ดีไซน์ลักษณะของตัวเหล็กเป็นรูปตัวเอช • WF กับ H-Beam ต่างกันตรงที่ WF เป็นหน้าตัดเหล็กตามมาตรฐาน ASTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วน H-Beam เป็นหน้าตัดเหล็กตามมาตรฐาน มอก. 1227-2539 แยกความแตกต่างของเหล็กจากลักษณะการใช้งาน

- เหล็กเอชบีม H ลักษณะการใช้งานของเหล็ก นิยมใช้ในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม และ อสังหาริมทรัพย์ เพราะลักษณะเฉพาะตัวที่สวยงามเป็นเทรนด์ก่อสร้างที่ทันสมัย แข็งแรงคงทน เป็นโครงสร้างหลักได้ดี ควรค่าแก่การลงทุน
- WF หรือ H-Beam เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานก่อสร้างอาคาร ในส่วนของ เสา, คาน, โครงหลังคา เนื่องจาก ปีกทั้งบนและล่าง ของเหล็ก WF หรือ H-Beam จะเป็นแผ่นเรียบหนาเท่ากันตลอด สามารถรับ แรง และ โมเมนต์ ได้ดีกว่าเหล็ก I-Beam
- เหล็ก I Beam เหมาะสมกับงานก่อสร้างที่รับน้ำหนักมาก รับแรงกระแทกสูง เหมาะสมกับงานที่ เฉพาะเจาะจง เช่น รางเลื่อนของเครนในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีความหนามากกว่าเหล็กชนิดอื่น จะนิยมนำไปทำรางเคนยกของที่มีน้ำหนักมาก
- เหล็กเอชบีม เหล็ก ตัวH ลักษณะเด่นคือ ปีกมีความกว้างเท่ากันกับความกว้างของแผ่นตรงกลาง ดีไซน์ลักษณะของตัวเหล็กเป็นรูปตัวเอช • WF กับ H-Beam ต่างกันตรงที่ WF เป็นหน้าตัดเหล็ก ตามมาตรฐาน ASTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วน H-Beam เป็นหน้าตัดเหล็กตามมาตรฐาน มอก. 1227-2539 แยกความแตกต่างของเหล็กจากลักษณะการใช้งาน
- เหล็กไอบีม เหล็กตัวไอ จะมีลักษณะของ ปีกบนและปีกล่างเป็นแผ่นเอียง ความหนาของเหล็ก มากกว่า เพื่อสามารถรับแรงกระแทกได้ดี เหล็กโครงสร้างชนิดนี้จึงมีเนื้อเดียวกัน มีน้ำหนักต่อเมตร สูงกว่า H-Beam
- เหล็กไอบีม และ เอชบีม เหล็กทั้งสองประเภทนี้ สามารถต้านทานการดัดโค้ง (Bending) และการบิด (Twisting) ได้ดี จึงใช้เป็น เสา (Columns), คาน (Beams) และตงพื่น (Bridge girders) ในงานก่อสร้างและงานสถาปนิก
- I-Beam เหมาะสำหรับนำไปทำเป็นรางเครน ที่ไว้ใช้ยกสิ่งของที่มีน้ำหนักมาก เนื่องจากปีกบนและล่างของเหล็ก I-Beam จะเป็นแผ่นเอียง หรือ Taper Flange ซึ่งในขนาดหน้าตัดเหล็กที่เท่ากัน

#### 2.1.4 วัสดุวิศวกรรม

ความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการแปรรูปโครงสร้างสมบัติและสมรรถนะของวัสดุ วิศวกรรมแผนภาพสมดุลของเฟสและการแปลความหมายโครงสร้างจุลภาคและมหภาคที่สัมพันธ์ สมบัติของวัสดุวิศวกรรมการทดสอบและการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุการกัดกร่อนและการ เสื่อมสภาพของวัสดุ การคัดเลือกวัสดุและการออกแบบ

#### 2.1.5 ความคุ้มค่าการเลือกใช้วัสดุ

ในการเลือกใช้วัสดุเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นจำเป็นต้องศึกษาหรือพิจารณาจากคุณสมบัติของ วัสดุนั้น ๆ ให้ตรงกับงานที่จะออกแบบหรือการนำวัสดุต่าง ๆ ที่มีความสามารถในแต่ละด้านมาพัฒนาให้เกิดเป็น ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด ซึ่งการที่จะทราบถึงความเหมาะสมกับการใช้งานได้นั้นอาจจะต้อง มีการวิเคราะห์จากโปรแกรมหรือการทดสอบชิ้นงานจริงจากศูนย์ทดสอบซึ่งในปัจจุบันถือว่าเป็นเรื่องง่ายที่จะ

เข้าถึงโดยเฉพาะกับการทดสอบหรือวิเคราะห์ผ่าน โปรแกรมซึ่ง โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ในการทดสอบและเลือกใช้วัสดุต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับ ชิ้นงานได้

#### 2.1.6 ชนิดของเหล็ก

"เหล็ก" เป็นคำที่คนไทยทั่วไปนิยมใช้เรียกเหมารวมกันหมายถึง เหล็ก (iron) และ เหล็กกล้า (Steel) ซึ่งในความเป็นจริงนั้น วัสดุทั้ง 2 อย่างนี้ไม่เหมือนกันหลายประการ อย่างไรก็ตาม เหล็กเป็นวัสดุพื้นฐานที่สำคัญยิ่งในการพัฒนาสังคมและความเป็นอยู่ของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึง ปัจจุบันและต่อไปในอนาคตอีกนานแสนนาน

เหล็ก (Iron) สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ Fe คือแร่ธาตุโลหะชนิดหนึ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ ส่วนใหญ่มีสีแดงอมน้ำตาล โดยปกติสามารถดูดติดแม่เหล็กได้ พบมากในชั้นหินใต้ดินบริเวณที่ราบสูงและภูเขา อยู่ในรูปก้อนสินแร่เหล็ก (Iron Ore) ปะปนกับโลหะชนิดอื่นๆ และหิน เมื่อนำมาใช้ประโยชน์จะต้องผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยกรรมวิธีการ "ถลุง" (ใช้ความร้อนสูงเผาให้สินแร่เหล็กกลายเป็นของเหลวในขณะที่กำจัดแร่อื่นที่ไม่ต้องการออกไป) นอกจากนี้ธาตุเหล็กยังเป็นสารอาหารที่ร่างกายคนเราต้องการ เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญในเม็ดเลือดแดงของเราอีกด้วย กล่าวคือ คนที่ขาดธาตุเหล็กจะเป็นโรคโลหิตจางได้ง่าย

เหล็กกล้า (Steel) คือโลหะผสมชนิดหนึ่ง โดยทั่วไปเหล็กกล้าหมายความถึง "เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)" ซึ่งประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ เหล็ก (Fe) คาร์บอน (C) แมงกานีส (Mn) ซิลิคอน (Si) และธาตุอื่นๆ อีกเล็กน้อย เหล็กกล้าเป็นวัสดุโลหะที่ไม่ได้มีอยู่ตามธรรมชาติ แต่ถูกผลิตขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ (และเครื่องจักร) โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการปรับปรุงเหล็ก (Fe/Iron) ให้มีคุณสมบัติโดยรวมดียิ่งขึ้น เช่น แปรเปลี่ยนรูปได้ตามที่ต้องการ แข็งแรง ยืดหยุ่น ทนทานต่อแรงกระแทกหรือสภาวะทางธรรมชาติ สามารถรับน้ำหนักได้มาก ไม่ฉีกขาดหรือแตกหักง่าย เป็นต้น เหมาะสมในการใช้งานในด้านต่างๆ ในชีวิตประจำวันของคนเราได้อย่างหลากหลาย ด้วยต้นทุนที่ต่ำ เพื่อให้ขายได้ในระดับราคาที่คนทั่วไปซื้อหามาใช้ได้ ซึ่งนับว่ามีข้อได้เปรียบดีกว่าวัสดุอื่น

การแบ่งประเภทของเหล็ก

เราสามารถแบ่งเหล็กออกเป็นกลุ่มกว้างๆ ได้ 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากปริมาณของธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก โดยแบ่งออกได้เป็น

เหล็กหล่อ คือเหล็กที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนมากกว่า 1.7% หรือ 2% ซึ่งเหล็กชนิดนี้จะขึ้นรูปได้ด้วยวิธีหล่อเท่านั้นเพราะปริมาณคาร์บอนที่สูงทำให้โครงสร้างมีคุณสมบัติที่แข็งแต่เปราะจึงไม่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการรีดหรือวิธีทางกลอื่นๆ ได้ เรายังสามารถแบ่งย่อยเหล็กหล่อออกได้อีกหลายประเภท โดยพิจารณาจาก โครงสร้างทางจุลภาค กรรมวิธีทางความร้อน ชนิดและปริมาณของ



ธาตุผสม ได้แก่ เหล็กหล่อเทา (Grey Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีปริมาณคาร์บอนและซิลิคอนสูง ทำให้โครงสร้างคาร์บอนอยู่ในรูปของกราฟไฟต์

เหล็กหล่อขาว (White Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่มีปริมาณซิลิคอนต่ำกว่าเหล็กหล่อเทา ทำให้ไม่เกิดโครงสร้างคาร์บอนในรูปกราฟไฟต์ โดยคาร์บอนจะอยู่ในรูปคาร์ไบด์ของเหล็ก ( $Fe_3C$ ) ที่เรียกว่า ซีเมนไตต์ เป็นเหล็กที่มีความแข็งสูงทนการเสียดสี แต่จะเปราะ

เหล็กหล่อกราฟไฟต์กลมหรือเหล็กหล่อเหนียว (Spheroidal Graphite Cast Iron, Ductile Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อเทาที่ผสมธาตุแมกนีเซียมและหรือธาตุซีเรียมลงไปในตัวเหล็ก ทำให้กราฟไฟต์ที่เกิดเป็นกลุ่มและมีรูปร่างกลม ซึ่งส่งผลถึงคุณสมบัติทางกลในทางที่ดีขึ้น

เหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อขาวที่นำไปอบในบรรยากาศพิเศษเพื่อทำให้คาร์บอนในโครงสร้างคาร์ไบด์แตกตัวออกมารวมกันเป็นกราฟไฟต์เม็ดกลม และทำให้เหล็กกรอบ ๆ ที่มีปริมาณคาร์บอนลดลงปรับโครงสร้างกลายเป็นเฟอร์ไรต์และหรือเพิร์ลไลท์ เหล็กชนิดนี้จะมีความเหนียวดีกว่าเหล็กหล่อขาว แต่จะด้อยกว่าเหล็กหล่อกราฟไฟต์กลมเล็กน้อย

เหล็กหล่อโลหะผสม (Alloy Cast Iron) เป็นเหล็กหล่อที่เติมธาตุผสมอื่นๆ ลงไปในปริมาณที่ค่อนข้างมาก เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเฉพาะด้านให้ดียิ่งขึ้น เช่น เดนิทริกเกิลและโครเมียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านทนการเสียดสีและทนความร้อน เป็นต้น

เหล็กกล้า คือเหล็กที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนน้อยกว่า 1.7% หรือ 2% เหล็กชนิดนี้มีความเหนียวมากกว่าเหล็กหล่อทำให้สามารถทำการขึ้นรูปโดยใช้กรรมวิธีทางกลได้ ทำให้เหล็กชนิดนี้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง จึงพบเห็นได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น เหล็กเส้น เหล็กแผ่น เหล็กโครงสร้าง ท่อเหล็กต่างๆ ฯลฯ เหล็กกล้าสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลัก โดยอาจมีธาตุอื่นผสมอยู่บ้างแต่ไม่ได้เจาะจงจะผสมลงไป มักคิดมาจากกรรมวิธีการถลุงและการผลิต เราสามารถแบ่งย่อยกว้างๆ ออกได้ 3 ประเภทโดยพิจารณาตามปริมาณของธาตุคาร์บอนที่ผสม คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (low carbon steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 0.2% เหล็กชนิดนี้มีความแข็งแรงต่ำสามารถรีดหรือตีเป็นแผ่นได้ง่าย ตัวอย่างเหล็กเช่น เหล็กเส้น เหล็กแผ่นที่ใช้กันทั่วไป เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2-0.5% เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่วไป เหล็กประเภทนี้สามารถทำการอบชุบความร้อนได้

เหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High Carbon Steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่า 0.5% มีความแข็งแรงและความแข็งสูง สามารถทำการอบชุบความร้อนให้คุณสมบัติความแข็งเพิ่มขึ้นได้ ใช้

ทำพวกเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆที่ต้องการผิวแข็งและความต้านทานการสึกหรอสูง

เหล็กกล้าผสม (Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีธาตุอื่นผสมอยู่อย่างเจาะจงเพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความสามารถในการชุบแข็ง (hardenability) ความต้านทานการกัดกร่อน คุณสมบัติการนำไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแม่เหล็ก เป็นต้น ธาตุผสมที่เติมลงไป เช่น โครเมียม นิกเกิล โมลิบดีนัม วาเนเดียม โคบอลต์ แมงกานีสและซิลิคอน โดยแมงกานีสและซิลิคอนจะต้องมีปริมาณมากพอสมควรจึงจะจัดได้ว่าเป็นเหล็กกล้าผสม เพราะในเหล็กกล้าคาร์บอนก็มีปริมาณธาตุทั้งสองผสมอยู่พอสมควร เราสามารถแบ่งย่อยกว้างๆออกได้ 2 ประเภทโดยพิจารณาตามปริมาณของธาตุผสม คือ

เหล็กกล้าผสมต่ำ (Low Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าผสมที่มีปริมาณธาตุผสมน้อยกว่า 10%

เหล็กกล้าผสมสูง (High Alloy Steel) เป็นเหล็กกล้าผสมที่มีปริมาณธาตุผสมสูงกว่า 10%

### 2.1.7 คุณสมบัติของเหล็ก

เหล็ก คือทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาผ่านกรรมวิธีแปรรูปเพื่อการใช้งาน และถือได้ว่าเป็นวัสดุที่ใช้ได้ทั้งงานก่อสร้างงานที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัตถุและสิ่งของต่างๆ มาอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน อย่างที่กล่าวมาข้างต้นนั้น การนำแร่ธาตุจากธรรมชาติมาแปรรูปเพื่อใช้งาน จำเป็นต้องมีมาตรฐานที่เป็นรูปแบบเหมือนกันในการแปรรูปเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งานของผู้บริโภคคุณสมบัติของเหล็กที่ผ่านการแปรรูปแล้วที่สามารถนำไปใช้ในงานได้หลักๆ คือความทนทานทั้งต่อการใช้งานและสภาพแวดล้อม พร้อมทั้งต้องมีความยืดหยุ่นที่ดีสามารถนำไฟฟ้าและนำความร้อนได้ หลังจากนั้นในกระบวนการเลือกใช้เหล็กให้เหมาะสมกับงานนั้นก็ขึ้นอยู่กับดุลพินิจของวิศวกรผู้ควบคุมงาน ที่ต้องคิดและคำนวณดูปัจจัยในเรื่องต่างๆ ทั้งปัจจัยภายในและภายนอกเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานมากที่สุด ซึ่งคุณสมบัติของเหล็กก็มีดังนี้

#### 1. สภาพยืดหยุ่น (Elasticity)

เป็นคุณสมบัติที่ของแข็งหรือเหล็กสามารถเปลี่ยนรูปร่างรูปทรงได้ เมื่อมีแรงกระทำที่พอดีสามารถแบ่งออกได้อีก 2 ประเภท

สภาพยืดหยุ่น คือ คุณสมบัติที่วัตถุหรือของแข็งเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเมื่อได้รับแรงกระทำที่เพียงพอและสามารถคืนกลับสู่สภาพปกติได้เมื่อไม่มีแรงมากกระทำ

สภาพพลาสติก (Plasticity) คือ คุณสมบัติที่วัตถุเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปอย่างถาวรเมื่อได้รับแรงกระทำที่เพียงพอ โดยที่พื้นผิวภายนอกไม่แตกหักหรือฉีกขาด

## 2. ความเค้น (Stress)

เป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ สามารถอธิบายได้ว่า เป็นความเข้มข้นของแรงกระทำระหว่างอนุภาคภายในของวัตถุหรือของแข็งชิ้นนั้นๆ ต่อแรงภายนอกที่กระทำเพิ่มเข้าไป โดยในกระบวนการทดสอบมาตรฐานของเหล็กนั้น จะใช้การวัดความเข้มข้นของแรงกระทำภายในเฉลี่ยต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ผิวภายใน

## 3. ความเครียด (Strain)

เป็นคุณสมบัติที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุเมื่อได้รับแรงภายนอกมากระทำ หรือกล่าวง่าย ๆ คือ อัตราส่วนของรูปร่างที่เปลี่ยนไปต่อรูปร่างเดิม การวัดและคำนวณหาความเครียดสามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ แบบเส้นตรง แรงที่มีกระทำมีลักษณะเป็นแรงกด แรงดึง และแบบเฉือน แรงที่มีกระทำเป็นแรงแบบเฉือน

## 4. การดึงเป็นเส้น (Ductile)

เป็นคุณสมบัติของวัตถุหรือเหล็กที่สามารถทำให้เพิ่มความยาว ขึ้นรูป หรือดึงออกมาเป็นเส้นได้โดยง่าย ถึงแม้ว่าจะได้รับแรงกระทำเข้าไปเพียงเล็กน้อย ซึ่งเหล็กที่มีคุณสมบัติเหล่านี้จะมีคุณสมบัติความยืดหยุ่นแบบพลาสติก ที่เป็นการแปรรูปอย่างถาวรสามารถคืนสภาพเดิมได้ยาก ตัวอย่างของเหล็กและโลหะแปรรูปที่มีคุณสมบัตินี้คือ ตะกั่ว และทองแดง เป็นต้น

## 5. ความเปราะ (Brittle)

เป็นคุณสมบัติของวัตถุทุกชนิดที่จะมีขีดจำกัดของความยืดหยุ่นเป็นของตนเอง เมื่อวัตถุชิ้นนั้นๆ ได้รับแรงกระทำที่มากเกินขีดจำกัดก็จะทำให้เกิดการเปราะแตกได้ ซึ่งวัตถุที่มีความเปราะสูงไม่ได้หมายความว่าเปราะที่ไม่น่าทนทาน ยกตัวอย่างเช่น แก้วหรือเซรามิกที่มีความเปราะสูงแต่สามารถทนแรงดึงได้มากกว่าโลหะบางชนิด ดังนั้นคุณสมบัติข้อนี้จึงใช้เป็นตัวเลือกที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน

การเลือกใช้เหล็กให้ตรงกับการใช้งานควรเลือกอย่างไร

ในการเลือกใช้งานของเหล็กแปรรูปนั้น เนื่องจากประเภทของเหล็กมีความหลากหลายมาก อาจทำให้เกิดความสับสนและการเลือกใช้งานที่ผิดรูปแบบ ส่งผลต่อเนื่องไปยังความแข็งแรง ความทนทานและความปลอดภัยของผู้บริโภค ทำให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมีการกำหนดมาตรฐาน มอก. เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกันของทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคทั่วประเทศไทย

ซึ่งได้มีการทำป้ายระบุรายละเอียดต่างๆ ไว้ ได้แก่ บริษัทผู้ผลิต, ประเภทของเหล็ก, ขนาดทั้งเรื่องของความยาว ความกว้างหน้าตัด, วัน เดือน ปีที่ผลิต และที่สำคัญคือ มีการระบุเครื่องหมายออก. ที่แสดงให้เห็นว่าวัสดุชนิดนี้ได้ผ่านการรับรองมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว

เหล็กกับภัยพิบัติจากธรรมชาติครั้งใหญ่

ปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของแผ่นดินไหวหรือวาตภัย โครงสร้างของอาคารบ้านเรือนมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากอาคารเหล่านั้นต้องได้รับแรงสั่นสะเทือนของพื้นดินที่รุนแรงหรือต้องทนทานต่อการสั่นไหวจากลม ซึ่งจะอาศัยคุณสมบัติความแข็งแรงอย่างเดียวไปเพียงพอ แต่จำเป็นต้องมีการเสริมคุณสมบัติความเหนียวและความทนทานเข้าไปด้วย ดังนั้นในโครงสร้างอาคารและบ้านเรือนจึงจำเป็นต้องมีการเสริมเหล็ก เพื่อเสริมสร้างคุณสมบัติที่คอนกรีตอย่างเดียวไม่สามารถทำได้ อีกทั้งการเสริมเหล็กยังเอื้อต่อการออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การสร้างโครงสร้างให้ยื่นออกไปเพื่อเป็นการรองรับแรงสั่นสะเทือน หรือการโค้งการตัดต่างๆ เพื่อให้เกิดสะพานเกิดรูปร่างที่สวยงามแตกต่างและการรับน้ำหนักที่มากขึ้น

เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ หรือการเสริมเหล็ก

เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการยอมรับว่ามีมาตรฐาน ในการออกแบบก่อสร้างอาคารบ้านเรือนที่มีความทนทานต่อภัยพิบัติทางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี เพราะ โครงสร้างที่มีการเสริมเหล็กเข้าไปจะ ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีเพียงความทนทานให้เพิ่มความเหนียวและความยืดหยุ่นเข้ามา คอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตเสริมเหล็กถือว่าเป็น โครงสร้างที่ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างอาคารบ้านเรือน เช่น ใช้เป็นพื้นหรือฐานของอาคาร ใช้เป็นบันได และคานรับน้ำหนัก เป็นต้น ที่มีคุณสมบัติทางกลในเรื่องของการรับน้ำหนัก ซึ่งทำหน้าที่หลักในการรับแรงดึงและแรงอัดเท่านั้น

ประเภทของเหล็กแปรรูปที่ใช้เป็นเหล็กเสริมในคอนกรีตนั้นมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย ที่เป็นเหล็กกล้าที่มีการผสมของคาร์บอนต่ำทำให้เหล็กเหล็กหนาแน่นละเอียดมากกว่าเหล็กประเภทอื่นๆ และเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานก่อนนำเหล็กเหล่านี้ออกมาใช้ ทางผู้ผลิตจะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กกล้าทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกลของเหล็กก่อนเสมอ

จึงสามารถสรุปได้แล้วว่าเหล็กนั้นถือว่าเป็นวัสดุแปรรูปจากธรรมชาติที่มีความสำคัญมากในสังคมปัจจุบัน ทั้งช่วยในเรื่องเพิ่มความแข็งแรง ป้องกันอันตรายจากภัยพิบัติและสร้างความปลอดภัยในชีวิตประจำวัน ส่วนในเรื่องของการเลือกใช้งานให้เหมาะสมนั้นควรอยู่ในดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อผู้ใช้งาน

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

2.2.1 การวิเคราะห์การโก่งเดาะและการสั่นอิสระแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้างทรงโค้ง ที่มีฐานรองรับต่างระดับกัน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ชื่อผู้แต่ง วิปริชญญา แซ่อู๋ย พ.ศ 2545 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งเดาะ และการสั่น อิสระแบบไร้เชิงเส้นของ โครงสร้างทรงโค้งที่มีฐานรองรับต่างระดับกันโดยวิธี ไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาน้ำหนักบรรทุกวิกฤติ ค่าความถี่ธรรมชาติ และรูปร่าง การสั่น ในการวิเคราะห์ที่มีสมมติฐานว่า โครงสร้างสามารถยึดหดตัวตามแนวแกนได้ ในการ วิเคราะห์พิจารณาพลังงานความเครียด เนื่องจากการเสียรูปตามแนวแกนและพลังงาน ความเครียดเนื่องจากการดัด โครงสร้างทรงโค้งที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นโครงสร้าง ทรงโค้งที่มีรูปร่างที่สามารถแทนได้ด้วยสมการเส้นโค้งในระบบพิกัดฉาก 5 แบบ คือ วงกลม พาราโบลา ไซน์ วงรี และแคททินารี โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร้เชิงเส้น ร่วมกับกระบวนการนิวตันราฟสัน และวิธีการเพิ่มความยาวส่วนโค้ง ได้นำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมก่อนและหลังเกิดการ โก่งเดาะของ โครงสร้าง สำหรับการวิเคราะห์ การสั่นอิสระแบบไร้เชิงเส้น ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ร่วมกับวิธีที่ปรับปรุงจาก กระบวนการทำซ้ำโดยตรง หา ค่าความถี่ธรรมชาติ รูปร่างการสั่น ผลค่าน้ำหนัก บรรทุกวิกฤติและค่าความถี่ธรรมชาติไว้หน่วยของโครงสร้างทรงโค้งได้นำมาแสดงไว้ โดยเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงต่อความยาวช่วงคอร์ด ค่าอัตราส่วนความยาว ช่วงพาดต่อความยาวช่วงคอร์ด และเงื่อนไขจุดรองรับ

2.2.2 เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของ คานต่อเนื่อง ที่มีความแข็งเกร็งแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น ชื่อผู้แต่ง พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภาพันธ์ พ.ศ 2537 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือน และ โมเมนต์ ดัดของคานต่อเนื่อง ที่มีความแข็งเกร็งแรงดัดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น ใช้สำหรับหาแรงปฏิกิริยา แรงเฉือน และ โมเมนต์ดัดมากที่สุด คานที่นำมาทำ การวิจัยคือคานต่อเนื่อง 12 ช่วงคาน ซึ่งแต่ละช่วงคานมี

ความยาวโมเมนต์ อินเนอร์เซีย และ โมดูลัสของความยืดหยุ่นไม่เท่ากันทุกช่วงคาน ความยาว โมเมนต์อินเนอร์เซีย และ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของคานช่วงแรกทางซ้ายมือ กำหนดให้เป็นหนึ่ง ส่วนความยาว โมเมนต์อินเนอร์เซีย และ โมดูลัส ของความยืดหยุ่นของคานช่วงอื่นๆ กำหนดไว้เป็น อัตราส่วนกับช่วงคานแรกซ้ายมือ วิธีวิจัยกระทำได้โดย ให้นำนักหนึ่งหน่วยเคลื่อนผ่านไปตามตำแหน่งของจุดแบ่งบนคานต่อเนื่อง ซึ่งแต่ละช่วงคานแบ่งออกเป็น 5 ส่วนแบ่ง แล้วคำนวณแรง ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการของสมการห้าโมเมนต์ (Five- Moment Equation) เมื่อทราบแรง ปฏิกริยาที่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่นำนักหนึ่ง หน่วยกระทำบนคาน ก็สามารถคำนวณแรงเฉือน และ โมเมนต์คัตที่ตำแหน่งจุด แบ่งตามความยาวช่วงคานได้ จากนั้นนำผลที่ได้มาเขียนเส้นอิทธิพล สำหรับ ปฏิกริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือน และ โมเมนต์คัต ได้ทำการพล็อตเส้นอิทธิพลของแรง ปฏิกริยา แรงเฉือน และ โมเมนต์ คัดของคานต่อเนื่อง 12 ช่วงคาน ซึ่งมีค่า  $k=0, 0.001, 0.01$  และ  $0.1$  เมตร/ตัน โดย  $W=0, 0.12, 1.2$  และ  $12$  ตามลำดับ สำหรับ  $W=0$  มี ผลต่อเส้นอิทธิพลของแรง ปฏิกริยา 8 ช่วงคาน มีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรง เฉือน 7 ช่วงคาน และมีผลต่อเส้นอิทธิพลของ โมเมนต์คัต 6 ช่วงคาน เมื่อ  $W$  มีค่ามากขึ้นจะมีผลต่อเส้นอิทธิพลของแรงปฏิกริยา แรงเฉือน และ โมเมนต์ คัดจำนวนมากช่วงคานขึ้น จนกระทั่ง  $W=12$  จะมีผลต่อเส้นอิทธิพลของ แรงปฏิกริยา แรง เฉือน และ โมเมนต์คัต ทุกช่วงคาน

2.2.3 เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยืดหยุ่นโดยวิธีสถิติเฟนสโดยตรง ชื่อผู้แต่ง สุภาวุฒิ ดวนด่วน พ.ศ 2544 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้คือการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาเส้น อิทธิพล สำหรับระยะ โคง มุมหมุน แรงเฉือน โมเมนต์คัต และแรงปฏิกริยา ของคานต่อเนื่อง 2 ถึง 12 ช่วง คานบนฐานรองรับที่ยืดหยุ่นได้ในแนวนานกับแรงปฏิกริยา โดยมีค่าคงที่ ของสปริงที่ฐานรองรับ ความยาวช่วงคาน โมดูลัสยืดหยุ่น โมเมนต์ความเฉื่อยของแต่ละ ช่วงคานเปลี่ยนแปลงได้ การ วิเคราะห์กระทำโดยวิธีสถิติเฟนสโดยตรง โดยแบ่งคานแต่ละช่วงออกเป็นชิ้นส่วน ย่อย แล้วให้ นำนักหนึ่งหน่วยกระทำที่จุดแบ่งเหล่านั้น คำนวณหาระยะ โคง มุมหมุน แรงเฉือน โมเมนต์คัต และแรงปฏิกริยาที่จุดต่อต่าง ๆ เนื่องจากนำนักหนึ่งหน่วย กระทำที่แต่ละจุดแบ่ง เพื่อนำผลที่ได้มาเขียนเส้นอิทธิพลต่อไป จากการวิจัยพบว่า เมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแกร่งที่ฐานรองรับ เพิ่มขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าพิกัดสูงสุดของระยะ โคง มุมหมุน โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง คาน และที่ฐานรองรับและ โมเมนต์ลบที่กึ่งกลางช่วงคานของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบ ความแข็งแกร่งมากกว่า จะมีค่ามากกว่าของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแกร่ง น้อยกว่า แต่อัตราการ ลดลงของค่าพิกัดสูงสุดของแรงเฉือนที่ฐานรองรับ และแรงปฏิกริยา ที่ฐานรองรับของฐานรองรับที่

มีค่าตัวประกอบความแข็งแรงมากกว่า จะมีค่าน้อยกว่า ของฐานรองรับที่มีค่าตัวประกอบความแข็งแรงน้อยกว่า ส่วนอัตราการเพิ่มขึ้นหรือ ลดลงของค่าพิกัดสูงสุดของแรงเฉือนที่กึ่งกลางช่วงคาน และโมเมนต์ลบที่ฐานรองรับ ไม่เปลี่ยนแปลงโดยมีนัยสำคัญกับค่าตัวประกอบความแข็งแรง และเมื่อค่าตัวประกอบ ความแข็งแรงที่ฐานรองรับเพิ่มขึ้น จำนวนช่วงคานที่มีผลต่อค่าพิกัดของเส้นอิทธิพล ของระยะ โกง มุมหมุน แรงเฉือน โมเมนต์ดัดและแรงปฏิกิริยาอย่างมีนัยสำคัญจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อค่าตัวประกอบความแข็งแรงเท่ากับ 0, 1.326, 2.5 และ 25 จำนวน ช่วงคานที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญเท่ากับ 7, 8, 10 และ 12 ช่วงคานตามลำดับ สำหรับ ตัวประกอบความแข็งแรงที่มีค่ามากกว่า 25 จะมีผลต่อค่าพิกัดของเส้นอิทธิพลอย่าง มีนัยสำคัญกับคานต่อเนื่องมากกว่า 12 ช่วงคาน

2.2.4 การวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤตของ โครงสร้างทางโค้งที่ยึดหดตัวได้ตามแนวแกนของผู้แต่งไฟโรจน์ วรรณสวัสดิ์กุล 2543 มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.บัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกวิกฤตของโครงสร้างทรงโค้งแบบ ไร่เชิงเส้น โดยมีสมมติฐานว่าโครงสร้างทรงโค้งสามารถยึดหดตัวตามแนวแกนได้ และมีการ เสียรูปก่อนเกิดการ โกงเดาะ บัจฉัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อน้ำหนักบรรทุกวิกฤต เช่น การเสีย รูปก่อนเกิดการ โกงเดาะ การวิเคราะห์การเสียรูปแบบเชิงเส้น การแบ่งชิ้นส่วนย่อยตามแนวราบ ได้ทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ด้วย โครงสร้างทรงโค้งในการวิเคราะห์เป็นโครงสร้างทรงโค้ง ที่มีรูปร่างที่สามารถแทนได้ด้วยสมการเส้นโค้งในระบบพิกัดฉาก 5 แบบคือ วงกลม พาราโบลา ไซน์ วงรี และแคททินารี วิธีการวิเคราะห์จะอยู่บนพื้นฐานของวิธีพลังงาน การเคลื่อนที่ตาม เส้นโค้ง และการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับเส้น โค้งของแนวแกนของโครงสร้างก่อให้เกิดความเครียด เนื่องจากการดัด และความเครียดเนื่องจากการยึดหดตัวตามแนวแกน การวิเคราะห์เชิงตัวเลข ได้ประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบไร่เชิงเส้น ประมาณการเสียรูปของชิ้นส่วนย่อยด้วย ฟังก์ชัน โพลีโนเมียล อันดับสามของระยะตามเส้น โค้งของชิ้นส่วนย่อย ร่วมกับกระบวนการ ของ Newton-Raphson ในขั้นตอนของการกระทำซ้ำ การหาน้ำหนักบรรทุกวิกฤตของโครงสร้าง กระทำโดยใช้หลักการค่าต่ำสุดของการแปรผันอันดับสองของพลังงานศักย์รวมของโครงสร้าง ผลของค่าน้ำหนักบรรทุกวิกฤตของโครงสร้างทรงโค้งรูปร่างต่างๆ ได้แสดงในรูปของค่าไร่หน่วย ที่ค่าอัตราส่วนความสูงต่อความยาวช่วงต่างๆ ผลการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ พบว่า ผลกระทบจะมีมากในกรณีของ โครงสร้างทรงโค้งรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบจุด

### บทที่ 3

#### รายละเอียดการปฏิบัติการ

รายละเอียดของงานที่ปฏิบัติ จะกล่าวถึง ชื่อ-ที่ตั้ง ของสถานประกอบการ ลักษณะโดยรวมของสถานประกอบการ รูปแบบการบริหารองค์กร ตำแหน่งงานที่นักศึกษาได้รับมอบหมาย ระยะเวลาที่ปฏิบัติ ขั้นตอนวิธีการดำเนิน อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน โครงการสหกิจ

##### 3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

ประวัติของบริษัท : รับงานเกี่ยวกับระบบวิศวกรรม โรงงานด้าน E&M เป็นหลัก และได้ขยายหมวดธุรกิจเพิ่มเติมในส่วนผลิตภัณฑ์ที่เป็นนวัตกรรม โดยได้เป็นตัวแทนจำหน่ายและให้บริการผลิตภัณฑ์ให้กับแบรนด์ ฮีสตัน โดยมุ่งเน้นในส่วน ผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีของระบบ M&E และระบบโครงสร้างพื้นฐานสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับ ศูนย์ข้อมูลรวมไปถึงห้องปลอดเชื้อโรค เปิดกิจการมา 8 ปี



รูปที่ 3.1 บริษัท เอ็มไออีกรุ๊ป จำกัด

สำนักงานใหญ่ : 96/27 ถนนไทยรามัญ แขวงคลองสามวา เขตคลองสามวา  
กรุงเทพฯ 10150

รายละเอียดบริษัท : รับเหมาก่อสร้างและออกแบบ

โทรศัพท์ : 02-993-3019



โทรสาร : 02-993-2180



รูปที่ 3.2 แผนที่ตั้ง บริษัท เอ็มโอไอ กรุ๊ป จำกัด

สถานปฏิบัติงาน : ถนน อุดมสรยุทธ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน



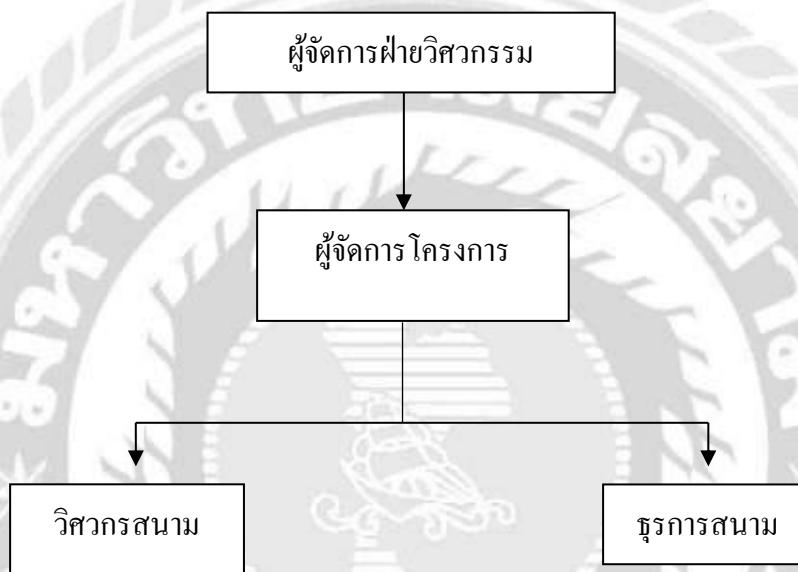
รูปที่ 3.3 สตาร์ส ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ บางปะอิน

### 3.2 ลักษณะของสถานปฏิบัติงาน

ชื่อโครงการ : อินสทอลเลชัน นิว คูลิ่งทาวเวอร์  
 ที่ตั้ง : นิคมอุตสาหกรรม ถนน อุดมสรยุทธ จังหวัด พระนครศรีอยุธยา  
 จุดเด่น : นิคมอุตสาหกรรม

### 3.3 รูปแบบจัดการองค์การ และการบริหารงานขององค์กร

บริษัท เอ็มไออี กรุ๊ป จำกัด



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งงานในโครงการ นิว คูลิ่งทาวเวอร์

### 3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย

ตำแหน่งงานที่นักศึกษารับผิดชอบ : วิศวกรสนาม  
 ลักษณะงานที่นักศึกษารับผิดชอบ : ตรวจสอบช่างติดตั้งงานคูลิ่งทาวเวอร์

### 3.5 ชื่อและตำแหน่งของพนักงานที่ปรึกษา

ชื่อพนักงานที่ปรึกษา : นาย สหภัต เลิศไพฑูรย์พันธ์  
 ตำแหน่ง : วิศวกรงานระบบ (System Engineer)  
 แขนก : 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 ปรึกษาพนักงานที่เลี้ยง

สอบถามถึงหัวข้อโครงการในหัวเรื่องต่าง ๆ ที่สามารถ นำมา ประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม

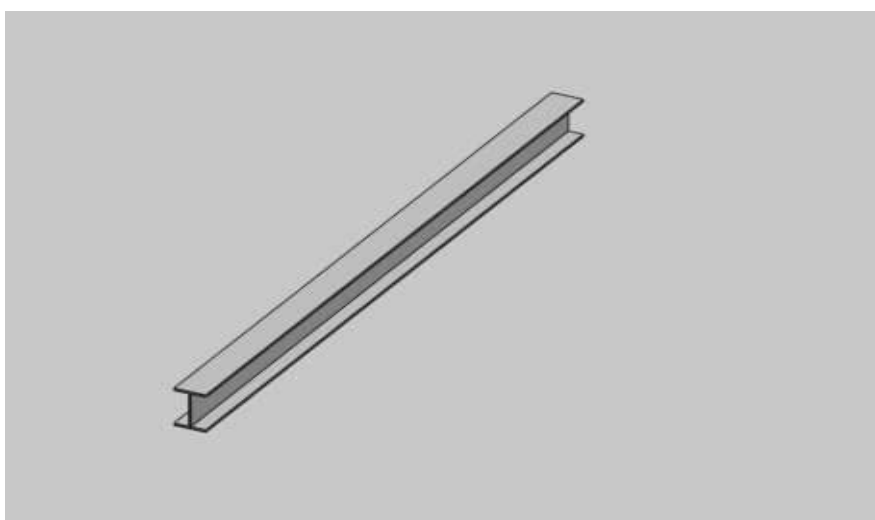
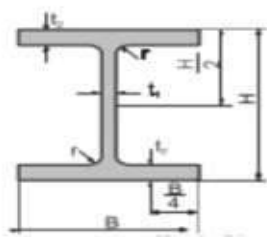
#### 3.7.2 ตั้งหัวข้อ โครงการ

หาหัวข้อ โครงการ โดยการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาถึงความเป็นไปได้ในโครงการ รวมถึงขอคำชี้แนะในการเจอปัญหาในการทำโครงการ

#### 3.7.3 ขั้นตอนการออกแบบเหล็ก วยแฟรงค์ ( Wide Flange )

1. กดเข้าไปโปรแกรมสำเร็จรูป

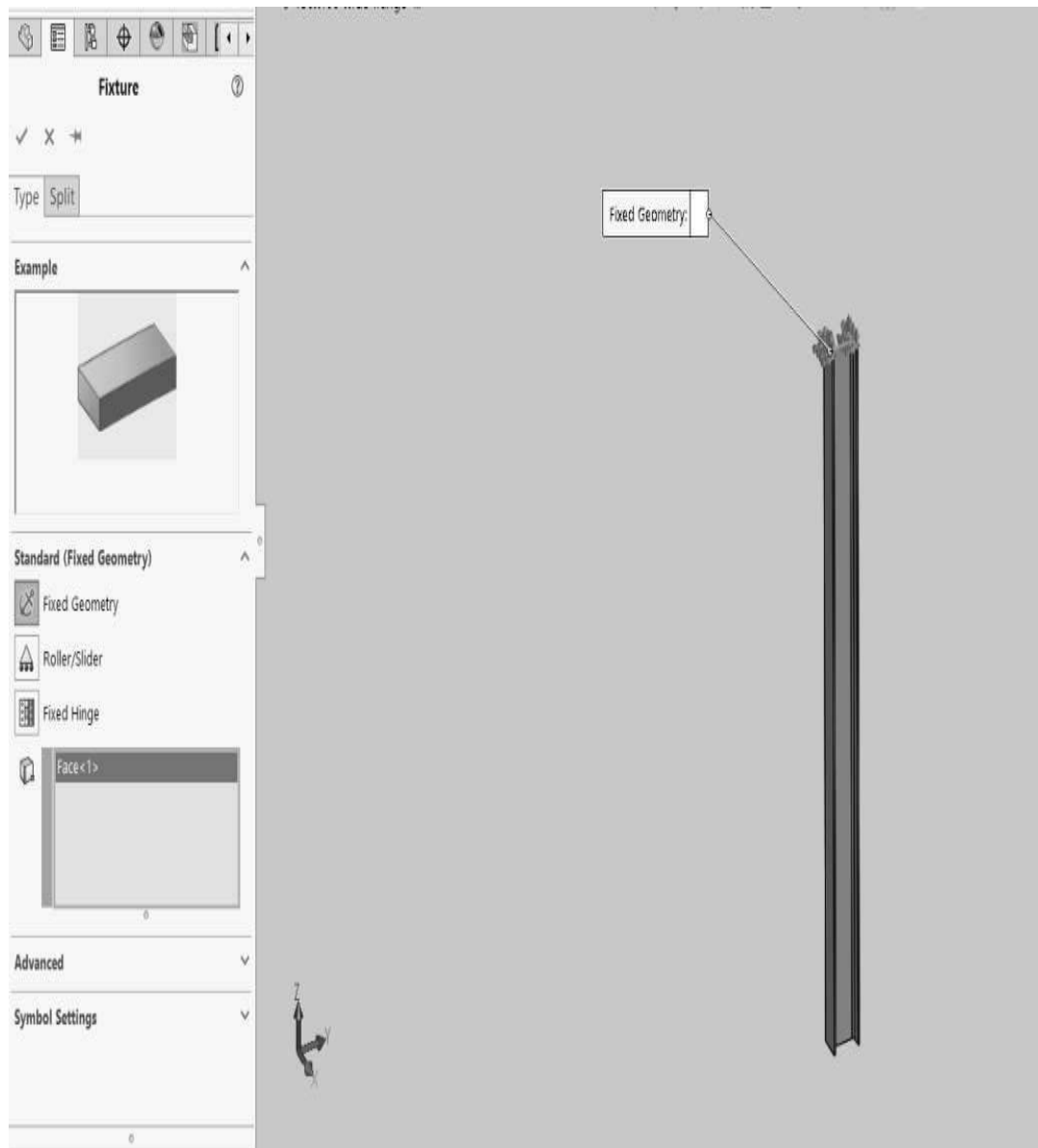
2. ออกแบบเหล็ก Wide Flange ตามขนาด 150mm x 100mm x 6mm x 9mm x 11mm



รูปที่ 3.5 โครงสร้างเหล็ก Wide Flange

### 3. ใส่จุดยึดชิ้นงาน Fixture

จุดยึดของชิ้นงานคือจุดที่ไม่มีเคลื่อนไหว สิ่งสัมผัสกับพื้น โดยตรงไม่มีการขยับโดยจุดยึด  
ตรงตำแหน่งไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเคลื่อนที่และไม่หมุน ทั้ง 1 จุด คือจุดที่ไม่มีเคลื่อนตัว



รูปที่ 3.6 ใส่จุดยึดที่เหล็ก

4. ใส่แรงที่ชิ้นงาน แรงกดที่ใส่ คือน้ำหนักวัสดุที่กดทับกับชิ้นงานทั้งหมด  
ที่มาของแรงกด

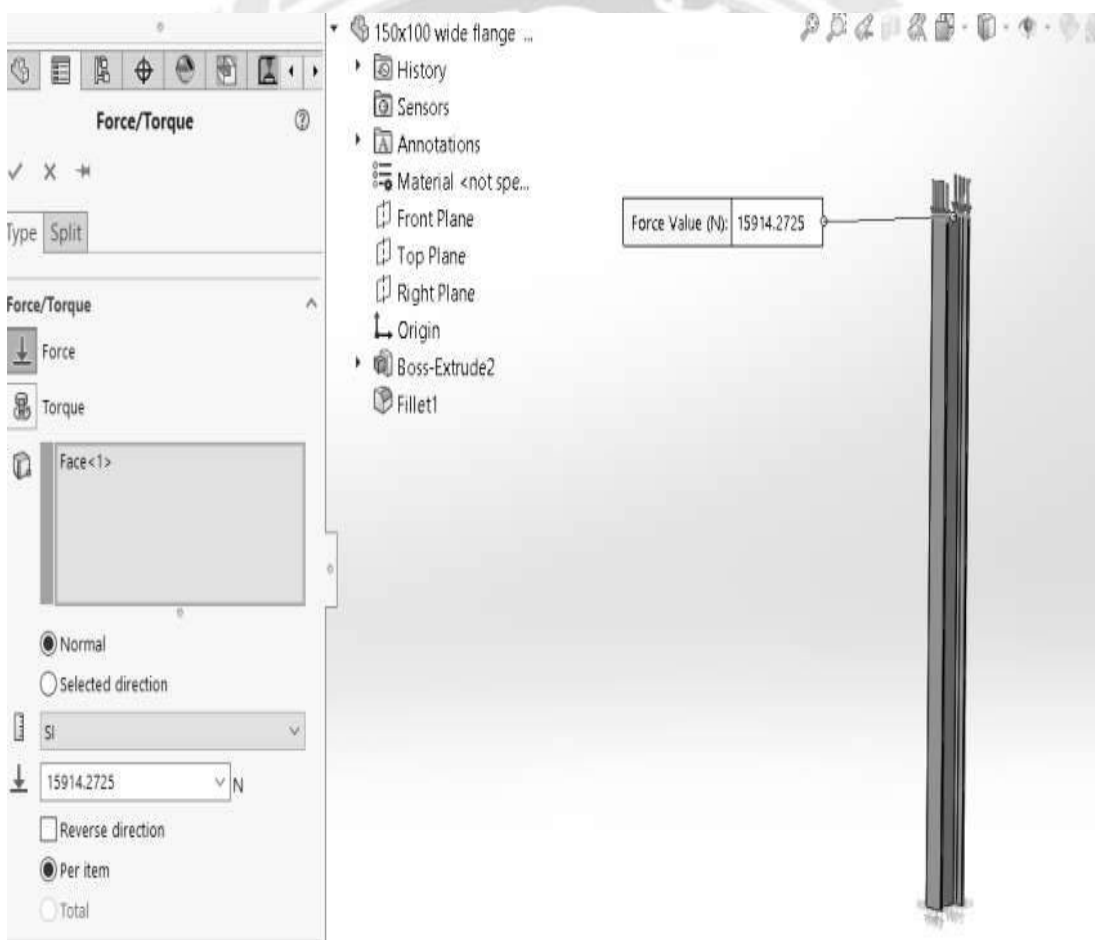
การคำนวณภาระที่กระทำต่อเหล็ก วายแฟรงค์ 15,914.2725 N

$$\text{น้ำหนักของหอบรรยากาศความร้อน} = 4,489 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 44,037.09 \text{ N}$$

$$\text{น้ำหนักของน้ำในหอบรรยากาศความร้อน} = 2,000 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 19,620 \text{ N}$$

$$\text{น้ำหนักรวมทั้งหมด} = 44,037.09 + 19,620 = 63,657.09 \text{ N}$$

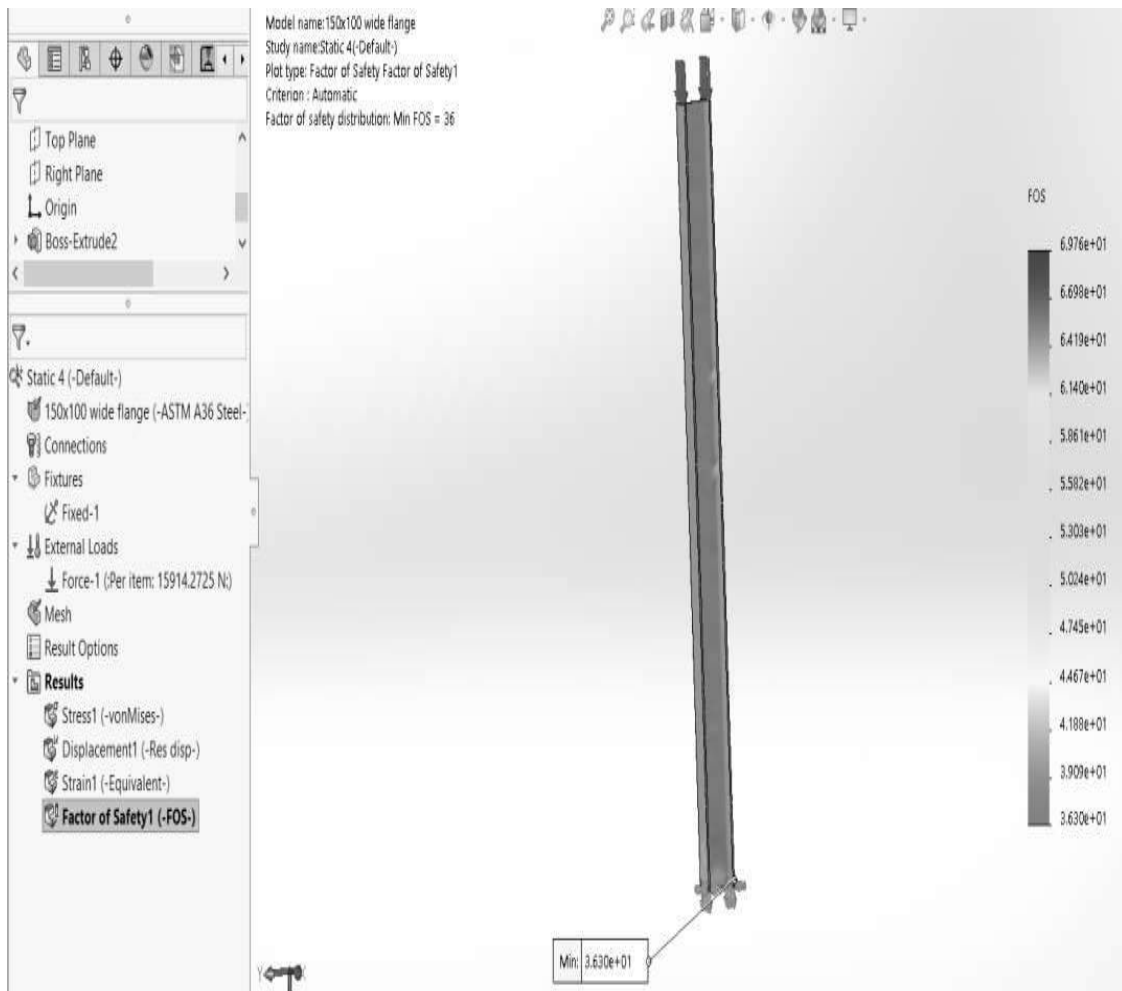
$$\text{น้ำหนักรวมมาหารเสาที่รับน้ำหนัก} = \frac{63,657.09}{4} = 15,914.2725 \text{ N}$$



รูปที่ 3.7 ใส่แรงกระทำกับเหล็ก

### 5. ผลลัพธ์การทดลอง(Simulation)ค่าความปลอดภัย(Safety Factor)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คำนวณหาค่าความปลอดภัยของฐานรองรับ หอระบายความร้อนนี้ขณะรับแรงของชิ้นงานเข้าไปจะมีค่าความปลอดภัยเท่าใด



รูปที่ 3.8 แสดงค่าความปลอดภัย

### 3.8 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

รายละเอียดของอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทำโครงการ โดยใช้เครื่องฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์  
เช่น

#### Hardware

1. คอมพิวเตอร์ รุ่น MSI GF62 8RE
2. เครื่องปรี้น
3. กล้องถ่ายรูป Samsung s10
4. เครื่องถ่ายเอกสาร

#### Software

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

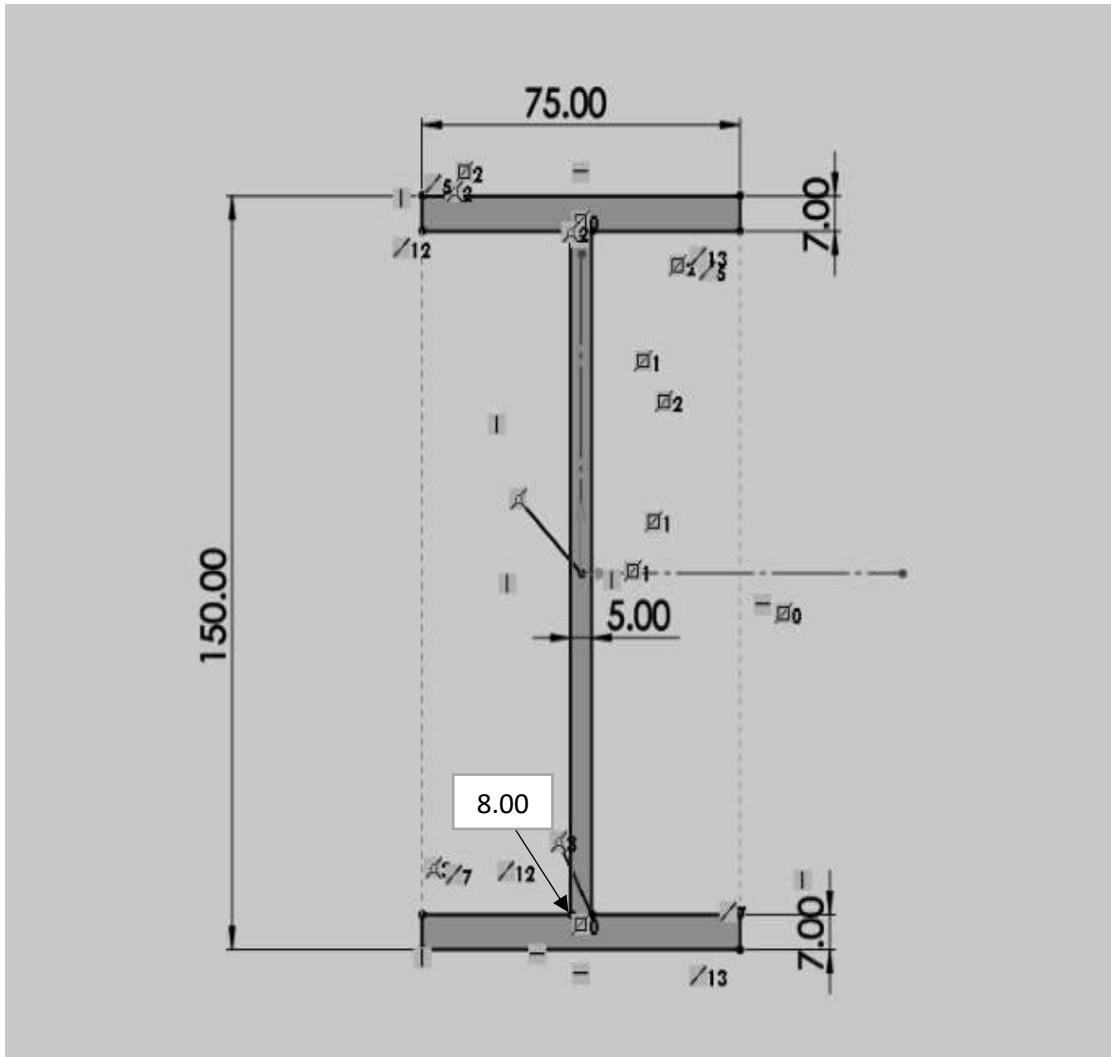


## บทที่ 4

### ผลการปฏิบัติงานตามโครงการ

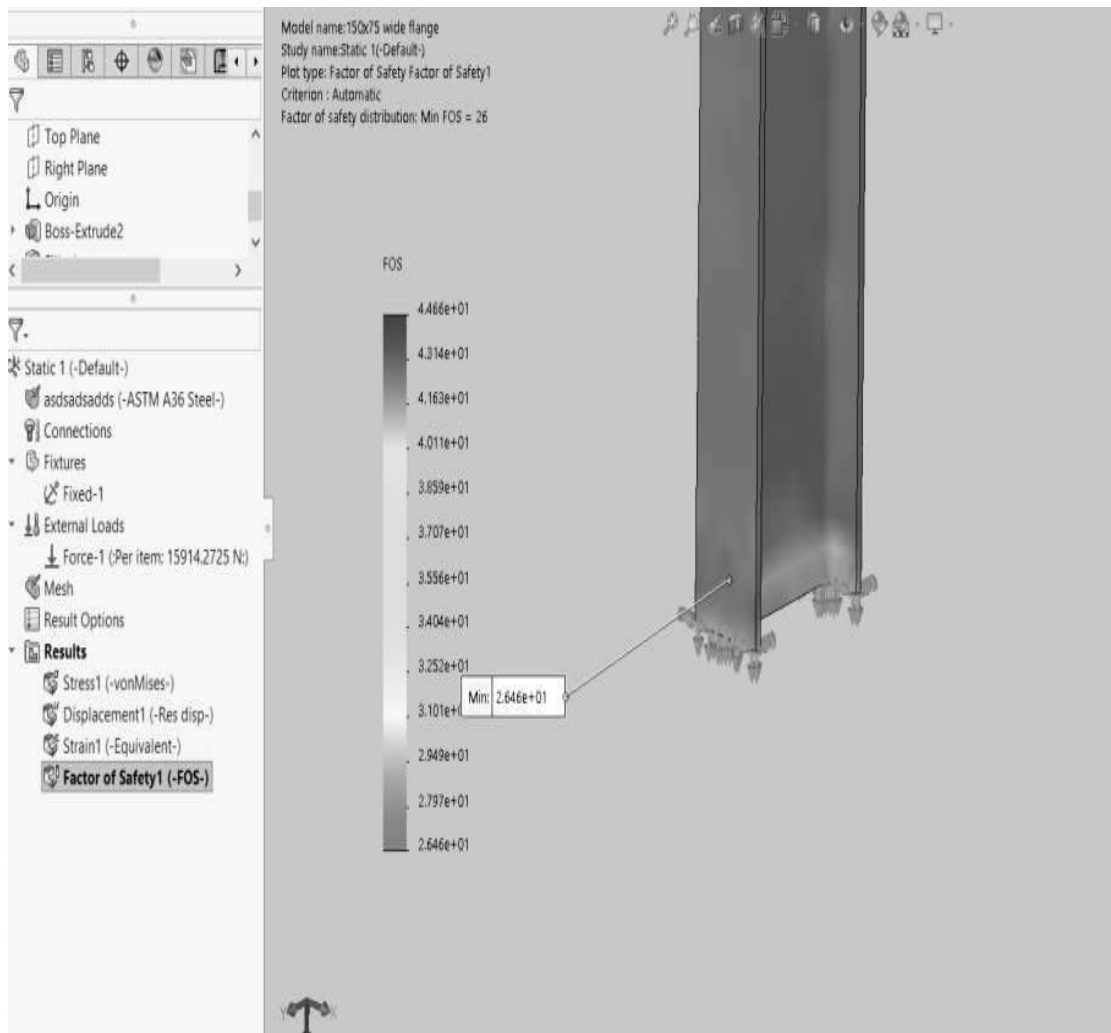
4.1 จากผลการทดลองโดยการใช้ โปรแกรมสำเร็จรูปกดแรงบนชิ้นงาน ที่ 15914.27 N ทดลองให้ชิ้นงานรับแรงกดที่พื้นที่ใช้งานของฐานรองรับหอระบายความร้อน จำลองค่าความปลอดภัยโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป แรงที่กระทำ 15914.27 N ทั้ง 3 ขนาด

4.1.1 เหล็กไวต์เฟรงค์ ขนาด 150mm x 75mm x 5mm x 7mm x 8mm



รูปที่ 4.1 ภาพร่างเหล็กไวต์เฟรงค์ ขนาด 150mm x 75mm x 5mm x 7mm x 8mm

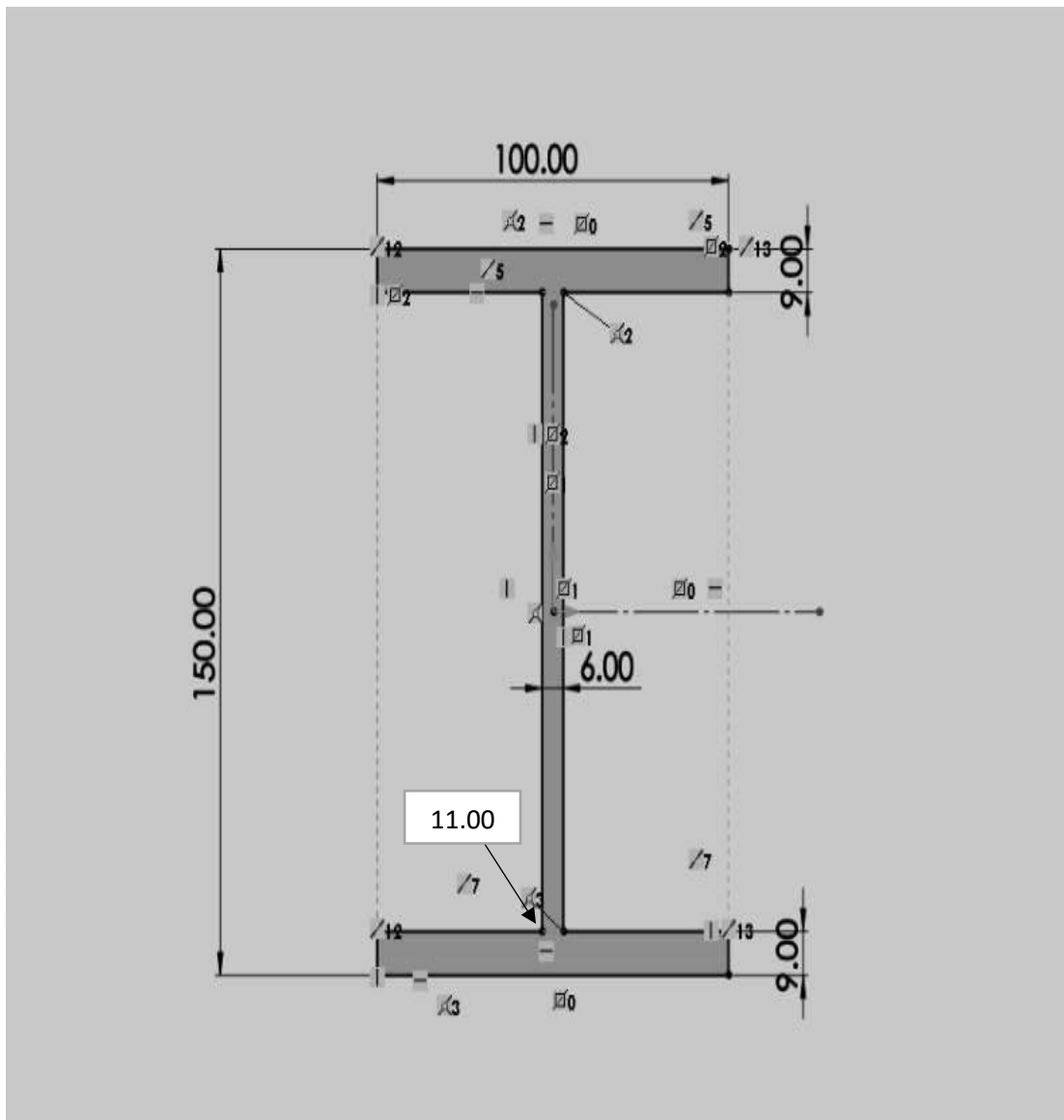




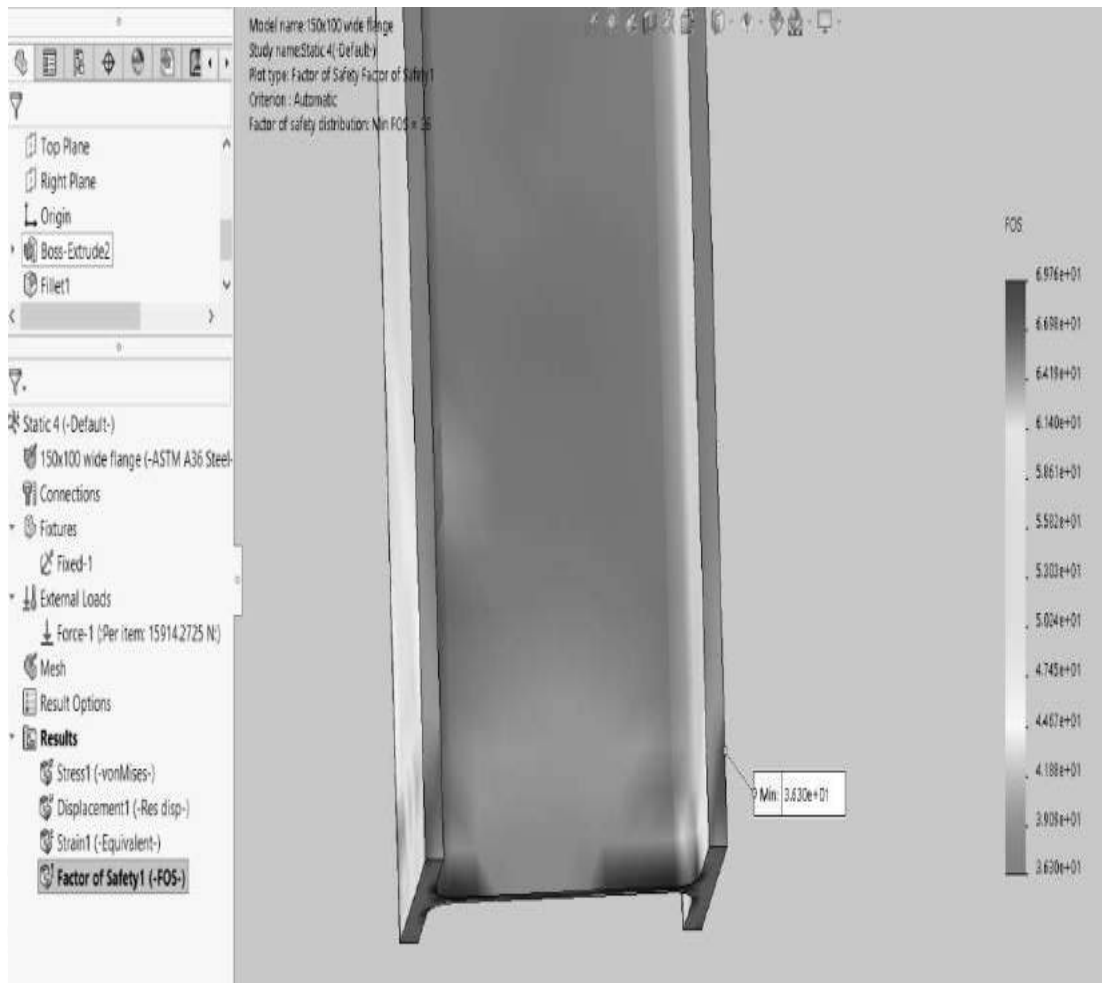
รูปที่ 4.2. ผลการจำลองแรงกระทำเหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 150 มิลลิเมตร x 75 มิลลิเมตร

จากผลการจำลอง โดยการใช้โปรแกรม พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่าความปลอดภัย =  $2.646 \times 10 = 26.46$

#### 4.1.2 เหล็กไวต์เฟรงค์ ขนาด 150mm x 100mm x 6mm x 9mm x 11mm



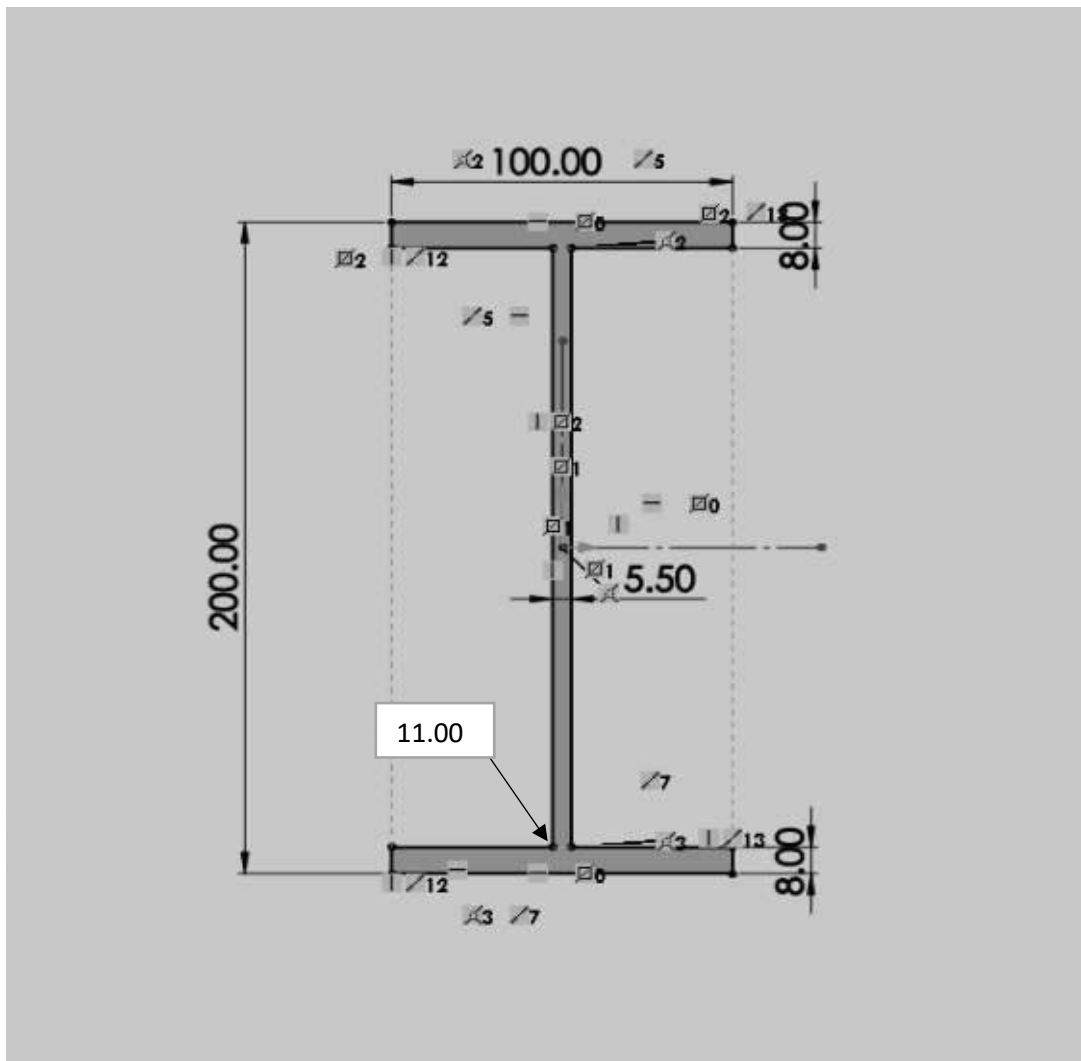
รูปที่ 4.3 ภาพ Sketch เหล็กไวต์เฟรงค์ ขนาด 150mm x 100mm x 6mm x 9mm x 11mm



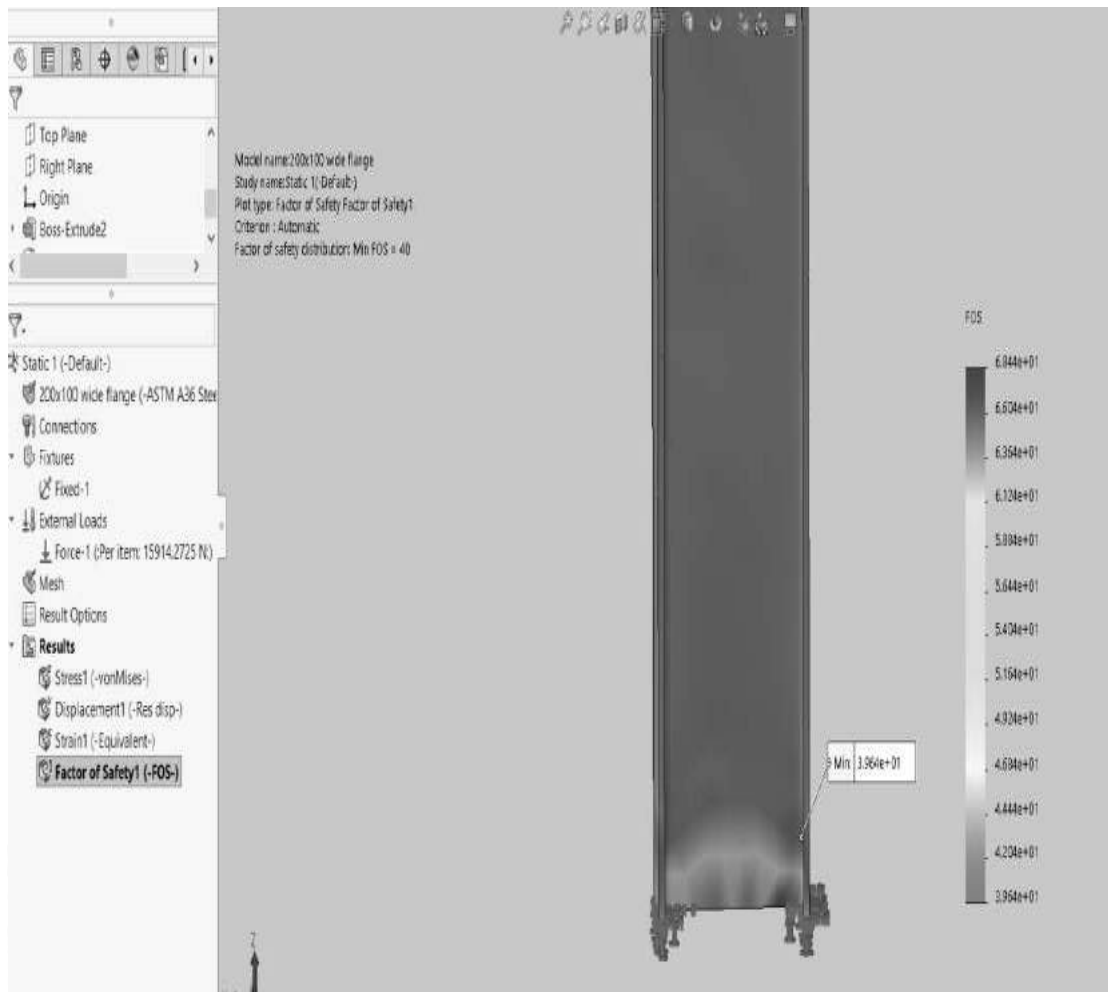
รูปที่ 4.4 ผลการจำลองแรงกระทำเหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 150 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร

จากผลการจำลอง โดยการใช้โปรแกรม พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่าความปลอดภัย =  $3.630 \times 10 = 36.30$

#### 4.1.2 เหล็กไวต์เฟรงค์ ขนาด 200mm x 100mm x 5.5mm x 8mm x 11mm



รูปที่ 4.5 ภาพ Sketch เหล็กไวต์เฟรงค์ ขนาด 200mm x 100mm x 5.5mm x 8mm x 11mm



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองแรงกระทำเหล็กไวด์แฟรงค์ ขนาด 200 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร

จากผลการจำลอง โดยการใช้โปรแกรม พบว่า เกิดความเสียหายมากแต่ในจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดนั้นมีค่าความปลอดภัย =  $3.964 \times 10 = 39.64$

## 4.2 ตารางผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองเหล็กไวต์เฟรังก์ทั้ง 3 ขนาดโดยใช้โปรแกรมที่ แรงกด = 15,914.2725 N  
ต่อจุดทั้งหมด 1 จุด

รายละเอียด			
ขนาด (HxB )	ความยาว	น้ำหนักที่กดต่อจุด	ค่าความปลอดภัย
150x100	2,250 mm	15,914.2725N	$2.646 \times 10 = 26.46$
150x100	2,250 mm	15,914.2725N	$3.630 \times 10 = 36.30$
150x100	2,250 mm	15,914.2725N	$3.964 \times 10 = 39.64$

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การจัดทำโครงการนี้ขึ้นมาเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความปลอดภัยของเหล็ก ไรต์แฟรงค์ ขนาด 150 x 75 mm 150 x 100 mm และ 200 x 100 mm โดยจุดประสงค์หลัก คือ เพื่อทดสอบคุณภาพของเหล็ก ไรต์แฟรงค์แต่ละขนาดเมื่อใช้แรงกดลงที่ตำแหน่งของหอยางความร้อนที่วางไว้บนเหล็ก ไรต์แฟรงค์ ทั้ง 3 เส้นก็จะรู้ผลลัพธ์ออกมาโดยผลที่ได้

1.1 ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปผลลัพธ์การทดลองที่แรงกด = 15,914.2725N

-Safety of Factor ของ Wide flange ขนาด 150 x 75 mm =  $2.646 \times 10 = 26.46$

-Safety of Factor ของ Wide flange ขนาด 150 x 100 mm =  $3.630 \times 10 = 36.30$

-Safety of Factor ของ Wide flange ขนาด 200 x 100 mm =  $3.964 \times 10 = 39.64$

ดังนั้นขนาดเหล็กวายแฟรงค์ขนาด 150มิลลิเมตรx75มิลลิเมตรนั้นมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 26.46 มาใช้ในการสร้างฐานรองรับหอยางความร้อนโดยทำให้ลดต้นทุนได้ 957.22 บาท ซึ่งเทียบกับการใช้เหล็กขนาด 150 x 75 mm หอยางความร้อนมี4ตัวแต่ละตัวใช้เสา4 ต้น โครงการนี้มี 16 เสาจึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 15,315.52 บาท

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลจากการทดลองพบว่า Finite Element สามารถนำไปวิเคราะห์แรงชนิดอื่นได้เช่น เหล็ก H-Beam I-Beam เพื่อวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยว่าสามารถมาใช้แทนเหล็ก Wide Flange ได้หรือไม่

## บรรณานุกรม

- ชนทรัพย์ ปิยะมณีธนา. (2560). การเลือกใช้วัสดุ (Material) ในการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน. เข้าถึงได้จาก <https://www.applicadthai.com/articles>
- บริษัท มารีน ไซน์ จำกัด. (2563). บทความเหล็กวายแฟรงค์. เข้าถึงได้จาก <https://www.marineshine.co.th/>
- บริษัท เหล็กทรัพย์ จำกัด (มหาชน) สำนักงานใหญ่. (2563). ตารางเปรียบเทียบขนาดท่อเหล็กวายแฟรงค์. เข้าถึงได้จาก <https://www.zubbsteel.com/products/>
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. (2555). ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริญญา แซ่อู๋. (2545). การวิเคราะห์การโก่งคดและการสั่นอิสระแบบไร้เชิงเส้นของโครงสร้างทรงโค้ง ที่มีฐานรองรับต่างระดับกัน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. (บัณฑิตวิทยาลัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พงษ์ภักดิ์ ภัทรประภานันท์. (2537). เส้นอิทธิพลสำหรับแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับ แรงเฉือนและโมเมนต์คดของคานต่อเนื่อง ที่มีความแข็งเกร็งแรงคดเปลี่ยนแปลงบนฐานรองรับยึดหยุ่น. (บัณฑิตวิทยาลัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิรัช อิงภากรณ์. (2556). การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภวุฒิ ดวนดวน. (2544). เส้นอิทธิพลของคานต่อเนื่องบนฐานรองรับยึดหยุ่นโดยวิธีสติฟเนส. (บัณฑิตวิทยาลัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อรรถวิทย์ จงใจวานิชย์กิจ. (2543). การวิเคราะห์ความเสียหายของโครงข้อแข็งคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากการทรุดตัวของฐานรองรับ. (บัณฑิตวิทยาลัย). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

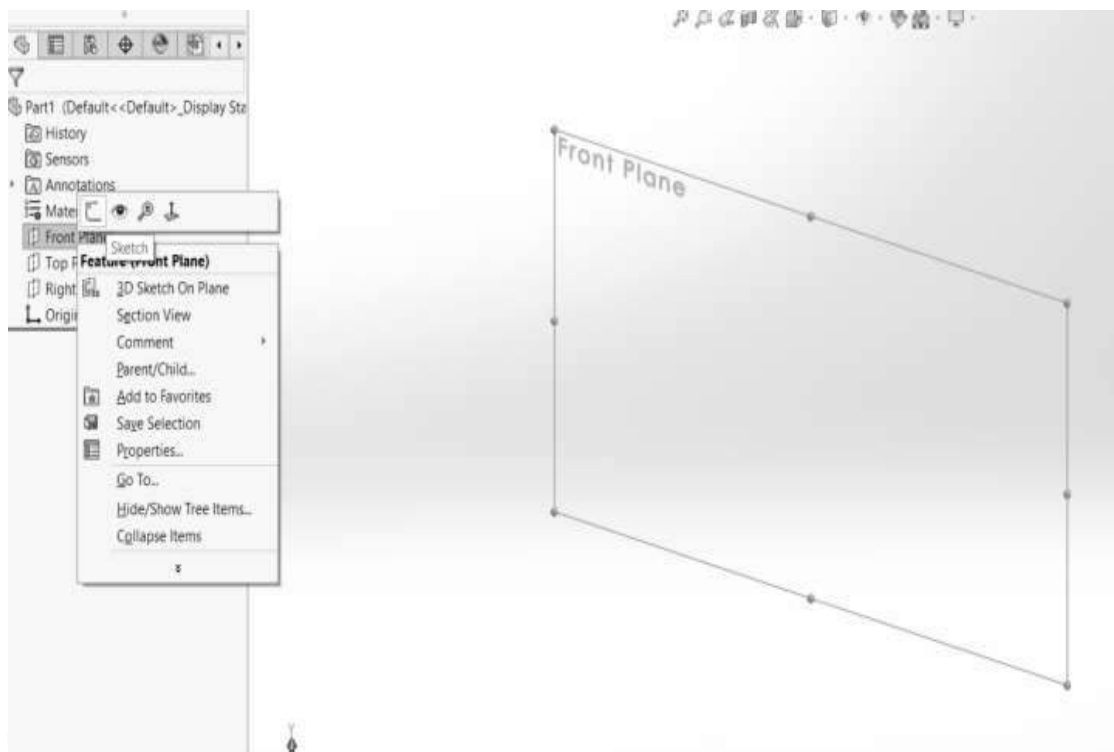




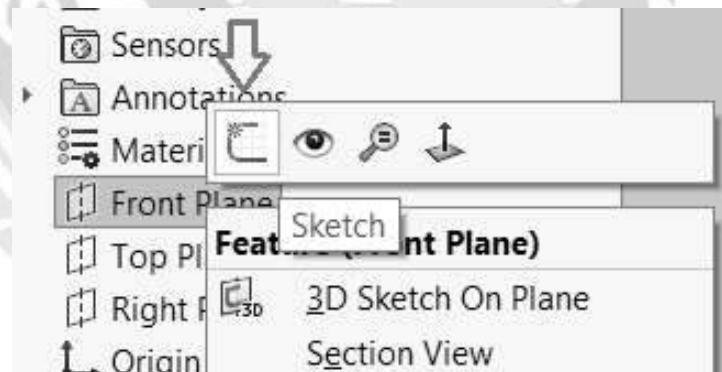
**ภาคผนวก**

ขั้นตอนการจำลองชิ้นงานและการวิเคราะห์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป

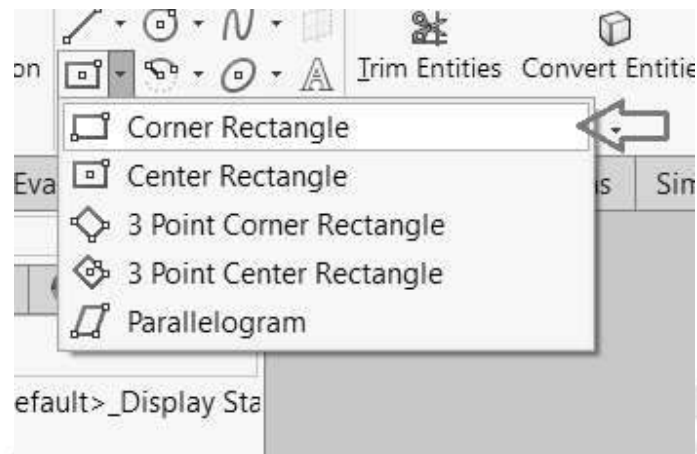
## 1.คลิกที่ Front plane



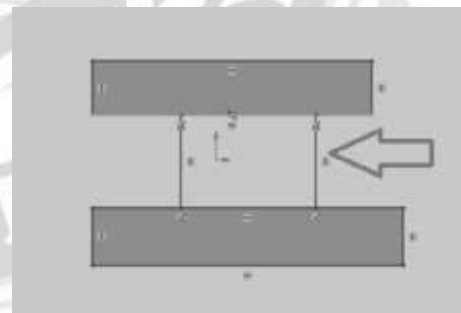
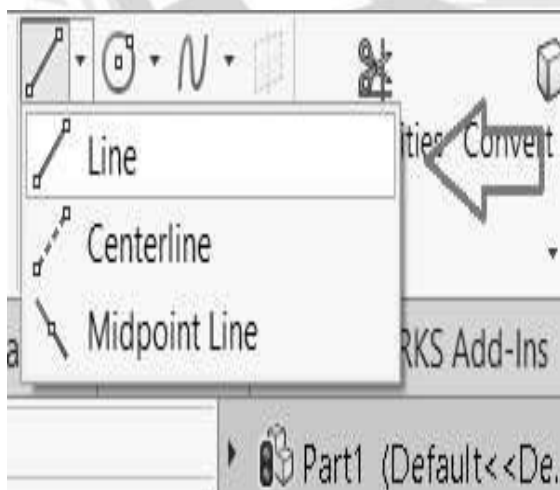
## 2.กด Sketch



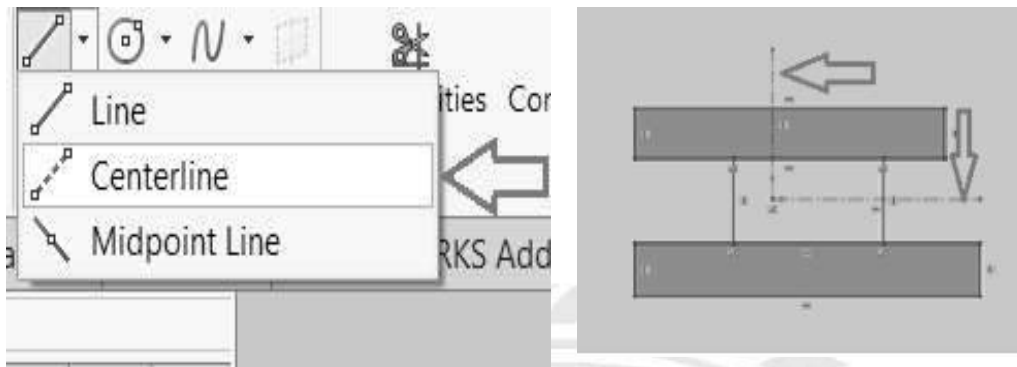
3.คลิกไปที่ Corner Rectangle เพื่อสร้างขนานแนวอน 2 ช่อง



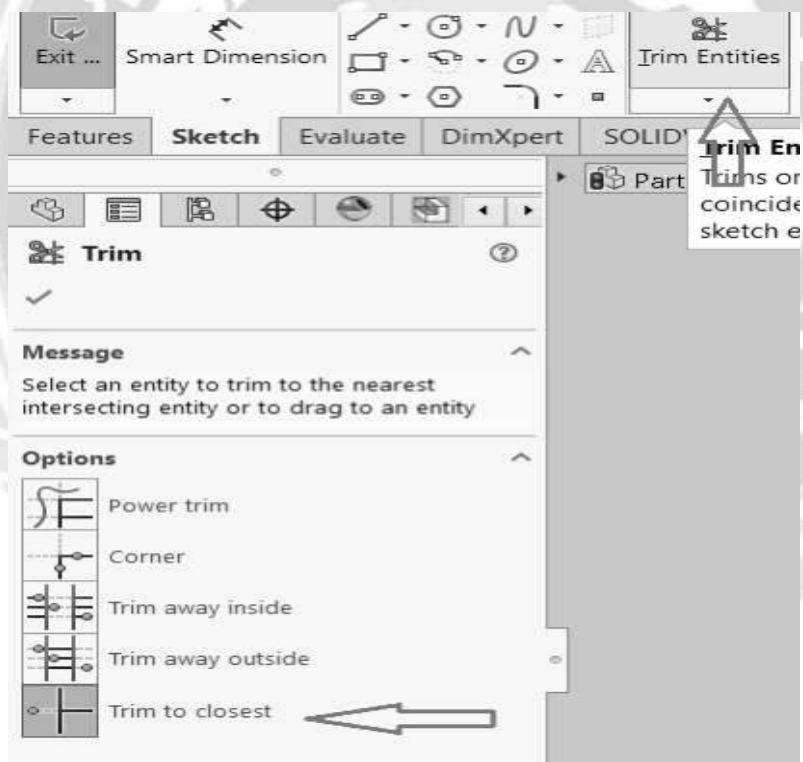
4.คลิกไปที่ Line สร้างแนวตั้ง 2 เส้นแนวตั้ง



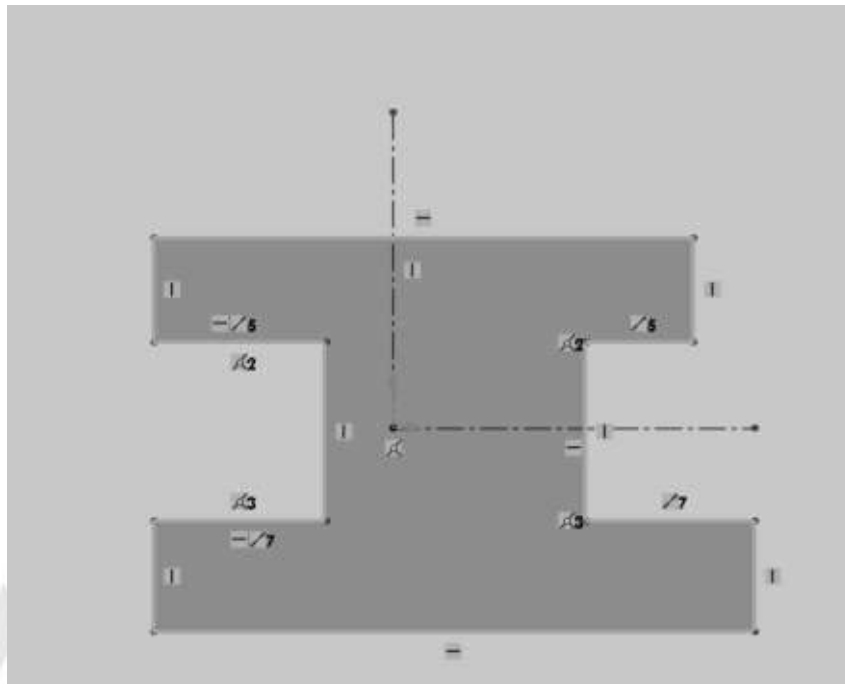
5.คลิกไปที่ Centerline เพื่อสร้างเซนเตอร์ตามลูกศร



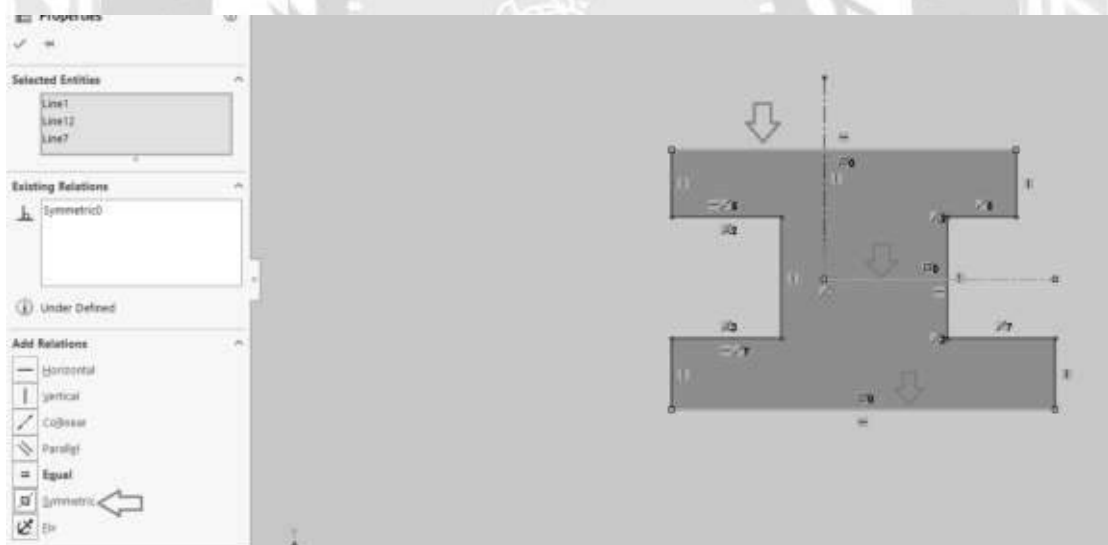
6.คลิกไปที่ Trim Entities เลือกไปที่ Trim to closest



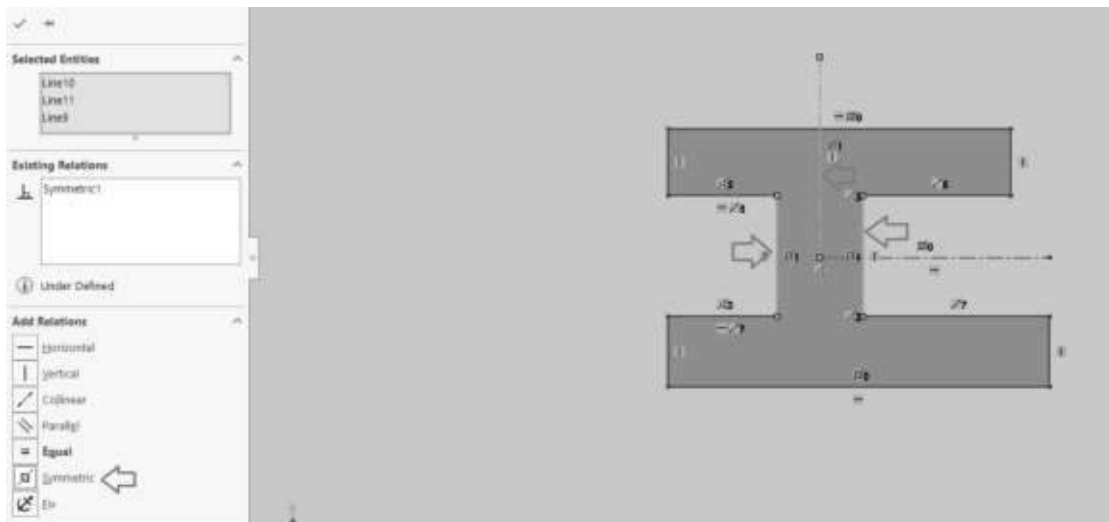
7. ตัดเส้นตรงกลางออกให้เป็นอันเดียวกัน



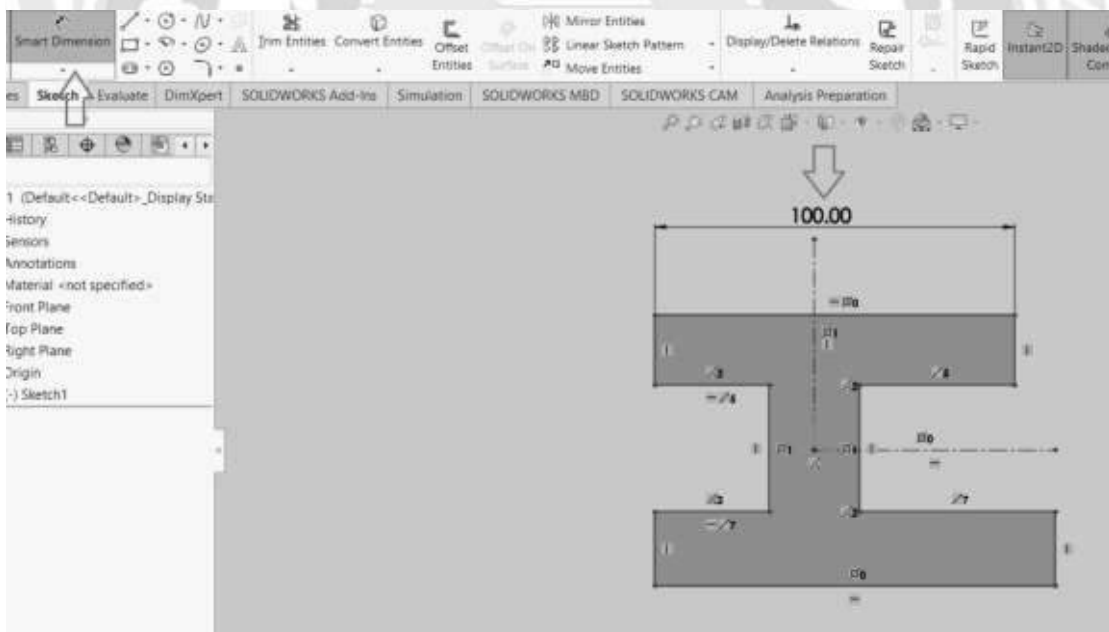
8. คลิกไปที่เส้นบนกับเส้นเซนเตอร์แนวอนเส้นล่างแล้วเลือกไปที่ Symmetric



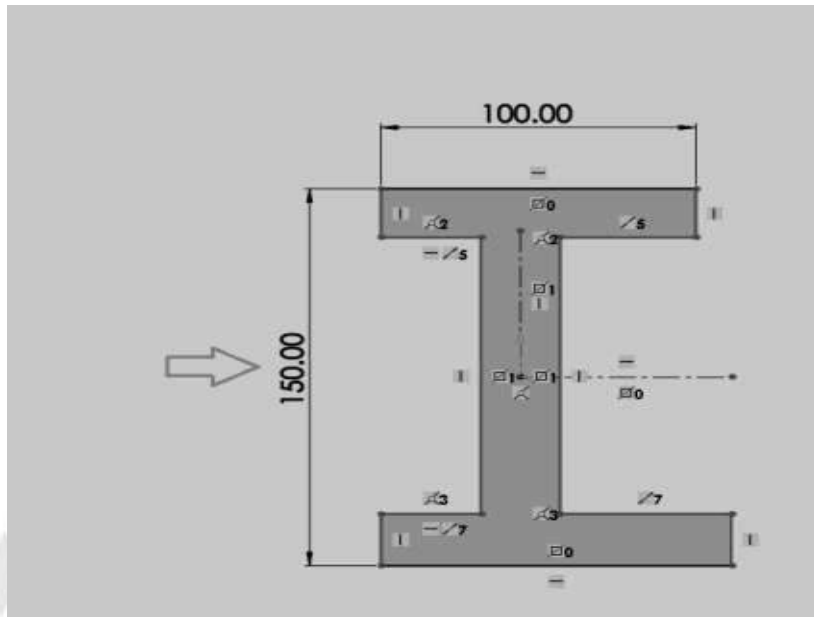
9. คลิกไปที่ เส้นซ้ายกับเส้นเซนเตอร์แนวตั้งและเส้นขวาแล้วเลือกไปที่ Symmetric



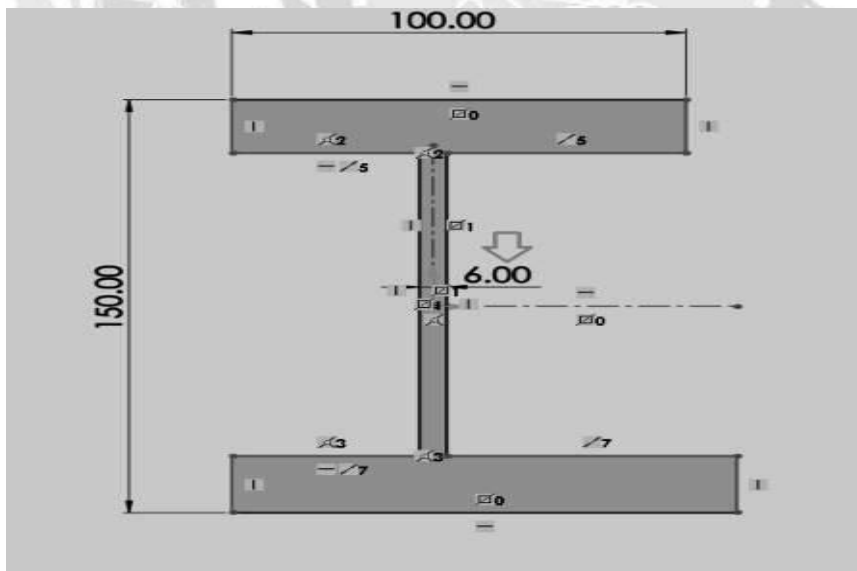
10.คลิกไปที่ Smart Dimension ปรับขนาดไปที่ขนาดความกว้าง 100 มิลลิเมตร B



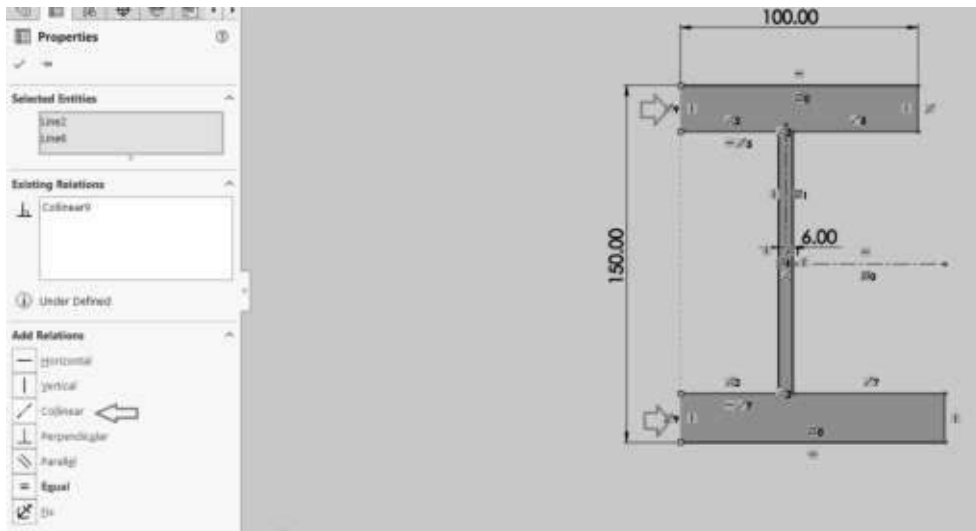
11. และปรับขนาดความสูง 150 มิลลิเมตร H



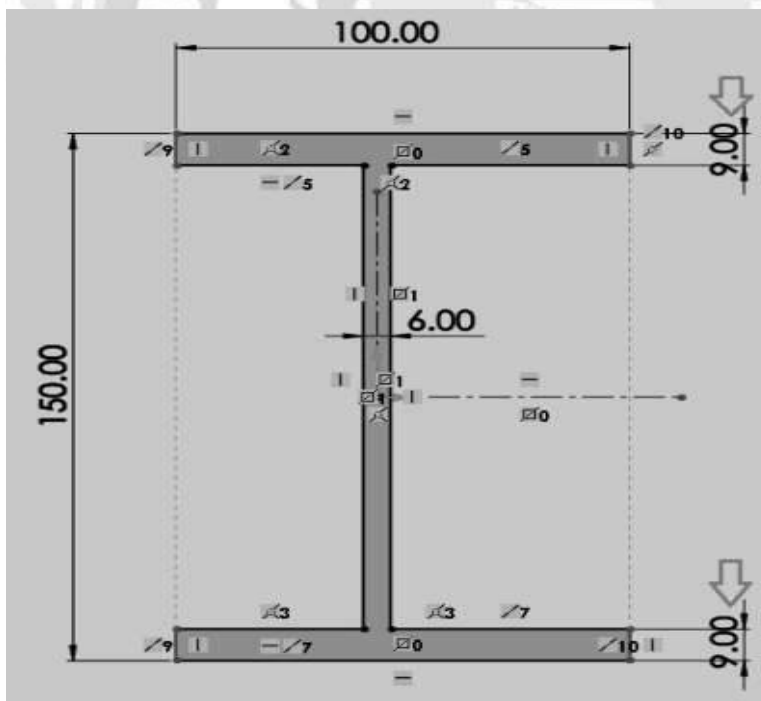
12. ปรับขนาดความหนาไปที่ 6 มิลลิเมตร t1



13. คลิกไปที่เส้นด้านซ้ายบนและล่าง เลือกไปที่ Collinear ด้านขวาด้วยเช่นกัน

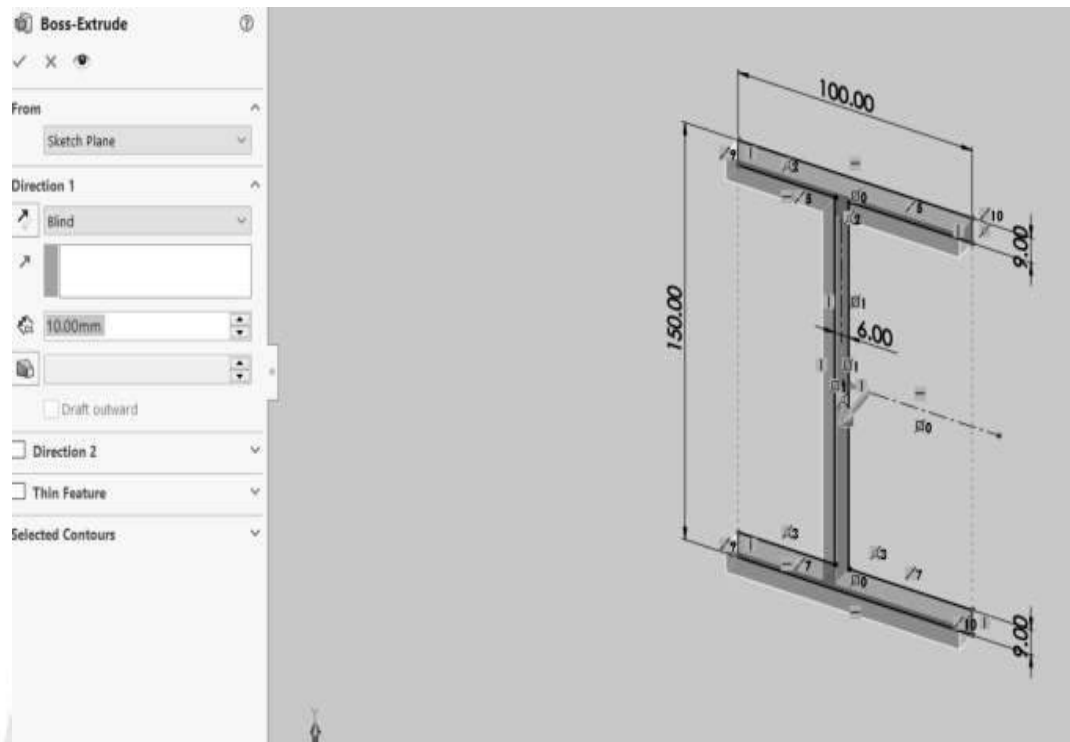


14. และปรับขนาดของ e2 ไปที่ 9 มิลลิเมตร

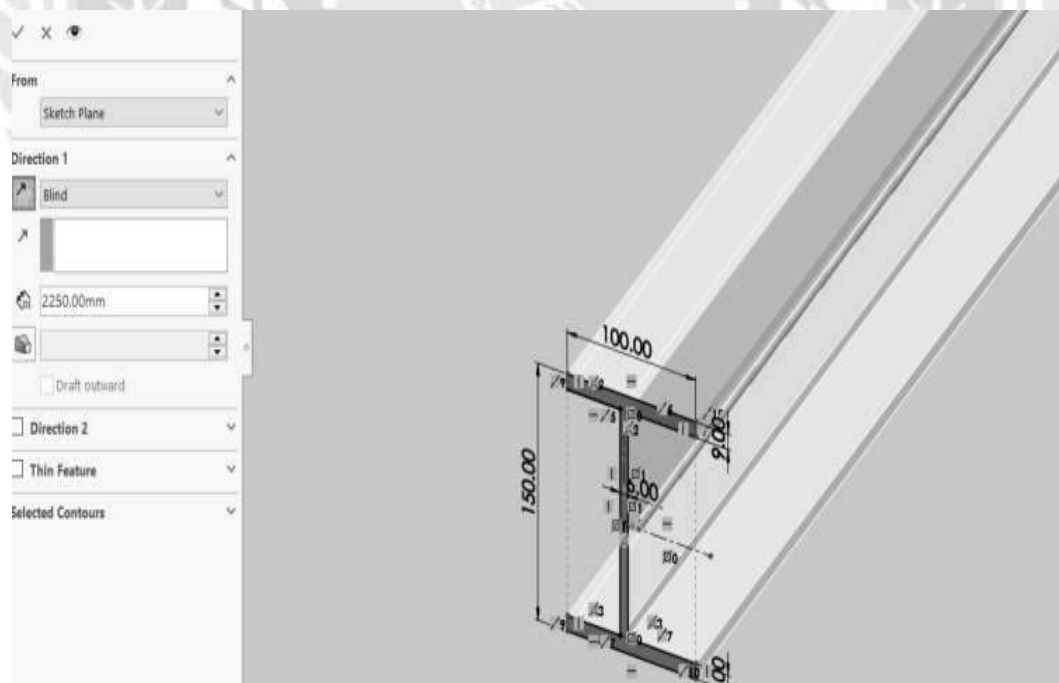




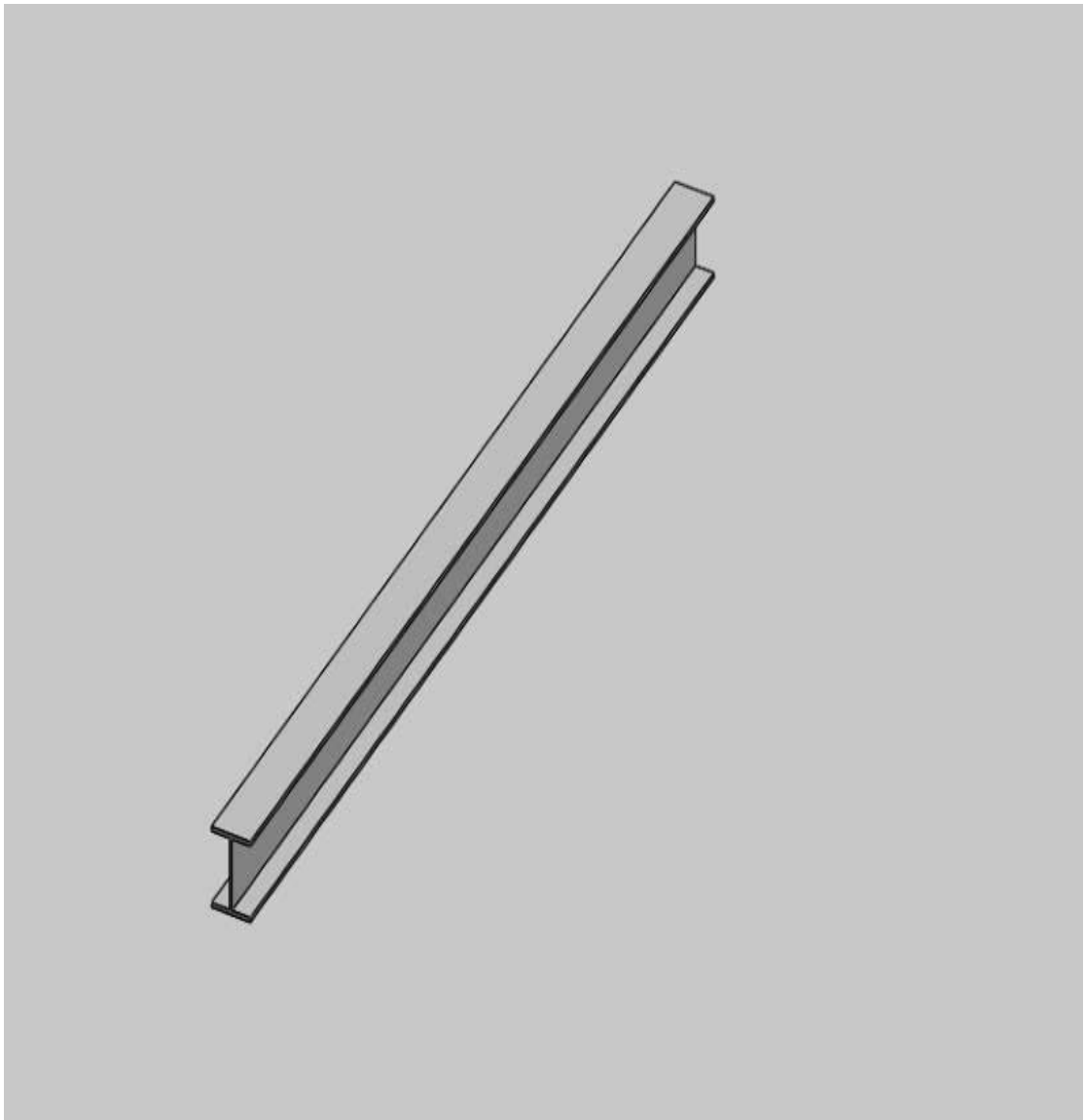
15.คลิกไปที่ Extruded Boss/Base



16.ใส่ความยาวตามเหล็กซีพอร์ดที่ใช้ในงาน 2250 มิลลิเมตร



18. ไม้ชิ้นงาน เหล็ก wide Flange



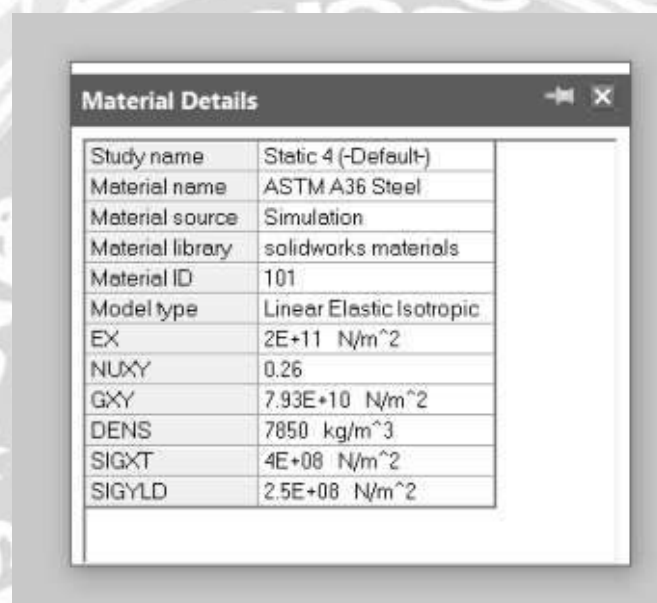
แสดงข้อมูลกับเหล็กที่ใช้ ASTM 36

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

หมายเหตุ : มีปริมาณทองแดงเมื่อมีการระบุค่าตั้งชื่อของจุด

สมบัติเชิงกลของค่าแสดงคาร์บอน A36

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



## แสดง Catalog กูลิ่งทาวเวอร์

NC8401 NC8402 NC8403 NC8405									
Model note 2	Nominal Tons note 3	Nominal Tons with VR Cylinder note 3	Motor kW	Design Operating Weight kg	Dimensions				
					L	W	H	B	A
NC8401G-1	101	-	1.5	3598	1968	3912	3105	-	2077
NC8401H-1	117	-	2.2						
NC8401K-1	139	-	3.7						
NC8401M-1	159	-	5.5						
NC8401N-1	175	-	7.5						
NC8401P-1	198	-	11	4489	2559	4318	3124	4495	2648
NC8402H-1	156	168	2.2						
NC8402K-1	186	199	3.7						
NC8402M-1	212	228	5.5						
NC8402N-1	236	252	7.5						
NC8402P-1	265	283	11	6849	2559	5537	3638	5010	2648
NC8402Q-1	288	308	15						
NC8403H-1	196	214	2.2						
NC8403K-1	237	256	3.7						
NC8403M-1	269	291	5.5						
NC8403N-1	297	320	7.5	9068	3016	6071	3651	5023	3105
NC8403P-1	329	363	11						
NC8403Q-1	370	398	15						
NC8403R-1	391	422	18.5						
NC8403S-1	420	453	22						
NC8403T-1	448	489	30	8068	3016	6071	3651	5023	3105
NC8405H-1	242	246	2.2						
NC8405K-1	280	292	3.7						
NC8405M-1	318	332	5.5						
NC8405N-1	354	369	7.5						
NC8405P-1	403	420	11						
NC8405Q-1	442	461	15						
NC8405R-1	469	491	18.5						
NC8405S-1	491	513	22						
NC8405T-1	539	565	30						
NC8405U-1	566	591	37						



## ประวัติผู้จัดทำ



รหัสนักศึกษา	6003100026
ชื่อ-นามสกุล	นายชนเกียรติ เรืองสง
อีเมล	Treuxngsng@Gmail.com
เบอร์โทรศัพท์	097-958-7498
สาขา	วิศวกรรมศาสตร์
ที่อยู่	81/760 หมู่บ้านวิเศษสุขนคร ถนนประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ แขวงทุ่งครุ จังหวัดกรุงเทพฯ 10140
ผลงาน	การออกแบบและวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยฐานรองรับคูลลิ่งทาวเวอร์ ขนาด 4,489 กิโลกรัม