

การศึกษาการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าเพื่อช่วยลดการหักโค่นของ  
เสาไฟฟ้ากำลังต่ำ

A STUDY ON THE USE OF INSERTED REINFORCING STEEL PLATES OF  
ELECTRICAL POLE IN REDUCING BREAKING DOWN OF LOW ELECTRICAL  
POLES



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-093-079

การศึกษาการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าเพื่อช่วยลดการหักโค่นของ  
เสาไฟฟ้ากำลังต่ำ

A STUDY ON THE USE OF INSERTED REINFORCING STEEL PLATES OF  
ELECTRICAL POLE IN REDUCING BREAKING DOWN OF LOW ELECTRICAL  
POLES



นายณัฐพงศ์ จันทานนท์  
NATTAPONG CHANTHANANON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-093-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าเพื่อช่วยลดการหักโค่นของ  
เสาไฟฟ้ากำลังต่ำ

A STUDY ON THE USE OF INSERTED REINFORCING STEEL PLATES OF  
ELECTRICAL POLE IN REDUCING BREAKING DOWN OF LOW ELECTRICAL  
POLES



นายณัฐพงศ์ จันทานานนท์  
NATTAPONG CHANTHANANON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-093-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON THE USE OF INSERTED REINFORCING STEEL PLATES OF  
ELECTRICAL POLE IN REDUCING BREAKING DOWN OF LOW ELECTRICAL  
POLES



NATTAPONG CHANTHANANON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEER  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2019

KMITL-2019-EN-M-093-079

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

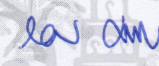

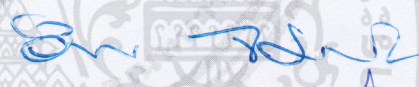

FACULTY OF ENGINEER

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าเพื่อช่วยลดการหักโค่น  
ของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำ  
Thesis Title A Study on the Use of Inserted Reinforcing Steel Plates of Electrical Pole in  
Reducing Breaking Down of Low Electrical Poles  
นักศึกษา นายณัฐพงศ์ จันทานานนท์  
รหัสประจำตัว 59601277  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-EN-M-093-079

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.เอนก ศิริพานิชกร	
ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร	
ผศ.ดร.อำพน จรัสจรวงเกียรติ	
ผศ.ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 เวลา 14.00-16.00 น.  
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำ
นักศึกษา	นายณัฐพงศ์ จันทานานนท์
รหัสประจำตัว	59601277
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อัญญวิทย์ สุจริตพงศ์

### บทคัดย่อ

ปัญหาการหักโค่นของเสาไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม ซึ่งการหักโค่นของเสาไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์ อาทิ การจราจรติดขัด กระแสไฟฟ้าดับ และถือเป็นความเดือนร้อนร้ายแรงต่อส่วนรวม และ การสูญเสียค่าใช้จ่ายทั้งอุปกรณ์และรายได้ของภาครัฐ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงแนวทางการป้องกันและวิธีการแก้ไขของการหักโค่นอย่างต่อเนื่องของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำ ขนาดที่ทำการวิจัย มีความสูงที่ 12.00 เมตร GW 3.5 ตัน-เมตร , 12.00 เมตร 5.0 ตัน-เมตร และ 12.35 เมตร 6.5 ตัน-เมตร ทั้งสามตัวอย่างนี้จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในแนวแกนเพื่อลดการหักโค่นบริเวณที่โคนเสาโดยทำให้ตำแหน่งการหักให้เลื่อนสูงขึ้นจากโคนเสาไฟฟ้าส่งผลให้น้ำหนักการส่งถ่ายแรงบริเวณที่เกิดการหักโค่นไปยังไฟฟ้าต้นถัดไปเพื่อยับยั้งการหักโค่นของเสาไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องได้ที่สุด

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำโดยเสริมแผ่นเหล็กเข้าไปภายในเสาไฟฟ้าตามระยะความสูงที่ได้ระบุไว้ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการหาขนาดของแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าได้ โดยที่ เสาไฟฟ้าแรงต่ำประเภท 12.00 เมตร GW 3.5 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 6.05 เมตร เสาไฟฟ้าแรงต่ำประเภท 12.00 เมตร 5.0 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 6.00 เมตร และ เสาไฟฟ้าแรงต่ำประเภท 12.35 เมตร 6.5 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 5.30 เมตร

<b>Thesis</b>	A STUDY ON THE USE OF INSERTED REINFORCING STEEL PLATES OF ELECTRICAL POLE IN REDUCING BREAKING DOWN OF LOW ELECTRICAL POLES
<b>Student</b>	Mr.Nattapong Chanthananon
<b>Student ID.</b>	59601277
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Civil Engineer
<b>Year</b>	2019
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof.Atavit Sujaritpong

## ABSTRACT

Nowadays, the breaking down problem of electric poles should be taken into account. This impact would affect to human life such as traffic jams, power outages. It is a serious public outrage and a loss of value for both equipment and revenues. This research focused on the prevention of progressive collapses of low power poles. The sizes of pole are 12.00 meters GW.in height with capacity of 3.5 ton-meters, 12.00 meters with 5.0 ton-meters and 12.35 meters 6.5 ton-meters, respectively. Three examples used the reinforced steel place inserted in pole in order to increase the axial strength of pole that can be able to reduce the impact at the portion nearby base of electric pole. The concept of this research was introduced to move breaking point higher from the base of the electric pole, the higher point would transmit load to the adjacent electric poles that effectively resisted force and inhabit the progressive breaking down.

Therefore, this objective of study was focused on reinforcing steel plates inserted in the electric pole for reducing the mentioned impact of low electric pole which would be the suitable location of reinforced steel inside the power poles as proper as the specific height. This research would be successful only if it could find the proper size of the reinforced steel plate in each samples. The results revealed that the low voltage pole size 12.00 meters, GW 3.5 ton-meters was observed by elevated from the base of 6.05 meters. The low voltage pole size 12.00 meters, 5.0 ton-meters was elevated from base 6.00 meter and the low voltage pole size 12.35 meters low voltage pole, 6.5 ton - meters was elevated from base 5.30 meters.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. อัญฐวิทย์ สุจริตพงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำชี้แนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น  
ระหว่างการดำเนินงาน ตลอดจนให้ความรู้ และประการณที่ตีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ได้ให้แนวคิด คำชี้แนะ ช่วยเหลือในการให้ข้อมูลใน  
ดำเนินการวิจัย และพาไปดูการผลิตเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

ขอขอบคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด  
ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน  
ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจเสมอมาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

ณัฐพงศ์ จันทานานนท์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 วิธีการศึกษา.....	4
1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับการศึกษา.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 การเกิดอุบัติเหตุของเสาไฟฟ้า.....	5
2.1.1 แผ่นเหล็ก Stiffener.....	5
2.1.2 คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กโครงสร้าง.....	7
2.1.3 คุณสมบัติของคอนกรีตโครงสร้าง.....	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.2.1 การศึกษาพฤติกรรมของเสาคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยปลอกเหล็กซึ่งมีครีบกกำลังภายในเมื่อรับแรงอัดในแนวแกน.....	9
2.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลัง..	14
เพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า	
2.2.3 การศึกษาการเสริมกำลัง ด้วยวัสดุ CFRP ในเสาไฟฟ้า เพื่อลดการหักโค่น.....	18
ต่อเนื่อง	
บทที่ 3 วิธีการศึกษา.....	21
3.1 กล่าวนำ.....	21
3.2 ตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ในการวิเคราะห์.....	22
3.2 รูปแบบของการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า.....	23
3.4 ขนาดแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้า.....	24
3.5 ขั้นตอนการวิจัย.....	25

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5.1 แบบเสาไฟฟ้าที่ใช้ขึ้นโมเดลจากโปรแกรม Inventor.....	25
3.5.2 การวางแผนการขึ้นโมเดลของเสาไฟฟ้า.....	28
3.5.2.1 รูปแบบที่ 1 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า.....	28
3.5.2.2 รูปแบบที่ 2 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า.....	30
3.5.2.3 รูปแบบที่ 3 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า.....	32
3.5.2.4 รูปแบบที่ 4 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า.....	34
3.5.3 นำโมเดลเข้าสู่โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์.....	36
3.5.3.1 ใส่องค์ประกอบของวัสดุต่างๆ.....	36
3.5.3.2 กำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์ผล.....	36
3.5.3.3 การแสดงผลวิเคราะห์.....	36
3.6 การหาผลวิเคราะห์การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าโดยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	37
3.6.1 โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	37
3.6.1.1 ขั้นตอน.....	37
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	57
4.1 แนวทางในการวิเคราะห์ผล.....	57
4.2 ลักษณะการเสริมกำลังในการทดสอบตัวอย่างเสาไฟฟ้าแรงต่ำ.....	58
4.2.1 รูปแบบที่ 1 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าใน.....	58
รูปที่ 3.4 ในความหนา 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง	
4.2.2 รูปแบบที่ 2 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าใน.....	62
รูปที่ 3.5 ในความหนา 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง	
4.2.3 รูปแบบที่ 3 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าใน.....	65
รูปที่ 3.6 ในความหนา 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง	
4.2.4 รูปแบบที่ 4 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าใน.....	68
รูปที่ 3.7 ในความหนา 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง	
4.3 ผลของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำแต่ละประเภทที่มีการเสริมกำลังความแข็งแรงภายในเสาไฟฟ้า.....	71
4.3.1 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 1 ของเสาไฟฟ้า.....	72
กำลังต่ำแต่ละประเภทดังแสดงในรูปที่ 5.25	

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3.2 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 2 ของเสาไฟฟ้า.....	72
กำลังต่ำแต่ละประเภทดังแสดงในรูปที่ 5.26	
4.3.2 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 3 ของเสาไฟฟ้า.....	72
กำลังต่ำแต่ละประเภทดังแสดงในรูปที่ 5.27	
4.3.2 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 4 ของเสาไฟฟ้า.....	73
กำลังต่ำแต่ละประเภทดังแสดงในรูปที่ 5.28	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	75
เอกสารอ้างอิง .....	76
ภาคผนวก ก. ....	77
ประวัติผู้เขียน .....	80

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงค่าเริ่มต้นของวัสดุและเงื่อนไขการวิเคราะห์.....	22
2.2 แสดงขนาดของแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้า .....	24
3.3 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW 3.5T-m .....	29
ของรูปแบบที่ 1	
3.4 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m.....	29
ของรูปแบบที่ 1	
3.5 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m.....	29
ของรูปแบบที่ 1	
3.6 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW 3.5T-m .....	31
ของรูปแบบที่ 2	
3.7 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m.....	31
ของรูปแบบที่ 2	
3.8 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m.....	31
ของรูปแบบที่ 2	
3.9 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW 3.5T-m .....	33
ของรูปแบบที่ 3	
3.10 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m.....	33
ของรูปแบบที่ 3	
3.11 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 5.0T-m.....	33
ของรูปแบบที่ 3	
3.12 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW 3.5T-m .....	34
ของรูปแบบที่ 4 -ของแกน Y	
3.13 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m.....	35
ของรูปแบบที่ 4 -ของแกน Y	
3.14 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m.....	35
ของรูปแบบที่ 4 -ของแกน Y	
3.15 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW 3.5T-m .....	35
ของรูปแบบที่ 4 -ของแกน X	

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.16 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m.....	36
ของรูปแบบที่ 4 -ของแกน X	
3.17 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m.....	36
ของรูปแบบที่ 4 -ของแกน X	



# สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงภาพฉายด้านบนของตัวอย่างที่มีการเสริมครีบริบเสริมกำลัง.....	11
2.2 แสดงภาพฉายด้านข้างโดนแสดงรายละเอียดการวางของครีบริบเสริมกำลัง .....	12
2.3 ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหัก.....	14
2.4 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00m. GW ต้นถัดไปเมื่อ.....	15
เสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ	
2.5 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00m. 5T-m ต้นถัดไปเมื่อ.....	15
เสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ	
2.6 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.35m. 6.5T-m ต้นถัดไปเมื่อ .....	16
เสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ	
2.7 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00m. 18T-m ต้นถัดไปเมื่อ .....	16
เสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ	
2.8 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00m. 25T-m ต้นถัดไปเมื่อ .....	17
เสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ	
2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความปลอดภัยกับความสูง ของการเสริม.....	19
ด้วย CFRP ของความสูงเสาไฟฟ้า 12.00m. GW 3.5T-m	
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความปลอดภัยกับความสูง ของการเสริม.....	19
ด้วย CFRP ของความสูงเสาไฟฟ้า 12.00m. 5.0T-m	
2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความปลอดภัยกับความสูง ของการเสริม.....	20
ด้วย CFRP ของความสูงเสาไฟฟ้า 12.35m. 6.5T-m	
3.1 แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW. 3.5T-m.....	25
3.2 แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m.....	26
3.3 แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m.....	27
3.4 แสดงการเสริมเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 1 .....	28
3.5 แสดงการเสริมเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 2 .....	30
3.6 แสดงการเสริมเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 3 .....	32
3.7 แสดงการเสริมเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 4 .....	34
3.8 การตั้งค่าใช้จ่าย .....	38
3.9 แสดงการขึ้นโมเดล .....	38
3.10 แสดงการวาดสี่เหลี่ยมของเสาไฟฟ้าในระบบ 2D.....	39
3.11 แสดงการเปลี่ยน จากระบบ 2D ให้เป็น 3D .....	39

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 แสดงการเก็บรายละเอียดของเสาไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือต่างๆ.....	40
3.13 แสดงการขึ้นโมเดล.....	41
3.14 ตัวอย่างการเสริมเหล็ก.....	42
3.15 แสดง Function การตรวจสอบโมเดล.....	43
3.16 แสดงเข้าโหมดการบันทึกโปรแกรม.....	44
3.17 แสดงการบันทึกของนามสกุล File.....	45
3.18 แสดงหน้าจอเมื่อเปิดโปรแกรมวิเคราะห์.....	46
3.19 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าโหมดคำสั่ง Static Structure.....	47
3.20 แสดงการนำ File โมเดลเข้าสู่โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	48
3.21 แสดงการตั้งค่าวัสดุต่างๆ ของโปรแกรม.....	49
3.22 แสดงการทดสอบการเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้า.....	50
3.23 แสดงรายละเอียดโปรแกรมเมื่อเข้าสู่การวิเคราะห์ผล.....	51
3.24 แสดงรายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์ของตัววัสดุเสาไฟฟ้า.....	52
3.25 แสดงรายละเอียดวิธีการแบ่งเอลิเมนต์.....	53
3.26 แสดงการใส่เงื่อนไขของตัวอย่างทดสอบ.....	54
3.27 (ก.)แสดงการใส่แรงโน้มถ่วง (ข.)แสดงการใส่แรงอัดตามพฤติกรรม.....	55
(ค.)แสดงการใส่แรงด้านข้าง (ง.)แสดงจุดยึดของโครงสร้าง	
3.28 (ก.)แสดงผลของการวิเคราะห์สามารถคาดการณ์ของการหักของโครงสร้างเสาไฟฟ้าได้.....	56
3.28 (ข.)แสดงผลแบบละเอียดของอัตราส่วนความปลอดภัยจะมีแนวโน้มของการลดลงและ.....	56
เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความปลอดภัย	
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับค่าความสูง เสาไฟฟ้าขนาด.....	58
12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับค่าความสูง เสาไฟฟ้าขนาด.....	59
12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับค่าความสูง เสาไฟฟ้าขนาด.....	59
12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับค่าความสูง เสาไฟฟ้าขนาด.....	60
12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับค่าความสูง เสาไฟฟ้าขนาด.....	60
12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด..... 61 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด..... 62 12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด..... 62 12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด..... 63 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 63 12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 64 12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 64 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 65 12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 65 12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 66 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 66 12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 67 12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 67 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 68 12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 68 12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 69 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร	
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 69 12.00. 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 70 12.00. 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด .. 70 12.35. 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร	
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภท.. 71 ในรูปแบบที่ 1	
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภท.. 72 ในรูปแบบที่ 2	
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภท.. 72 ในรูปแบบที่ 3	
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภท.. 73 ในรูปแบบที่ 4	
ก.1 แบบแสดง EP. 12.00m. GW. .... 77	
ก.2 แบบแสดง EP. 12.00m. 5T-m เสริมเหล็ก DB ..... 78	
ก.3 แบบแสดง EP. 12.00m. 6.5T-m ..... 89	

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันการจราจรโดยสาร รถประจำทาง รถส่วนบุคคล หรือ ทางเรือ ก็ดี มีจำนวนผู้ขับขี่ด้วยอัตราความเร็วที่เพิ่มมากขึ้นผู้ขับขี่บางรายไม่ได้คำนึงถึงความปลอดภัยทั้งชีวิตและทรัพย์สินผู้อื่น เมื่อเกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้นมักจะมีความปลอดภัย ทั้งชีวิตและทรัพย์สิน จากเหตุการณ์ต่างๆ บนหน้าจอโทรทัศน์ ซึ่งการเกิดอุบัติเหตุในปัจจุบัน กรณีที่มีรถชนเสาไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อเสาไฟฟ้านั้นเกิดการหักโค่นล้มลงมาบนท้องถนน อาจส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมถึงความปลอดภัยของผู้ที่ขับขี่อยู่บนท้องถนน ณ ขณะนั้น ประเด็นที่สำคัญ คือ เสาไฟฟ้านั้นเกิดการล้มลงต่อกันกันมาเรื่อยๆ ซึ่งส่งผลมาจากเสาต้นใดต้นหนึ่งเกิดการหักโค่นสายไฟฟ้าที่พาดระหว่างต้นต่อต้นนั้นเกิดการดึงซึ่งกันและกัน เป็นสิ่งที่อันตรายเป็นอย่างมากในบริเวณโดยรอบที่มีการหักโค่นของเสาไฟฟ้า การหยุดของเสาไฟฟ้าจะหยุดก็ต่อเมื่อ เสาต้นใดต้นหนึ่งที่สามารถรับแรงกระทำที่เกิดขึ้นจากการส่งถ่ายแรงจากต้นที่เกิดอุบัติเหตุไปยังต้นถัดไปทำให้เกิดโมเมนต์ที่ฐานเสาไฟฟ้าถ้าบริเวณฐานเสาไฟฟ้านั้นสามารถต้านทานแรงกระทำที่เกิดขึ้นได้เสาไฟฟ้าต้นที่รับแรงก็จะหยุดการหักโค่นของเสาไฟฟ้าหรือเลื่อนจุดหักจากบริเวณฐานเสาไฟฟ้าขึ้นไปด้านบนเพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตในส่วนที่เกิดการหักโค่นถ่ายแรงไปยังต้นถัดไปให้น้อยลงก็จะส่งผลให้เสาต้นถัดไปนั้นไม่เกิดการหักโค่นของเสาไฟฟ้าต่อไปหรือจะเป็นสายไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้าที่มีความยาวมากและเกิดการหย่อนของสายไฟฟ้า ทำให้แรงที่เกิดขึ้นถูกสายไฟฟ้าดูดซับแรงแรงที่ส่งถ่ายไปยังต้นถัดไปนั้นมีย่าน้อยลงที่จะไม่ทำให้เกิดการหักโค่นของเสาไฟฟ้าต้นถัดไป หรือจะเป็นสายไฟฟ้าเกิดการขาดออกจากกันส่งผลให้เสาไฟฟ้าต้นถัดไปไม่เกิดการหักโค่น หลังจากที่เกิดการหักของเสาไฟฟ้าสิ่งที่ตามมา คือ ไฟฟ้าดับเป็นวงกว้างเนื่องจากทางการไฟฟ้าต้องมีการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าเนื่องด้วยความปลอดภัยของประชาชนและทรัพย์สิน รวมไปถึงผู้ปฏิบัติงานของการไฟฟ้าที่เข้ามาซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เกิดความเสียหายและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ผู้บริการอย่างรวดเร็วในการตัดกระแสไฟฟ้าจะมีผลกระทบในวงกว้างสร้างความเดือนร้อนให้กับผู้ใช้บริการ รวมถึงรายรับของการไฟฟ้าที่สูญเสียรายได้ ณ ตอนที่ตัดกระแสไฟฟ้า ยังไม่รวมไปถึงการดำเนินการต่อเชื่อม การขนย้ายเสาต้นใหม่ ขนย้ายต้นเก่าออก ค่าตอกเสาเข็มต้นใหม่ ค่าน้ำมัน ค่าแรง เป็นต้น ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นต้องมีผู้รับผิดชอบ โดยผู้รับผิดชอบนั้นก็เป็นผู้ที่ขับรถชนเสาไฟฟ้าเสียหาย รวมไปถึงกาฟ้องร้องคดีที่ไม่สามารถตกลงกันได้ของฝั่งโจทก์และฝั่งจำเลย ทำให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้านั้นต้องสูญเสียเวลาและค่า ใช้จ่ายเองทั้งหมด ถ้าผู้รับผิดชอบนั้นไม่สามารถหาเงินมาจ่ายได้จริงตามมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นผลเสียสำหรับการไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียรายได้ในกรณีนี้เป็นอย่างมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าสามารถช่วยลดปัญหาของเสาไฟฟ้าหักโค่นได้ในกรณีต่างๆ จะสามารถลดค่าใช้จ่ายของการไฟฟ้าที่ไม่สามารถเรียกเก็บเงินกับผู้รับผิดชอบได้ หรือ จะช่วยลดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากอุบัติเหตุของผู้กระทำความผิดที่ทำให้เสาไฟฟ้าหักโค่น และสามารถช่วยลดระยะเวลาในการติดตั้งและซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกิดความเสียหายจากอุบัติเหตุ

ซึ่งงานวิจัยนี้จะศึกษาการเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าด้วยแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้า เพื่อ เพิ่มกำลังต้านทานแรงกระทำหรือโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ฐานเสาไฟฟ้า ให้เกิดการหักโค่นของเสาไฟฟ้ายับยั้งจุดการหักของเสาไฟฟ้าให้สูงขึ้นจากฐานเสาไฟฟ้าไปยังจุดที่บังคับให้เกิดการหักเพื่อจะสามารถลดแรงกระทำที่เกิดจากการหักของเสาไฟฟ้าของต้นที่มีการเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าส่งถ่ายแรงไปยังเสาไฟฟ้าต้นถัดไปที่ไม่มีการเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าหรือเสาไฟฟ้าที่ไม่มีการปรับปรุงคุณสมบัติ ให้เกิดแรงกระทำที่ส่งถ่ายที่น้อยลงที่สามารถต้านทานแรงที่เกิดขึ้นได้ในที่สุดก็จะเป็นผลที่ทำให้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่าย ควบคุมอุบัติเหตุในวงที่จำกัด รวมไปถึงการประหยัดระยะเวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ที่เกิดควบเสียหายให้รวดเร็วยิ่งขึ้น ส่งผลถึงทางอ้อมช่วยลดมูลค่าความเสียหายที่เกิดจากรายรับในการให้บริการของการไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายในอื่นๆ ได้ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ จะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเงื่อนไขต่างๆ ของการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หลังจากที่ได้วิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ จะสามารถตอบสนองความต้องการและปัญหาที่เกิดขึ้นได้ในปัจจุบัน ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะแบ่งเป็น 3 ลักษณะ เสาไฟฟ้าประเภทที่ 1 เสาไฟฟ้าแรงต่ำชนิดความสูง 12.00 เมตร GW 3.5 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 6.05 เมตร , เสาไฟฟ้าประเภทที่ 2 เสาไฟฟ้าแรงต่ำชนิดความสูง 12.00 เมตร 5.0 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 6.00 เมตร , เสาไฟฟ้าประเภทที่ 3 เสาไฟฟ้าแรงต่ำประเภท 12.35 เมตร 6.5 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 5.30 เมตร ดังนั้นเสาไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภทนี้จะถูกทดสอบโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา โดยมีแนวคิดที่ว่า การหักของเสาไฟฟ้าในปัจจุบันมักจะหักที่ตำแหน่งฐานที่ติดกับพื้นดินซึ่งเสาแต่ละประเภทจะมีกำลังในการต้านทานโมเมนต์ที่ฐานเสาไฟฟ้าต่างกันออก ซึ่งการวิจัยนี้จะเพิ่มกำลังของเสาไฟฟ้าให้มีแรงต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่ปลายสุดของการเสริมกำลังให้มีแรงต้านทานเท่ากับเท่าเดิมของเสาไฟฟ้า คือ 3.5 ตัน-เมตร 5.0 ตัน-เมตร

และ 6.5 ตัน-เมตร ตามลำดับ เพื่อที่จะบังคับการหักของเสาไฟฟ้าให้มีน้ำหนักที่ส่งถ่ายไปยังต้น  
 ถัดไปให้น้อยลงในงานวิจัยนี้

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.) ศึกษาความเหมาะสมและชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้า
- 2.) ศึกษาบังคับการหักโค่นของเสาไฟฟ้าในแต่ละประเภทในตำแหน่งที่เหมาะสมและ  
 พิจารณาผลของการวิเคราะห์เสาไฟฟ้าที่เสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่สามารถลดการ  
 หักโค่นได้
- 3.) ศึกษาวิธีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าแต่ละชนิดได้
- 4.) ศึกษาและนำวิธีที่ได้จากทดสอบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และแนวทางนำไป  
 ทดสอบในห้องปฏิบัติการให้ได้ตามผลที่ต้องการ

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.) การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าจะใช้โปรแกรมในการเสริมแผ่นเหล็กเสริม  
 กำลังเข้าไปภายในเสาไฟฟ้าในขนาดปกติที่ใช้ในปัจจุบัน
- 2.) การวิเคราะห์ผลของเสาไฟฟ้าที่เสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังจะใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์  
 ทดสอบ
- 3.) บริเวณส่วนของเสาไฟฟ้าที่อยู่ใต้พื้นดินจะพิจารณาพฤติกรรมฐานรองรับเป็นแบบ  
 ยึดแน่น
- 4.) การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังจะเสริมตั้งแต่ระดับฐานของเสาไฟฟ้าจนถึงจุดที่กำหนดไว้
- 5.) เสาไฟฟ้าที่วิเคราะห์จะเป็นเสาไฟฟ้าประเภทแรงต่ำ
- 6.) ขนาดของเสาไฟฟ้าจะมีความยาว 12.00 เมตร และ 12.35 เมตร
- 7.) เสาไฟฟ้าที่ทำการเสริมกำลังจะใช้แรงต้านทานของเสาไฟฟ้าที่ระบุไว้มาใช้วิเคราะห์ผล  
 ดังนี้
  - เสาไฟฟ้า 12.00 m.GW กำลังต้านทานโมเมนต์ 3.5 Ton-m
  - เสาไฟฟ้า 12.00 m. กำลังต้านทานโมเมนต์ 5.0 Ton-m
  - เสาไฟฟ้า 12.35 m. กำลังต้านทานโมเมนต์ 6.5 Ton-m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 แนวทางการศึกษา

- 1.) ศึกษาสืบค้นมาตรฐาน ตัวแปร และ พารามิเตอร์ ที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์
- 2.) ศึกษาทฤษฎีและหลักการรวมไปถึงการวิเคราะห์โครงสร้างที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ
- 3.) ศึกษาตัวโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองและตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
- 4.) การสร้างแบบจำลองของตัวอย่าง
  - 4.1 ลักษณะของแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่มีขนาดต่างก็นำมาเปรียบเทียบกัน
- 5.) ทำการสร้างแบบจำลองและใส่ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์โครงสร้าง
- 6.) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลจากแบบจำลองโครงสร้างอาคาร
- 7.) ข้อเสนอแนะในข้อจำกัดของการวิเคราะห์โครงสร้าง

#### 1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา

- 1.) สามารถลดการหักของเสาไฟฟ้าได้ ตามที่ควบคุม
- 2.) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเสาไฟฟ้าใหม่อยู่ในเกณฑ์ที่ผู้รับผิดชอบสามารถจ่ายได้
- 3.) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในที่สุด
- 4.) สามารถเปรียบเทียบความคุ้มค่าระหว่างการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังกับวัสดุสังเคราะห์เส้นใยคาร์บอนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1. การเกิดอุบัติเหตุของเสาไฟฟ้า

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ประสบปัญหาจากปัจจัยภายนอกมากกระทำกับเสา/สายไฟฟ้าของ กฟน. เป็นเหตุให้เสาไฟฟ้าหัก/โค่นล้มเป็นจำนวนหลายต้นต่อเหตุการณ์ โดยพบว่าปัจจัยภายนอกที่มากกระทำส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากรถชนเสาไฟฟ้า รถเกี่ยวสายไฟฟ้าหรือสายสื่อสาร และต้นไม้ล้มทับเสา/สายไฟฟ้าตามลำดับ ส่งผลกระทบให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟน. ได้รับความเดือดร้อนไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นระยะเวลานาน และเกิดอันตรายต่อประชาชนทั่วไปจากเสา/สายไฟฟ้าที่หัก

##### 2.1.1 แผ่นเหล็ก Stiffener

แผ่นเหล็กจัดเป็นเหล็กโครงสร้างประเภทหนึ่งซึ่งเหล็กโครงสร้าง (Structural Steel) เป็นโลหะที่ได้จากการนำเอาแร่เหล็ก (Iron Ore) มาถลุงในเตาถลุง (Blast-furnace) ซึ่งจะได้ผลผลิตออกมาเป็นเหล็กดิบ (Pig iron) เมื่อนำเหล็กดิบมาผสมกับคาร์บอนและสารชนิดอื่นๆและผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพเหล็กแล้ว เราจะได้เหล็กที่ใช้ในงานโครงสร้าง 3 ประเภทคือ เหล็กเหนียว (Wrought iron) เหล็กกล้า (Steel) และเหล็กหล่อ (Cast Iron)

2.1.1.1 เหล็กเหนียว (Wrought iron) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 0.1% มีกำลัง (Strength) ต่ำแต่มีความเหนียว (Ductility) สูงซึ่งทำให้เหล็กชนิดนี้ถูกแปลงรูปร่างได้ง่ายและรับแรงกระทำซ้ำได้ดี

2.1.1.2 เหล็กกล้า (Steel) เป็นโลหะผสม (Alloy) โดยทั่วไปเหล็กกล้าหมายความว่า "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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชีวิตประจำวันของคนเราได้อย่างหลากหลาย ด้วยต้นทุนที่ต่ำ เพื่อให้ขายได้ในระดับราคาที่คนทั่วไปซื้อหามาใช้ได้ ซึ่งนับว่ามีข้อได้เปรียบดีกว่าวัสดุอื่น ๆ มาก

- Carbon steel จะเป็นเหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2% ถึง 2% แต่โดยทั่วไปแล้วจะมี ปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 1.2% คุณสมบัติของเหล็กชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่โดยที่ปริมาณคาร์บอนจะมีผลต่อกำลังและความแข็งแรงและความเหนียวของเหล็กกล้าชนิดนี้
- Alloy steel จะเป็นเหล็กกล้าที่มีคุณสมบัติไม่ขึ้นอยู่กับคาร์บอนเป็นหลัก แต่จะขึ้นอยู่กับสารชนิดอื่น ๆ ด้วยเช่น silicon, sulfur, phosphorous และ manganese เป็นต้น เหล็กกล้าเป็น เหล็กที่ใช้ในงานโครงสร้างเป็นหลัก

2.1.1.3 เหล็กหล่อ (Cast iron) คือเหล็กที่มีปริมาณธาตุคาร์บอนมากกว่า 1.7% หรือ 2% เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 2.2% ถึง 4.5% มีกำลังต้านทานต่อแรงกดอัดและความแข็งแรงของผิวสูง แต่มีกำลังรับแรงดึงที่ต่ำและเป็นวัสดุเปราะจึงไม่สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการรีดหรือวิธีทางกลอื่น ๆ ได้ เรายังสามารถแบ่งย่อยเหล็กหล่อออกได้อีกหลายประเภท โดยพิจารณาจากโครงสร้างทางจุลภาค กรรมวิธีทางความร้อน ชนิดและปริมาณของธาตุผสม ได้แก่ เหล็กหล่อเทา (grey cast iron), เหล็กหล่อขาว (white cast iron), เหล็กหล่อกราฟไฟต์กลมหรือเหล็กหล่อเหนียว (spheroidal graphite cast iron, ductile cast iron), เหล็กหล่ออบเหนียว (malleable cast iron), เหล็กหล่อโลหะผสม (alloy cast iron)

## 2.1.2 คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กโครงสร้าง

คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กโครงสร้างได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ กำลังรับแรงดึง มอดูลัสยืดหยุ่น มอดูลัสเฉือน สัมประสิทธิ์การยืดและหดตัว

### 2.1.2.1 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

โดยทั่วไปเหล็กจะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 7.85 เหล็กที่ผลิตมีหลายชนิดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและความสามารถในการรับน้ำหนักต่างกัน เหล็กที่นิยมใช้ในงานโครงสร้าง ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งเหล็กประเภทนี้ยังจำแนกได้เป็นหลายชนิด เช่น SS400, SM400, A36, A53, A570 เป็นต้น การเลือกใช้เหล็กชนิดต่างๆ จึงต้องพิจารณาคุณสมบัติให้ตรงกับประเภทของงานที่ต้องการ

### 2.1.2.2 กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)

กำลังรับแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength) และกำลังรับแรงดึงประลัย (Ultimate Tensile Strength) ของเหล็กขึ้นอยู่กับประเภทของเหล็ก สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนจะมีกำลังรับแรงดึงที่จุดครากอยู่ที่ประมาณ 175 ถึง 295 MPa และมีกำลังรับแรงดึงประลัยอยู่ที่ 316 ถึง 620 Mpa ในขณะที่เหล็กกล้ากำลังสูงจะมีค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดครากและกำลังรับแรงดึงประลัยสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนกล่าวคือกำลังรับแรงดึงที่จุดครากและกำลังรับแรงดึงประลัยของเหล็กกล้ากำลังสูงมีค่าประมาณ 281 ถึง 457 Mpa และ 421 ถึง 562 MPa

### 2.1.2.3 มอดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นคืออัตราส่วนของหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ต่อความเค้น (Strain) ในช่วงที่ความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงและความเค้นของเหล็กยังคงเป็นเส้นตรง ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเค้นของเหล็กโครงสร้าง โดยทั่วไปค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กจะมีค่าเท่ากับ 204 GPa

#### 2.1.2.4 มอดุลัสแรงเฉือน (Shear Modulus)

ค่ามอดุลัสแรงเฉือนของเหล็กโครงสร้าง (Shear Modulus,  $G$ ) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$G = E/2(1 + \nu)$$

โดยที่ค่า  $E$  คือมอดุลัสยืดหยุ่นของเหล็กดิ่งที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1.2.3

$\nu$  คือค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ของเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.3

#### 2.1.3 คุณสมบัติของคอนกรีตโครงสร้าง

2.1.3.1 กำลังดึงของคอนกรีต Tensile Strength โดยทั่วไปจะมีค่าต่ำมากประมาณ 7-11 % ของกำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปแล้วมักจะไม่ได้คิดแรงดึงในการคำนวณ อย่างไรก็ตามในโครงสร้างบางชนิดที่ไม่ต้องการให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว เนื่องจากต้องป้องกันน้ำซึม เช่น ถังน้ำ เขื่อน หรือในกรณีที่ไม่เสริมเหล็ก เช่น ถนน สนามบิน เป็นต้นจำเป็นต้องใช้แรงดึงของคอนกรีตในการช่วยออกแบบ

2.1.3.2 ในการทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตนั้น มักไม่นิยมใช้การทดสอบโดยตรง เนื่องจากความยุ่งยากในการทดสอบ และทำให้ได้ค่าไม่แน่นอนนัก ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบหากำลังดึงของคอนกรีตโดยทางอ้อม โดยการทำการทดสอบกำลังดัด หรือทดสอบหากำลังดึงแยก ในการทดสอบกำลังดึงแยกนั้น ได้ใช้ตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร วางในแนวนอนในเครื่องทดสอบ กำลังดึงแยกจากการทดสอบนี้จะมีค่าประมาณ 8-14 % ของกำลังอัดของคอนกรีต

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

เมื่อ  $T$  = กำลังดึงแยก, กก./ซม.<sup>2</sup>

$P$  = แรงกดสูงสุด, กก.

$l$  = ความยาวของชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

$d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างรูปทรงกระบอก, ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Ravi Prakash Khandelwal , Anupam Chakrabarti , Pradeep Bhargava  
Thin-Walled Structures ฉบับที่ 82 เดือน ตุลาคม ปีที่พิมพ์ 2014 หน้าที่ 132-144 การศึกษา  
พฤติกรรมของเสาคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยปลอกเหล็กซึ่งมีครีบริมกำลังภายในเมื่อรับแรงอัดใน  
แนวแกน

เสาคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสหน้าตัดจะลดรูปจนใช้ปลอกเหล็กหุ้มตัวเสาและมีแผ่นครีบริม  
เสริมกำลังภายในอยู่แปดลักษณะ และกรณีไม่มีแผ่นครีบริมเหล็กเสริมกำลังภายในอยู่สองลักษณะ  
ถูกนำมาทดสอบรับแรงอัดในแนวแกน สเปกตรัมของกรณีใช้แผ่นครีบริมเหล็กเสริมกำลังและครีบริมเหล็ก  
รับแรงดึงถูกนำมาช่วยในลดการโก่งเดาะเฉพาะที่ในปลอกเหล็กห่อหุ้มเสาคอนกรีต รูปแบบการวิบัติ  
ของคอนกรีตและปลอกเหล็กห่อหุ้มเสารวมถึงความแข็งแรงและความเหนียว ซึ่งถูกพิจารณาใน  
การศึกษานี้ได้และแสดงอยู่ในข้อมูลการทดสอบ นอกจากนี้ยังพบว่าโปรแกรมทดสอบสร้าง  
แบบจำลองโครงสร้างมีความสอดคล้องกับข้อมูลกับการทดลองในห้องปฏิบัติการของแผ่นครีบริม  
เหล็กในการลดการโก่งเดาะเฉพาะที่ การศึกษาวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติ  
ทางกลของแผ่นเหล็กเสริมกำลังของปลอกเหล็กหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสเสริมกำลังด้วยครีบริมได้ถูกนำมา  
พิจารณาร่วมในการศึกษานี้ด้วย

ในโครงสร้างเสาคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีการใช้ปลอกเหล็กห่อหุ้มตัวเสาซึ่งใช้วัสดุที่  
กำหนดโดยมีคุณสมบัติและข้อกำหนดตามตารางเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสร้างตัวอย่างใน  
การทดลอง อย่างไรก็ตามแรงกระจายด้านข้างที่ไม่สม่ำเสมอที่กระทำกับตัวปลอกเหล็กที่ห่อหุ้มตัวเสา  
สี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งแรงกระทำด้านข้างนี้ส่วนของพฤติกรรมที่ช่วงกลางมีความอ่อนแอกว่าพฤติกรรมที่  
ช่วงมุม ในทางกลับกันปลอกเหล็กที่มีแนวโน้มความกว้างต่อความหนาที่มีอัตราส่วนที่มากทำให้  
พฤติกรรมเหล่านี้ของคอนกรีตและปลอกเหล็กมีผลให้วัสดุสองตัวที่รวมกันในการรับน้ำหนักเกิดการ  
เสียเปรียบทางด้านทางกล ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุที่เป็นคอนกรีตกับเหล็กมีนักวิชาการได้ทำ  
ตารางเกี่ยวกับวัสดุที่รวมกันขึ้นไว้

แผ่นเหล็กมักนิยมใช้มากที่สุดไว้ห่อหุ้มตัวเสาคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นได้มีการ  
การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการโก่งเดาะเฉพาะที่ของตัวเสาคอนกรีตหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ได้ใส่แผ่น  
เหล็กหรือปลอกเหล็กเพื่อช่วยต้านทานการโก่งเดาะของตัวเสาคอนกรีตและด้านในของตัวเสา  
คอนกรีตยังมีครีบริมเสริมกำลังภายในเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กหรือปลอกเหล็กด้านนอกเพื่อลดการ  
โก่งงอของแผ่นเหล็กหรือปลอกเหล็ก หลังจากการเกิดแผ่นดินไหวที่ จังหวัดเฮียวโงะ ประเทศญี่ปุ่น มี  
การแนะนำให้มีการสร้างปลอกเหล็กห่อหุ้มตัวเสาหรือตอม่อ บนท่าเรือและสะพานต่างๆ วัสดุที่

นำมาใช้เป็นเหล็กขึ้นรูปเย็นและนำมาประกอบกันโดนการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายและสะดวก รวดเร็วต่อการสร้างแบบ ซึ่งผลการทดสอบเห็นว่าภายใต้แรงอัดการเสียรูปของตัวโครงสร้างมีอัตราที่ต่ำซึ่งสรุปได้ว่าการเสริมเหล็กที่เป็นปลอกเหล็กห่อหุ้มตัวเสาคอนกรีตและมีครีบริมเสริมกำลังอยู่ภายในเพิ่มประสิทธิภาพสามารถปรับปรุงความแข็งแรงและความเหนียวให้ดีขึ้นได้รวมถึงการต้านทานแรงที่เกิดจากแผ่นดินไหวอีกด้วย อย่างไรก็ตามโครงสร้างเหล่านี้ในคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานภายในตัววัสดุทั้งสองชนิด คือ คอนกรีตและตัวแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่มาช่วยในคุณสมบัติของคอนกรีต ซึ่งไม่สามารถรับประกันได้ว่าถ้าตัวคอนกรีตมีการขยายตัวของตัวมันเองอาจส่งผลให้แผ่นเหล็กส่วนต่างๆไม่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเสาคอนกรีตนั้นได้เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากกระบวนการผลิตซึ่งอาจมีความเครียดตกค้างระหว่างรอยเชื่อมเกิดขึ้นได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งแผ่นเหล็กที่มีขนาดที่หนา

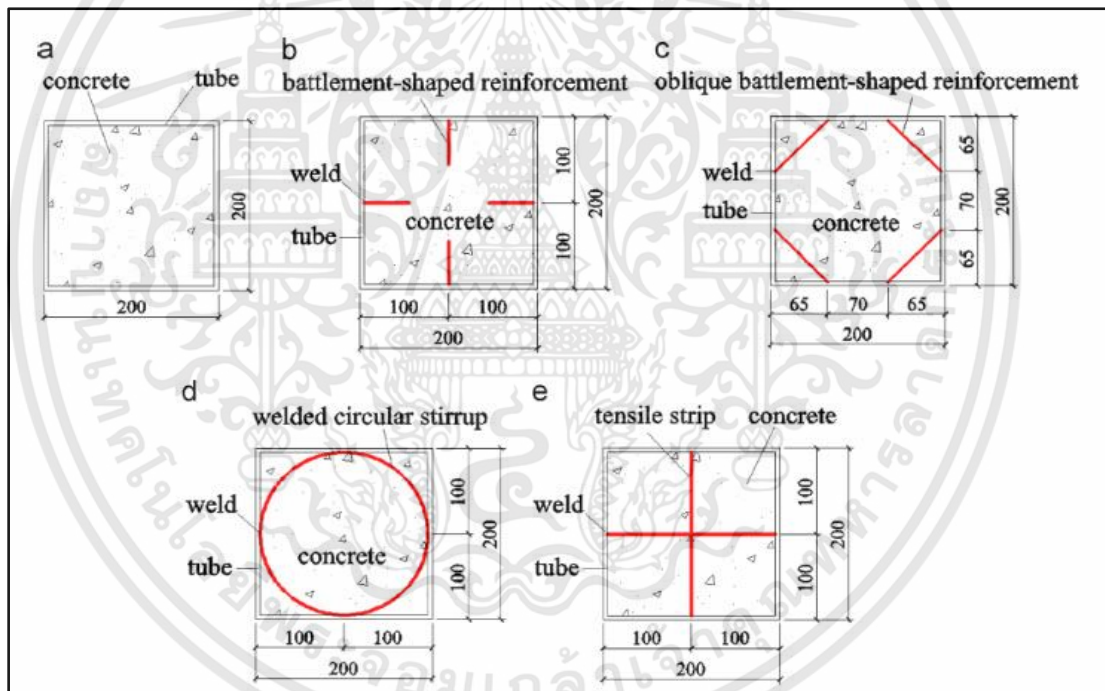
ดังนั้นเพื่อปรับปรุงแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่เป็นส่วนประกอบของคอนกรีตได้มีการจัดรายละเอียดคุณสมบัติของตัวเหล็กชนิดรับแรงดึงไว้ในตาราง การศึกษาในทางปฏิบัติชิ้นส่วนของปลอกเหล็กที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ชิ้นส่วนของแผ่นเหล็กมาประกอบกันซึ่งต่อกันด้วยรอยเชื่อมติดกันในการทดลองมีพฤติกรรมของตัวอย่างมีลักษณะที่ไม่มั่นคงมีการโยกได้ของตัวอย่างหรือเมื่อเกิดการรับแรงไปและไม่คืนกลับในสถานะเดิม อย่างไรก็ตามหรือมีพฤติกรรมคล้ายพลาสติกก็ตามมีการปรับปรุงข้อเสียในส่วนนี้โดยการเพิ่มแผ่นเหล็กหรือแผ่นเสริมกำลังอยู่ในช่องว่างของปลอกเหล็กเพื่อยึดตัวโครงสร้างของปลอกเหล็กไม่ให้มีพฤติกรรมเป็นพลาสติกเมื่อยังไม่ถึงจุดที่เป็นพลาสติกของตัววัสดุ

การวิจัยก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นว่า ครีบริมเสริมกำลังสามารถช่วยลดการเกิด การโก่งเดาะเฉพาะที่และยังสามารถเพิ่มความแข็งแรง ความเหนียว อย่างไรก็ตามครีบริมเสริมกำลังยังมีข้อจำกัดในประสิทธิภาพของครีบริมเสริมกำลังชนิดใหม่ๆได้มีงานวิจัยทดลองก่อนหน้านี้ของผู้เขียนรายหนึ่งในปี 2012 ซึ่งผลเบื้องต้นในการรับแรงของครีบริมเสริมกำลังพบว่าครีบริมบางชนิดสามารถเพิ่มกำลังรับแรงดึงของเหล็กได้บางส่วนก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มกำลัง

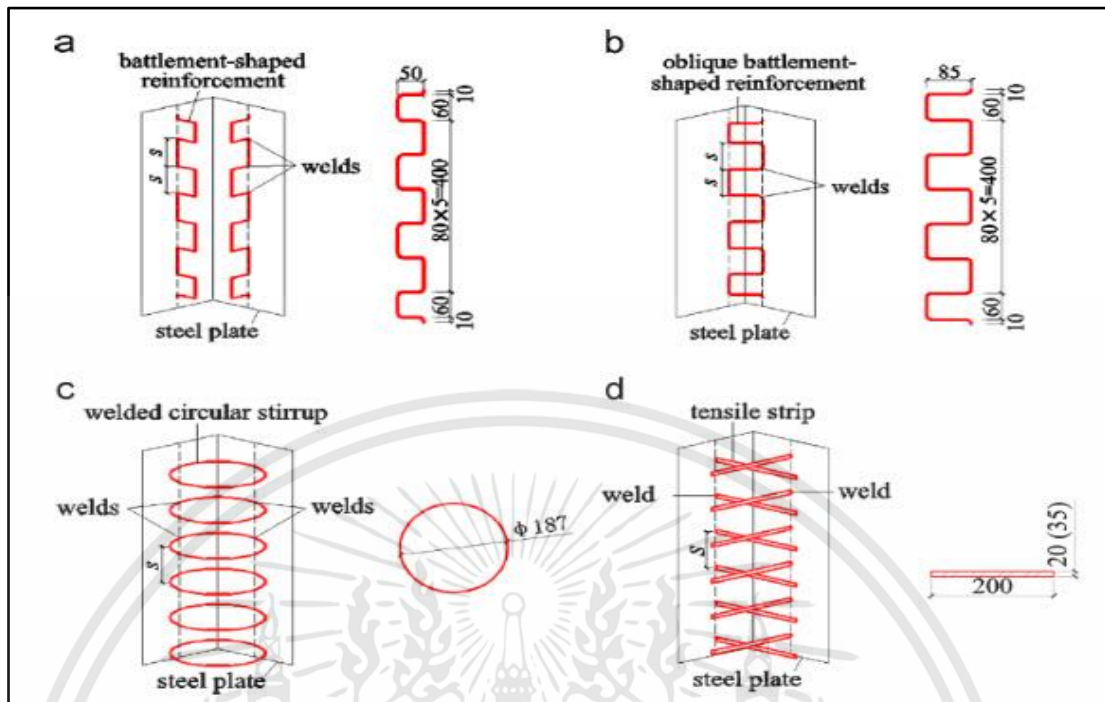
การศึกษาในเอกสารนี้ได้ดำเนินการตรวจสอบพฤติกรรมของปลอกเหล็กที่ห่อหุ้มตัวคอนกรีตและเหล็กเสริมกำลังตามตารางเหล็ก บนพื้นฐานของการทดสอบซึ่งก่อนหน้านี้มีผู้เขียนเกี่ยวกับการเกิด การโก่งเดาะเฉพาะที่ของคุณสมบัติและข้อจำกัดของคอนกรีต การทดลองวิจัยเกี่ยวกับครีบริมเสริมกำลังและเหล็กปลอกนี้เป็นกรณีวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งศึกษาบนตัวแปรต่างๆ เช่น ความแข็งแรงเมื่อมีการรับแรง ปริมาณการใช้วัสดุ และ ประเภทของตัวเหล็กเสริมกำลัง

การศึกษาในเอกสารนี้ได้ดำเนินการตรวจสอบพฤติกรรมของปลอกเหล็กที่ห่อหุ้มตัวคอนกรีตและเหล็กเสริมกำลังตามตารางเหล็ก บนพื้นฐานของการทดสอบซึ่งก่อนหน้านี้นี้มีผู้เขียนเกี่ยวกับการเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของคุณสมบัติและข้อจำกัดของคอนกรีต การทดลองวิจัยเกี่ยวกับครีบริมกำลังและเหล็กปลอกนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งศึกษาบนตัวแปรต่างๆ เช่น ความแข็งแรงเมื่อมีการรับแรง ปริมาณการใช้วัสดุ และ ประเภทของตัวเหล็กเสริมกำลัง

สุดท้ายนี้เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ การเสริมครีบริมในปลอกเหล็กเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพนั้นได้ผลที่ดีกับตัวอย่างการทดสอบ ซึ่งเหล็กครีบริมกำลังอันแรกที่ทำการศึกษาทดสอบเป็นครีบริมลักษณะเป็นรูปวงกลมเสริมในปลอกเหล็ก รวมไปถึงการเขียนกราฟระหว่างแรงกับระยะการเคลื่อนตัว เพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้น จากการทดสอบและสังเกตการเกิดการโก่งเดาะเฉพาะที่ของตัวอย่างการทดสอบของตัวปลอกเหล็กเป็นการวิเคราะห์เชิงตัวเลข



รูปที่ 2.1 แสดงภาพฉายด้านบนของตัวอย่างที่มีการเสริมของครีบริมกำลัง



รูปที่ 2.2 แสดงภาพฉายด้านข้างโดยแสดงรายละเอียดการวางของครีบริมกำลัง

### ผลการศึกษาดังนี้

1. ครีบริมกำลังภายในคอนกรีตสามารถช่วยชะลอหรือป้องกันการเกิดกาโง่งเตาะเฉพาะที่ของปลอกเหล็กได้ อย่างไรก็ตามสำหรับอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาที่  $b/t=100$  นั้นยังมีการเกิดการโง่งเตาะเฉพาะที่ของตัวอย่างอยู่แม้กระทั่งใส่ตัวครีบริมกำลังแล้วการไม่สามารถยับยั้งการเกิดการโง่งเตาะเฉพาะที่ของตัวอย่างได้ ในทางกลับกันถ้าเพิ่มความหนาของตัวปลอกเหล็กที่ห่อหุ้มตัวคอนกรีตไว้ที่มีอัตราส่วนความกว้างต่อความหนา  $b/t=57$  นั้นถ้าไม่มีการเสริมครีบริมเหล็กเข้าไปภายในคอนกรีตการเกิดการโง่งเตาะเฉพาะที่ก็ยังมิอยู่ถ้าทำการเสริมครีบริมเข้าไปในตัวปลอกเหล็กจะทำให้ไม่เกิดการโง่งเตาะเฉพาะที่ของตัวอย่างการทดสอบ
2. ครีบริมกำลังที่มีลักษณะการวางเป็นรูปบวก ครีบริมกำลังที่มีลักษณะการวางเฉียงทำมุม 45 องศา ระหว่างมุมของปลอกเหล็ก และ ครีบริมกำลังที่มีลักษณะเป็นวงกลม ครีบริมเหล็กทั้งหมดนี้สามารถปรับปรุงความเหนียวของตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมครีบริมกำลังอยู่ภายในซึ่งสามารถเพิ่มความเหนียวได้ถึง 35-126 เปอร์เซ็นต์
3. โปรแกรมสร้างแบบจำลองโดยมีการออกแบบโมเดลเหมือนตัวอย่างการทดสอบ ที่ไว้ทำนายการเกิดการโง่งเตาะเฉพาะที่ของตัวอย่างได้แสดงข้อมูลที่มีความแม่นยำและถูกต้องมีความสอดคล้องกับตัวอย่างการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวแปรของแบบจำลอง โดยการลดลงของอัตราส่วนความกว้างต่อความหนาแน่น สามารถเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตและปลอกเหล็กให้มีความแข็งแรงทนทานได้มากขึ้น รวมไปถึงการวางตัวของตัวเสริมกำลัง สามารถลดระยะการโค้งเดาะเพิ่มคุณสมบัติทางกลเช่นความต้านทานและความเหนียวของตัวอย่างการทดสอบได้และแนะนำการจัดวางของตัวเสริมกำลังให้มีระยะเป็นครึ่งหนึ่งของขนาดหน้าตัดและมีความหนาเดียวกันกับตัวปลอกเหล็ก
5. การเสริมครีบริมเสริมกำลังเข้าไปภายในตัวอย่างทดสอบยังสามารถช่วยต้านทานโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงต้านข้างของตัวอย่างทดสอบอย่างอีกทางหนึ่ง การเสริมของครีบริมกำลังแต่ละตัวอย่างผลการทดสอบให้ผลไปในทางเดียวกันที่สามารถต้านทานแรงดันด้านข้างโดยจะแปรผันตามกับความกว้างของการเสริม



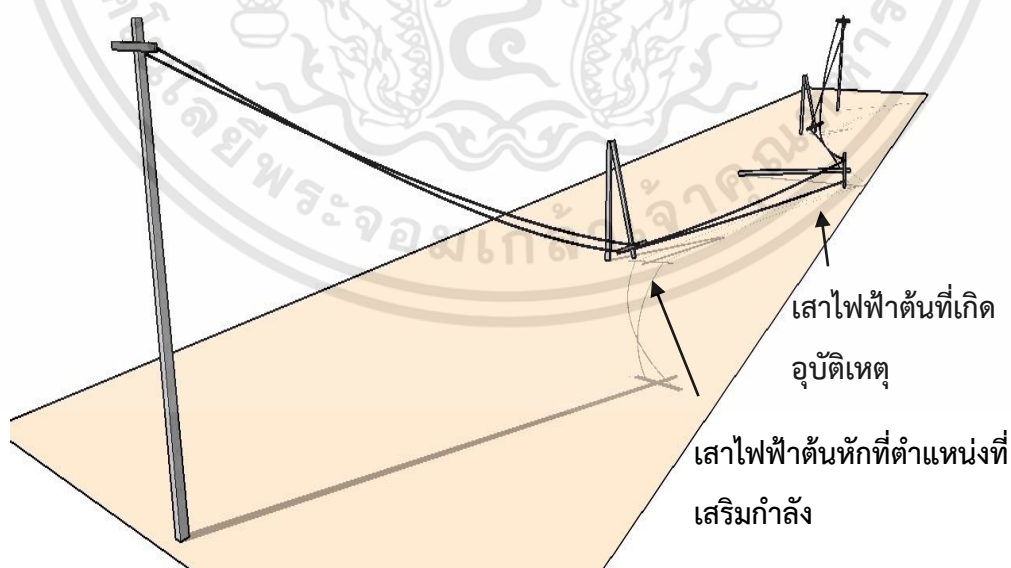
## 2.2.2 นายธนีสร สถาพร

การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าคอนกรีตใน 2 ระบบ ได้แก่ เสาไฟฟ้าในระบบ 12/24 KV มี 3 แบบ คือ 12.00m GW, 12.00m 5T-m, 12.35m 6.5T-m และเสาไฟฟ้าในระบบ 69/115 KV มี 2 แบบ 22.00m 18T-m, 22.00m 25T-m

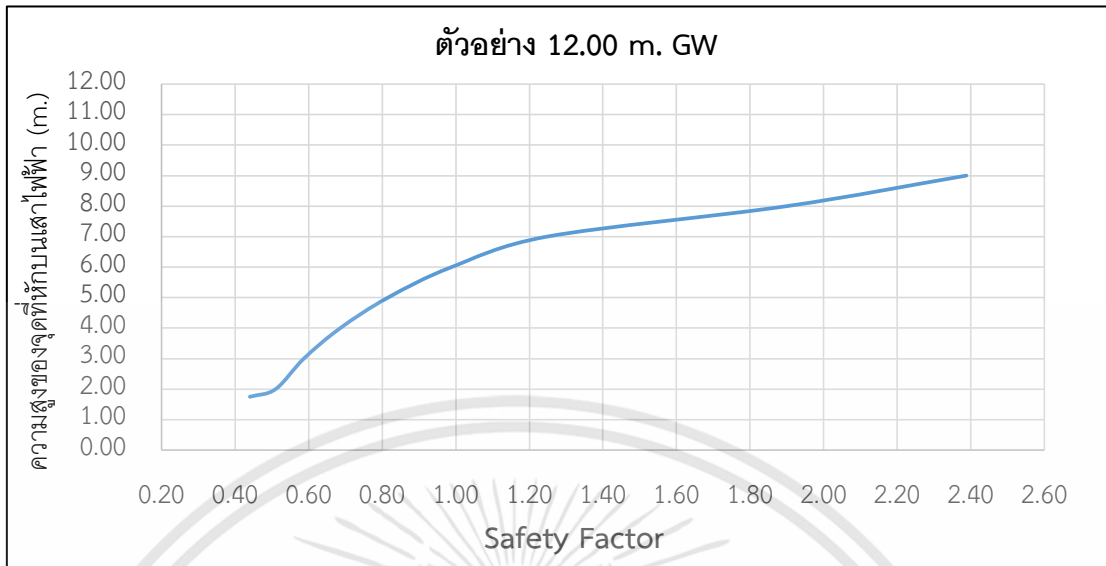
### 2.3.2.1. หลักการในการหาตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้า

หลักการในการกำหนดตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้าให้สูงกว่าการหักโค่นที่ระดับพื้นดินจะสามารถช่วยลดแรงกระทำที่ส่งผลต่อเสาไฟฟ้าต้นถัดไป เมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่เกิดอุบัติเหตุหักโค่นลง และส่งแรงไปถึงเสาไฟฟ้าต้นที่อยู่ข้างๆทั้ง 2 ด้าน เสาไฟฟ้าทั้ง 2 ต้นดังกล่าวจะได้รับแรงกระทำและหักที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ด้วยการเสริมกำลังเสาไฟฟ้าซึ่งจะสามารถช่วยลดการหักโค่นไปสู่เสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ดังแสดงในรูปที่ ... ด้วยหลักการนี้จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเสริมกำลัง

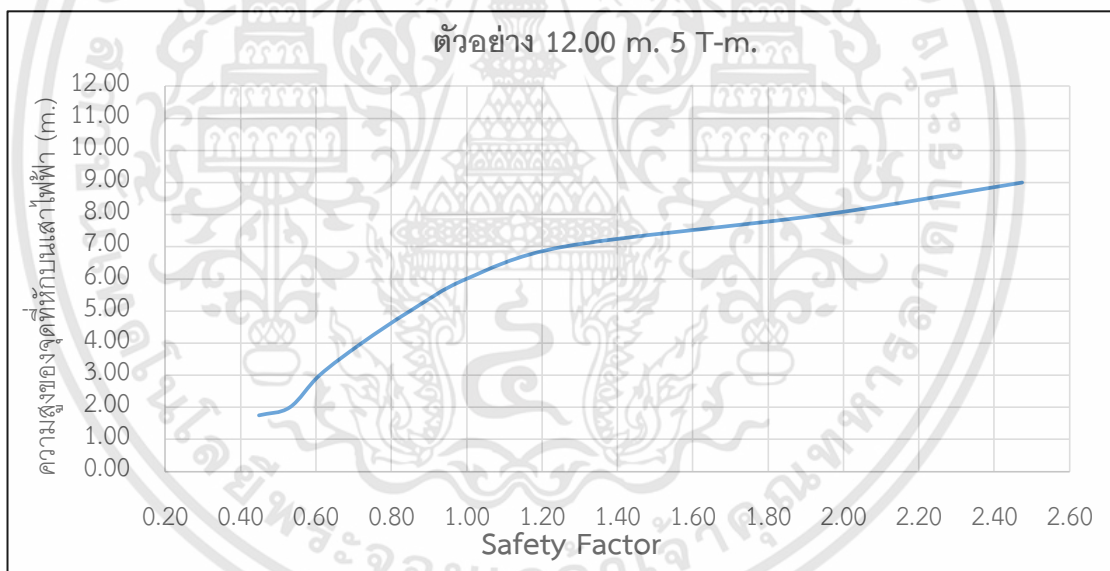


รูปที่ 2.3 ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหักโค่น

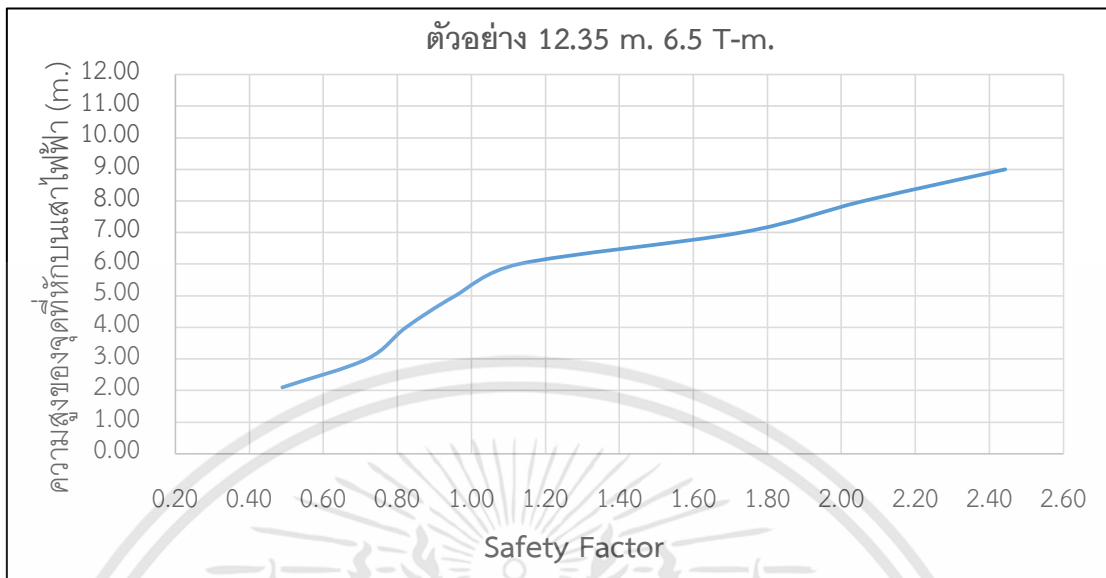
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



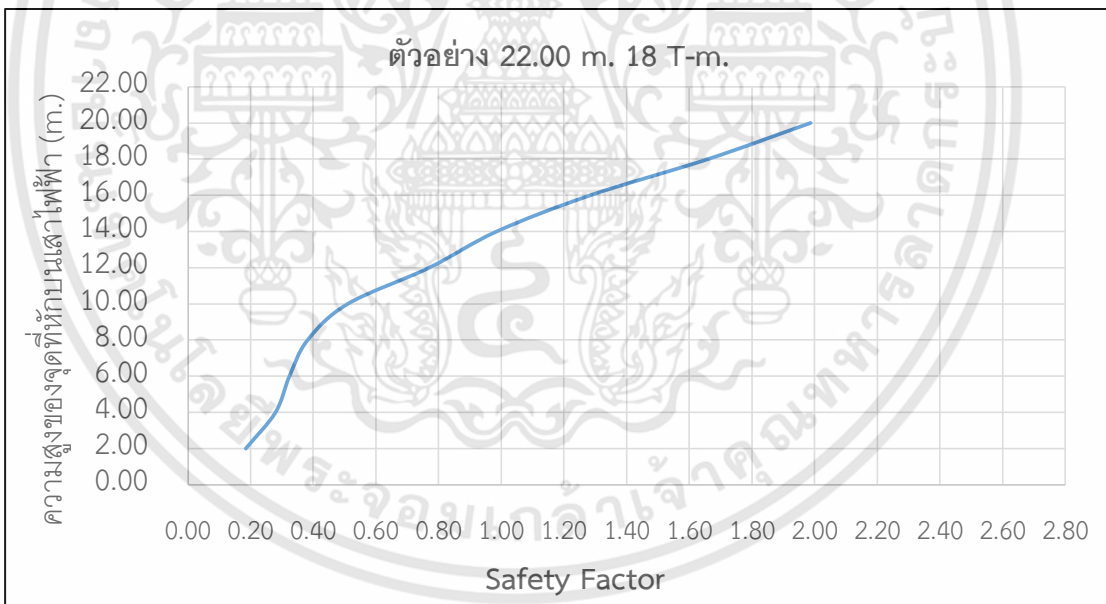
รูปที่ 2.4 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้า  
ต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ



รูปที่ 2.5 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. 5 T-m. ต้นถัดไปเมื่อเสา  
ไฟฟ้าต้นที่ พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ

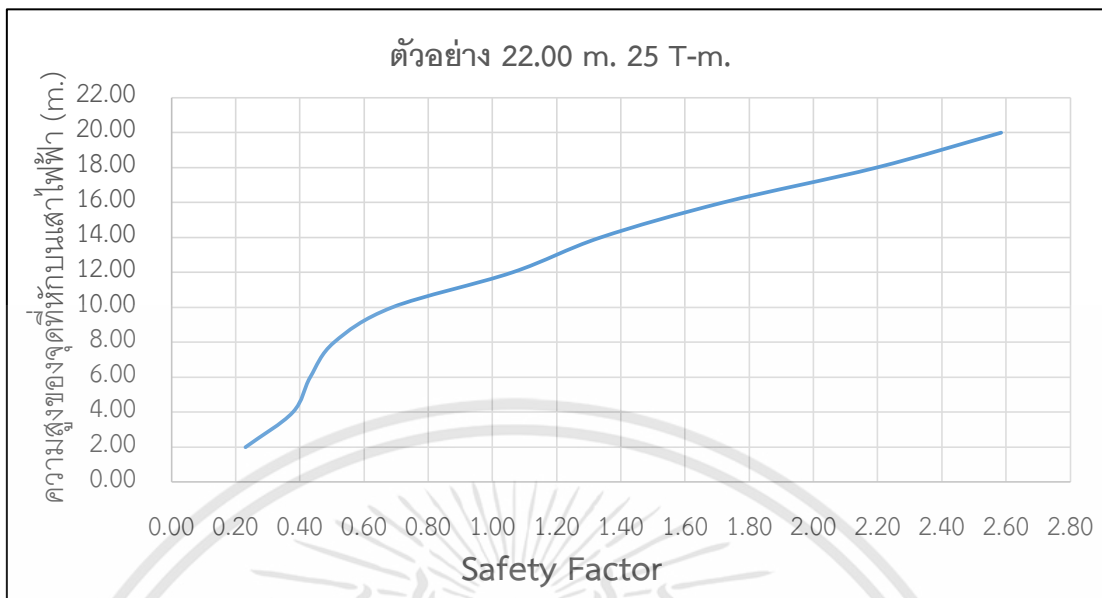


**รูปที่ 2.6** อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.35 m. 6.5 T-m. ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่ พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ



**รูปที่ 2.7** อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00 m. 18 T-m. ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่ พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.8** อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00 m. 25 T-m. ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่างๆ

#### สรุปผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 – 2.8 พบว่าค่า Factor of Safety ของเสาไฟฟ้าต้นถัดไปเมื่อมีแรงกระทำเนื่องจากเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงค่าหนึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าหากเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับดังกล่าวจะทำให้เสาไฟฟ้าต้นถัดไปไม่หักโค่นลงมา ดังนั้นจะไม่เกิดการพังแบบต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า (Progressive Collapse) ขึ้นจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ทราบว่าควรเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าที่ระดับความสูงดังต่อไปนี้เพื่อป้องกันการเกิดการโค่นล้มต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า

1. เสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW ควรเสริมกำลังให้ตำแหน่งที่หักอยู่ที่ระดับสูงกว่า 6.05 เมตร จากโคนเสา
2. เสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. 5 T-m. ควรเสริมกำลังให้ตำแหน่งที่หักอยู่ที่ระดับสูงกว่า 6.00 เมตร จากโคนเสา
3. เสาไฟฟ้า EP. 12.35 m. 6.5 T-m. ควรเสริมกำลังให้ตำแหน่งที่หักอยู่ที่ระดับสูงกว่า 5.30 เมตร จากโคนเสา
4. เสาไฟฟ้า EP. 22.00 m. 18T-m. ควรเสริมกำลังให้ตำแหน่งที่หักอยู่ที่ระดับสูงกว่า 14.10 เมตร จากโคนเสา
5. เสาไฟฟ้า EP. 22.00 m. 25 T-m. ควรเสริมกำลังให้ตำแหน่งที่หักอยู่ที่ระดับสูงกว่า 11.70 เมตร

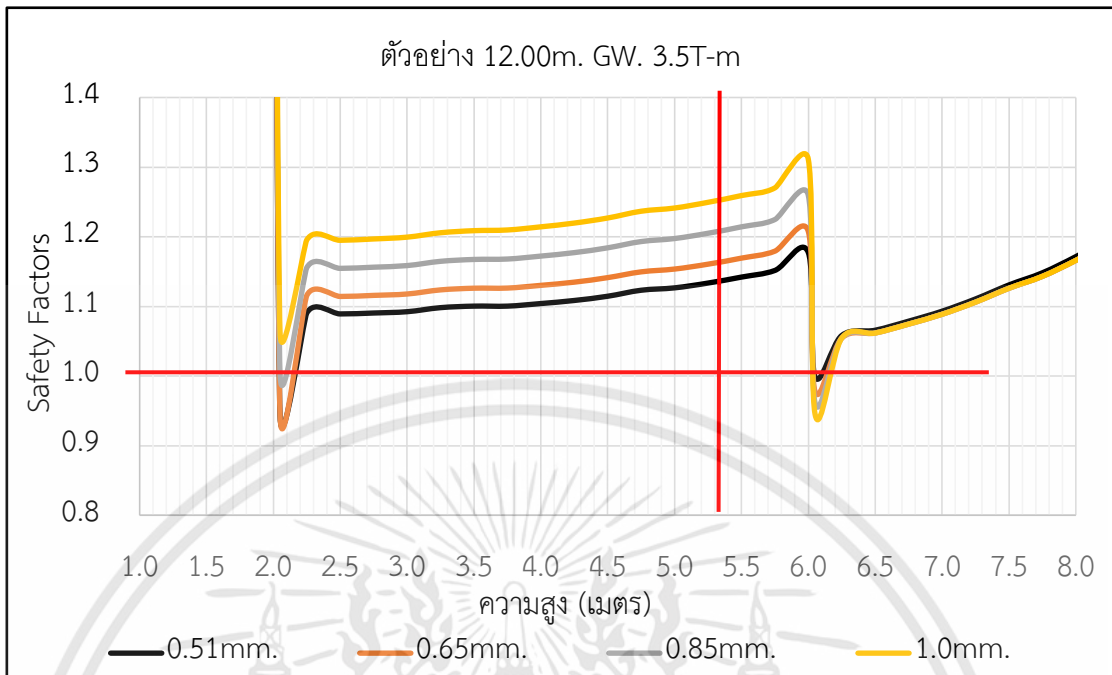
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3. นายสุชาติ สุวิมลวรรณ

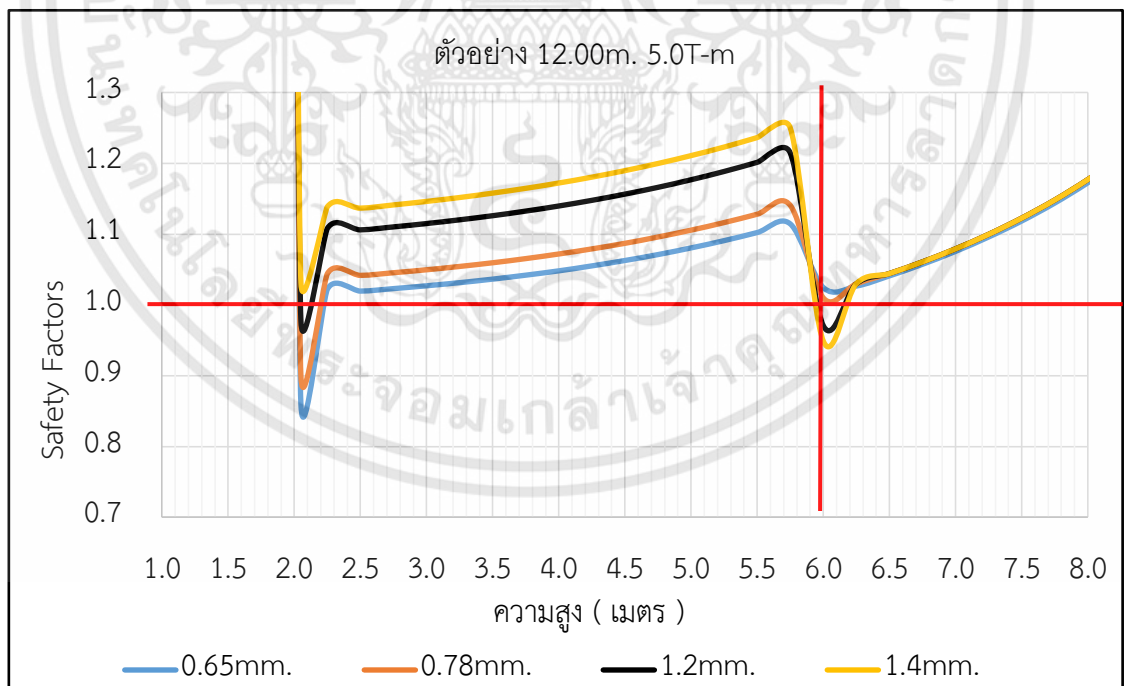
การศึกษาการเสริมกำลัง ด้วยวัสดุ CFRP ในเสาไฟฟ้า เพื่อลดการหักโค่นต่อเนื่อง  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบังการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 13

#### วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ (Fiber-Reinforced Polymer)

คอมโพสิต (Composite) เป็นระบบของวัสดุที่ประกอบไปด้วยวัสดุ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งมีการเชื่อมประสานวัสดุดังกล่าวเข้าไว้ด้วยกัน วัสดุคอมโพสิต หมายถึง เมทริกซ์ (Matrix) หนึ่งของวัสดุประเภทพอลิเมอร์ที่เสริมกำลังด้วยเส้นใยที่มีความยาวมากกว่าความหนาอย่างชัดเจน วัสดุคอมโพสิตหรือพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่เสริมกำลังด้วยเส้นใยสามารถอธิบายให้ชัดเจนมากขึ้นด้วยการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้าง เช่น คอนกรีตเสริมกำลังด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (FRP Composite Reinforced Concrete) ต้องมีวัสดุอย่างน้อยหนึ่งชนิดจากส่วนประกอบทั้งหมด เป็นส่วนเสริมกำลังอย่างต่อเนื่องซึ่งรองรับโดยวัสดุเมทริกซ์ที่ทำให้มีเสถียรภาพ โดยปกติเส้นใยที่ต่อเนื่อง (Continuous Fibers) มักจะมีความแข็งแรง (Stiffness) และกำลังรับน้ำหนักสูงกว่าวัสดุเมทริกซ์ซึ่งใช้กันทั่วไป เช่น พอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซต (Thermosetting Polymers) อย่างไรก็ตามถ้าเส้นใยไม่ต่อเนื่อง ปริมาณเส้นใยควรมีไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยปริมาตรจากส่วนผสมทั้งหมดเพื่อให้มีผลอย่างมีนัยสำคัญในการเสริมกำลังวัสดุ วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่จะกล่าวถึงนี้จะเป็นระดับโครงสร้างหลัก (Macrostructural Level) โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับรูปแบบทางโครงสร้างของหน้าตัดรวมและส่วนประกอบของวัสดุคอมโพสิตซึ่งรวมถึงเรซินเมทริกซ์ (Matrix Resins) และเส้นใยที่ใช้เสริมกำลัง (Reinforcing Fibers) กระบวนการผลิตและวัสดุที่มีผลกระทบต่ออาการออกแบบ สมรรถนะของวัสดุคอมโพสิต การจัดเรียงตัวของส่วนรับกำลังหลักของวัสดุ (เส้นใยเสริมกำลัง) และอันตรกิริยาระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ (Interaction between Fibers and Matrix) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะทางกายภาพของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (FRP Matrix Composite) ได้แก่ คุณสมบัติเชิงกลของเส้นใย ทิศทางการวางเส้นใย (Fiber Orientation) ความยาว รูปร่าง และส่วนประกอบของเส้นใย คุณสมบัติเชิงกลของเมทริกซ์เรซิน และการยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์

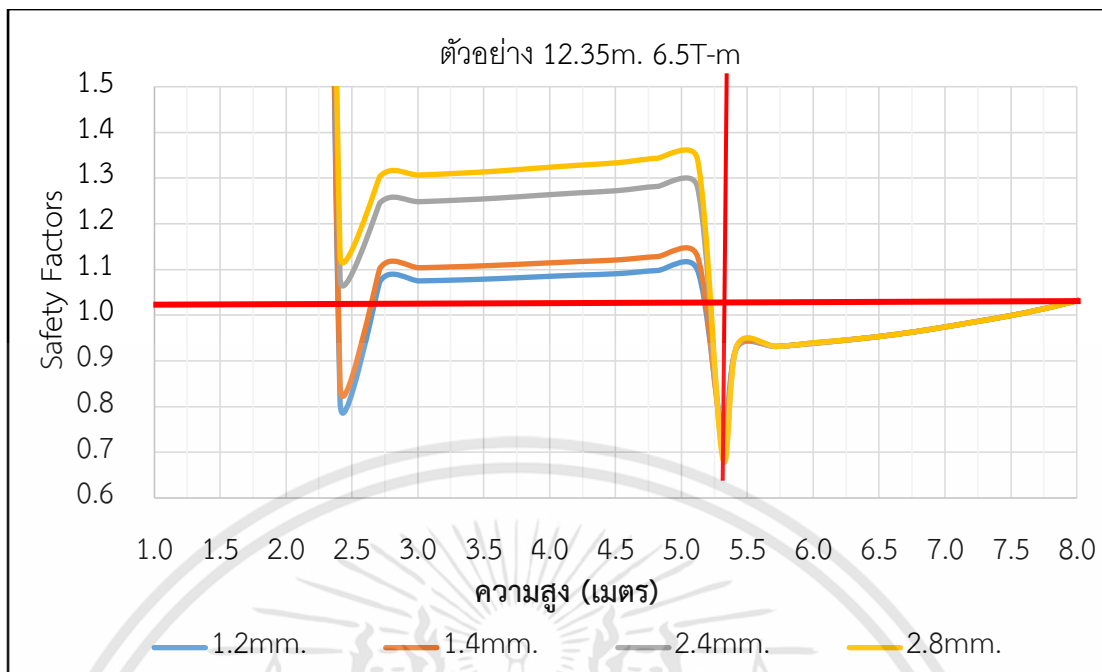


รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความปลอดภัยกับความสูง ของการเสริมด้วย CFRP ของความสูงเสาไฟฟ้า 12.00m. GW. 3.5T-m



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความปลอดภัยกับความสูง ของการเสริมด้วย CFRP ของความสูงเสาไฟฟ้า 12.00m. 5.0T-m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความปลอดภัยกับความสูง ของการเสริมด้วย CFRP ของความสูงเสาไฟฟ้า 12.35m. 6.5T-m

### สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการเสริมวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์

จากวิเคราะห์ผลการสอบสอบการเสริมกำลังด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ของเสาไฟฟ้าที่มีความสูง 12.00m. GW. 3.5T-m, 12.00m. 5.0T-m, 12.35m. 6.5T-m มีดังนี้

1. การเสริมโดยใช้วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ขอเสาไฟฟ้าเหมาะสำหรับการเสริมกำลังเสาไฟฟ้าที่มีการติดตั้งอยู่แล้วไม่เหมาะสำหรับการติดตั้งเสาไฟฟ้าใหม่
2. การเสริมกำลังควรจะให้มีความลึกลงจากระดับพื้นเดิมลงไป 30 เซนติเมตร และหล่อต่อม่อเพิ่มลึกลงจากระดับพื้นเดิมลงไป 30 เซนติเมตร และสูงจากระดับพื้นเดิม 30 เซนติเมตร
3. การปรับปรุงเสาที่มีความสูง 12.00m. GW. 3.5T-m ต้องการความหนาของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ 1.00 มิลลิเมตร
4. การปรับปรุงเสาที่มีความสูง 12.00m. 5.0T-m ต้องการความหนาของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ 1.40 มิลลิเมตร
5. การปรับปรุงเสาที่มีความสูง 12.35m. 6.5T-m ต้องการความหนาของวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ ที่ 2.40 มิลลิเมตร
6. ราคาของการติดตั้งและวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยไฟเบอร์ จะอยู่ที่ 5,500-9,500 บาทต่อเมตร ไม่รวมการเจาะพื้นที่ต้องการเสริมลงไปจากพื้นเดิม 30 เซนติเมตร

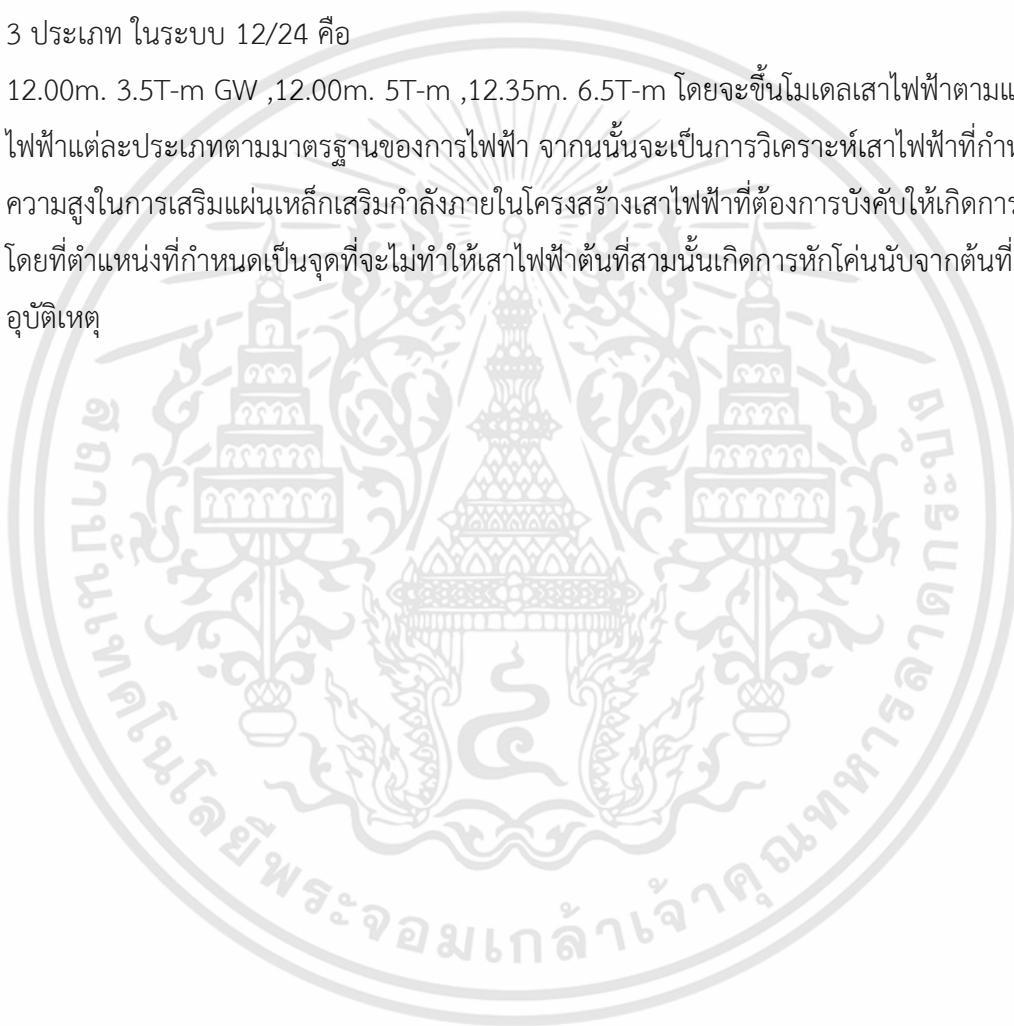
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการศึกษา

#### 3.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาวิเคราะห์การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อ  
 บังคับการหักโค่นในตำแหน่งความสูงที่กำหนดไว้ของเสาไฟฟ้าแรงต่ำซึ่งจะมีตัวอย่างเสาไฟฟ้าทั้งหมด  
 3 ประเภท ในระบบ 12/24 คือ  
 12.00m. 3.5T-m GW ,12.00m. 5T-m ,12.35m. 6.5T-m โดยจะขึ้นโมเดลเสาไฟฟ้าตามแบบเสา  
 ไฟฟ้าแต่ละประเภทตามมาตรฐานของการไฟฟ้า จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์เสาไฟฟ้าที่กำหนด  
 ความสูงในการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้าที่ต้องการบังคับให้เกิดการหักโค่น  
 โดยที่ตำแหน่งที่กำหนดเป็นจุดที่ไม่ทำให้เสาไฟฟ้าต้นที่สามนั้นเกิดการหักโค่นนับจากต้นที่เกิด  
 อุบัติเหตุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ในการวิเคราะห์

เป็นการกำหนดตัวแปรที่คงที่เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์เสาสีฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 3.1** ตารางแสดงค่าเริ่มต้นของวัสดุและเงื่อนไขการวิเคราะห์

ชนิดของตัวแปร	ชนิด/ค่า	ชนิด/ค่า	ชนิด/ค่า	หน่วย
1. ชนิดของเสาสีฟ้า	12.00m. GW 3.5T- m	12.00m. 5T-m	12.35m. 6.5T-m	
2. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน	450	450	450	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
3. กำลังจุดครากของเหล็กเสริมโครงสร้าง	17,500	17,500	16,00	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
4. กำลังจุดครากของเหล็กปลอกเสริมโครงสร้าง	17,500	17,500	17,500	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
5. ระยะการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลัง	6.00	6.05	5.30	เมตร
6. สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย	2.10	2.10	2.10	
7. แรงกระทำสูงสุดที่ปลายเสาสีฟ้าการวิเคราะห์	1235.29	1750.00	2037.31	กิโลกรัม
8. ความสูงเสาสีฟ้า	12.00	12.00	12.35	เมตร
9. แรงอัดที่เกิดขึ้นภายในเสาสีฟ้า	143.93	143.93	159.43	กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
10. จุดยึดของฐานเสาสีฟ้า	ยึดแน่น	ยึดแน่น	ยึดแน่น	
11. การแบ่งเอลิเมนต์คอนกรีต	2.0	2.0	2.0	เซนติเมตร
12. การแบ่งเอลิเมนต์เหล็กเสริมกำลัง	1.00	1.00	1.00	เซนติเมตร
13. การแบ่งเอลิเมนต์แผ่นเหล็กเสริมกำลัง	1.00	1.00	1.00	เซนติเมตร
14. กำหนด convergent	5	5	5	เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดเป็นการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 รูปแบบของการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า

การวิเคราะห์ในการหาแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้าโดยมีการวิเคราะห์แบบไฟไนต์อีลิเมนต์ โดยโปรแกรม Ansys โดยมีการขึ้นโมเดลจากโปรแกรม Inventor เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปและนำผลที่ได้จากการทดสอบในโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์มาวิเคราะห์ และมีเงื่อนไขการขึ้นโมเดลก่อนนำมาวิเคราะห์ผล โดยโมเดลที่ทำการทดสอบจะมีขนาดความสูง 12.00m. GW. 3.5T-m, 12.00m. 5.0T-m, 12.35m. 6.5T-m ซึ่งจะมีตัวอย่างทั้งหมด 3 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 3 เงื่อนไข คือ

- 1.) ตัวอย่างขนาด 12.00m. GW. 3.5 T-m เสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในจากระดับฐานเสาไฟฟ้าถึงระดับ 6.05 เมตร
- 2.) ตัวอย่างขนาด 12.00m. 5.0T-m เสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในจากระดับฐานเสาไฟฟ้าถึง ระดับ 6.00 เมตร
- 3.) ตัวอย่างขนาด 12.00m. 5.0T-m เสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในจากระดับฐานเสาไฟฟ้าถึง ระดับ 5.30 เมตร
- 4.) เสาไฟฟ้า 3 ตัวอย่าง จะถูกเปลี่ยนแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป

### 3.4 ขนาดแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้า

น้ำหนัก (กิโลกรัม) /เส้น (6 เมตร)								
ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)							
	3	4.5	6	9	12	15	19	25
12	1.7	2.5	-	-	-	-	-	-
16	2.3	3.4	-	-	-	-	-	-
19	2.7	4	5.4	-	-	-	-	-
25	3.5	5.3	7.1	10.6	14	-	-	-
32	4.5	6.8	9	13.6	18	23	-	-
38	5.4	8.1	10.7	16	21	27	34	-
44	6.2	9.3	12.4	19	25	31	39	52
50	7.1	10.6	14	21	28	35	45	59
65	9.2	13.8	18	28	37	46	58	77
75	10.6	16	21	32	42	53	67	88
88	12.4	19	25	37	50	62	79	104
100	14	21	28	42	57	71	90	118
125	18	27	35	53	71	88	112	147

ตารางที่ 3.2 แสดงขนาดของแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้า

- การเลือกหน้าตัดเหล็กขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักของหน้าตัดเหล็ก
- การใช้เหล็กเสริมกำลังภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้ามีข้อจำกัดของหน้าตัดของเสาไฟฟ้าที่ไม่สามารถบังคับให้ความกว้างของเหล็กเสริมกำลังนั้นกว้างเกินกว่าความกว้างของหน้าตัดเสาไฟฟ้าได้
- ตัวอย่างหน้าตัดเหล็กเสริมทำการเลือกต้องทำการขึ้นโมเดลเพื่อทดสอบว่าการใช้ขนาดเหล็กเสริมมีปัญหาการใช้งานหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

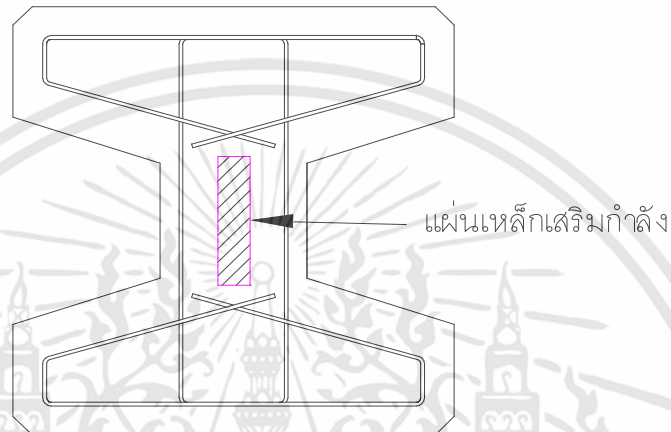






### 3.5.2. การวางแผนการขึ้นโมเดลของเสาไฟฟ้า

#### 3.5.2.1. รูปแบบที่ 1 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 แสดงการเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 1

- นำเสาไฟฟ้าแต่ละตัวอย่างเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าโดย ดังต่อไปนี้
  1. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW. 3.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 1
  2. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 1
  3. เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 1

**ตารางที่ 3.3** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW. 3.5T-m ของรูปแบบที่ 1

ชนิดของเสาไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง											
12.00m. GW. 3.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0	38x3.0	44x3.0	50x3.0	65x3.0	75x3.0	88x3.0	100x3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5	38x4.5	44x4.5	50x4.5	65x4.5	75x4.5	88x4.5	100x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0	38x6.0	44x6.0	50x6.0	65x6.0	75x6.0	88x6.0	100x6.0

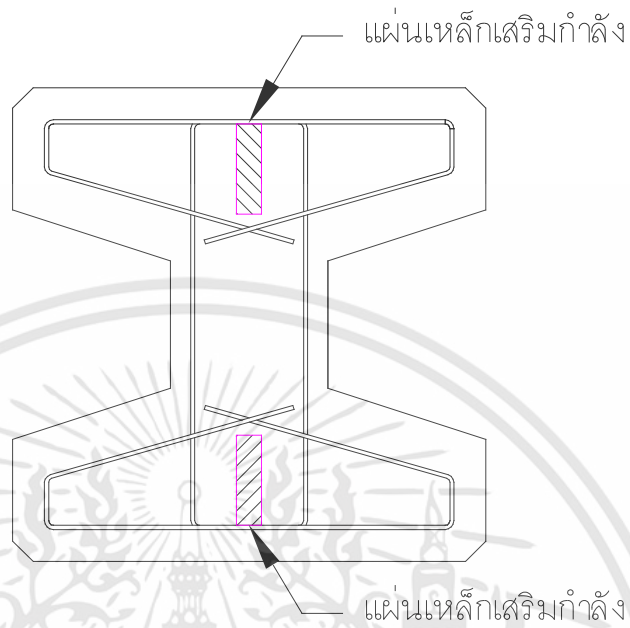
**ตารางที่ 3.4** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m ของรูปแบบที่ 1

ชนิดของเสาไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง											
12.00m. 5.0 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0	38x3.0	44x3.0	50x3.0	65x3.0	75x3.0	88x3.0	100x3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5	38x4.5	44x4.5	50x4.5	65x4.5	75x4.5	88x4.5	100x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0	38x6.0	44x6.0	50x6.0	65x6.0	75x6.0	88x6.0	100x6.0

**ตารางที่ 3.5** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m ของรูปแบบที่ 1

ชนิดของเสาไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง											
12.35m. 6.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0	38x3.0	44x3.0	50x3.0	65x3.0	75x3.0	88x3.0	100x3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5	38x4.5	44x4.5	50x4.5	65x4.5	75x4.5	88x4.5	100x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0	38x6.0	44x6.0	50x6.0	65x6.0	75x6.0	88x6.0	100x6.0

### 3.5.2.2. รูปแบบที่ 2 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 แสดงการเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 2

- นำเสาไฟฟ้าแต่ละตัวอย่างเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าโดย ดังต่อไปนี้
  1. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW. 3.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 2
  2. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 2
  3. เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 2

**ตารางที่ 3.6** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW.  
3.5T-m ของรูปแบบที่ 2

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.00m. GW. 3.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

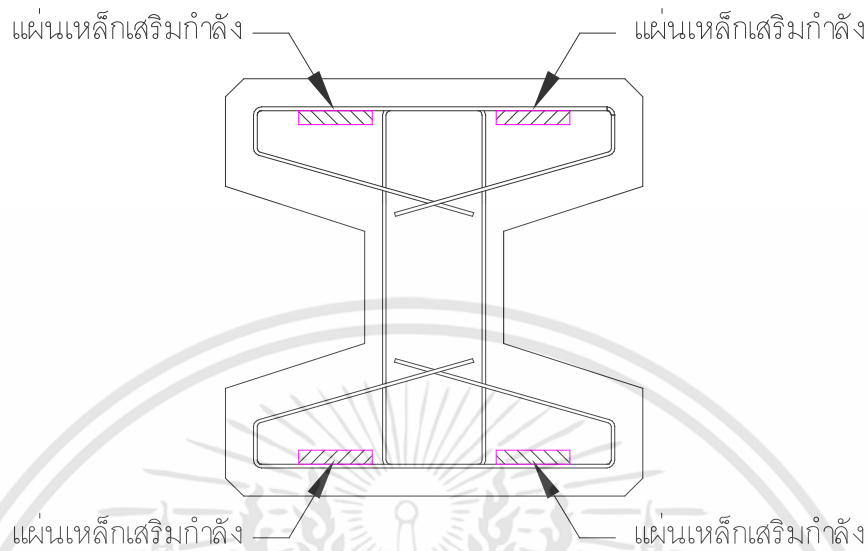
**ตารางที่ 3.7** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m  
ของรูปแบบที่ 2

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.00m. 5.0 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

**ตารางที่ 3.8** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m  
ของรูปแบบที่ 2

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.35m. 6.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

### 3.5.2.3. รูปแบบที่ 3 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 แสดงการเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 3

- นำเสาไฟฟ้าแต่ละตัวอย่างเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าโดย ดังต่อไปนี้
  1. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW. 3.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 3
  2. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 3
  3. เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 3

**ตารางที่ 3.9** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW. 3.5T-m ของ  
รูปแบบที่ 3

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง							
12.00m. GW. 3.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0	38x3.0	44x3.0	50x3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5	38x4.5	44x4.5	50x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0	38x6.0	44x6.0	50x6.0
	-	-	-	25x9.0	32x9.0	38x9.0	44x9.0	50x9.0
	-	-	-	25x12.0	32x12.0	38x12.0	44x12.0	50x12.0

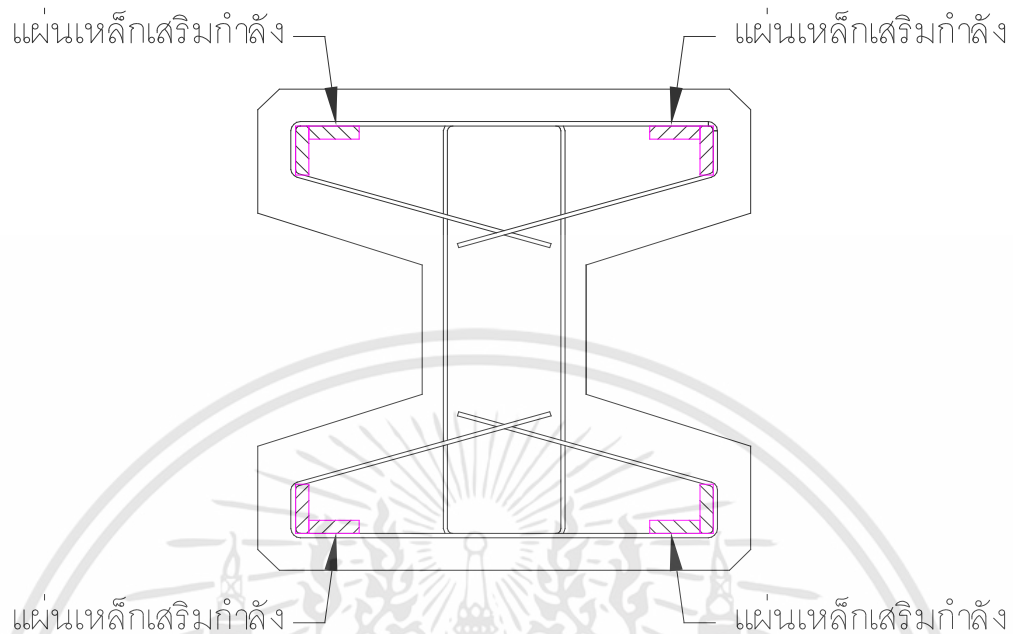
**ตารางที่ 3.10** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m ของ  
รูปแบบที่ 3

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง							
12.00m. 5.0 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0	38x3.0	44x3.0	50x3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5	38x4.5	44x4.5	50x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0	38x6.0	44x6.0	50x6.0
	-	-	-	25x9.0	32x9.0	38x9.0	44x9.0	50x9.0
	-	-	-	25x12.0	32x12.0	38x12.0	44x12.0	50x12.0

**ตารางที่ 3.11** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m ของ  
รูปแบบที่ 3

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง							
12.35m. 6.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0	38x3.0	44x3.0	50x3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5	38x4.5	44x4.5	50x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0	38x6.0	44x6.0	50x6.0
	-	-	-	25x9.0	32x9.0	38x9.0	44x9.0	50x9.0
	-	-	-	25x12.0	32x12.0	38x12.0	44x12.0	50x12.0

### 3.5.2.4. รูปแบบที่ 4 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า



รูปที่ 3.7 แสดงการเสริมแผ่นเหล็กเสริมโครงสร้างเสาไฟฟ้า รูปแบบที่ 4

- นำเสาไฟฟ้าแต่ละตัวอย่างเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าโดย ดังต่อไปนี้

1. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 3.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 4
2. เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 4
3. เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5 T-m การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในรูปแบบที่ 4

ตารางที่ 3.12 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW.  
3.5T-m ของรูปแบบที่ 4 ของแกน Y

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.00m. GW. 3.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

**ตารางที่ 3.13** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m  
ของรูปแบบที่ 4 ของแกน Y

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.00m. 5.0 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

**ตารางที่ 3.14** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m  
ของรูปแบบที่ 4 ของแกน Y

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.35m. 6.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

**ตารางที่ 3.15** แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. GW.  
3.5T-m ของรูปแบบที่ 4 ของแกน X

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.00m. GW. 3.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

ตารางที่ 3.16 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.00m. 5.0T-m  
ของรูปแบบที่ 4 ของแกน X

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.00m. 5.0 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

ตารางที่ 3.17 แสดงการเสริมเหล็กขนาดต่างๆภายในเสาไฟฟ้าขนาด 12.35m. 6.5T-m  
ของรูปแบบที่ 4 ของแกน X

ชนิดของเสา ไฟฟ้า	ชนิดของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง				
12.35m. 6.5 T-m	12x3.0	16x3.0	19x3.0	25x3.0	32.3.0
	12x4.5	16x4.5	19x4.5	25x4.5	32x4.5
	-	-	19x6.0	25x6.0	32x6.0

### 3.5.3 นำโมเดลเข้าสู่โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำการวิเคราะห์

#### 3.5.3.1 ใส่องค์ประกอบของวัสดุต่าง

- คอนกรีต
- เหล็กปลอก
- เส้นลวดอัดแรง
- แผ่นเหล็กเสริมโครงสร้าง

#### 3.5.3.2 กำหนดเงื่อนไขในการวิเคราะห์ผล

- การแบ่งเอลิเมนต์ของวัสดุ
- การใส่แรงด้านข้างของเสาไฟฟ้า
- จุดรองรับที่ฐานเสาไฟฟ้า

#### 3.5.3.3 การแสดงผลวิเคราะห์

- การกำหนดเปอร์เซ็นต์การลู่เข้าของผลวิเคราะห์
- แสดงผลการวิเคราะห์ผลในรูปแบบอัตราส่วนความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การหาผลวิเคราะห์การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์

#### 3.6.1 โปรแกรม ไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

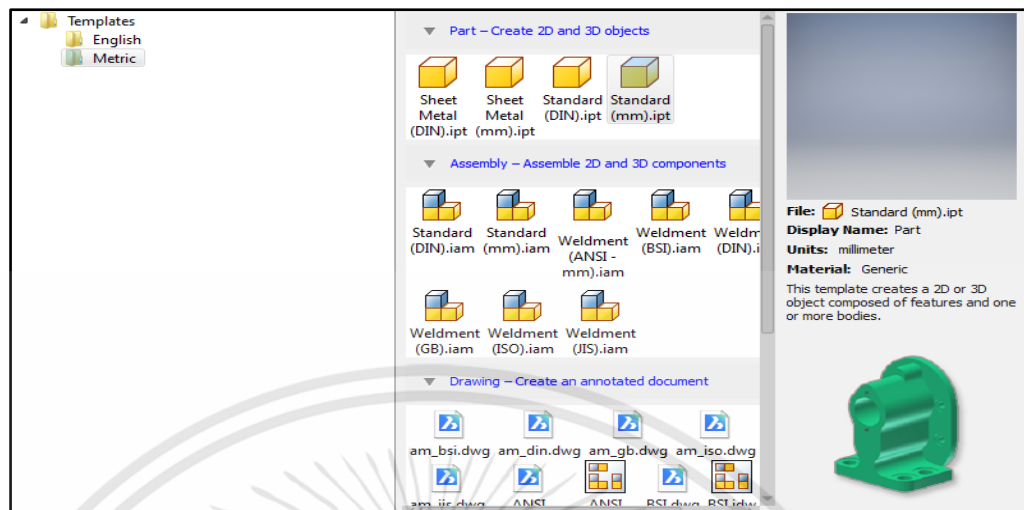
โปรแกรม ANSYS เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรม โดยโปรแกรมมีความแม่นยำในการประมวลผล และมีเทคโนโลยีการวิเคราะห์ที่ทรงประสิทธิภาพ สามารถวิเคราะห์ได้ทุกศาสตร์ ทางด้านวิศวกรรมทั้ง ด้านกลศาสตร์ของแข็ง (Solid Mechanics) ด้านกลศาสตร์ของไหล (Fluid Dynamics) ด้านอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) รวมถึงด้านที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) นอกจากนี้โปรแกรม ANSYS ยังสามารถวิเคราะห์ทุกศาสตร์รวมกันได้โดยไม่มีข้อจำกัด ทำให้เป็นโปรแกรมที่นิยมอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้ในหลักสูตรการเรียนการสอนและงานวิจัยในมหาวิทยาลัยหลายแห่ง

โปรแกรม Autodesk Inventor เป็น โปรแกรมเขียนแบบ ทางวิศวกรรมเครื่องกล ที่มีความเป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้อย่างง่ายดายมากโปรแกรมหนึ่ง เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานที่ไม่เคยใช้งานโปรแกรมเขียนแบบใด ๆ มาก่อน โดยหน้าจอกาการใช้งานถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ อย่างง่ายดาย ซึ่งหน้าจอจะใกล้เคียงกับหน้าจอของ Microsoft Office เป็นอย่างมากทำให้ผู้ใช้งานไม่จำเป็นที่จะต้องปรับตัวนานโปรแกรม inventor นั้นจะเป็นโปรแกรมซึ่งแตกต่างจาก AutoCAD โดยสิ้นเชิงที่ยก AutoCAD มาเปรียบเทียบเนื่องจากผู้ใช้ส่วนใหญ่จะรู้จัก AutoCAD มากกว่าเพราะเป็นโปรแกรมที่เกิดขึ้นมานานกว่าทาง inventor ซึ่ง Inventor นั้นจะทำงานเน้นไปที่งาน 3D 95% ที่เดียวโดยจุดเด่นของโปรแกรมอยู่ที่ การสร้างชิ้นงานในลักษณะ 3D จะเน้นไปที่การแก้ไขที่ง่ายมากกว่าการเขียนที่ง่ายเหมือนโปรแกรมAutoCAD

##### 3.6.1.1 ขั้นตอน

- 1.) การตั้งค่าการขึ้นโมเดล
- 2.) การเริ่มขึ้นโมเดล
- 3.) การตรวจสอบโมเดล
- 4.) การ SAVE โมเดลเพื่อนำไปเข้าโปรแกรมวิเคราะห์
- 5.) การนำโมเดลเข้าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
- 6.) การตั้งค่าวัสดุต่างๆที่ใช้ในโมเดล
- 7.) การวิเคราะห์ผล
- 8.) แสดงผลของอัตราส่วนความปลอดภัย

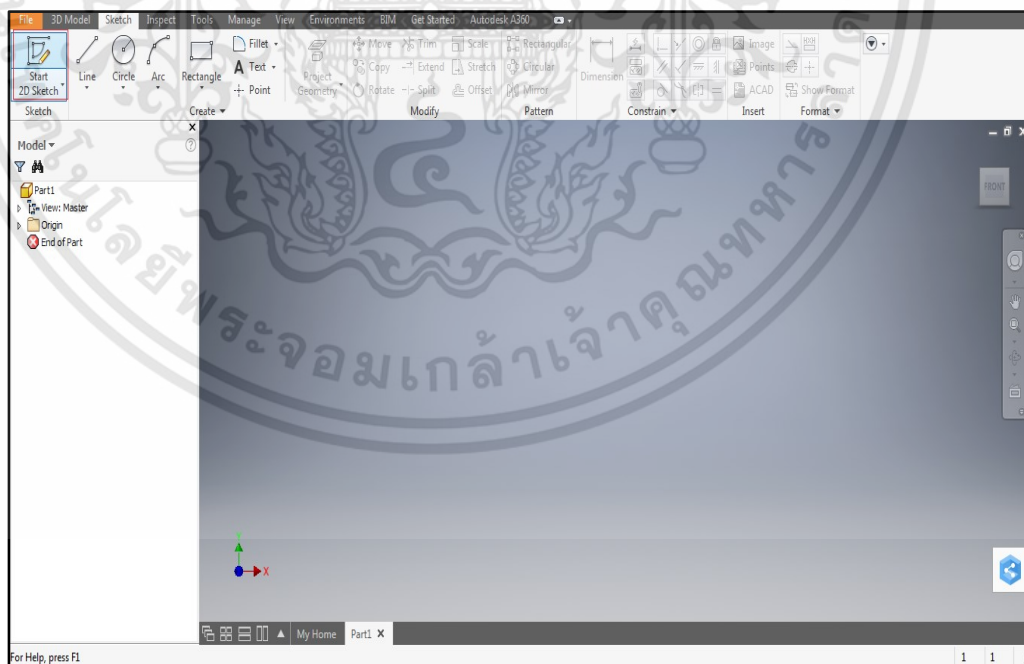
## 1. การตั้งค่าการขึ้นโมเดล



รูปที่ 3.8 การตั้งค่าใช้งาน

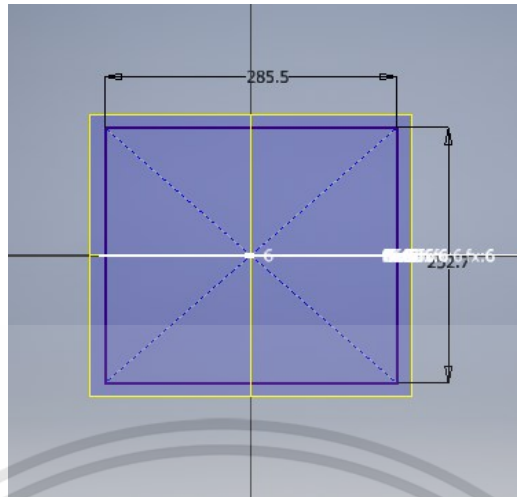
**ขั้นตอนที่ 1** กำหนดตั้งค่า หน่วยการใช้งานเป็นชนิด Standard(mm).ipt เป็นการกำหนดเป็นโมเดลทั่วไปโดยใช้หน่วย มิลลิเมตร

## 2. การเริ่มขึ้นโมเดล



รูปที่ 3.9 แสดงการขึ้นโมเดล

**ขั้นตอนที่ 2** ให้กดโหมด Sketch > Start 2D Sketch เพื่อเข้าโหมดการเขียนโครงสร้างเสาไฟฟ้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการวาดสี่เหลี่ยมของเสาไฟฟ้าในระบบ 2D

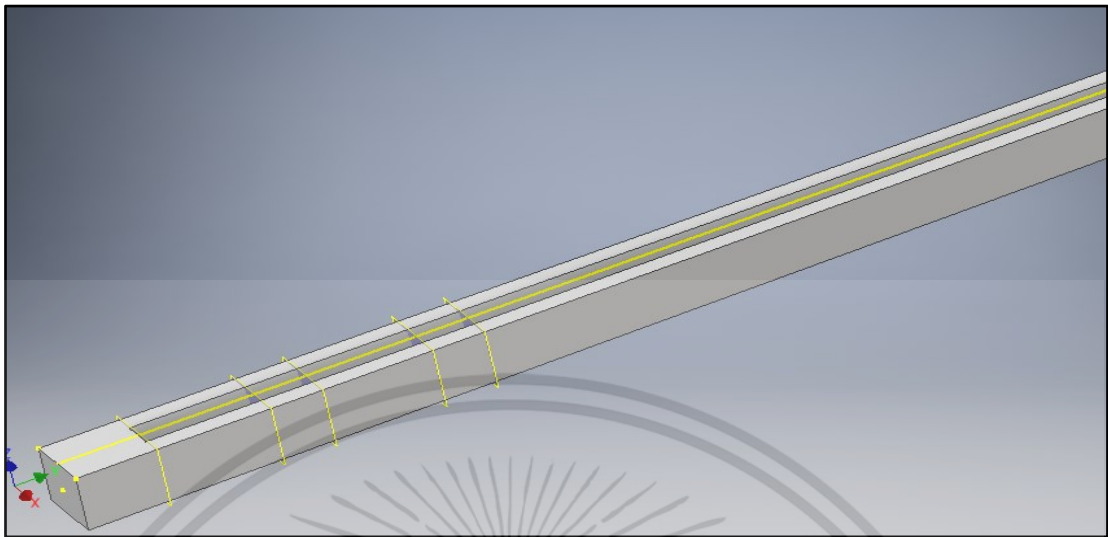
ขั้นตอนที่ 3 ให้กด function ที่แถบเครื่องมือให้ว่าเป็นสี่เหลี่ยม โดยต้องดูแบบเสาไฟฟ้าประกอบ



รูปที่ 3.11 แสดงการเปลี่ยน จากระบบ 2D ให้เป็น 3D

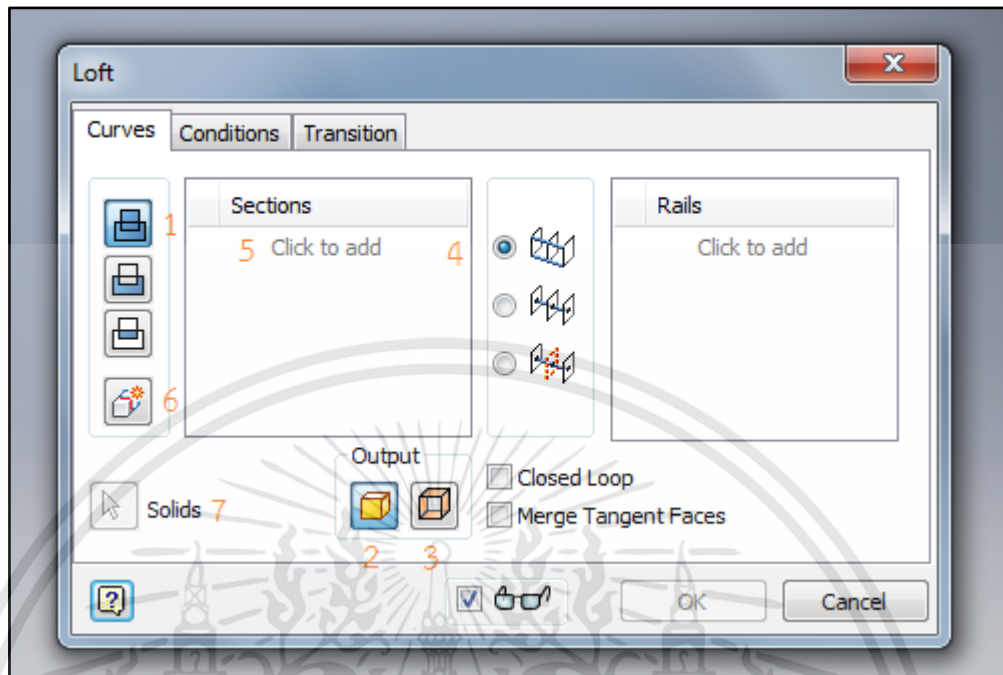
ขั้นตอนที่ 4 การจะทำให้ระนาบ 2D เป็น 3D ต้องมี การวาดสี่เหลี่ยมของเสาไฟฟ้าที่ระนาบบนหรือ อาจจะเรียกว่าระดับ +12.00 เมตร และระนาบที่ฐานหรือระดับ +0.00 เมตร จากนั้น จึงใช้คำสั่ง Loft โดยไปที่คำสั่ง 3D Model > Loft

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงการเก็บรายละเอียดของเสาไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือต่างๆ

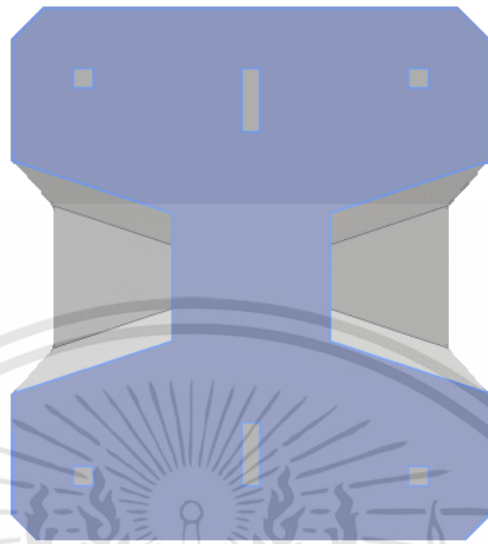
ขั้นตอนที่ 5 จัดองค์ประกอบของตัวเสาไฟฟ้าให้ตรงตามแบบเสาไฟฟ้าโดยเครื่องมือ Loft, Fillet โดยไปที่โหมดคำสั่ง 3D Model



รูปที่ 3.13 แสดงการขึ้นโมเดล

**ขั้นตอนที่ 6** การใช้คำสั่ง Loft เป็นสิ่งสำคัญในการเปลี่ยนจากระบบ 2D เป็น 3D

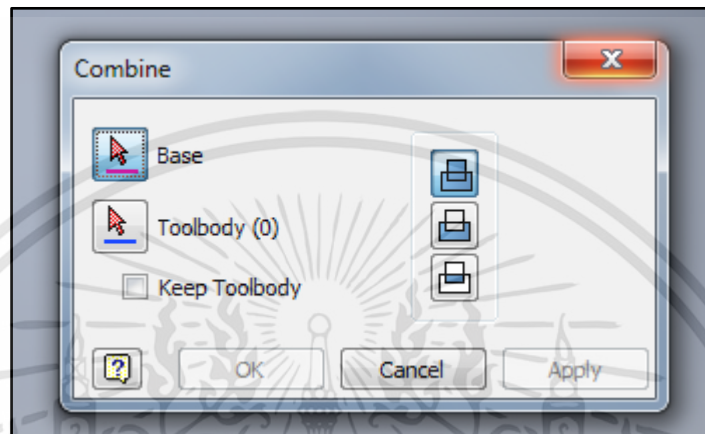
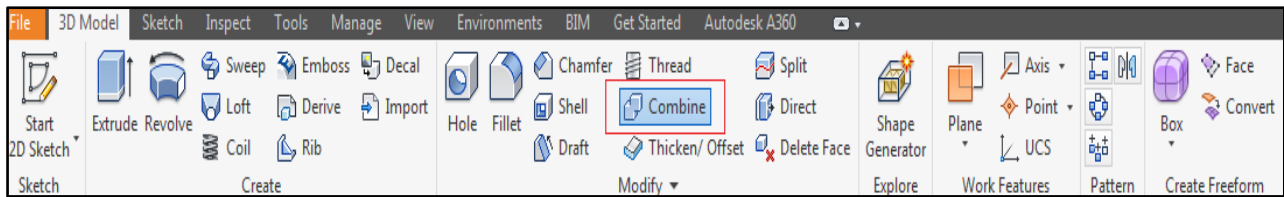
1. มีอยู่สาม ให่วัสดุสองชนิดให้เชื่อมเข้าหากัน  
 ให่วัสดุสองชนิดเลือกการเชื่อมเข้าหากันโดยจะลบตำแหน่งที่มีการทับ  
 ให่วัสดุสองชนิดที่มีการทับกันเชื่อมเข้าหากัน
2. การเลือกชนิดของวัสดุ การเลือกในโหมดนี้จะเป็นวัสดุต้น
3. การเลือกชนิดของวัสดุ การเลือกในโหมดนี้จะเป็นการเลือกที่ผิวของวัสดุ
4. การกำหนดจุดของหน้าตัด 2D
5. เลือกหน้าตัดที่ต้องการเปลี่ยนเป็น 3D
6. การกำหนด วัสดุ เช่น เหล็ก, คอนกรีต เป็นต้น
7. เมื่อต้องการที่จะเลือกวัสดุที่มีอยู่เหมือนกัน โดยจะไม่สามารถระบุวัสดุใหม่ได้



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการเสริมเหล็ก

ขั้นตอนที่ 7 การเสริมเหล็กภายในเสาไฟฟ้าโดยมีการเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของเส้นลวดอัดแรงโดยได้รวมไปอยู่ที่เดียวกันซึ่งจะง่ายต่อการวิเคราะห์แต่พื้นที่หน้าตัดรวมยังเท่ากับปริมาณหน้าตัดของเหล็กกลุ่มย่อยๆในแต่ละมุมนั้นๆ

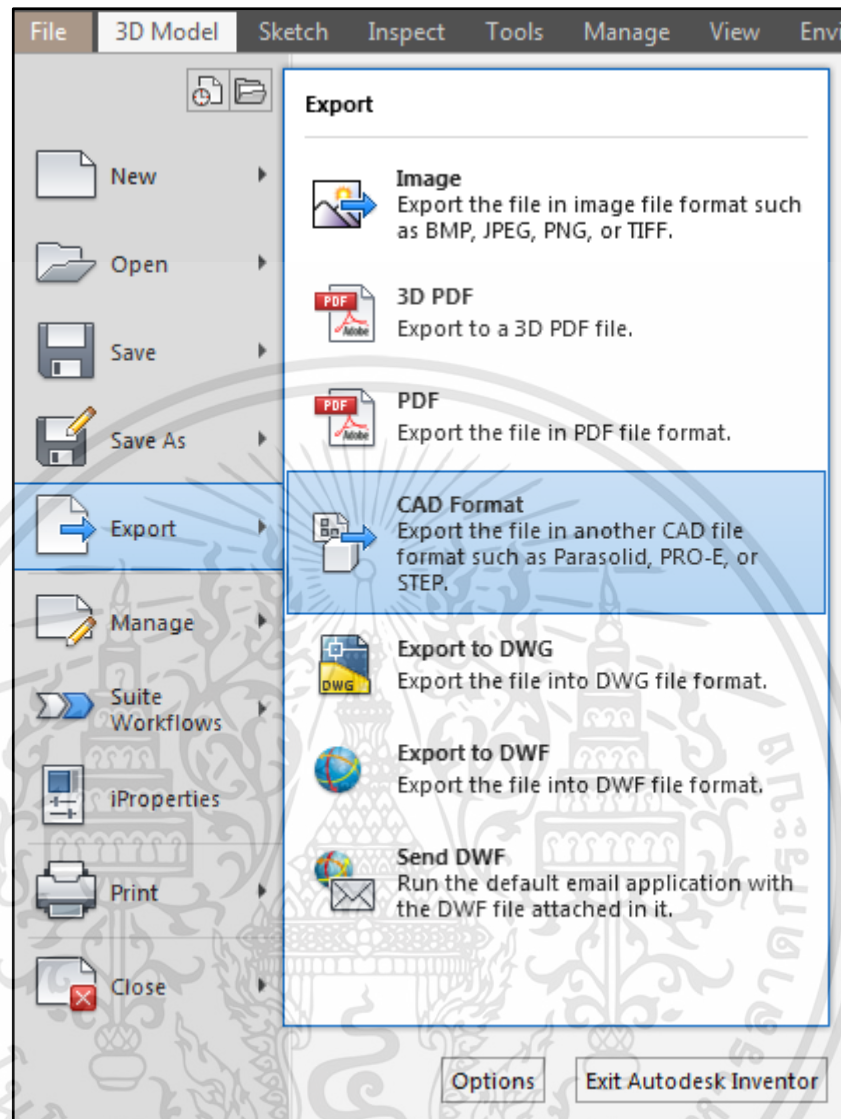
### 3. การตรวจสอบโมเดล



รูปที่ 3.15 แสดง Function การตรวจสอบโมเดล

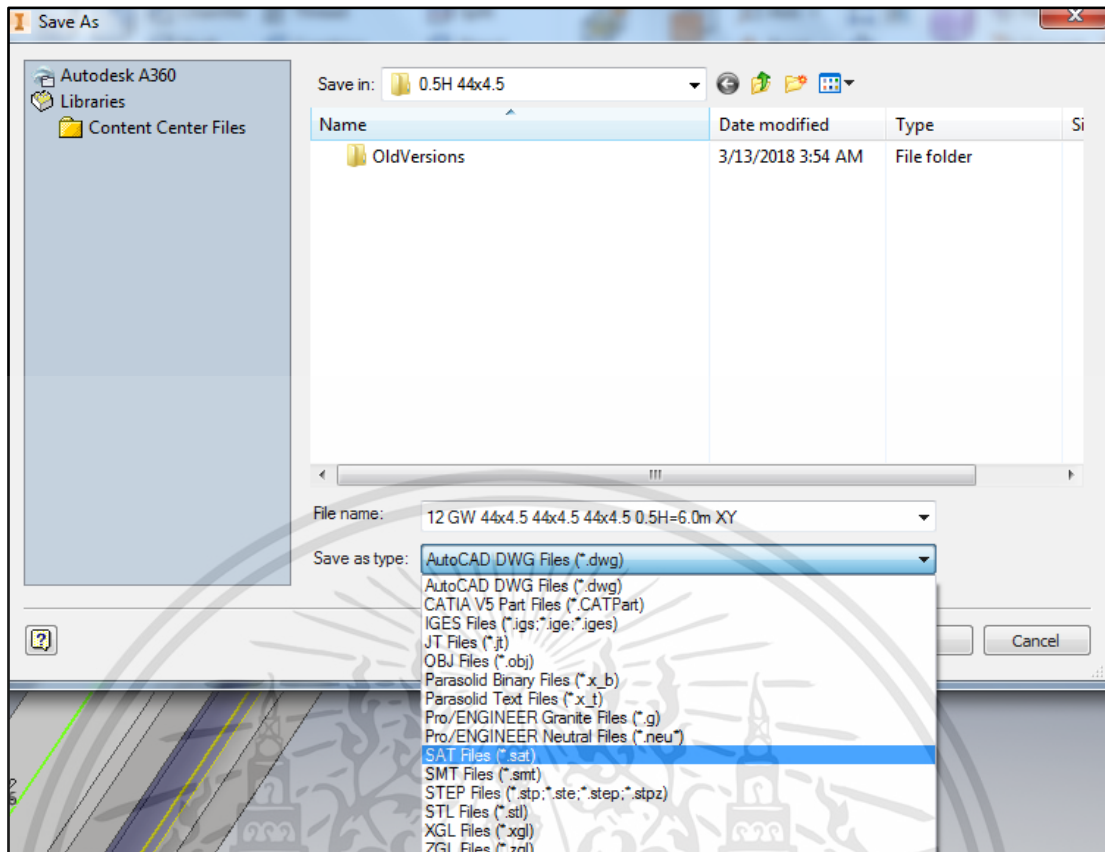
**ขั้นตอนที่ 8** การตรวจสอบในโมเดลนี้เป็นสิ่งสำคัญที่สุดเมื่อนำโมเดลไปวิเคราะห์ผลซึ่งถ้าไม่มีการตรวจสอบโมเดลจะเกิดข้อผิดพลาดกับการวิเคราะห์ผลและไม่สามารถหาสาเหตุของการเกิดข้อผิดพลาดของการวิเคราะห์นั้นได้ โดนคำสั่งนี้จะมีหน้าที่ตัดส่วนบริเวณที่คิดว่าจะมีวัสดุ 2 ชนิดมาซ้อนกันอาจจะเกิดการผิดพลาดในการขึ้นโมเดล ดังนั้นจึงคำสั่ง Combine ในโหมด 3D Model เมื่อกดคำสั่ง Combine แล้วจะแสดงรูปตามภาพที่ 3.14 โดยต้องเลือก Base ของวัสดุโดยเป็นคอนกรีต และ Toolbody จะเลือกวัสดุที่เหลือทั้งหมด และทำเครื่องหมายถูกหน้าคำสั่ง Keep Toolbody จากนั้นโหมดที่อยู่ด้านขวาให้กดตัวเลือกที่สอง จะเป็นคำสั่งการตัดวัสดุที่เกิดการซ้อนทับกัน จากนั้นจึงกดคำสั่ง OK

#### 4. การ SAVE โมเดลเพื่อนำไปเข้าโปรแกรมวิเคราะห์



รูปที่ 3.16 แสดง เข้าโหมดการ บันทึกในโปรแกรม

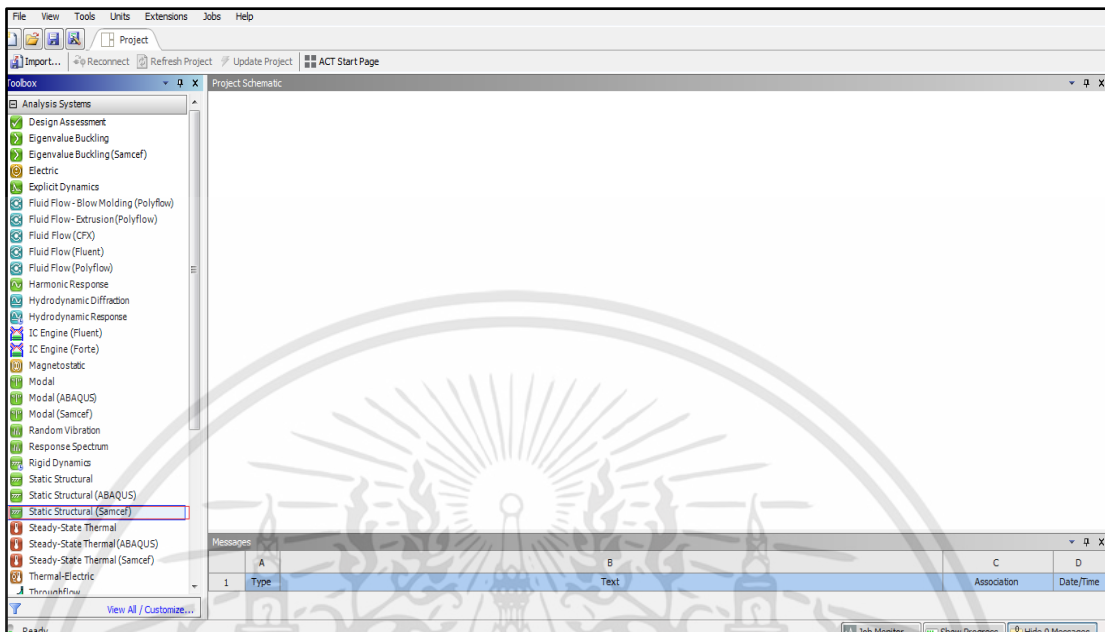
ขั้นตอนที่ 9 การบันทึก file โมเดลซึ่งจะนำไปเข้าโปรแกรม ไฟน์ดเอลิเมนต์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยไปที่คำสั่ง File > Export > CAD Format



รูปที่ 3.17 แสดงการบันทึกของนามสกุล file

**ขั้นตอนที่ 10** การบันทึกนี้ทำให้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถมองเห็น file โมเดลซึ่งจะสามารถนำไป เปิดบนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ โดยบันทึกที่นามสกุล SAT File > OK

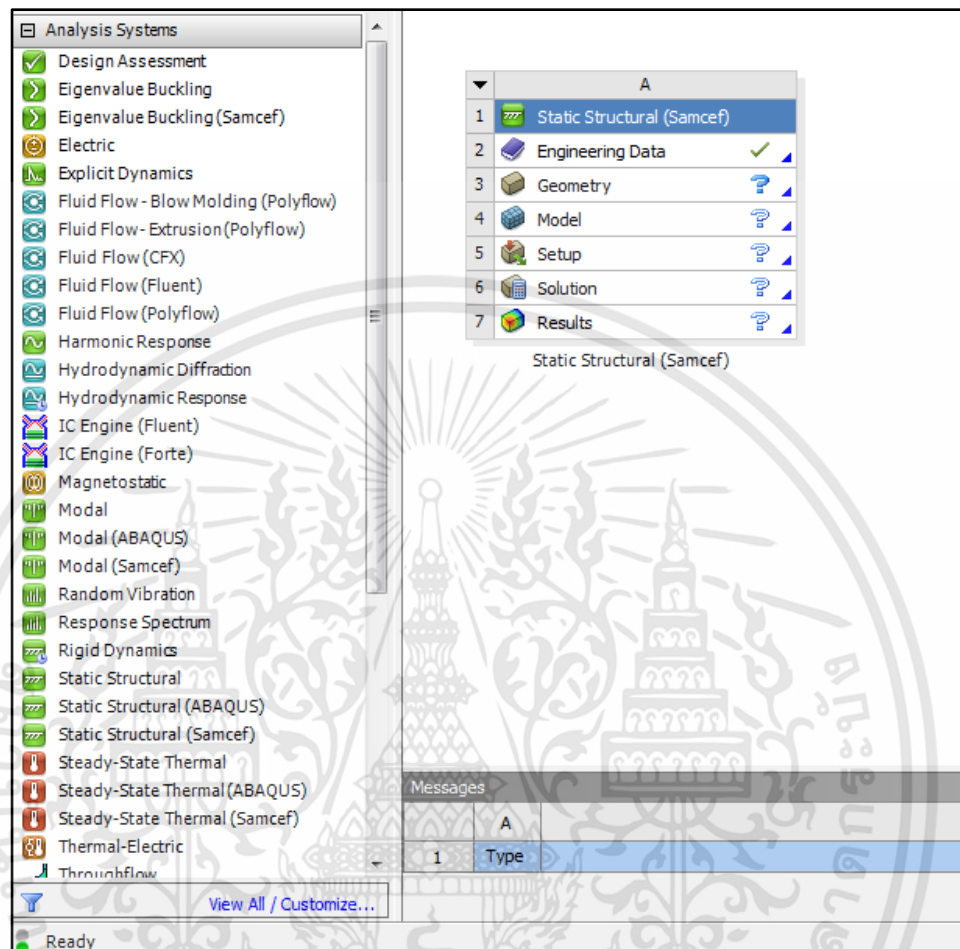
## 5. การนำโมเดลเข้าโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 3.18 แสดงหน้าจอเมื่อเปิดโปรแกรมวิเคราะห์

**ขั้นตอนที่ 11** อันดับแรกต้องต้องสังเกต function ด้านซ้ายมือ จากนั้นให้เลือกคำสั่ง Static Structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

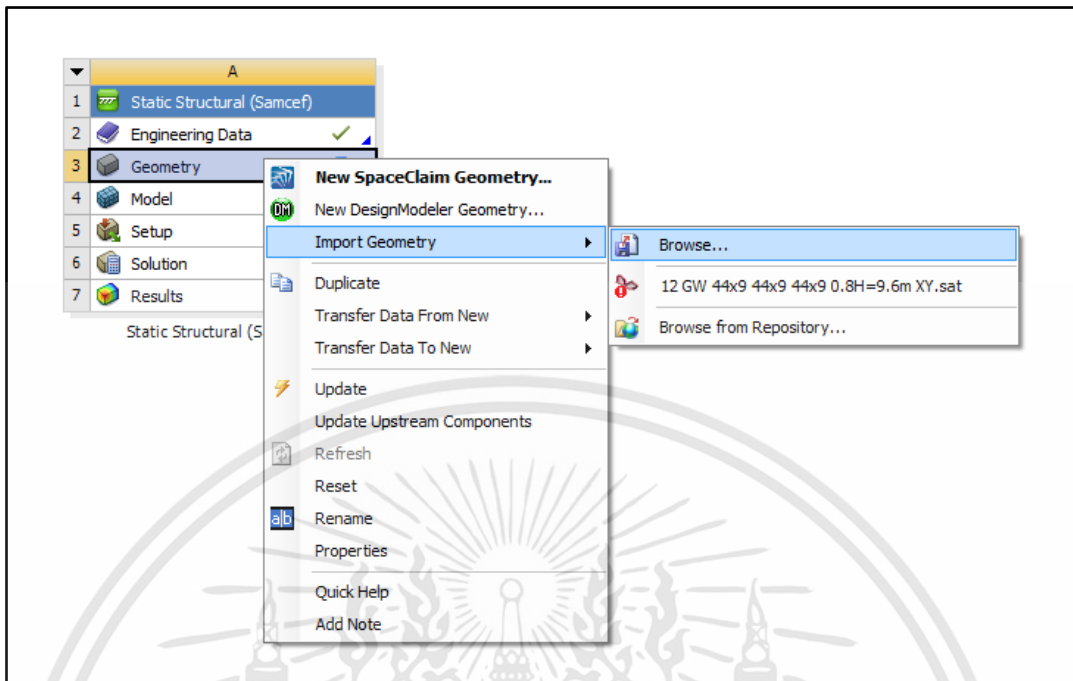


รูปที่ 3.19 แสดงหน้าจอเมื่อเข้าโหมดคำสั่ง Static Structure

ขั้นตอนที่ 12 เมื่อกดคำสั่ง Static Structure จะขึ้นหน้าจอตั้งแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งจะเห็น

1. Engineering Data
2. Geometry
3. Model
  - Setup
  - Solution
  - Result

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 แสดงการนำ file โมเดล เข้าสู่โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ขั้นตอนที่ 13 การนำโมเดลเข้าสู่โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งจะเห็นดังรูปที่ 3.19 โดยให้กดที่คำสั่ง Geometry > Import Geometry > Browse แล้วหาที่อยู่ขอโมเดล

## 6. การตั้งค่าวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในโมเดล

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	Concrete				
4	Main Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
5	strup				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
6	Structure Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

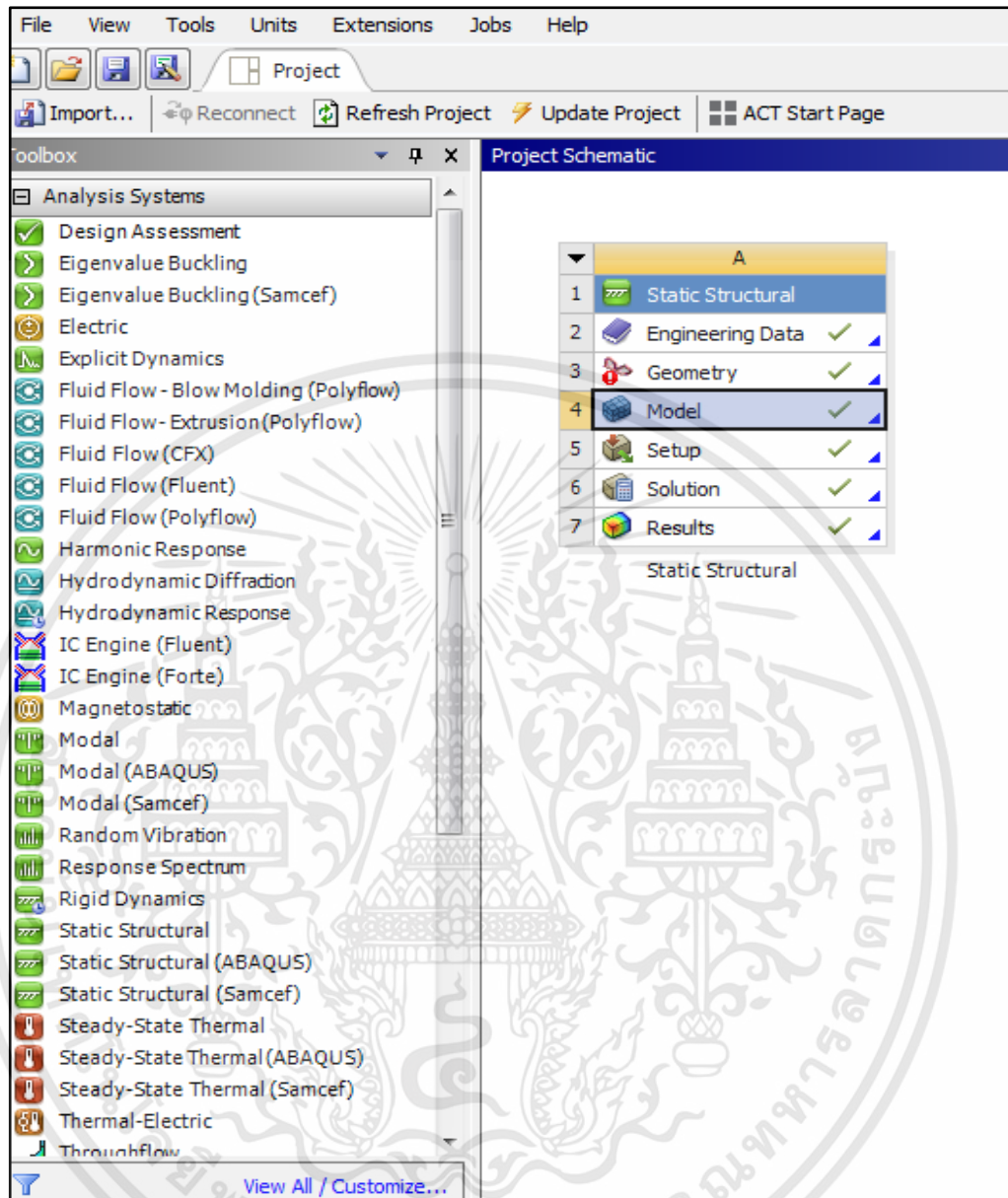
Properties of Outline Row 3: Concrete					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	2400	kg m <sup>-3</sup>		
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
12	Tensile Yield Strength	5.3817E+06	Pa		
13	Compressive Yield Strength	4.4145E+07	Pa		
14	Tensile Ultimate Strength	5.3817E+06	Pa		
15	Compressive Ultimate Strength	4.4145E+07	Pa		

รูปที่ 3.21 แสดงการตั้งค่าวัสดุต่างๆ ของโปรแกรม

### ขั้นตอนที่ 14 Concrete ความหนาแน่น 2400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

แรงดึงของคอนกรีตจะมีค่าประมาณ 12.00 เปอร์เซ็นต์ของคอนกรีต  
กำลังอัดของคอนกรีต มีค่าเท่ากับ 450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร  
ลวดอัดแรง จะต้องดูแบบเสาไฟฟ้าประกอบซึ่งจะระบุกำลังรับแรงดึงไว้ที่  
แบบ เหล็กปลอก จะเป็นชนิดลวดอัดแรงเหมือนกันแผ่นเหล็กเสริมกำลัง  
ซึ่งนำวัสดุ Flat bars ที่หาได้ในตลาดนำมาใช้ ซึ่งใช้มาตรฐาน SS400

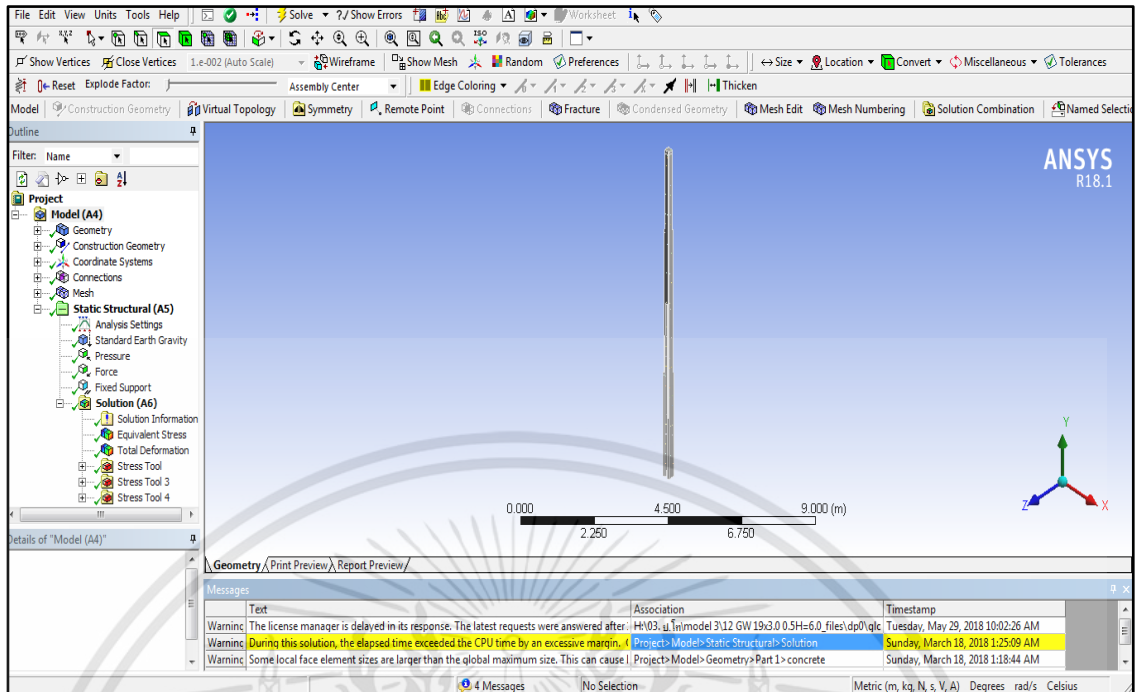
## 7. การวิเคราะห์ผล



รูปที่ 3.22 แสดงการทดสอบการเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 15 การเข้าโหมด Model เพื่อนำไปส่งการวิเคราะห์ผลของตัวอย่างทดสอบ

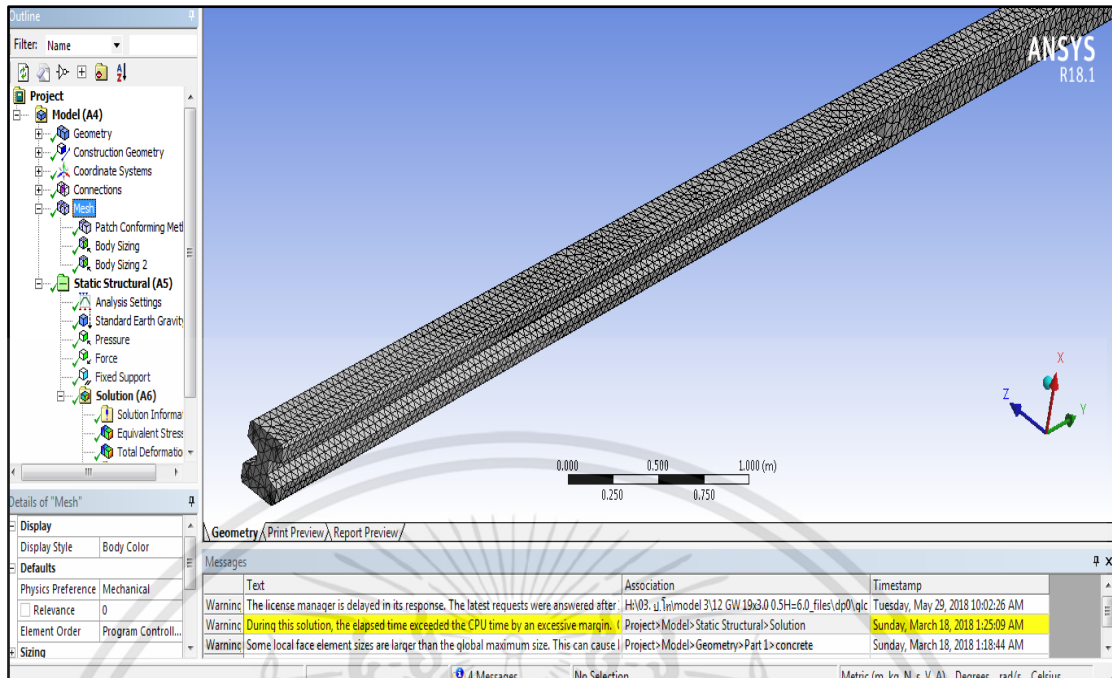
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงรายละเอียดโปรแกรมเมื่อเข้าสู่การวิเคราะห์ผล

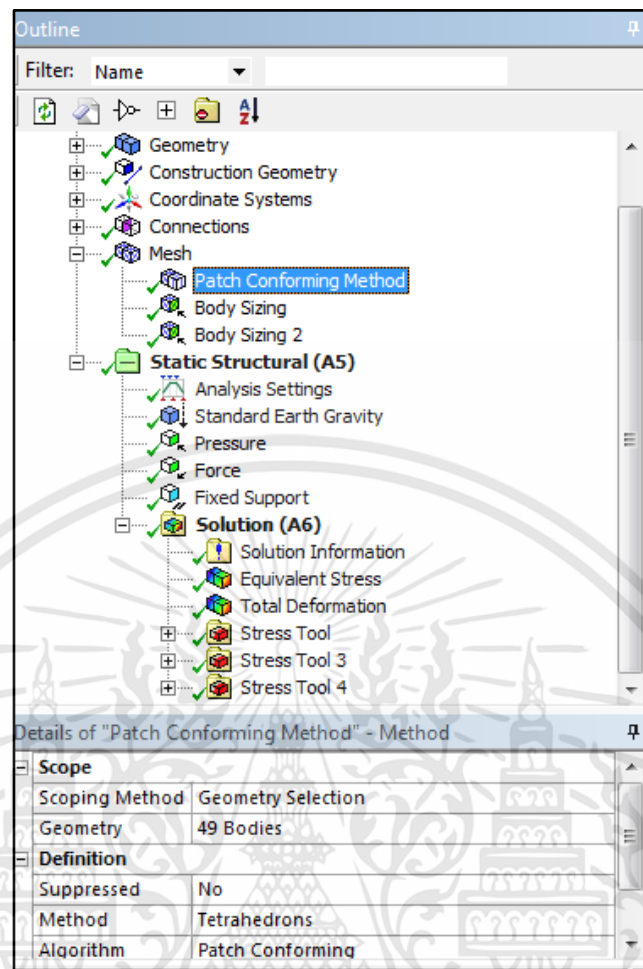
ขั้นตอนที่ 16 รายละเอียดของตัวโปรแกรมที่เข้าสู่การวิเคราะห์ผลซึ่งด้านซ้ายของรูปที่ 3.22 จะแสดงรายละเอียดขั้นตอนการทำงาน โดยจะการตั้งค่าการแบ่งเอลิเมนต์ของตัววัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



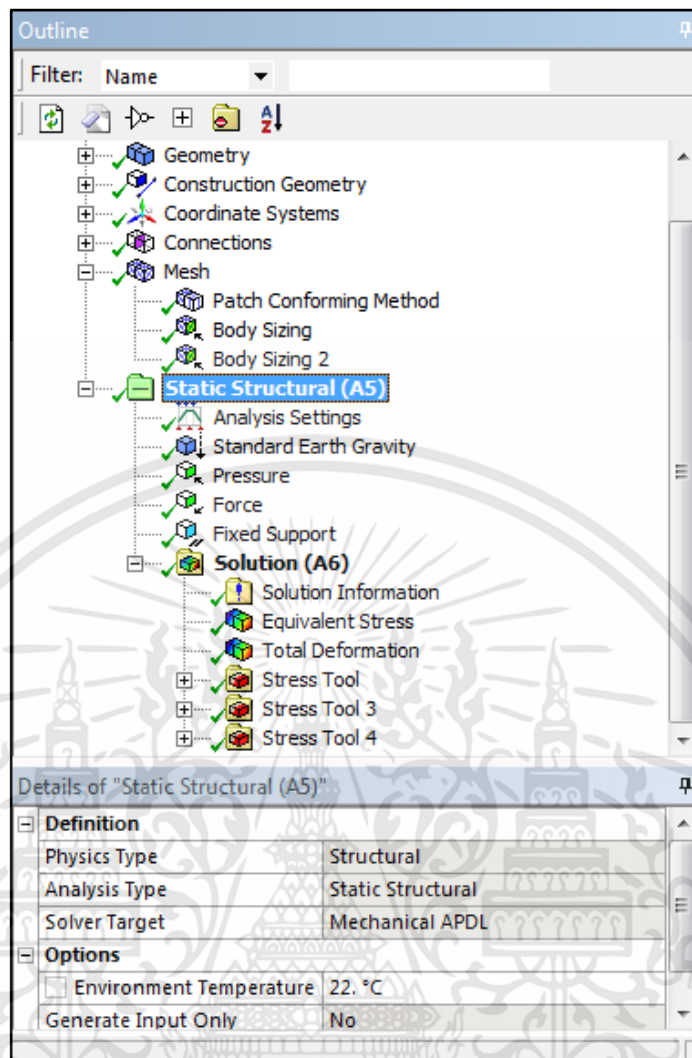
รูปที่ 3.24 แสดงรายละเอียดการแบ่งเอลิเมนต์ของตัววัสดุเสาไฟฟ้า

**ขั้นตอนที่ 16** การแบ่งเอลิเมนต์จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ วัสดุที่เป็นคอนกรีต และ วัสดุที่เป็นเหล็กการแบ่งความกว้างของเอลิเมนต์ของตัวคอนกรีตจะมีค่าอยู่ที่ 2.0 เซนติเมตรการแบ่งความกว้างของเอลิเมนต์ของตัวเหล็กทั้งหมดจะมีค่าอยู่ที่ 1.0 เซนติเมตร



รูปที่ 3.25 แสดงรายละเอียดการวิธีการแบ่งเอลิเมนต์

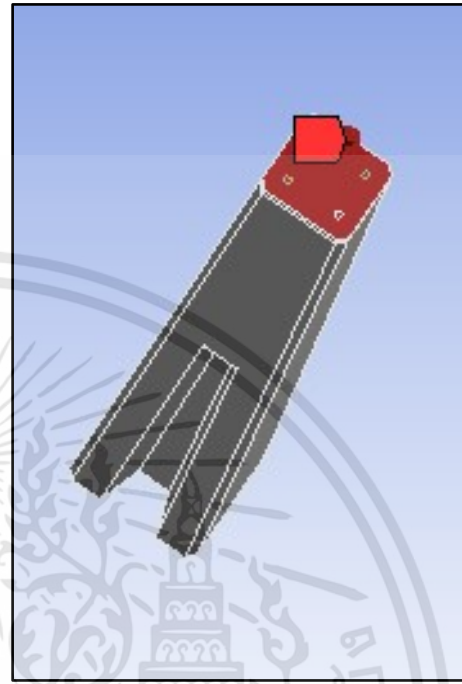
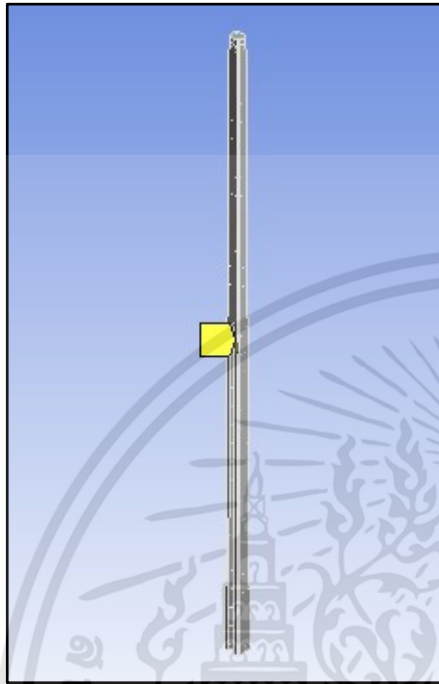
**ขั้นตอนที่ 16** กระบวนการแบ่งเอลิเมนต์มีสิ่งสำคัญอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งการแบ่งเอลิเมนต์นั้นควรจะทำให้การแบ่งให้ลงเลขคู่รวมไปถึงอาจเกิดการแบ่งเอลิเมนต์ที่ไม่ได้ขนาดตามต้องการมักมีปัจจัยมาจากโมเดลที่ไม่ได้ขนาดที่สมมาตร จึงต้องมีกระบวนการหรือวิธีการแบ่งเอลิเมนต์ให้ละเอียดเข้าไปอีกระดับ โดนจะต้องใช้โหมด Patch Conforming Method โดยตั้งค่าการแบ่งเป็นแบบ Tetrahedrons มักจะแก้ไขในกรณีจุดหักมุมต่างๆ



รูปที่ 3.26 แสดงการใส่เงื่อนไขของตัวอย่างการทดสอบ

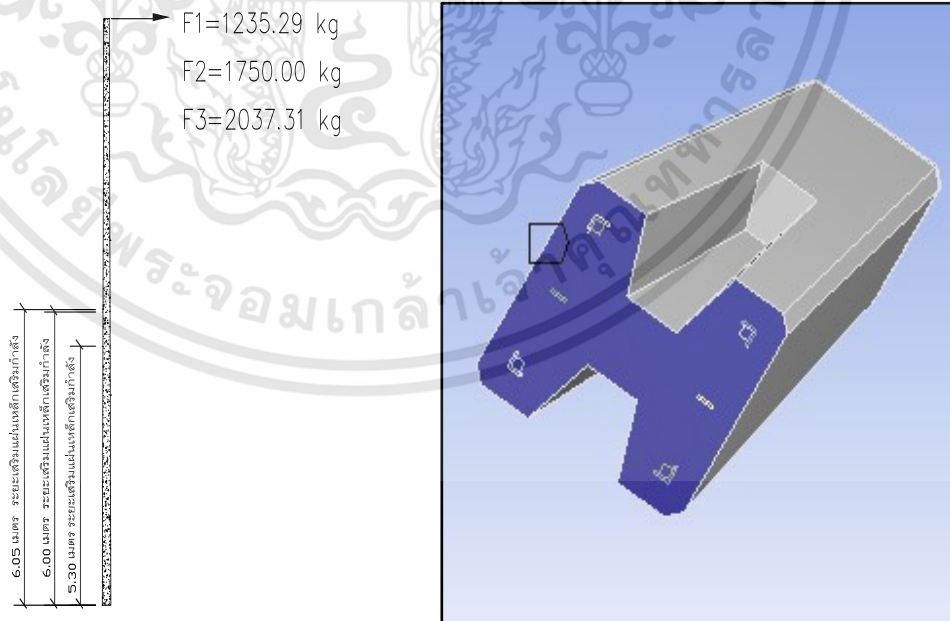
- ขั้นตอนที่ 17** คำสั่ง 1. Standard Earth Gravity จะเป็นการกำหนดแรงโน้มถ่วงของโลกตามปกติแล้วแรงโน้มถ่วงของโลกจะอยู่ที่ 9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup> ดังรูปที่ 3.26 (ก.)
- คำสั่ง 2. Pressure จะใส่แรงอัดของแรงดึงของลวดอัดแรงแทนเข้าไปซึ่งจะแสดงถึงพฤติกรรมให้เหมือนโครงสร้าง prestress ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ข.)
- คำสั่ง 3. การใส่แรงกระทำโดยจะแยกเป็นสามแรง ของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภท ดังแสดงในรูปที่ 3.26 (ค.)
- คำสั่ง 4. การใส่จุดยึดของโครงสร้างโดยสันนิษฐานว่าโครงสร้างเกิดการหักที่ระดับพื้น โดยมีแนวคิดมาจากการเกิดอุบัติเหตุต่างที่มีการหักโค่นของเสาไฟฟ้ามักจะเกิดการหักในบริเวณระดับพื้นเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะตัดโครงสร้างเสา

ไฟฟ้าที่อยู่ใต้พื้นดินออกไปจากการวิเคราะห์และใส่จุดยึดเป็นแบบยึดแน่น  
 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (ง.)



รูปที่ 3.27 (ก.) แสดงการใส่แรงโน้มถ่วง

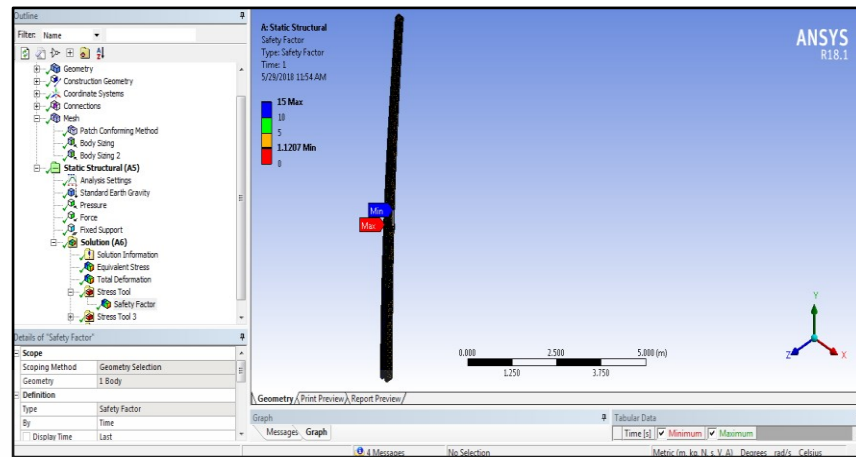
รูปที่ 3.27 (ข.) แสดงใส่แรงอัดตามพฤติกรรม



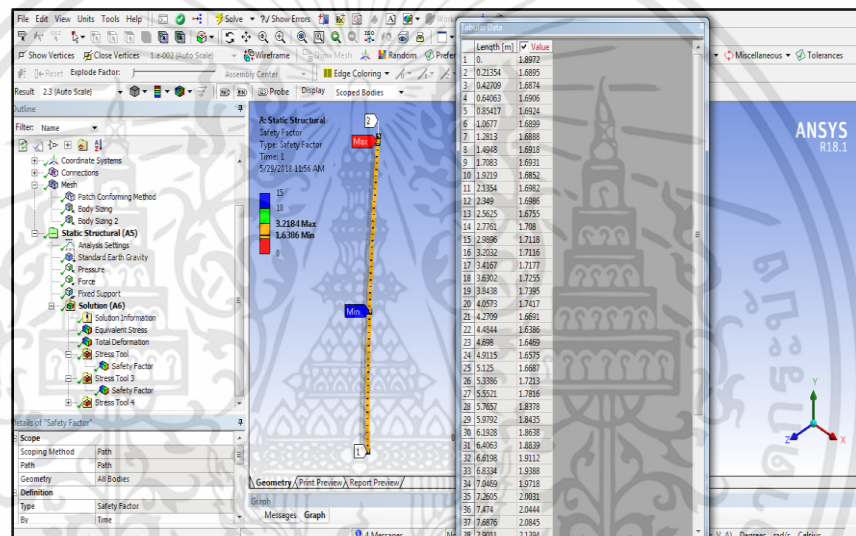
รูปที่ 3.27 (ค.) แสดงการใส่แรงด้านข้าง

รูปที่ 3.27 (ง.) แสดงจุดยึดของโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 (ก.) แสดงผลของการวิเคราะห์ความสามารถการเกิดหักของโครงสร้างเสาไฟฟ้าได้



รูปที่ 3.28 (ข.) แสดงผลแบบละเอียดของอัตราส่วนความปลอดภัยโดยจะมีแนวโน้มของการลดลง และ เพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความปลอดภัย

**ขั้นตอนที่ 18** รูปที่ 3.27 (ก.) แสดงการให้ถึงผลของวัสดุในบริเวณที่มีกำลังรับแรงที่

อ่อนที่สุดมักจะเกิดการวิบัติในบริเวณนี้เมื่อเกิดแรงกระทำ

รูปที่ 3.27 (ข.) แสดงให้ข้อมูลที่สามารนำไปใช้ได้โดยผลที่ได้เป็นแบบ

ละเอียดเป็นอัตราส่วนของความปลอดภัยของวัสดุระหว่างกำลังต้านทาน

แรงเค้นของวัสดุหารด้วยแรงเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำ ผลที่ใช้จะเป็น

ผลที่ได้จากผิวของวัสดุ เนื่องจากการวิบัติของวัสดุมักจะเกิดขึ้นที่ผิวและ

จะส่งแรงเข้าไปยังเนื้อวัสดุที่อยู่ลึกเข้าไปตามลำดับ

- การทดสอบนี้การคำสั่ง Convergent ในการอ้างอิงผลของคำตอบ โดยมี ความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 แนวทางในการวิเคราะห์ผล

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเสาไฟฟ้าชนิดแรงต่ำที่เกิดแรงเค้น(Stress) ขึ้นภายในวัสดุเมื่อเกิดแรงกระทำกับเสาไฟฟ้านำมาเปรียบเทียบกับแรงต้านทานของวัสดุที่เกิดขึ้นซึ่งจะเป็นผลของอัตราส่วนความปลอดภัย(Safety Factor) และอัตราส่วนความปลอดภัย(Safety Factor) ที่เกิดขึ้นต้องมีมากกว่า 1 ในบริเวณจุดที่มีการเสริมกำลังหรือเหนือจุดเสริมกำลังขึ้นไปจะเป็นผลสำเร็จ

$$\sigma_c \geq \sigma_u \quad (1)$$

Safety Factor

$$FS = \frac{S_c}{\sigma_u} \quad (2)$$

โดยเป้าหมายในการออกแบบ

$$\frac{S_c}{\sigma_u} > 1 \quad (3)$$

$\sigma_u$  = Equivalent Stress (Pa)

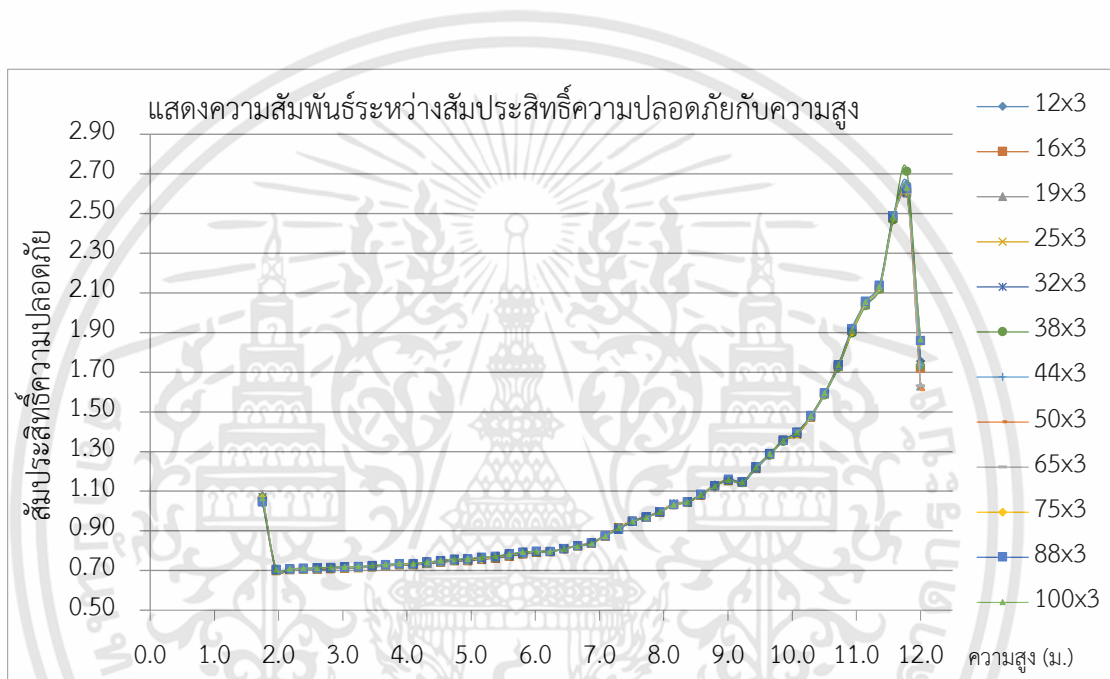
$S_c$  = Stress limit ของวัสดุ (Pa)

$FS$  = Safety Factor

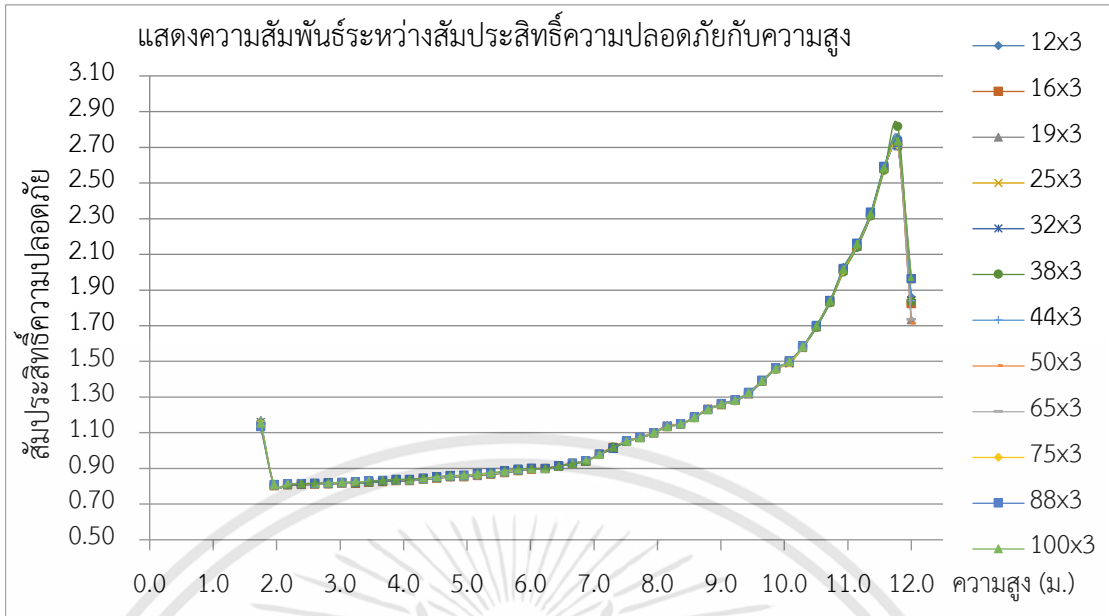
## 4.2 ลักษณะการเสริมกำลังในการทดสอบตัวอย่างเสาไฟฟ้าแรงต่ำ

ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองของเสาไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภท คือ 12.00m 3.5T-m , 12.00m 5.0T-m , 12.35m 6.5T-m ซึ่งแบบจำลองนี้จะแบ่งลักษณะการเสริมออกเป็น 4 ลักษณะ

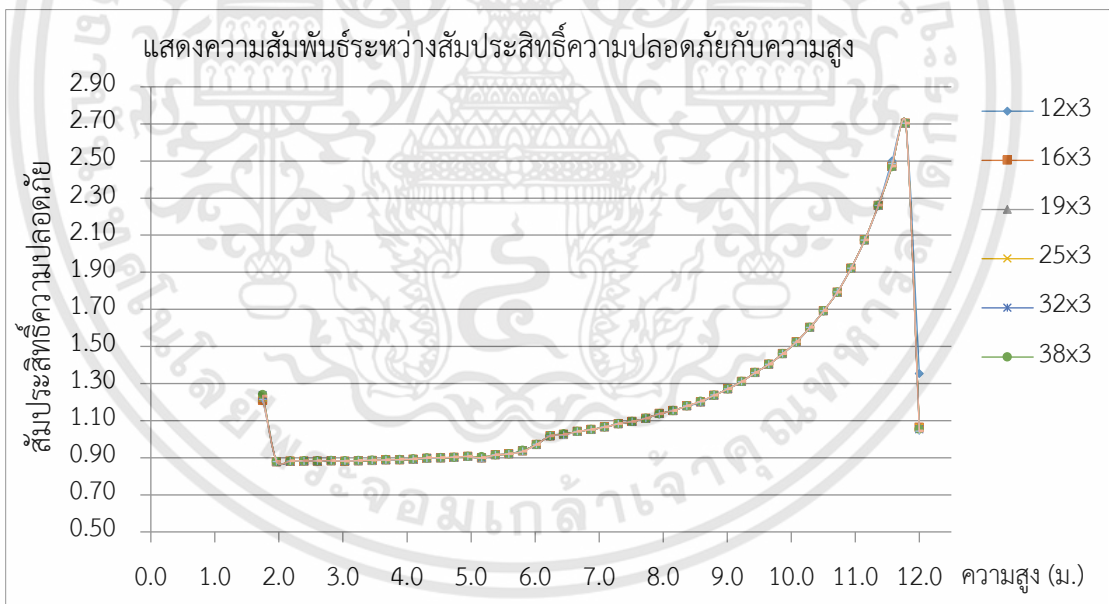
4.2.1.รูปแบบที่ 1 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าในรูปที่ 3.4 ในความหนาที่ 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

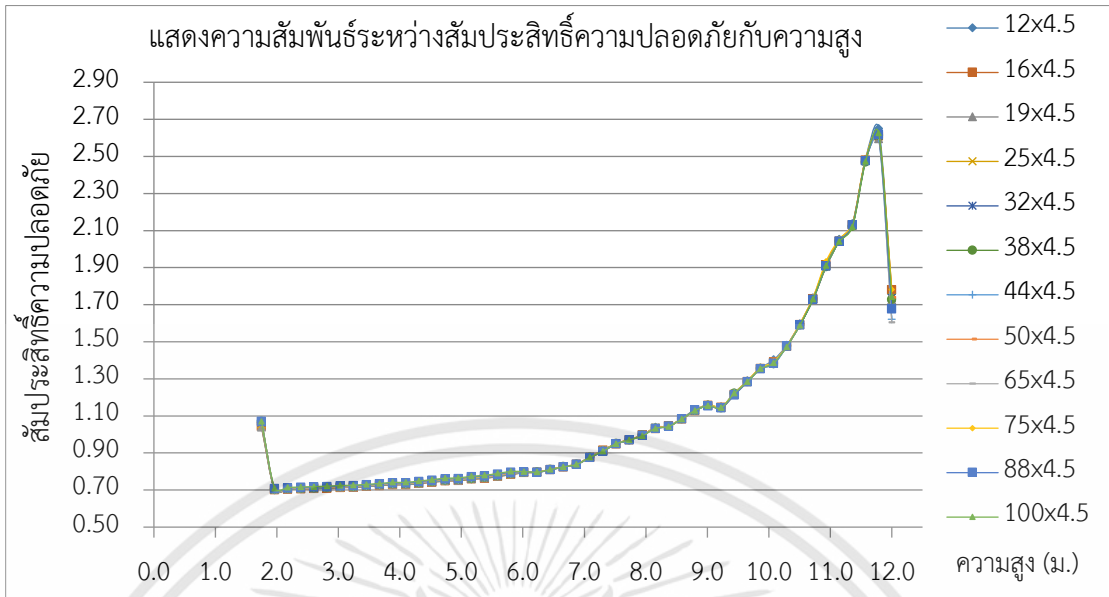


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

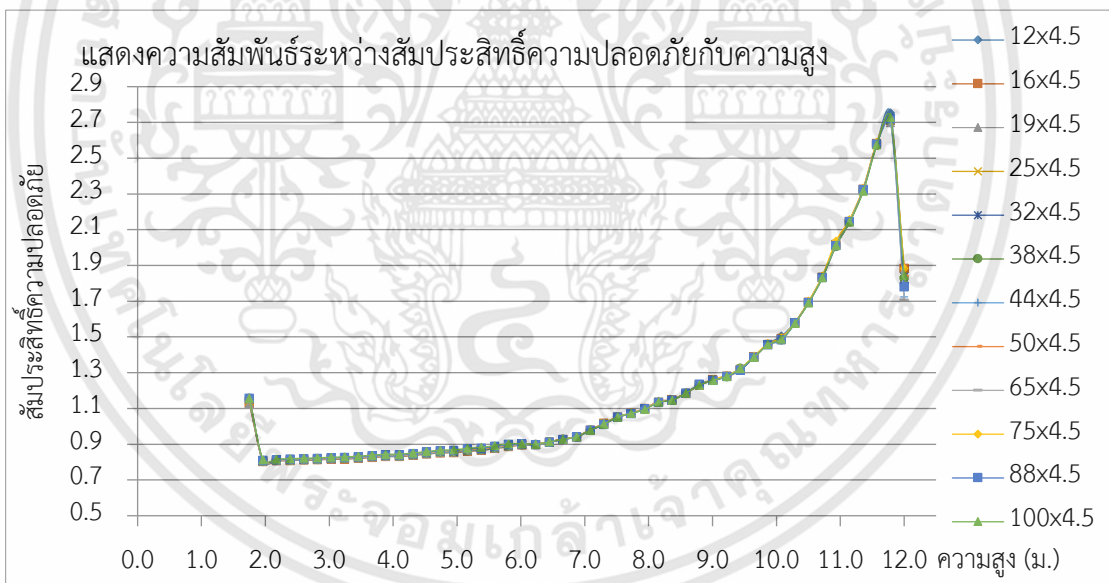


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

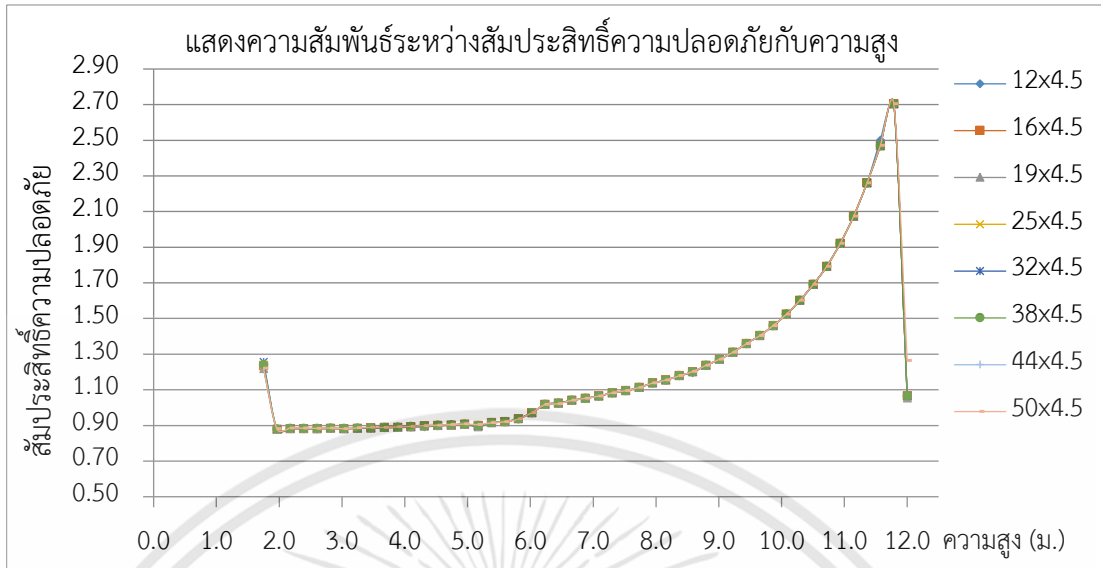


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

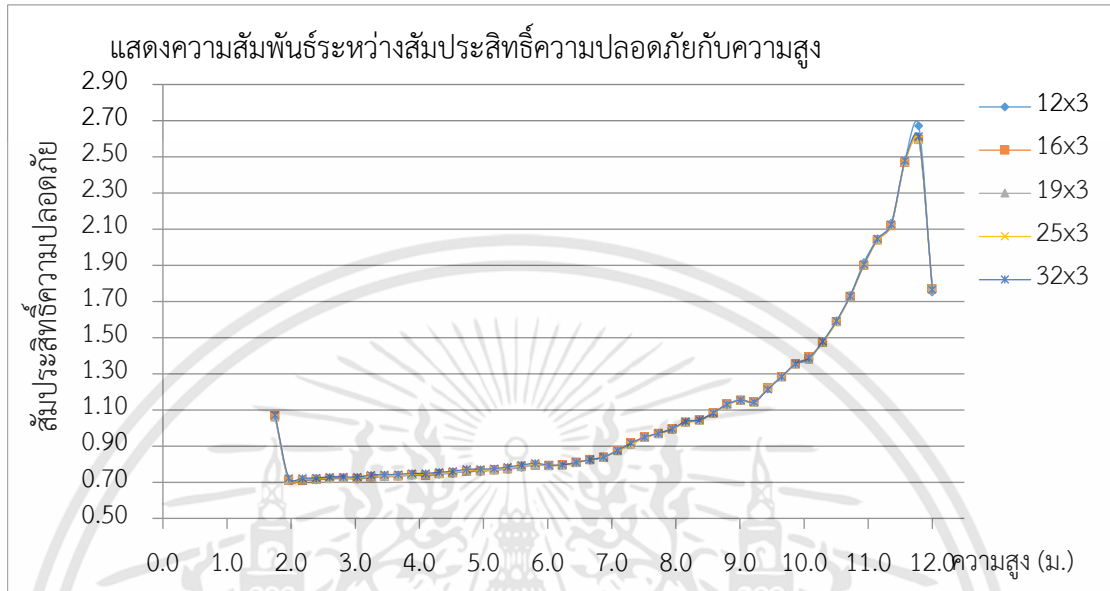
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



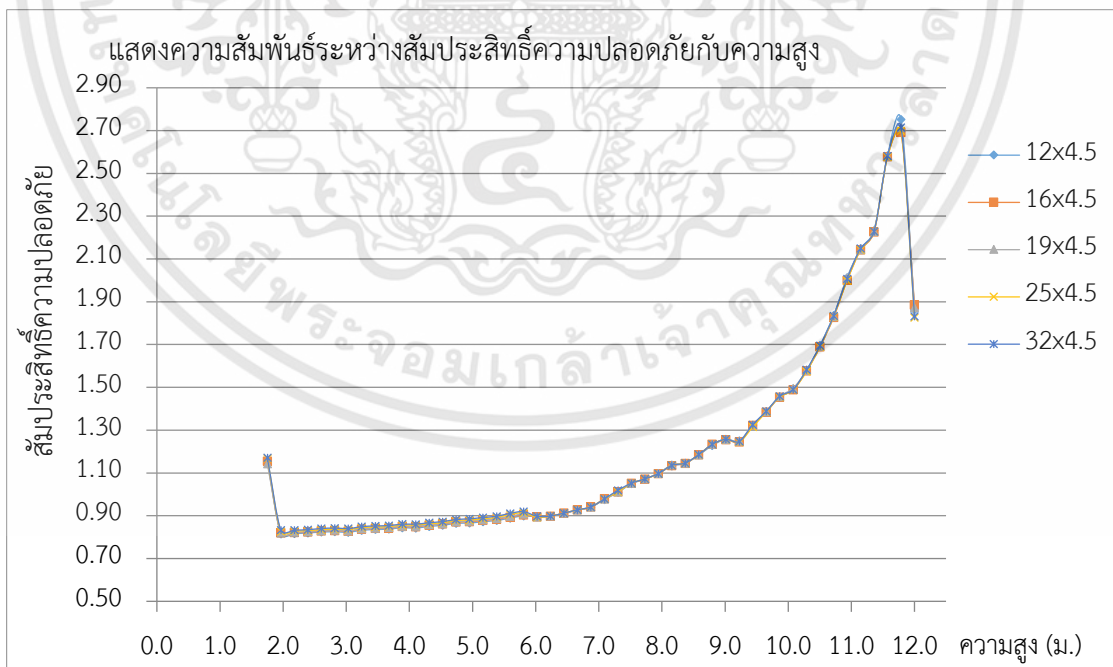
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.รูปแบบที่ 2 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าในรูปที่ 3.5 ในความหนาที่ 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง

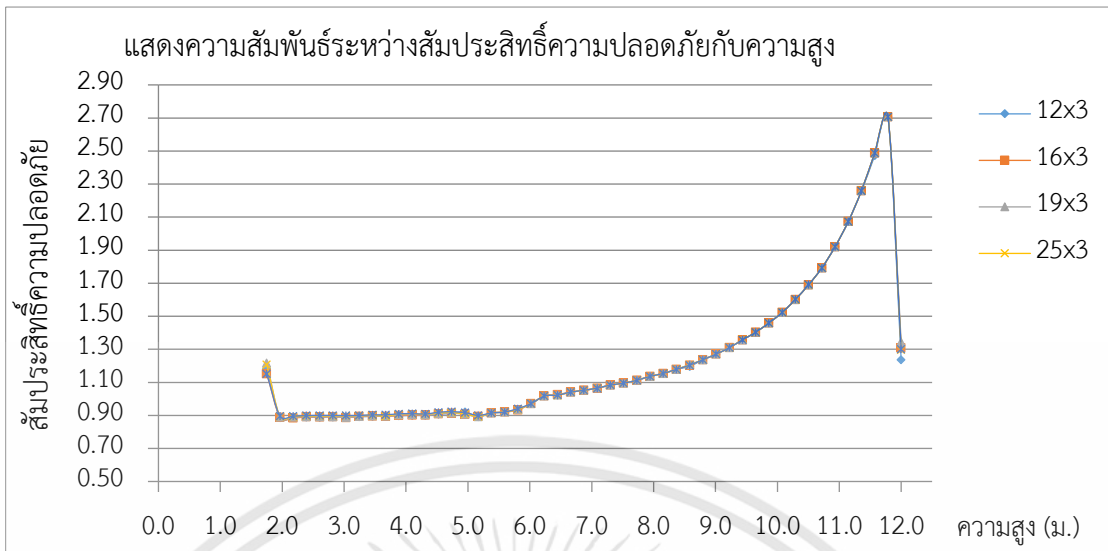


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

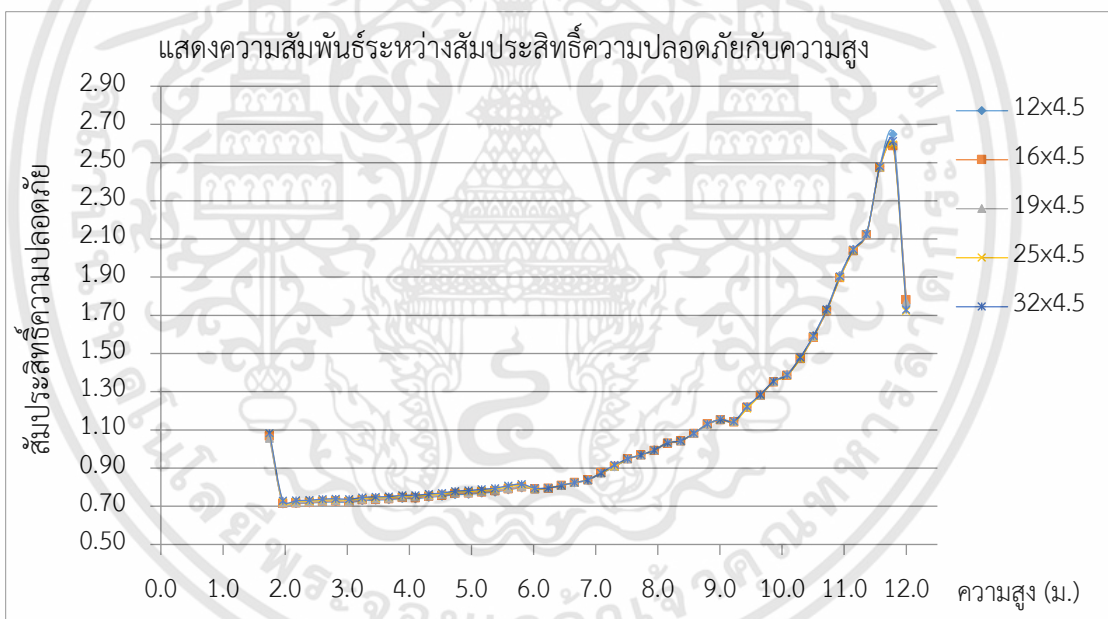


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

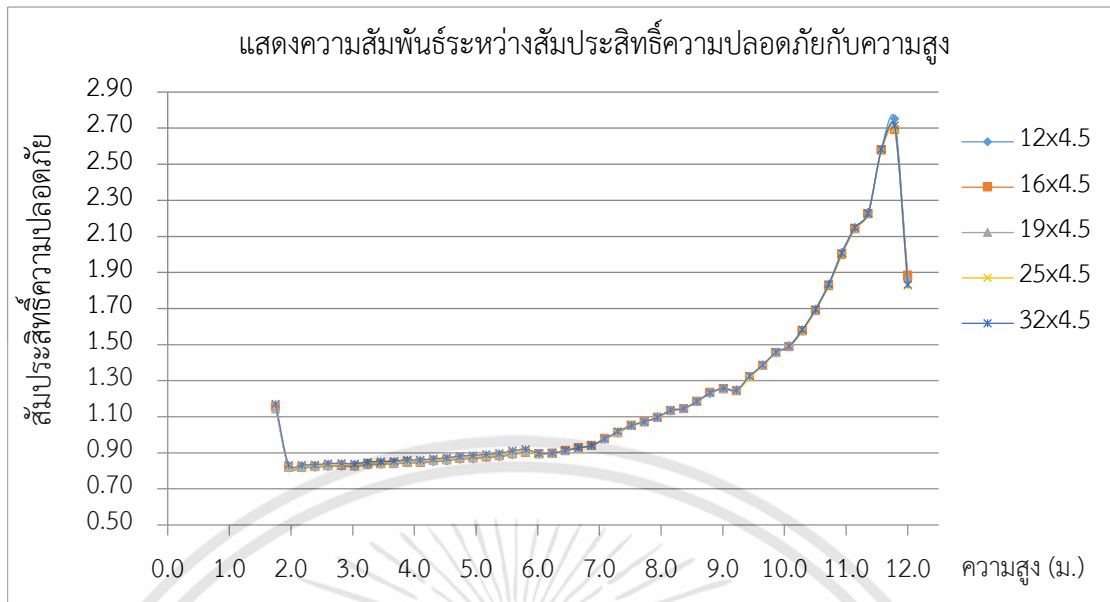


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้า  
ขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

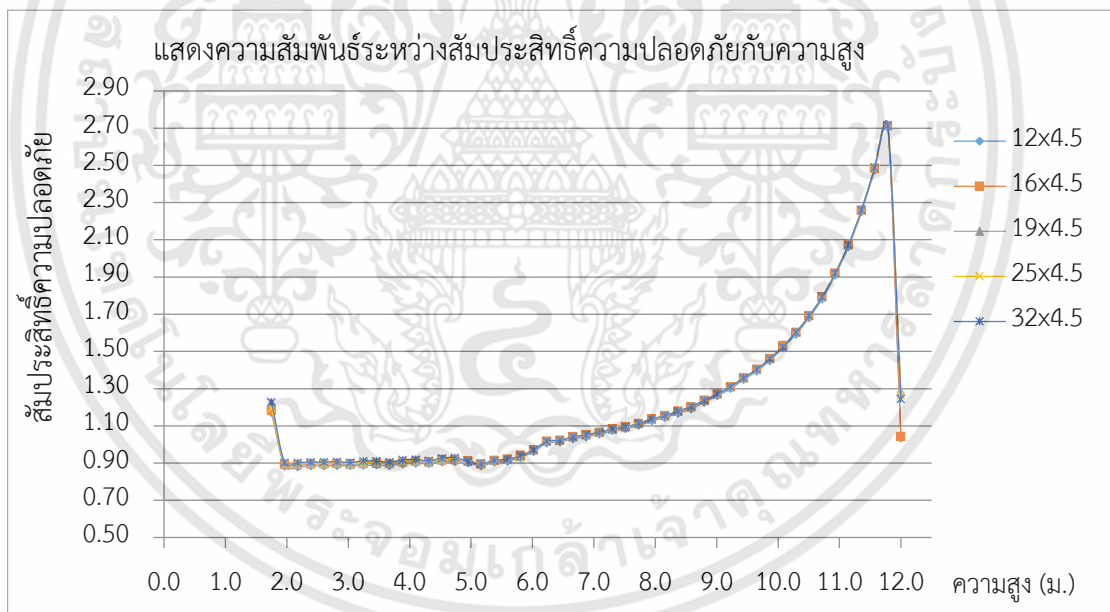


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสา  
ไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



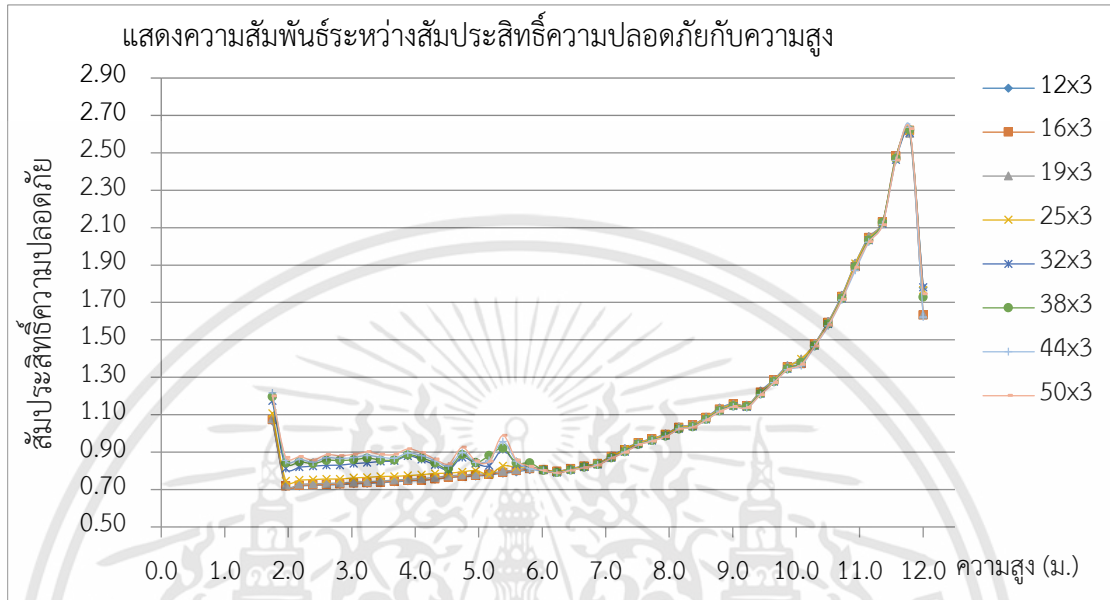
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร



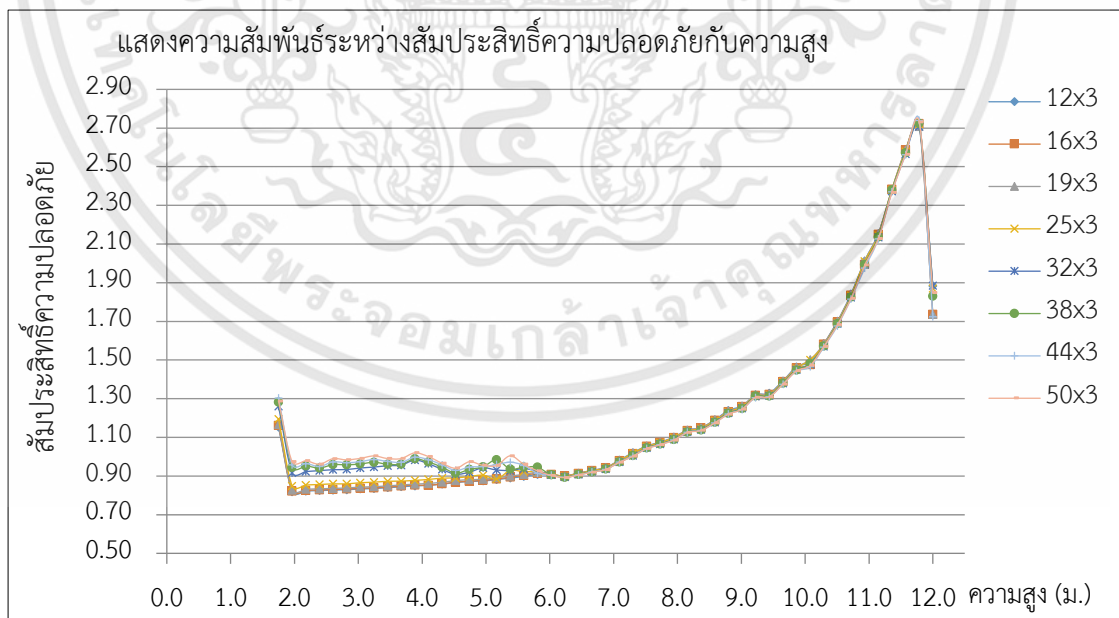
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.รูปแบบที่ 3 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าในรูปที่ 3.6 ในความหนาที่ 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง

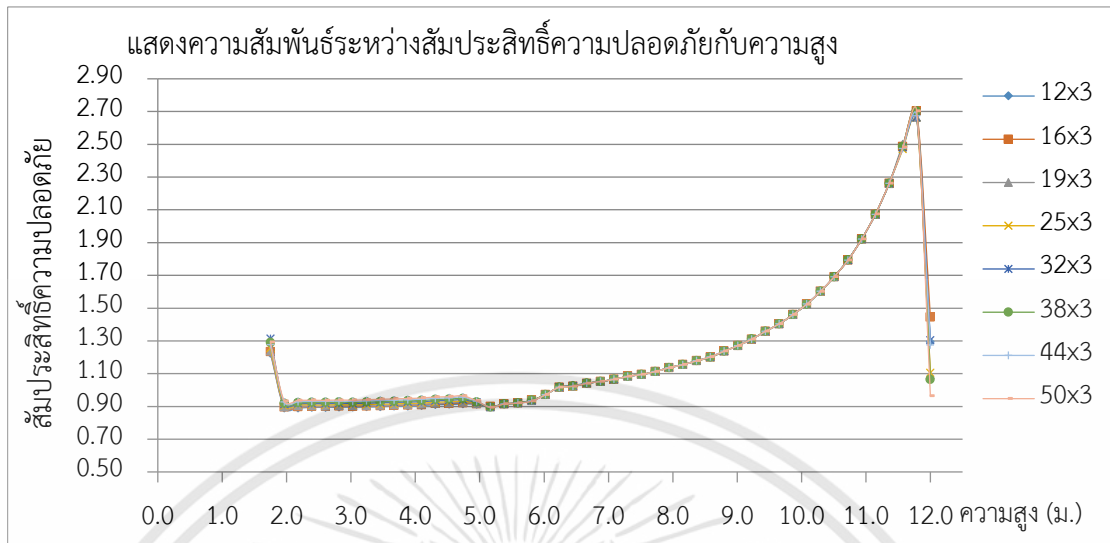


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

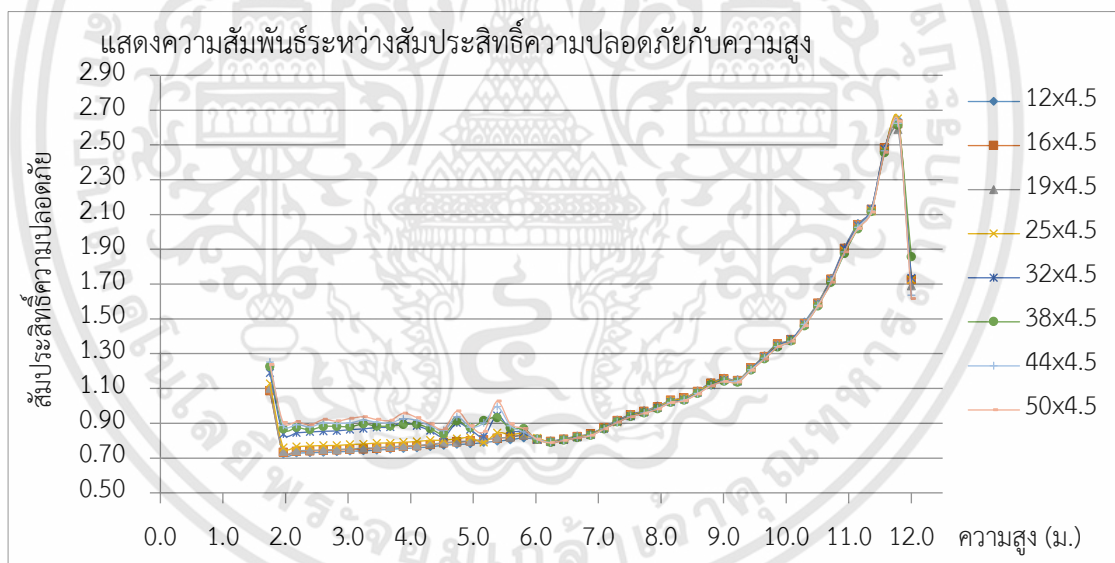


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

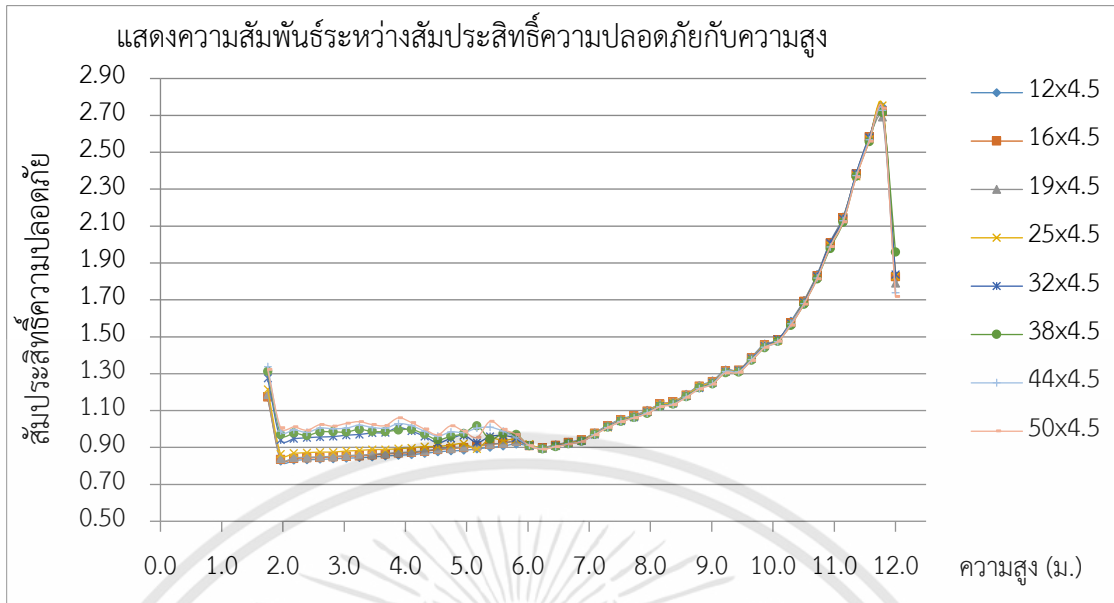


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้า  
ขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

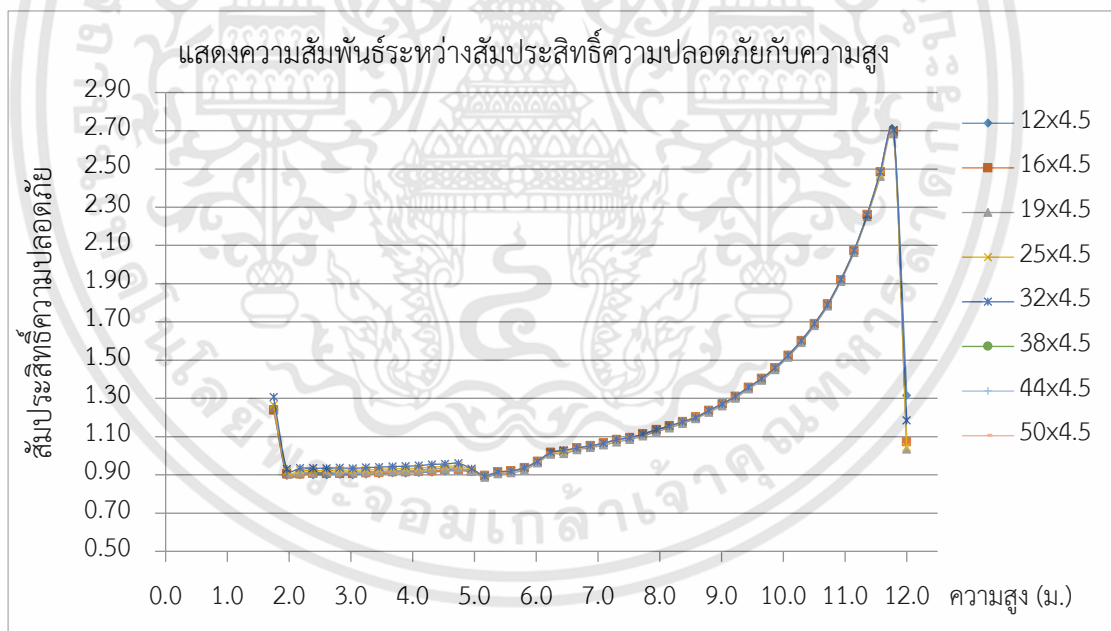


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสา  
ไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



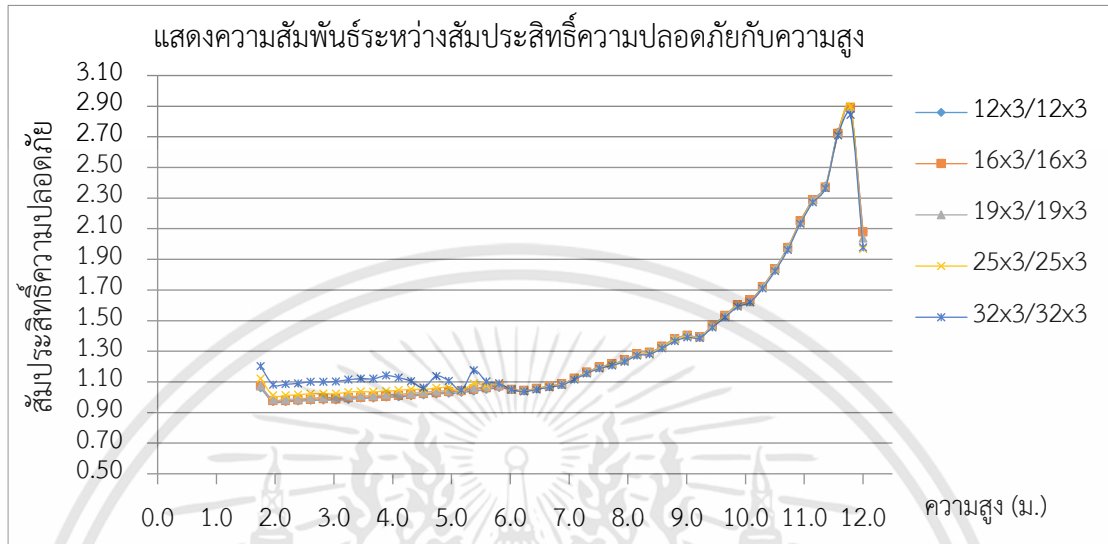
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร



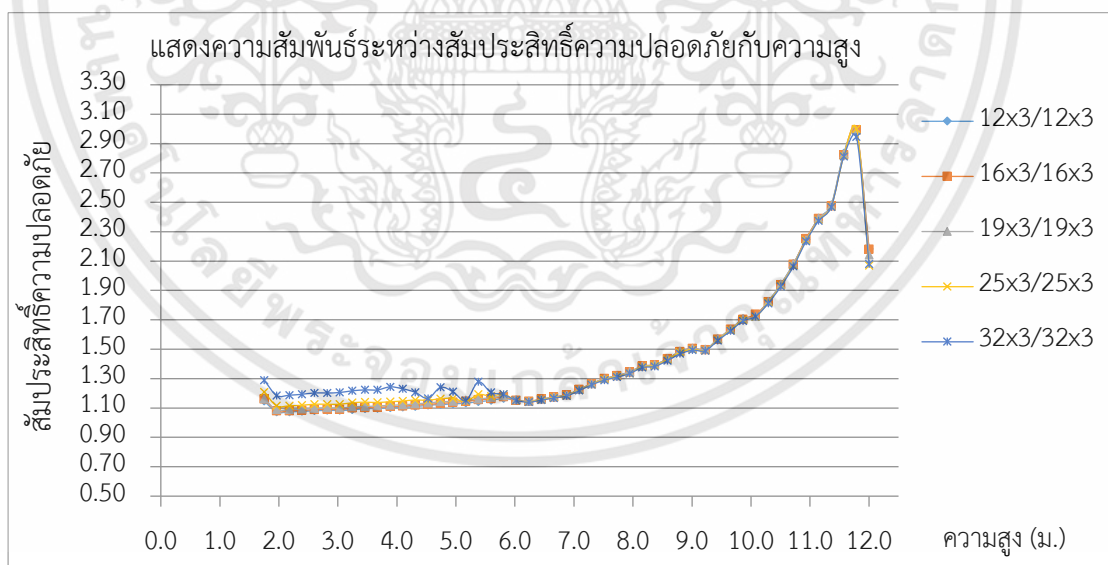
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

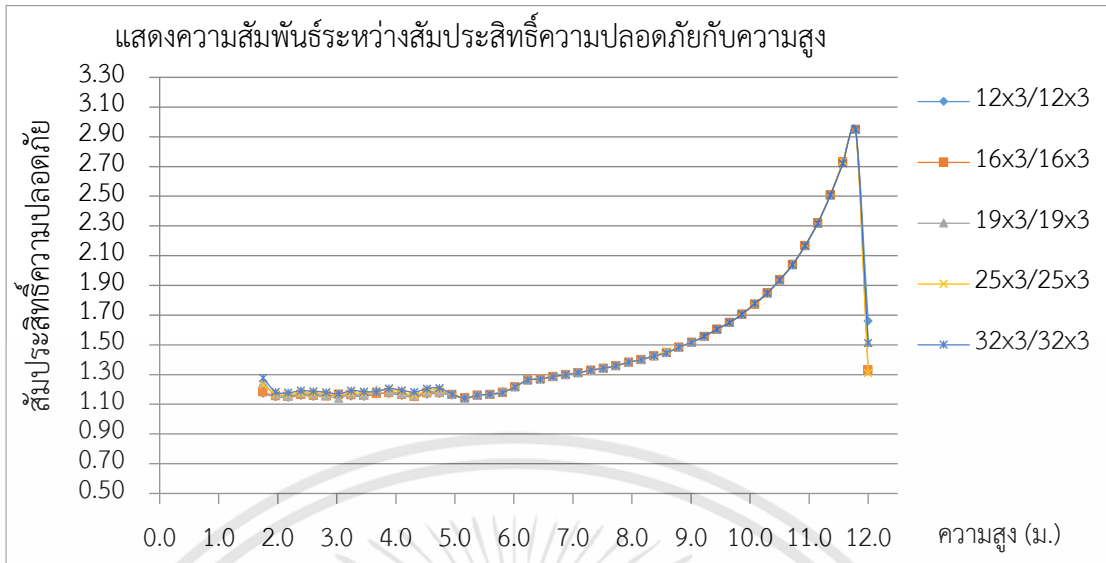
4.2.4.รูปแบบที่ 4 จะมีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าในรูปแบบที่ 3.7 ในความหนาที่ 3.0 และ 4.5 มิลลิเมตร ของแผ่นเหล็กเสริมกำลัง



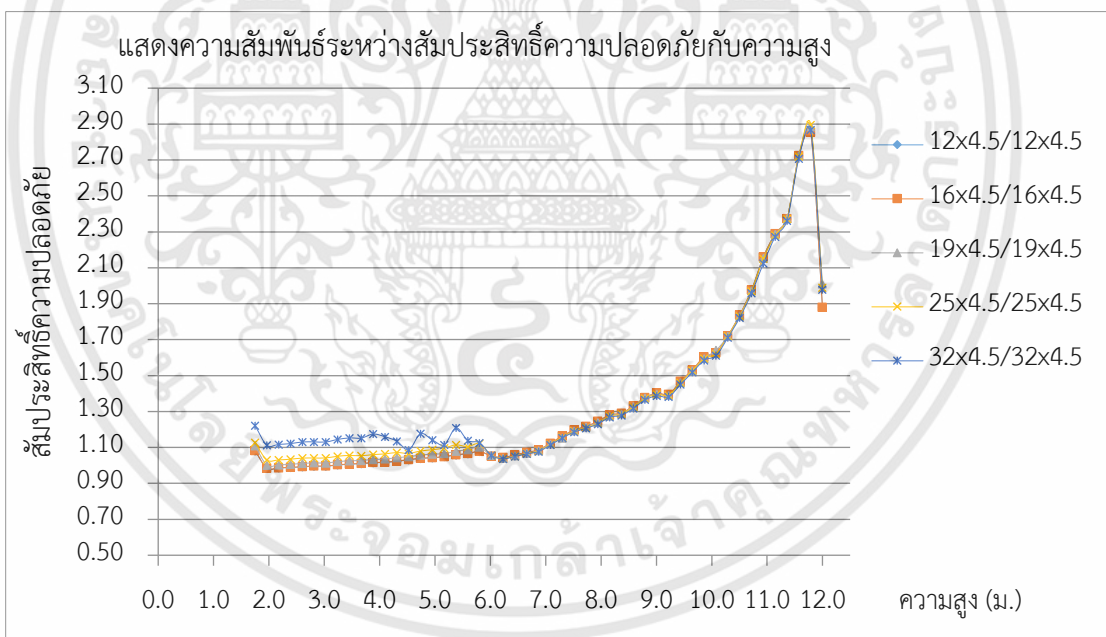
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้าขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร

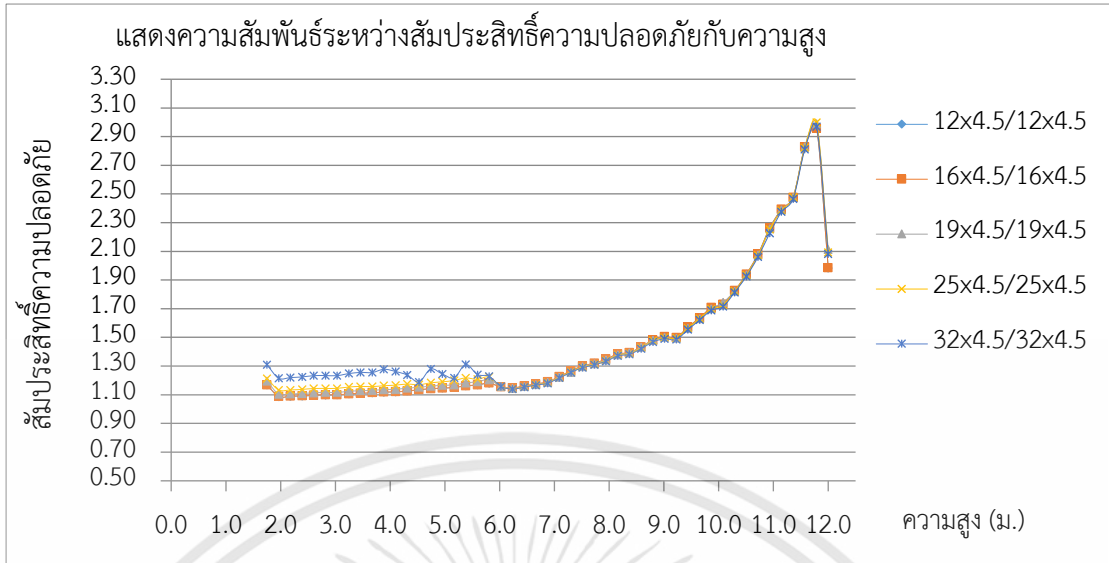


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาค้ำไฟฟ้า ขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 3.0 มิลลิเมตร



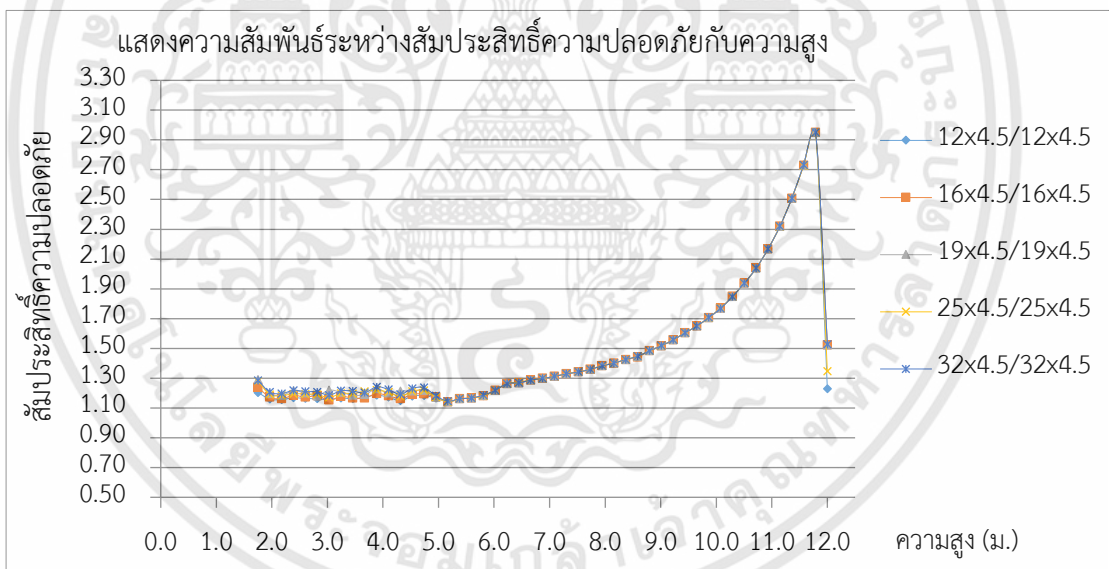
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาค้ำไฟฟ้า ขนาด 12.00m 3.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้า

ขนาด 12.00m 5.0T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

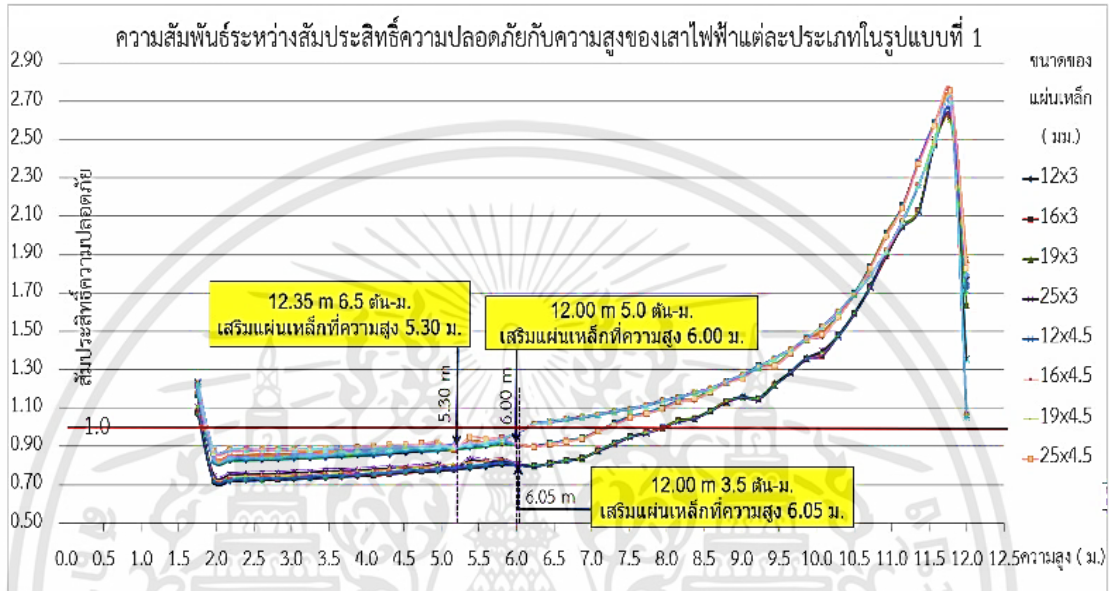


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูง เสาไฟฟ้า

ขนาด 12.35m 6.5T-m ที่ความหนาแผ่นเสริมกำลัง 4.5 มิลลิเมตร

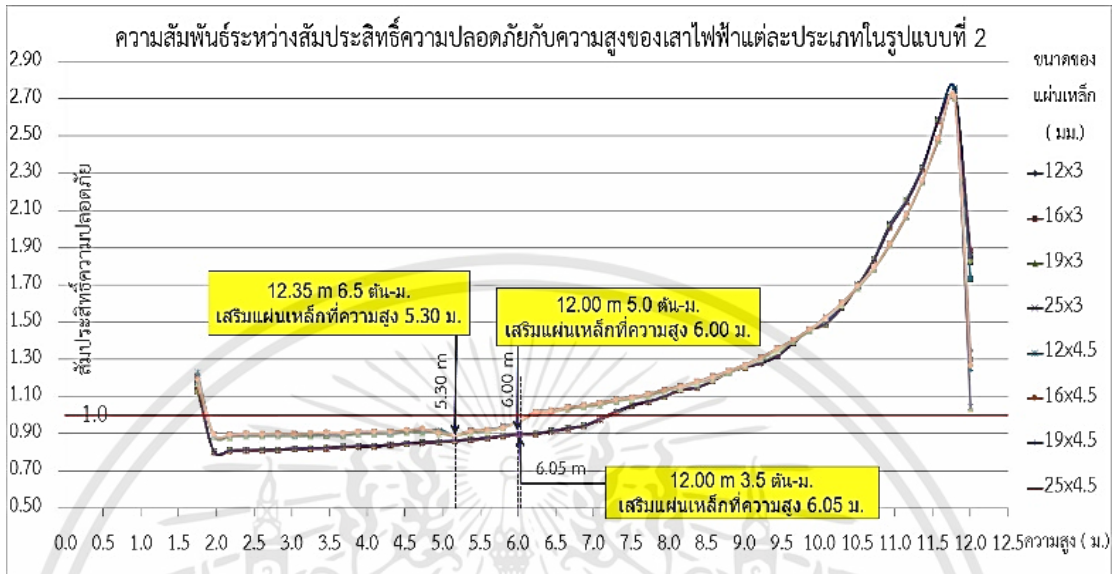
### 4.3 ผลของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำแต่ละประเภทที่มีการเสริมกำลังความแข็งแรงภายในเสาไฟฟ้า

#### 4.3.1 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 1 ของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำแต่ละประเภทดังได้แสดงในรูปที่ 5.25



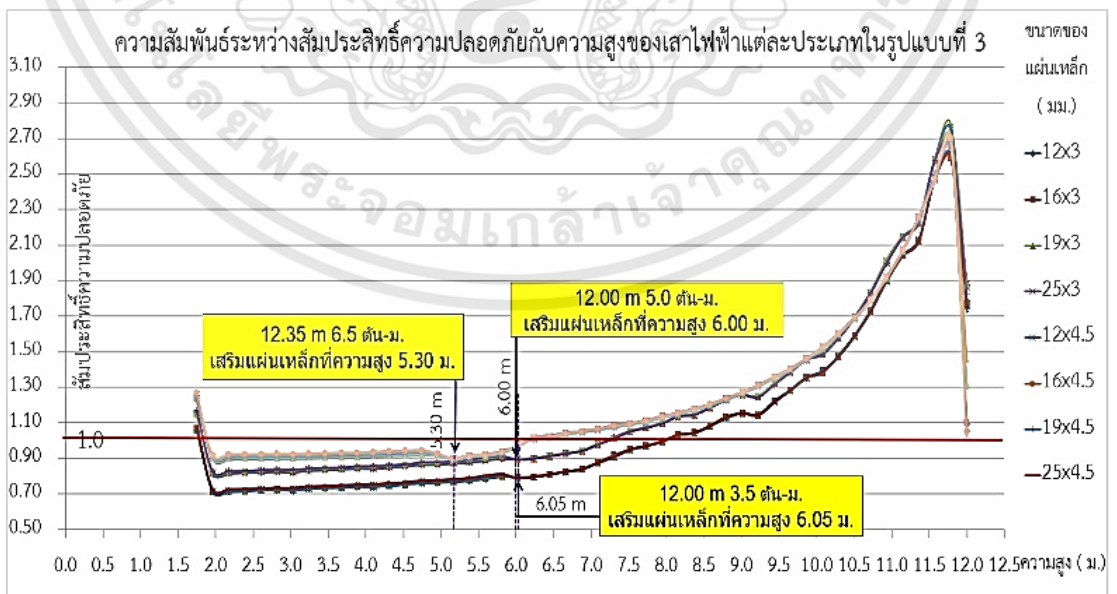
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภทในรูปแบบที่ 1

4.3.2 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 2 ของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำแต่ละประเภทดังได้แสดงในรูปที่ 5.26



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภทในรูปแบบที่ 2

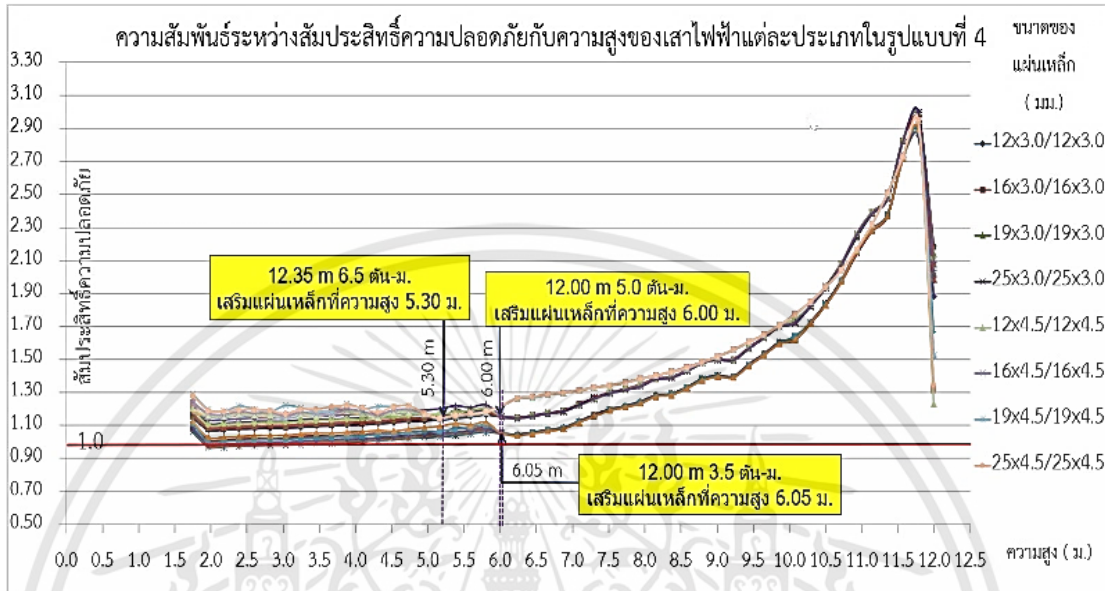
4.3.3 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 3 ของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำแต่ละประเภทดังได้แสดงในรูปที่ 5.27



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภทในรูปแบบที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 การเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้ากำลังต่ำในรูปแบบที่ 4 ของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำแต่ละประเภทดังได้แสดงในรูปที่ 5.28



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยกับความสูงของเสาไฟฟ้าแต่ละประเภทในรูปแบบที่ 4

- ซึ่งจากผลการศึกษาในรูปแบบที่ 1 ในลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 5.25 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังแต่ละขนาดไม่สามารถทำให้ตัวอย่างของเสาไฟฟ้าแต่ละชนิดเกิดการหักบริเวณความสูงของเสาไฟฟ้าที่กำหนดไว้ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง
- ซึ่งจากผลการศึกษาในรูปแบบที่ 2 ในลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 5.26 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังแต่ละขนาดไม่สามารถทำให้ตัวอย่างของเสาไฟฟ้าแต่ละชนิดเกิดการหักบริเวณความสูงของเสาไฟฟ้าที่กำหนดไว้ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง
- ซึ่งจากผลการศึกษาในรูปแบบที่ 3 ในลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 5.27 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังแต่ละขนาดไม่สามารถทำให้ตัวอย่างของเสาไฟฟ้าแต่ละชนิดเกิดการหักบริเวณความสูงของเสาไฟฟ้าที่กำหนดไว้ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง
- ซึ่งจากผลการศึกษาในรูปแบบที่ 4 ในลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 5.28 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังแต่ละขนาดมีบางขนาดที่สามารถทำให้การหักของเสาไฟฟ้าเกิดที่บริเวณจุดที่ต้องการโดยเสาไฟฟ้าขนาด 12.00 ม. 3.50 ตัน-เมตร โดยใช้ขนาดแผ่นเหล็กที่เล็กที่สุด 25x4.5 มม. และ 25x4.5 มม. ในแนวตั้งและแนวนอน ส่วนเสาไฟฟ้าขนาด 12.00 ม. 5.00 ตัน-เมตร และ 12.35 ม. 6.50 ตัน-เมตร โดยใช้ขนาดแผ่นเหล็กที่เล็กที่สุด 12x3.0 มม. และ 12x3.0 มม. ในแนวตั้งและแนวนอน ขนาดดังกล่าวเพียงพอที่มีค่าความปลอดภัยนั้นมากกว่าหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเสาไฟฟ้าโดยเพิ่มแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้ากำลังต่ำได้มีวิธีการเสริมในรูปแบบที่ 1,2,3,4 แสดงดังในรูปที่ 3.4,3.5,3.6 และ 3.7 ตามลำดับ โดยเสาไฟฟ้าแรงต่ำที่ทำการศึกษามีอยู่ 3 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

- เสาไฟฟ้าขนาดความสูง 12.00 เมตร 3.50 ตัน-เมตร
- เสาไฟฟ้าขนาดความสูง 12.00 เมตร 5.00 ตัน-เมตร
- เสาไฟฟ้าขนาดความสูง 12.35 เมตร 6.50 ตัน-เมตร

และเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ระดับความสูงที่ต่างกันในเสาไฟฟ้าแต่ละประเภทโดยการเสริมกำลังของแผ่นเหล็กจะอ้างอิงผลงานวิชาการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า[1] ที่ความสูง 6.05, 6.00, 5.30 เมตร ตามลำดับที่กล่าวมาข้างต้น โดยผลการศึกษาในรูปแบบที่ 1,2,3 การวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นไม่สามารถหยุดหรือยับยั้งการหักของเสาไฟฟ้าที่ระดับความสูงที่กำหนดไว้ได้ โดนที่กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.25 ,5.26 และ 5.27 จะเกิดการหักของเสาไฟฟ้าที่ระดับ 1.75-1.80 เมตร จากฐานเสาไฟฟ้าหรือเหนือพื้นดินขึ้นมาเล็กน้อยทำให้การเสริมในรูปแบบที่ 1,2,3 ไม่เกิดประโยชน์ เนื่องจากการเสริมในรูปแบบที่ 1 ไม่ช่วยทำให้โครงสร้างเกิดความแข็งแรงมากขึ้นการเสริมจะอยู่ในลักษณะตรงกลางของตัวอย่างแต่ละประเภทของเสาไฟฟ้า ต่อมาการเสริมแผ่นเหล็กในลักษณะที่ 2 และ 3 ในทางทฤษฎีการเพิ่มขนาดของแผ่นเหล็กภายในเสาไฟฟ้าให้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะสามารถคาดการณ์ผลการศึกษาได้ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านขนาดหน้าตัดของเสาไฟฟ้าแต่ละชนิดที่ไม่คงที่ตลอดความยาวของเสาไฟฟ้าซึ่งจะไม่สามารถเพิ่มขนาดแผ่นเหล็กเสริมภายในเสาไฟฟ้าให้มีขนาดเกินไปกว่า 25x9.0 มิลลิเมตร และในรูปแบบที่ 4 การวิเคราะห์ปรากฏว่าตัวอย่างบางตัวอย่างสามารถบังคับให้เกิดการหักบริเวณเหนือจุดที่เสริมกำลังได้ดังแสดงในรูปที่ 5.28 มีค่าความปลอดภัยมากกว่าหนึ่งและมีค่าน้อยที่สุดบริเวณที่เสริมกำลังเมื่อเปรียบเทียบค่าความปลอดภัยตั้งแต่ฐานเสาไฟฟ้าขึ้นมาถึงจุดที่ปลายสุดของการเสริมกำลัง ซึ่งผลปรากฏว่าเสาไฟฟ้าขนาด 12.00 ม. 3.50 ตัน-เมตร ต้องใช้ขนาดของเหล็กเสริมกำลังหรือเหล็กแบนขึ้นตัวอย่างน้อย 25x4.5 มิลลิเมตร ส่วนเสาไฟฟ้าขนาด 12.00 ม. 5.0 ตัน-เมตร และ 12.35 ม. 6.50 ตัน-เมตร ต้องใช้ขนาดของเหล็กเสริมกำลังหรือเหล็กแบนขึ้นตัวอย่างน้อย 12x3.0 มิลลิเมตร โดยเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ระดับ 6.05,6.00,5.30 เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะไม่ทำให้เสาไฟฟ้าต้นถัดไปเกิดการหักโค่นของเสาไฟฟ้าที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลังไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ผลงานวิจัยนี้จะมีถูกต้องและตอบสนองความต้องการถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ได้จะต้องจัดให้มีการผลิตเสาไฟฟ้าและเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กอยู่ในเสาไฟฟ้ารวมถึงการทดสอบในภาคสนามจริงกับเสาไฟฟ้าที่ทำการผลิตขึ้น โดยต้องมีการจัดเก็บค่าผลทดสอบและนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยฉบับนี้

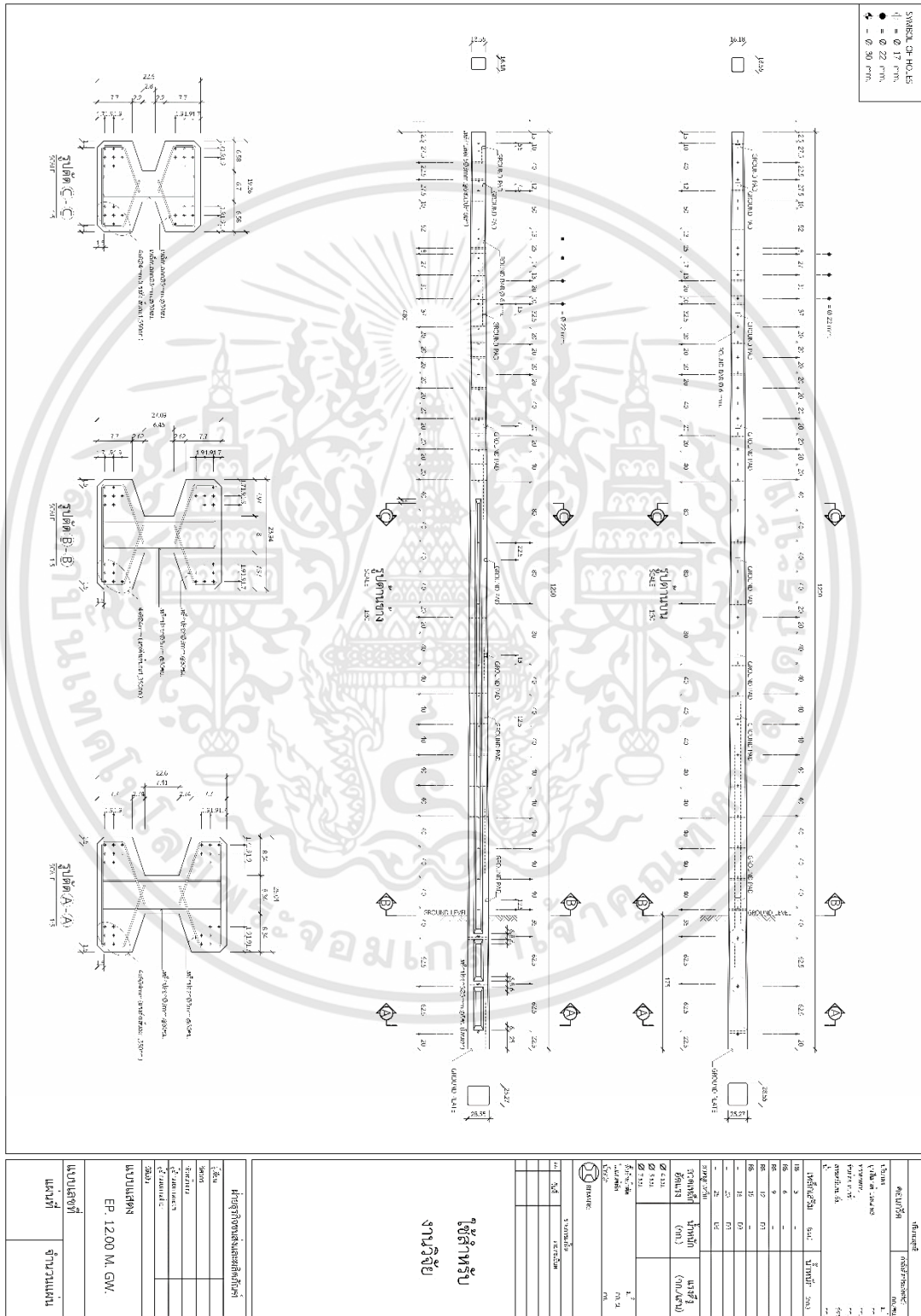


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

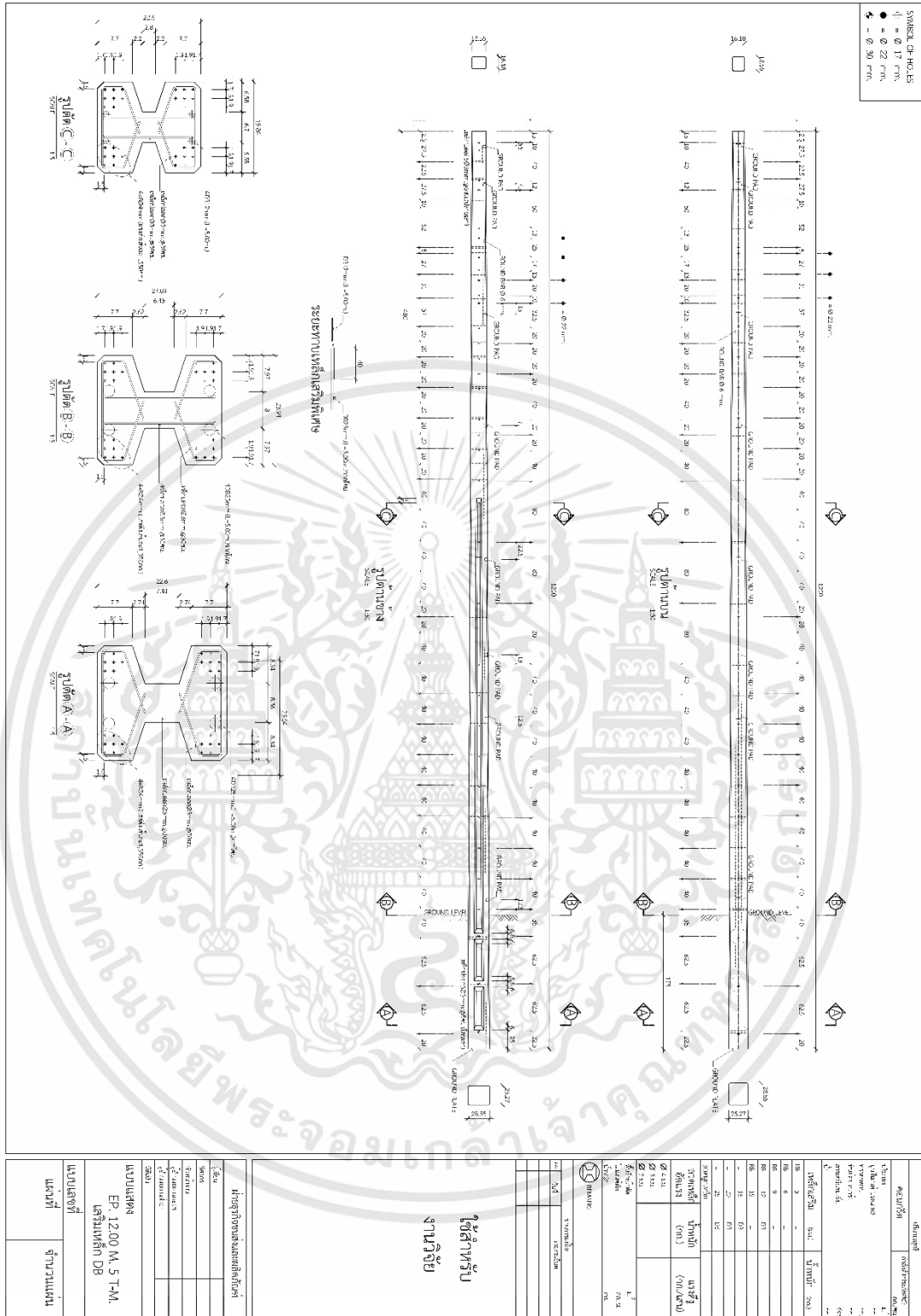
- [1] ธนิสสร สถาพร, 2562, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า
- [2] นายสุชาติ สุวิมลวรรณ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ การศึกษาการเสริมกำลัง ด้วยวัสดุ CFRP ในเสาไฟฟ้า เพื่อลดการหักโค่นต่อเนื่อง
- [3] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, 2558, “โปรแกรมช่วยออกแบบ ปักเสา-พาดสาย”
- [4] มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI318-89

## ภาคผนวก ก. แบบมาตรฐานโครงสร้างเสาไฟฟ้า



**รูปที่ ก.1** แบบแสดง EP. 12.00 M. GW.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แบบแสดง EP. 12.00 M. 5 T-M. เสริมเหล็ก DB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพงศ์ จันทานานนท์
วัน เดือน ปีเกิด	16 พฤศจิกายน 2535
ที่อยู่	4. ถนนรามอินทรา (กม.8) ซอยคูบัวอน27แยก28 แขวงท่าแร้ง เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร 10220
ประวัติการศึกษา	2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาโยธา (เกียรตินิยมอันดับ2) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การออกแบบโครงสร้าง 2.) การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์ 3.) ประมาณราคาสถาปัตยกรรม,โครงสร้าง,ระบบ 4.) เขียนแบบ 2D,3D
ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย	
พ.ศ.2562-ปัจจุบัน	บริษัท ไทยโพลีคอนส์ จำกัด (มหาชน) - วิศวกรเทคนิค
พ.ศ.2561	บริษัท เท็น คอนซัลแตนท์ จำกัด - วิศวกรโยธา
พ.ศ.2558-2561	บริษัท ดี อินโนวา จำกัด - วิศวกรประมาณราคา - เขียนแบบ - วิศวกรออกแบบ
พ.ศ.2558	งานวิจัยหัวข้อ “การศึกษาเปรียบเทียบคาบธรรมชาติของโครงสร้างอาคารเหล็กที่มีความสูงไม่เกิน 22 เมตร โดยมาตรฐานการออกแบบอาคารต้านแรงแผ่นดินไหว 1302 โดยวิธีอย่างง่าย เปรียบเทียบกับโปรแกรม ETABS และ ROBOT STRUCTURE ANALYSIS”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้