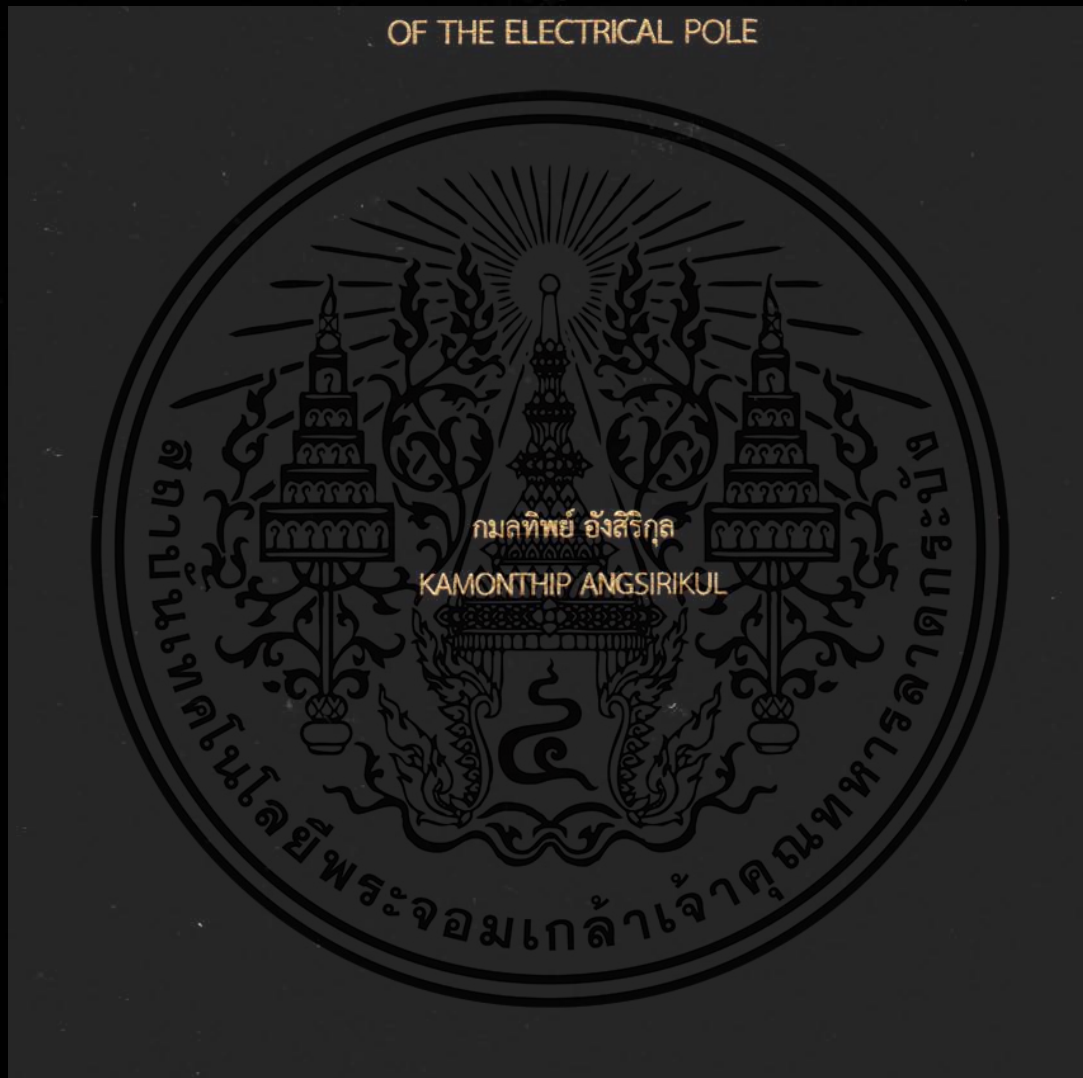


การศึกษาพฤติกรรมเสาไฟฟ้ากำลังสูงเมื่อใส่แผ่นเหล็กเสริมกำลังเพื่อป้องกันการ
วิบัติต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า

A STUDY OF HIGH VOLTAGE POLES BEHAVIOR WITH STEEL REINFORCEMENT
PLATE TO PREVENT PROGRESSIVE COLLAPSE
OF THE ELECTRICAL POLE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-093-151

การศึกษาพฤติกรรมเสาไฟฟ้ากำลังสูงเมื่อใส่แผ่นเหล็กเสริมกำลังเพื่อป้องกันการ
วิบัติต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า

A STUDY OF HIGH VOLTAGE POLES BEHAVIOR WITH STEEL REINFORCEMENT
PLATE TO PREVENT PROGRESSIVE COLLAPSE
OF THE ELECTRICAL POLE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-093-151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF HIGH VOLTAGE POLES BEHAVIOR WITH STEEL REINFORCEMENT
PLATE TO PREVENT PROGRESSIVE COLLAPSE
OF THE ELECTRICAL POLE



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาพฤติกรรมเสาไฟฟ้ากำลังสูงเมื่อใส่แผ่นเหล็กเสริมกำลัง เพื่อป้องกันการวิบัติต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า
นักศึกษา	นางสาวกมลทิพย์ อังสิริกุล
รหัสประจำตัว	60601221
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.อัฐวิทย์ สุจริตพงศ์

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการไฟฟ้าประสบปัญหาเหตุการณ์การหักโค่นล้มของเสาไฟฟ้าหลายจุดต่อเนื่อง อันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกที่มากกระทำกับเสาไฟฟ้า จากรายงานสถิติพบว่าปัจจัยภายนอกที่มากกระทำส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากรถชนเสาไฟฟ้า รถหรือต้นไม้เกี่ยวสายไฟฟ้า พายุฝนฟ้าคะนองและลมกรรโชกแรง เป็นต้น เหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สิน เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเดือดร้อนไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นระยะเวลานาน และเกิดอันตรายต่อประชาชนทั่วไปจากเสาไฟฟ้าที่หัก จึงต้องมีการจัดทำโครงการศึกษาแนวทางการป้องกันเสาไฟฟ้าหักโค่นล้ม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมและลดจำนวนเสาไฟฟ้าที่เสียหาย ให้สามารถซ่อมแซมแก้ไขกลับมาใช้งานได้ภายในระยะเวลาไม่นาน และลดความเดือดร้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ของเสาไฟฟ้ากำลังสูง วิธีการป้องกันความเสียหายจากการโค่นล้มต่อเนื่องจากเสาไฟฟ้าด้วยการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังเข้าไปในเสาตามระยะความสูงที่ได้ระบุไว้ โดยที่เสาไฟฟ้าแรงสูงประเภท 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 14.1 เมตร เสาไฟฟ้าแรงสูงประเภท 22.00 เมตร 25.0 ตัน-เมตร จะทำการเสริมที่ระดับความสูงจากฐานเสาไฟฟ้าเป็นระยะ 11.7 เมตร ซึ่งงานวิจัยนี้จะสำเร็จก็ต่อเมื่อสามารถหาขนาดของแผ่นเหล็กเสริมกำลังภายในเสาไฟฟ้าได้ เพื่อเสริมกำลังและเพิ่มความเหนียวให้กับเสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรง โดยจะบังคับเสาไฟฟ้าให้หักในบริเวณที่ต้องการ เพื่อลดน้ำหนักของเสาไฟฟ้าต้นที่หักโค่น ทำให้ลดแรงดึงกระทำในเสาไฟฟ้าข้างเคียงลดลง และลดการหักโค่นต่อเนื่องของเสาไฟฟ้าข้างเคียงได้ โดยการวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับหาความหนาของแผ่นเหล็กเสริม ที่จะสามารถรับแรงเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นและบังคับให้เสาไฟฟ้าหักในตำแหน่งที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ|อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A STUDY OF HIGH VOLTAGE POLES BEHAVIOR WITH STEEL REINFORCEMENT PLATE TO PREVENT PROGRESSIVE COLLAPSE OF THE ELECTRICAL POLE
Student	Ms.Kamonthip Angsirikul
Student ID.	60601221
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof Atavit Sujaritpong,Ph.D

ABSTRACT

Electricity Organization is having problems for failure the continuous of the electrical poles. Because of external factors with the electrical poles. Base on the statistically reports ,most of the external factors are cause by the car accident, the wires hooked by the cars or trees, and thunderstorms or wind gusts. These happening have an affect on live and asset. There is a power outage in a wide area. The people have suffered without electricity for a long time and danger to people from broken electrical poles. Therefore need to prepare the study for the prevention progressive collapse of the electrical pole. The objective is to control and reduce of damaged electrical poles. The prevention of consecutive damage in electric poles can be achieved by the application of steel reinforcement plate into poles which will be reinforced steel inside the power poles as proper as the specific height. By The high voltage pole size 22.00 meters, 18 ton-meters will be elevated from base 14.1 meters. The high voltage pole size 22.00 meters, 25.0 ton-meters will be elevated from base 11.7 meters. This research will only be successful which it could find the right size of the reinforced steel plate each for strengthen and increase the ductility of the poles. To control the desired point of failure for minimize the weight beyond the failure position is therefore considered to decrease these impact forces and prevent the continuation to the adjacent poles. The finite element analysis will be introduced to analyze the thickness of steel reinforcement plate to control the desired point of failure for prevent progressive collapse of electrical poles.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ท่านอาจารย์ ผศ.ดร. อัญญาวิทย์ สุจริตพงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะในแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณท่านอาจารย์ ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดจนข้อมูลต่าง ๆ ที่การจัดงานวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จและลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority) ที่ให้ข้อมูลสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

กมลทิพย์ อังศิริกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 ปัญหาทางวิจัย	2
1.3 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนการการศึกษา.....	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แนวคิดของงานวิจัย	4
2.2 ชนิดของเสาไฟฟ้า การติดตั้งและข้อมูลของเสาไฟฟ้า.....	5
2.3 คุณสมบัติของวัสดุ	8
2.3.1 แผ่นเหล็ก	8
2.3.2 คอนกรีต	10
2.3.3 เหล็กลวด Pre-stress	10
2.3.2.1 ชนิดของลวดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด	10
2.3.2.2 รูปแบบของลวด	12
2.4 ผลของโมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงดึงของสายไฟฟ้า	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด IV ว่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 กล่าวนำ	19
3.2 ตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ในการวิเคราะห์.....	20
3.3 การจำลองโครงสร้างเสาไฟฟ้า	21
3.3.1 แบบเสาไฟฟ้าที่จะนำมาวิเคราะห์	21
3.3.2 รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า	23
3.3.3 การใช้งานโปรแกรม	25
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
4.1 การแบ่งเอลิเมนต์และการวิเคราะห์ผลเสาไฟฟ้า ที่ไม่มีเสริมแผ่นเหล็ก.....	43
4.2 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้าด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์	51
5.1 สรุปผล.....	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก ก.....	54
ประวัติผู้เขียน	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัดvอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติของเสาไฟฟ้า	6
2.2 ตารางคุณสมบัติของแผ่นเหล็ก.....	9
2.3 ตารางแสดง Mix Design ที่ใช้ในการผลิตเสาไฟฟ้าในปัจจุบัน.....	10
2.4 เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุพื้นที่หน้าตัด ระบุมวลต่อเมตร และค่าลักษณะเฉพาะของลวดชนิดไม่ คลายความเค้น.....	11
2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางระบุ พื้นที่หน้าตัดระบุ มวลต่อเมตร และค่าลักษณะเฉพาะของลวดชนิด คลายความเค้น.....	12
3.1 ตารางแสดงค่าเริ่มต้นของวัสดุและเงื่อนไขการวิเคราะห์.....	20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด vi อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหักโค่น.....	5
2.2	แสดงแรงกระทำที่เกิดจากโมเมนต์ดัด	13
2.3	ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหักโค่น.....	15
2.4	อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00 เมตร. GWต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	16
2.5	อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00 เมตร 5 ต้น-เมตร ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	16
2.6	อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.35 เมตร 6.5 ต้น-เมตร ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	17
2.7	อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	17
2.8	อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ.....	18
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	19
3.2	แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร	21
3.3	แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร	22
3.4	รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 1.....	23
3.5	รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 2.....	23
3.6	รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 3.....	24
3.7	รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 4.....	24
3.8	แสดงการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	25
3.9	แสดงการเริ่มต้นของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	26
3.10	แสดงการปรับแต่ง Option ของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	27
3.11	แสดงเครื่องมือพื้นฐานในการเขียนภาพ 2 มิติ โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	28
3.12	แสดงการวาดรูปฐานเสาไฟฟ้า 2 มิติ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด VI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.13	แสดงคำสั่งที่ใช้ในแบบจำลอง 3 มิติ	31
3.14	แสดง Planes สำหรับระดับของส่วนประกอบในเสาไฟฟ้า.....	31
3.15	แสดงคำสั่ง Loft ในการ Sketch แบบจำลองโครงสร้างเสาไฟฟ้า 3 มิติ	32
3.16	แสดงการสร้าง Chamfer ที่ขอบของเสาไฟฟ้า	32
3.17	แสดงภาพ Top View ของโมเดลเสาไฟฟ้า.....	33
3.18	แสดงภาพ Top View ของโมเดลเสาไฟฟ้าในการสร้างร่องของเสา.....	33
3.19	แสดงภาพ Plane View หลังจาก Mirror ร่องของโมเดลเสาไฟฟ้า	34
3.20	แสดงภาพ View ของเหล็กเสริมหลักในโมเดลเสาไฟฟ้า	34
3.21	แสดงภาพเหล็กปลอกและระยะจากรฐานเสา	35
3.22	แสดงภาพเหล็กปลอกรูปทรงสี่เหลี่ยมจากรยะ Plane ตามแบบ	35
3.23	แสดงรูปแสดงระยะเหล็กปลอกแบบสี่เหลี่ยม	36
3.24	แสดงภาพตัดที่ Plan ของการเสริมเหล็กในแบบจำลองเสาไฟฟ้า	36
3.25	หน้าตาของโปรแกรมวิเคราะห์	37
3.26	หน้าตาที่แสดงเมื่อกดคำสั่ง Static Structure	37
3.27	แสดงการนำ file แบบจำลอง เข้าสู่โปรแกรม.....	38
3.28	แสดงการตั้งค่าวัสดุต่าง ๆ ของโปรแกรม.....	39
3.29	แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของเสาไฟฟ้า.....	39
3.30	แสดงโมเดลจาก Inventor ที่แปลงเป็น STP File เปิดใน ANSYS.....	40
3.31	แสดงผลของอัตราส่วนความปลอดภัยโดยจะมีแนวโน้มของการลดลงและ เพิ่มขึ้นของ อัตราส่วนความปลอดภัย.....	41
3.32	แสดงแบบจำลองของเสาไฟฟ้าที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก.....	41
3.33	แสดงตำแหน่งที่บังคับการหักหรือระยะการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ระดับ 14.1 เมตร ของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร	42
3.34	แสดงตำแหน่งที่บังคับการหักหรือระยะการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ระดับ 11.7 เมตร ของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 25 ตัน-เมตร.....	42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1	แสดงการแบ่ง Mesh การใส่แรง และกำหนด Fix End ที่ปลายเสา (เสาที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก).....43
4.2	แสดงผล Displacement ในเสาไฟฟ้า (เสาที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก)44
4.3	แสดงความเค้นสูงสุดที่ปลายเสาไฟฟ้า (เสาที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก)44
4.4	ตัวอย่างการแสดงค่า Factor of Safety ของตัวอย่างที่ใส่แผ่นเหล็กเข้าไปจนถึงจุดที่กำหนด..45
4.5	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร. 25 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.4 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร.....46
4.6	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.4 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร.....46
4.7	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร. 25 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.5 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร.....47
4.8	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.5 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร.....47
4.9	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร. 25 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.6 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร.....48
4.10	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.6 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร.....48
4.11	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.7 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร.....49
4.12	ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.7 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร.....49
ก.1	แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร.....54
ก.2	แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา

ปัจจุบันปัญหาเหตุการณ์หักโค่นลัมของเสาไฟฟ้าหลายๆ ต้นต่อเนื่อง เนื่องจากปัจจัยภายนอกที่มากกระทำกับเสาไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากรถชนเสาไฟฟ้า รถหรือต้นไม้เกี่ยวสายไฟฟ้า พายุฝนฟ้าคะนองและลมกรรโชกแรง เป็นต้น จากเหตุการณ์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อทั้งชีวิตและทรัพย์สิน เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเดือดร้อนไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นระยะเวลา นาน และเกิดอันตรายต่อประชาชนทั่วไปจากเสาไฟฟ้าที่หัก จึงต้องมีการจัดทำโครงการศึกษาแนวทางการป้องกันเสาไฟฟ้าหักโค่นลัม เพื่อควบคุมและลดจำนวนเสาไฟฟ้าที่เสียหาย ให้สามารถซ่อมแซมแก้ไขกลับมาใช้งานได้ภายในระยะเวลาไม่นาน และลดความเดือดร้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่มีไฟฟ้าใช้

เนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีตเป็นวัสดุที่สามารถหล่อขึ้นรูป ให้มีขนาดรูปร่างลักษณะได้ตามที่ต้องการ และคอนกรีตมีความเหมาะสมในเรื่องของราคาและความสามารถในการรับกำลังจากพฤติกรรมการรับแรง ที่เกิดจากแรงลมพัดโดนเสา สายไฟฟ้าที่พาดหรือแกว่ง ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวทำให้เกิดโมเมนต์ดัดและแรงดึงขึ้นในเสาไฟฟ้า แต่เนื่องจากคอนกรีตก็เป็นวัสดุที่สามารถทนทานต่อการรับแรงดึงได้ต่ำ จะเห็นได้จากปัญหาการโค่นลัมของเสาไฟฟ้า จากแรงดึงของสายไฟ อุบัติเหตุจากรถที่มาชนเสาไฟฟ้า เป็นต้น จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดการโค่นลัมเสาไฟฟ้า และนำมาสู่ปัญหาอื่น ๆ ตามมา เช่น ประชาชนได้รับความเดือดร้อนจากการกีดขวางของเสาไฟฟ้า ไฟฟ้าดับจากสายไฟที่ขาด เหตุการณ์เหล่านี้มักมาจากการที่คุณสมบัติของคอนกรีตไม่เพียงพอต่อการรับแรงดึงและความเหนียว ดังนั้นทำให้เกิดงานวิจัยการเสริมกำลังให้กับเสาไฟฟ้าเพื่อลดจำนวนเสาไฟฟ้าที่จะหักโค่นอย่างต่อเนื่อง

จากแรงกระทำดังกล่าวจะใช้วัสดุเพื่อเพิ่มกำลังให้กับเสาไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่หักโค่นให้ไกลจากโคนเสาออกไป จะทำให้สามารถลดน้ำหนักของเสาไฟฟ้าที่อยู่เหนือจุดหักโค่น ซึ่งเสาที่หักโค่นนี้จะไปทำให้แรงดึงกระชากที่เกิดในเสาข้างเคียงลดลงได้

งานวิจัยนี้จะมุ่งไปที่การเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าชนิดหล่อใหม่ โดยการเพิ่มแผ่นเหล็กไว้ในเสาไฟฟ้าก่อนที่จะทำการหล่อคอนกรีต วัสดุดังกล่าวมีความต้านทานการผุกร่อนได้สูง และสามารถทนทานต่อแรงดึงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปัญหางานวิจัย

การวิบัติหรือการหักโค่นหรือล้มของเสาไฟฟ้าทั้งจากอุบัติเหตุ และภัยธรรมชาติ เช่น ลมพายุ เป็นต้น และจะเกิดขึ้นโดยไม่สามารถคาดการณ์ว่าจะเกิดกับเสาไฟฟ้าต้นไหนเป็นต้นหลัก และงานวิจัยนี้จะศึกษา โดยการวิเคราะห์แบบจำลองตามเงื่อนไขโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาแนวทางในการป้องกันผลลัพธ์ของการหักโค่นต่อเนื่องของเสาไฟฟ้าที่ได้จากการวิเคราะห์นี้

1.3 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษา

- 1.) ทำการวิเคราะห์โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาแนวทางในการลดความเสียหายที่เกิดเสาไฟฟ้า โดยสามารถระบุขนาดของแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ทำการเสริมเข้าไปในไฟฟ้าได้
- 2.) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของเสาไฟฟ้าเมื่อมีการเสริมแผ่นเหล็กเข้าไปเพื่อบังคับจุดที่หักของเสาไฟฟ้า
- 3.) การพิจารณาต้องคำนึงความเหมาะสมในการนำไปปฏิบัติ
- 4.) ประเมินความคุ้มค่าเมื่อนำมาใช้ในการป้องกันการความเสียหายที่เกิดขึ้น

1.4. ขอบเขตการศึกษา

- 1.) จำลองและวิเคราะห์เสาไฟฟ้าตามขนาดมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง โดยใช้ความยาวของเสาไฟฟ้าตามแบบอยู่ที่ 22 เมตร ที่มีกำลังต้านทานต้านทานตามทีระบุคือ กำลังรับโมเมนต์ดัดที่ 18 ตัน-เมตร และ 25 ตัน-เมตร มาวิเคราะห์ผล และบังคับจุดที่หักของเสาไฟฟ้าอยู่ที่ 14.1 เมตร และ 11.7 เมตร ตามลำดับ
- 2.) วิเคราะห์แบบจำลองโดยจะใช้แผ่นเหล็กในการเสริมกำลังให้กับเสาไฟฟ้า ในทางปฏิบัติจริง การไฟฟ้านครหลวงจะต้องทำการเสริมแผ่นเหล็กเข้าไป ก่อนที่จะทำการหล่อเสาไฟฟ้า ดังนั้นการวิเคราะห์นี้จะใช้กับเสาไฟฟ้าต้นใหม่เท่านั้น
- 3.) การวิเคราะห์จะพิจารณาส่วนโครงสร้างของเสาไฟฟ้าที่อยู่เหนือระดับผิวดินขึ้นไป ให้ส่วนที่อยู่ใต้ดินมีความแข็งแรงที่ไม่ทำให้เกิดการหักหรือโค่นล้ม
- 4.) แรงกระชากของลมและน้ำหนักจากการติดอุปกรณ์เพิ่มเติมบนเสาไฟฟ้า ไม่นำมาพิจารณา และวิเคราะห์ในแบบงานองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

โครงการวิจัยนี้เพื่อเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าให้ทนทานต่อแรงกระแทก และบังคับจุดที่หักของเสาไฟฟ้า เพื่อลดการโค่นล้มของเสาไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ด้วยการเสริมแผ่นเหล็กเข้าไปในเสาไฟฟ้าต้นใหม่ มีวิธีดำเนินงานดังนี้

- 1.) ศึกษาขนาด, คุณสมบัติและมาตรฐานเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง
- 2.) ศึกษาตัวแปร มาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องและคุณสมบัติของแผ่นเหล็กที่จะเสริมกำลังให้กับเสาไฟฟ้า
- 3.) ทำการสร้างแบบจำลองของเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐาน
- 4.) ใส่แผ่นเหล็กเสริมกำลังเข้าไปในแบบจำลองของเสาไฟฟ้า ที่มีกำลังรับโมเมนต์ดัดที่ 18 ตัน-เมตร และ 25 ตัน-เมตร และบังคับจุดที่หักของเสาไฟฟ้าอยู่ที่ 14.1 เมตร และ 11.7 เมตร ตามลำดับ โดยจำลองการใส่จากโคนเสาไฟฟ้าถึงจุดที่ต้องการบังคับให้เสาไฟฟ้าหัก
- 5.) วิเคราะห์โครงสร้างแบบจำลองเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จากการเสริมแผ่นเหล็กเข้าไปในเสาไฟฟ้าที่ความหนาต่าง ๆ
- 6.) สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างแบบจำลอง เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ได้
2. สามารถลดการหักโค่นของจำนวนเสาไฟฟ้าได้ตามที่กำหนด
3. นำไปใช้ประโยชน์ในการป้องกันเสาฟ้าล้มต่อเนื่องได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

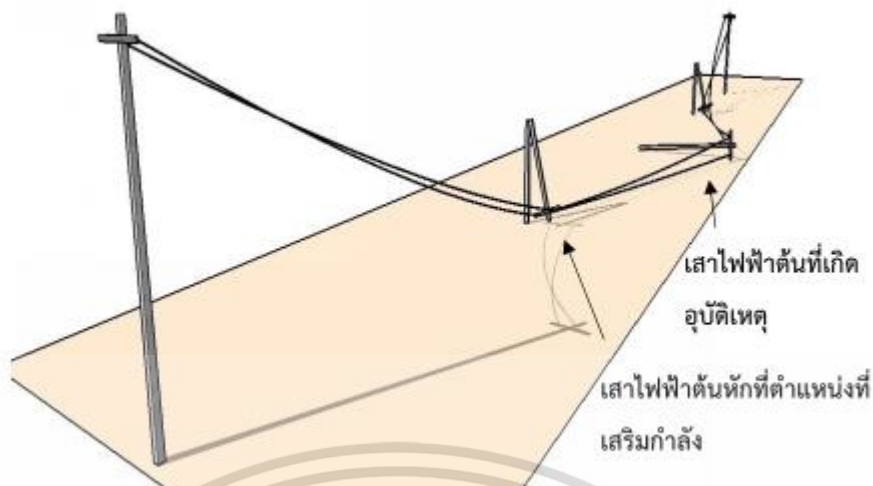
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อเป้าหมายการลดจำนวนเสาไฟฟ้าที่จะหักโค่นล้มอย่างต่อเนื่อง จากแรงกระทำต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุเพื่อเพิ่มความเหนียว เมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่เกิดอุบัติเหตุหักโค่นลง และส่งแรงไปถึงเสาไฟฟ้าต้นที่อยู่ข้าง ๆ ทั้ง 2 ด้าน เสาไฟฟ้าทั้ง 2 ต้นดังกล่าวจะได้รับแรงกระทำและหักที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ด้วยการเสริมกำลังเสาไฟฟ้าซึ่งจะทำให้เปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่หักโค่นให้ไกลจากโคนเสาออกไป โดยสามารถช่วยหยุดการหักโค่นไปสู่เสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 หลักการนี้จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาขนาดและความหนาที่เหมาะสมกับการเสริมกำลัง

แรงกระแทกในทางกลศาสตร์ คือ แรงที่มีขนาดสูงในระยะเวลาดสั้น ๆ ผลของแรงขึ้นอยู่กับน้ำหนักของวัตถุหรือขนาดของแรงและความเร็วสัมพัทธ์ วัสดุที่เปราะกว่าก็จะเกิดการแตกหัก ตามผลของแรงที่เกิด การต้านทานแรงกระแทกขึ้นอยู่กับโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ ซึ่งหมายความว่าวัสดุที่แข็งแรงจะทนต่อแรงกระแทกน้อยกว่า วัสดุยืดหยุ่นจะทนต่อแรงกระแทกได้ดี การวิบัติหรือแตกร้าวก็จะเกิดในตำแหน่งที่ถูกแรงกระแทกมากกระทำ ในเสาไฟฟ้าคอนกรีต หากเกิดแรงกระแทกจากอุบัติเหตุรถชน พฤติกรรมของเสาจะเกิดแรงเค้นในตำแหน่งที่เกิดแรงกระแทกและถ่ายเทแรงไปสู่ด้านตรงข้ามของเสา ในขณะที่เสาไฟฟ้าต้นต่อเนื่อง จะถูกส่งถ่ายแรงมาจากเสาไฟฟ้าต้นที่หักโค่น โดยสายไฟฟ้าที่พาดเสาแต่ละต้น ในตำแหน่งต่าง ๆ ของการปักเสาพาดสาย ตามมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง ในลักษณะของแรงที่เกิดขึ้น จะทำให้เกิดโมเมนต์ในตำแหน่งฐาน



รูปที่ 2.1 ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหักโค่น (ธนีสร สถาพร, 2562, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า)

2.2 ชนิดของเสาไฟฟ้า การติดตั้งและข้อมูลของเสาไฟฟ้า

เสาไฟฟ้า (Pole) เสาที่ใช้ในการติดตั้งเสาไฟฟ้ามีอยู่ 2 ชนิด คือ เสาไม้ (Wood Pole) และเสาคอนกรีต (Concrete Pole) เสาไม้ปัจจุบันได้เลิกใช้ไปแล้วเนื่องจากไม้หายาก ส่วนเสาคอนกรีต (Concrete Pole) มีข้อกำหนดมาตรฐานของการผลิตเสาไฟฟ้าคอนกรีตทั้งแบบเสาไฟฟ้าคอนกรีตอัดแรง (Pre-stressed Process) และเสาคอนกรีตแรงเหวี่ยง (Spun Process) มีการผลิตในขนาดที่ใช้ 6, 8.50, 10, 10.50, 12, 12.35, 14, 16, 18, 18.50, 20 และ 22 เมตร

เสาขนาด 18, 22, 22 เมตร ใช้สำหรับรับสายส่ง 69 kV และ 115 kV มีระยะปักเสา 80 เมตร

เสาขนาด 12, 14 เมตร ใช้สำหรับรับสายป้อน 12 kV และ 24 kV

เสาขนาด 12.35 เมตร ใช้สำหรับทำนั้งร้าน Concrete รับหม้อแปลง

เสาขนาด 10.50 เมตร เป็นเสานั้งร้านสำหรับ Network Transformer โดยเฉพาะ พสล.

เสาขนาด 10 เมตร ใช้สำหรับ Line Pole ในเขต Network Area สำหรับเป็น Line Pole และ Service Pole ระหว่างเสาแรงดันปานกลาง หรือในที่ต่ำหรือเสาขามถนน

เสาขนาด 8.50 เมตร ใช้สำหรับ Line Pole และ Service Pole ถ้า Line Pole ระยะขวงเสาไม่ควรเกิน 35 เมตร (30-35 เมตร)

และเสาขนาด 6 เมตร ใช้สำหรับเป็น Service Pole แรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเสาไฟฟ้า

เสาไฟฟ้า อัตราแรง (เมตร)	ความสูงเสาจาก พื้นดิน (เมตร)	ระยะปักเสาใน ดิน (เมตร)	ขนาดเสา		น้ำหนัก (กิโลกรัม)
			ฐาน	ปลาย	
			กว้าง (ซม.)	กว้าง (ซม.)	
8.5	7.20	1.30	20.00	13.00	558
10	8.25	1.75	24.00	16.00	880
12	10.25	1.75	25.27	16.18	1,280
14	12.00	2.00	28.00	17.50	1,720
20	18.00	2.00	40.00	22.00	3,515
22	20.00	2.00	43.60	25.60	5,600

โดยความลึกของเสาที่ปัก ตามมาตรฐาน มีดังนี้ เสา 6 เมตรปักลึกจากระดับถนน 1.20 เมตร เสา 8.50 เมตรปักลึกจากระดับถนน 1.30 เมตร เสา 10 เมตรปักลึกจากระดับถนน 1.75 เมตร เสา 12 เมตรปักลึกจากระดับถนน 1.75 เมตร และเสา 14 เมตรจะปักลึกจากระดับถนน 2 เมตร

ระยะ Span ในการปักเสา เสาแรงสูงตามปกติไม่ควรเกิน 40 เมตร และเสาแรงต่ำ ตามปกติไม่ควรเกิน 30 เมตร ในบางกรณีระยะ Span ก็อาจจะยาวกว่าปกติได้ เช่น กีดขวางประตูบานทางเข้าออก (ไม่ควรเกิน 45 เมตร) กรณีปักเสาในคลองหรือแม่น้ำ ให้ใช้ Span ไม่เกิน 80 เมตรได้ โดยจะต้องพาดสายแรงสูงขนาด 2-35 ตารางมิลลิเมตร และสามารถติดตั้งหม้อแปลง และ/หรือพาดสายแรงต่ำได้ ในกรณีที่จะต้องพาดสายเบนระบบ 3 เฟส และขนาดของสายไม่เกินขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร จะต้องปักเสาแซมเป็น MID SPAN คือ 40 เมตร ทันที ปัจจุบันสายแรงกลางชนิดเปลือยทุกขนาด ไม่มีการออกแบบติดตั้งในระบบจำหน่าย

ในกรณีทางโค้ง Maximum Line Angle สำหรับการพาดสาย (35 ตารางมิลลิเมตร ไม่เกิน 60° , 70 ตารางมิลลิเมตร ไม่เกิน 35° , 105 ตารางมิลลิเมตร ไม่เกิน 26° , 185 ตารางมิลลิเมตร A ไม่เกิน 18°) เกินกว่าที่กำหนดไว้ต้องลด Span ลงเป็น 40 เมตร ทั้งนี้ จะต้องคำนึงถึง Bending Moment หรือ ความมั่นคงของเสาด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำฐานเสา โดยทั่วไปการทำฐานเสาจะทำ ในกรณีที่จะมีการติดตั้งหม้อแปลง โดยมีหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้ฐานเสาซึ่งจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของหม้อแปลงเป็นเกณฑ์ ขอแนะนำในการเลือกฐานเสา มีดังนี้

- 2.2.1 ฐานเสา 12 เมตร เพื่อรับหม้อแปลง 3 x 75 kVA หรือดินแข็ง รับน้ำหนักได้ 2,000 กิโลกรัม (สร้างคอนกรีตเสา)
- 2.2.2 ฐานเสา 12 เมตร เพื่อรับหม้อแปลง 3 x 75 kVA, 225 kVA หรือ 2 x 100 kVA ดินอ่อนรับน้ำหนักได้ 1,800 กิโลกรัม (สร้างคอนกรีตเสา)
- 2.2.3 ฐานเสา 12 เมตร เพื่อรับหม้อแปลง 3 x 75 kVA, 225 kVA หรือ 2 x 100 kVA รับน้ำหนัก ได้ 1,500 กิโลกรัม (เสริมทำเสาที่ปักไฉแล้ว)
- 2.2.4 Key pole สำหรับนั่งร้านหม้อแปลง (รับน้ำหนักไม่เกิน 3 ตัน)
- 2.2.5 ฐานเสานั่งร้านหม้อแปลง 4.5 ตัน ดินอ่อน (รถเข็นปฏิบัติงานได้ถึงที่)
- 2.2.6 เสานั่งหม้อแปลง 6.5 ตัน ดินแข็ง (รถเข็นปฏิบัติงานได้ถึงที่)
- 2.2.7 ฐานเสานั่งร้านหม้อแปลง 6.5 ตัน ดินอ่อน (เข็นปฏิบัติงานได้ถึงที่) เพื่อสะดวกในการเลือกใช้งานหม้อแปลง

สำหรับการทำฐานเสาในน้ำ ตามปกติพยายามหลีกเลี่ยงเนื่องจากทำได้ลำบากการบำรุงรักษา ภายหลังทำได้ไม่สะดวก ในกรณีที่จำเป็นต้องทำหรือหลีกเลี่ยงไม่ได้ ก็มีรายละเอียดดังนี้ ฐานเสานั่งร้านหม้อแปลงรับน้ำหนักหม้อแปลงได้ไม่เกิน 4.5 ตันต่อต้น เป็นฐานเสาชนิดใช้ Stub คู่ ฐานเสาหม้อแปลงขนาด 3 x 50 kVA ถึง 3 x 75 kVA ใช้ Stub คู่

การพิจารณากำหนดจุดปักเสา การกำหนดจุดที่จะปักเสานั้นมักจะประสบปัญหาอยู่เสมอ ฉะนั้นจะต้องคำนึงและพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้ แนวสายที่แยกไปให้ผู้ที่ขอใช้ไฟ มุมเลี้ยวต้องคำนึงถึงเพื่อไว้สำหรับแนวสายแรงสูง แรงต่ำที่จะต้องต่อแยกไปในอนาคต ตำแหน่งที่จะติดตั้งหม้อแปลง ตำแหน่งที่จะโยงสายและฝังสมอจะมีการติดตั้งไฟฟ้าสาธารณะในอนาคตหรือไม่ พยายามปักเสาในที่สาธารณะให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ควรปักเสาให้อยู่ฝังตรงข้ามกับถนนหรือซอยแยก ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการต่อสาย ปักเสาในตำแหน่งที่ระยะ Slack Span น้อยที่สุด ซึ่งไม่ควรเกิน 23 เมตร คอนสายให้ในกรณีที่จำเป็น ปักเสาในที่ ๆ ไม่กีดขวางทางจราจรและการสัญจร ควรปักเสาต้นริมให้สามารถใช้สมอเทาที่จะทำได้ ควรหลีกเลี่ยงการใช้ Side Walk Guy ที่ต้นริม ควรหลีกเลี่ยงการปักเสา

ในที่สวนบุคคล การกำหนดจุดปักเสาต้องห่างจากหลักหมุดเขตถนนถึงจุดศูนย์กลางเสาที่จะปักอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อย 65 เซนติเมตรกรณีที่มีเสาอยู่แล้ว อนุโลมให้ปกตามแนวเดิมได้ การกำหนดจุดปกเสาจะต้องคำนึงถึง Working Space ที่โคนเสาด้วย โดยเมื่อปกเสาลงไปแล้วจะต้องทำงานได้โดยไม่มีอุปสรรคทางด้านสาธารณูปโภค เช่น ท่อระบายน้ำ ประปา การปกเสาในเขตที่กรุงเทพมหานคร

2.3 คุณสมบัติของวัสดุ

2.3.1 แผ่นเหล็ก

แผ่นเหล็กจัดเป็นเหล็กโครงสร้างประเภทหนึ่งซึ่งเหล็กโครงสร้าง (Structural Steel) เป็นโลหะที่ได้จากการนำเอาแร่เหล็ก (Iron Ore) มาหลอมในเตาถลุง (Blast-furnace) ซึ่งจะได้ผลผลิตออกมาเป็นเหล็กดิบ (Pig iron) เมื่อนำเหล็กดิบมาผสมกับคาร์บอนและสารชนิดอื่น ๆ และผ่านกรรมวิธีปรับปรุงคุณภาพเหล็กแล้ว เราจะได้เหล็กที่ใช้ในงานโครงสร้าง 3 ประเภทคือ เหล็กเหนียว (Wrought iron) เหล็กกล้า (Steel) และเหล็กหล่อ (Cast Iron)

คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กโครงสร้างได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ กำลังรับแรงดึง โมดูลัสยืดหยุ่น โมดูลัสเฉือน สัมประสิทธิ์การยืดและหดตัว

1. ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) โดยทั่วไปเหล็กจะมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 7.85 เหล็กที่ผลิตมีหลายชนิดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่ละชนิดมีคุณสมบัติและความสามารถในการรับน้ำหนักต่างกัน เหล็กที่นิยมใช้ในงานโครงสร้าง ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งเหล็กประเภทนี้ยังจำแนกได้เป็นหลายชนิด เช่น SS400, SM400, A36, A53, A570 เป็นต้น การเลือกใช้เหล็กชนิดต่าง ๆ จึงต้องพิจารณาคุณสมบัติให้ตรงกับประเภทของงานที่ต้องการ

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

3. โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นคืออัตราส่วนของหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ต่อความเค้น (Strain) โดยทั่วไปค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กจะมีค่าเท่ากับ 204 GPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โมดูลัสแรงเฉือน (Shear Modulus) ค่าโมดูลัสแรงเฉือนของเหล็กโครงสร้าง (Shear Modulus, G) สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$G = E/2(1 + \nu) \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า E คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็ก

ν คือ ค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ของเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.3

5. สัมประสิทธิ์การยืดและหดตัว (Coefficient of Expansion and Contraction) จากการทดสอบพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การยืดและหดตัวของเหล็กเนื่องจากอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 2.2 ตารางคุณสมบัติของแผ่นเหล็ก

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ต่ำสุด เมกะพาสคัล				ความต้านแรงดึง เมกะพาสคัล	ความหนาของเหล็กแผ่น มิลลิเมตร	หมายเลขชั้นทดสอบ ตาม JIS Z 2201	ความยืด ต่ำสุด ร้อยละ
	ความหนาของเหล็กแผ่น มิลลิเมตร							
	ไม่เกิน 16	มากกว่า 16 ถึง 40	มากกว่า 40 ถึง 75	มากกว่า 75 ถึง 100				
SM 400 A SM 400 B SM 400 C	245	235	215	215	400 ถึง 510	ไม่เกิน 5 มากกว่า 5 ถึง 16 มากกว่า 16 ถึง 50 มากกว่า 40	5 1A 1A 4	23 18 22 24
SM 490 A SM 490 B SM 490 C	325	315	295	295	490 ถึง 610	ไม่เกิน 5 มากกว่า 5 ถึง 16 มากกว่า 16 ถึง 50 มากกว่า 40	5 1A 1A 4	22 17 21 23
SM 490 YA SM 490 YB	365	355	335	325	490 ถึง 610	ไม่เกิน 5 มากกว่า 5 ถึง 16 มากกว่า 16 ถึง 50 มากกว่า 40	5 1A 1A 4	19 15 19 21
SM 520 B SM 520 C	365	355	335	325	520 ถึง 640	ไม่เกิน 5 มากกว่า 5 ถึง 16 มากกว่า 16 ถึง 50 มากกว่า 40	5 1A 1A 4	19 15 19 21
SM 570	460	450	430	420	570 ถึง 720	ไม่เกิน 16 มากกว่า 16 มากกว่า 20	5 5 4	19 26 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 คอนกรีต

คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตที่มีผลต่อการศึกษา คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (E_c) ซึ่งจะเป็นตัวแสดงถึงความต้านทานการเสียรูปของคอนกรีตเมื่อมีน้ำหนักมากกระทำ โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกำลังและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ACI 318M-05 กำหนดความสัมพันธ์โดยมีสมการดังนี้

$$E_c = \omega^{1.5} c 0,043 \sqrt{f'c} \text{ (MPa)} \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดง Mix Design ที่ใช้ในการผลิตเสาไฟฟ้าในปัจจุบัน

Cement Type III (kgs)	Sand (kgs)	Aggregates (kgs)	Water (Litres)	Admixtures (Litres)	Total (M3)
360	745	1145	140	3.8	1

2.3.3 เหล็กลวด Pre-stress

ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง หมายถึง ลวดที่ทำขึ้นโดยวิธีดึงเย็นเหล็กลวดคาร์บอนสูง ลวดดึงเย็น คือลวดลักษณะตัน ทำจากเหล็กลวดโดยการดึงเย็นผ่านด้ายหรือลูกกลิ้ง

2.3.3.1 ชนิดของลวดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดไม่คลายความเค้น (Non-Stress Relieved or Mild Coil Wire) หมายถึง ลวดซึ่งอยู่ในสภาพที่ได้จากการดึงเย็น มีสารหล่อลื่นที่ใช้ในการดึงเย็นหล่อเหลืออยู่ที่ผิว ขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุพื้นที่หน้าตัด ระบุมวลต่อเมตร และค่าลักษณะเฉพาะของลวดชนิดไม่คลายความเค้น

เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุ มิลลิเมตร	ความทนแรงดึง ระบุ มิลลิเมตร	พื้นที่หน้าตัด ระบุ ตาราง มิลลิเมตร	มวลต่อเมตร		ค่าลักษณะเฉพาะ ²⁾ ต่ำสุด		
			ค่าระบุ ³⁾ กรัม	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน กรัม	แรงดึง สูงสุด ⁴⁾ กิโลนิวตัน	แรงดึงพิสูจน์ ร้อยละ 0.1 กิโลนิวตัน	รัศมีการตัดโค้ง มิลลิเมตร
2.5	1 960	4.91	38.5	+ 1.25	9.62	7.7	7.5
2.5	1 860	4.91	38.5	+ 1.25	9.13	7.3	7.5
3	1 860	7.07	55.5	+ 1.5	13.1	10.5	7.5
3	1 770	7.07	55.5	+ 1.5	12.5	10.0	7.5
4	1 770	12.6	98.9	+ 2.0	22.3	17.8	10
4	1 670	12.6	98.9	+ 2.0	21.0	16.8	10
5	1 770	19.6	154	+ 3.1	34.7	27.8	15
5	1 670	19.6	154	+ 3.1	32.7	26.2	15
6	1 770	28.3	222	+ 3.7	50.1	40.1	15
6	1 670	28.3	222	+ 3.7	47.3	37.8	15
7	1 670	38.5	302	+ 4.3	64.3	51.4	20
7	1 570	38.5	302	+ 4.3	60.4	48.3	20
8	1 570	50.3	395	+ 5.9	79.0	63.2	20
8	1 470	50.3	395	+ 5.9	73.9	59.1	20

2. ชนิดลวดคลายความเค้น (Stress Relieved Wire) หมายถึงลวดดึงเย็นซึ่งผ่านขบวนการปรับคุณสมบัติวิธีใดวิธีหนึ่งตลอดความยาวของเส้น ดังต่อไปนี้

- นำลวดผ่านชุดตัดตรง แล้วอบร้อนระยะเวลาสั้น หรือ
- อบร้อนระยะเวลาสั้นในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวรในสภาพให้ความเครียดตามแนวแกนขนาดดังแสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางระบุ พื้นที่หน้าตัดระบุ มวลต่อเมตร และค่าลักษณะเฉพาะของลวดชนิดคลายความเค้น

เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุ มิลลิเมตร	ความหนาแรง ดึงระบุ ¹⁾ นิวตันต่อตาราง มิลลิเมตร	พื้นที่หน้าตัด ระบุ ตาราง มิลลิเมตร	มวลต่อเมตร		ค่าลักษณะเฉพาะ ²⁾ ต่ำสุด			
			ค่าระบุ ³⁾ กรัม	เกณฑ์ความ คลาดเคลื่อน กรัม	แรงดึง สูงสุด ⁴⁾ กิโลนิวตัน	แรงดึงพิสูจน์		รัศมีการตัดโค้ง มิลลิเมตร
						ร้อยละ ⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 0.1 กิโลนิวตัน	ร้อยละ ⁴⁾⁶⁾ 0.2 กิโลนิวตัน	
4	1 770	12.6	98.9	+ 2.0	22.3	18.5	19.0	10
4	1 670	12.6	98.9	+ 2.0	21.0	17.5	17.9	10
5	1 770	19.6	154	+ 3.1	34.7	28.8	29.5	15
5	1 670	19.6	154	+ 3.1	32.7	27.2	27.8	15
6	1 770	28.3	222	+ 3.7	50.1	41.6	42.6	15
6	1 670	28.3	222	+ 3.7	47.3	39.3	40.2	15
7	1 670	38.5	302	+ 4.3	64.3	53.4	54.7	20
7	1 570	38.5	302	+ 4.3	60.4	50.1	51.3	20
8	1 670	50.3	395	+ 5.9	84.0	69.7	71.4	20
8	1 570	50.3	395	+ 5.9	79.0	65.6	67.1	20
9	1 470	63.6	499	+ 7.2	93.5	74.8	76.7	25
10	1 570	78.5	617	+ 8.6	123	98.6	101	25
10	1 470	78.5	617	+ 8.6	115	92.3	94.3	25
12.2	1 570	117	918	+ 10.5	184	147	151	30
12.2	1 470	117	918	+ 10.5	172	138	141	30

2.3.2.2 รูปแบบของลวดแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ

1. แบบเกลี้ยง (Plain Wire) หมายถึง ลวดที่มีผิวตามที่ได้จากด้ายที่ใช้ดึง มีพื้นที่ภาคตัดขวางสม่ำเสมอ ลักษณะผิวและแนวแกนไม่เปลี่ยนแปลงเป็นคาบตลอดความยาว
2. แบบมีรอยย้า (Indented Wire) หมายถึง ลวดซึ่งผิวมีรอยย้าเป็นระยะเท่า ๆ กันตลอดความยาว
3. แบบหยัก (Crimped Wire) หมายถึง ลวดที่เปลี่ยนแปลงแนวแกนอย่างสม่ำเสมอในระนาบเดียวหรือในรูปของเกลียว ซึ่งเกิดขึ้นโดยกรรมวิธีทางกลหลังการดึงเย็น
4. แบบมีบั้ง (Chevron) คล้ายกับแบบหยัก ทั้งนี้การใช้งานของลวดทั้งสองแบบเหมือนกันทุกประการ เพราะมีคุณสมบัติทางกลเหมือนกันรวมทั้งสามารถใช้อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ร่วมกันได้ตามปกติ

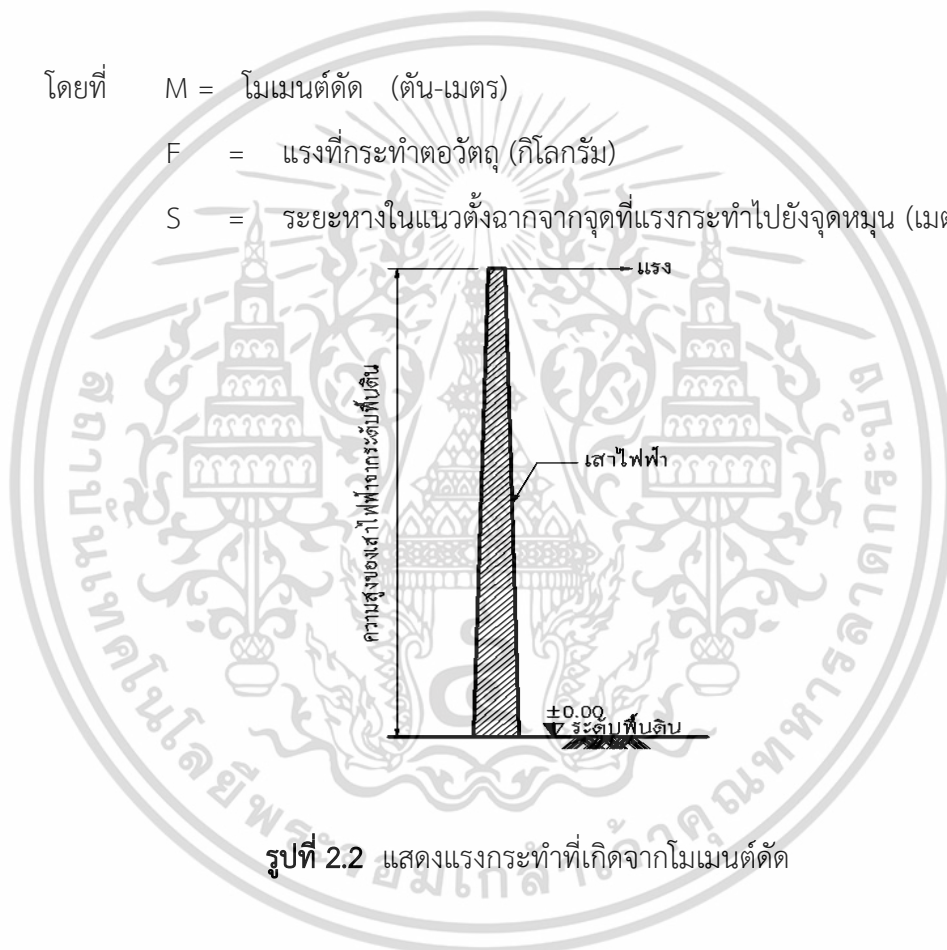
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลของโมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงดึงของสายไฟฟ้า

ความสามารถในการรับแรงดัด ของเสาคอนกรีตอัดแรง ที่มีการติดตั้งสายไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่าง ๆ บนเสาไฟฟ้า ซึ่งความหมายของการรับแรงดัดจะหมายถึงเมื่อมีแรงลมกระทำต่อวัสดุยึดอยู่กับที่ลักษณะที่แรงนั้นพยายามจะทำให้วัตถุนั้นหมุนไปตามทิศทางของแรงที่กระทำ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างแรงที่กระทำกับระยะห่างในแนวตั้งฉากจากแนวแรงไปยังจุดหมุน เป็นไปตามสมการที่ (2.3)

$$M = F \times S \quad (2.3)$$

โดยที่ $M =$ โมเมนต์ดัด (ตัน-เมตร)
 $F =$ แรงที่กระทำต่อวัตถุ (กิโลกรัม)
 $S =$ ระยะห่างในแนวตั้งฉากจากจุดที่แรงกระทำไปยังจุดหมุน (เมตร)



รูปที่ 2.2 แสดงแรงกระทำที่เกิดจากโมเมนต์ดัด

จากรูปที่ 2.2 เมื่อพิจารณาการดึงเสาคอนกรีตที่ระดับพื้นดิน แทนค่าโดยใช้ความสูงของเสาคอนกรีต แทนค่า S ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการใหม่ได้คือ

$$M = (F \times H) / (\text{สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย} \times \text{สัมประสิทธิ์การกระแทก}) \quad (2.4)$$

โดยที่ $M =$ โมเมนต์ดัด (ตัน-เมตร)
 $F =$ แรงที่กระทำต่อเสาคอนกรีต (กิโลกรัม)
 $H =$ ความสูงของเสาคอนกรีตที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$F = \frac{\text{โมเมนต์ที่ยอมให้ (กิโลกรัม-เมตร)} \times 1.60 \times 1.30}{\text{ความสูงเสาไฟฟ้า (เมตร)} - \text{ระยะเสริมแผ่นเหล็ก (เมตร)}} \quad (2.5)$$

โดยที่ F = แรงที่กระทำต่อเสาคอนกรีต (กิโลกรัม)
 1.6 = สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของเสาไฟฟ้าได้จากผู้ผลิต
 1.3 = สัมประสิทธิ์การกระทำ ACI 318

โดยทั่วไปวัสดุแต่ละชนิดมีความสามารถในการรับแรงดัดได้ไม่เท่ากัน ซึ่งแต่ละวัสดุจะสามารถรับคาแรงดัดได้สูงสุดถึงค่าหนึ่ง ถ้าหากแรงที่กระทำกับเสาไฟฟ้าทำให้แรงดัดมีค่าสูงเกินกว่าที่วัสดุนั้นจะรับได้ วัสดุนั้นจะเกิดการแตกหักหรือมีรอยร้าว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นวัสดุนิดใด ในที่นี้ทางการไฟฟ้านครหลวงจึงได้ใช้เสาคอนกรีตอัดแรงเป็นตัวรับแรงดัดที่เกิดขึ้น ทั้งนี้คาแรงดัดที่เกิดขึ้นกับเสาไฟฟ้าจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แรงดัดที่เกิดจากมีแรงดึงในสายไฟ จะเกิดขึ้นในกรณีที่สายไฟมีการเขาปลายสายที่เสาตงสุดท้ายโดยที่ไม่มีสายยึดโยง หรือเกิดจากการพาดของสายไฟฟ้าที่ไม่เป็นแนวตรงทำให้เกิดผลของแรงลัพธ์ในทิศตั้งฉากกับหน้าเสาเนื่องจากมุมเบี่ยงเบนของสายไฟฟ้า
2. แรงดัดที่เกิดจากแรงลมโดยจะเกิดเวลาที่มีลมพัดมาปะทะกับเสาไฟฟ้าหรือสายไฟฟารวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ดวยที่ติดตั้งอยู่บนเสาไฟฟ้า

เนื่องจากเสาไฟฟ้ามักจะหักบริเวณเหนือพื้นดินขึ้นมาเล็กน้อย จึงให้จุดที่ทำการเสริมกำลังนั้น ตานทานโมเมนต์ให้เท่ากับกำลังต้านทานเหมือนเสาไฟฟ้าตงปกติตั้งแต่เริ่มแรก ทิศทางของแรงตั้งอยู่ในทิศตั้งฉากกับแนวเสาไฟฟ้า โดยตั้งที่ปลายสุดของเสาไฟฟ้า ส่วนแรงดึงในทิศขนานกับแนวเสาไฟฟ้าไม่นำมาพิจารณาเนื่องจาก เสาไฟฟ้ามีสายไฟตั้งอยู่ทั้งสองข้าง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

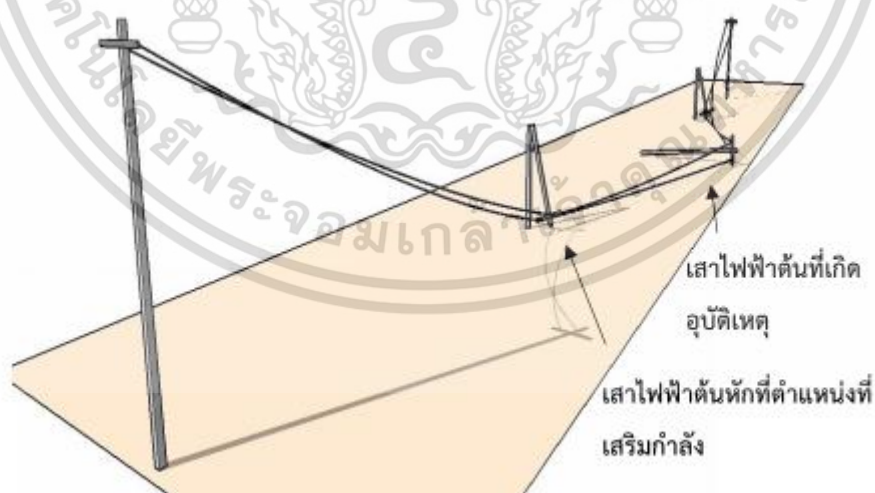
1. นายธนีสร สถาพร

การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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

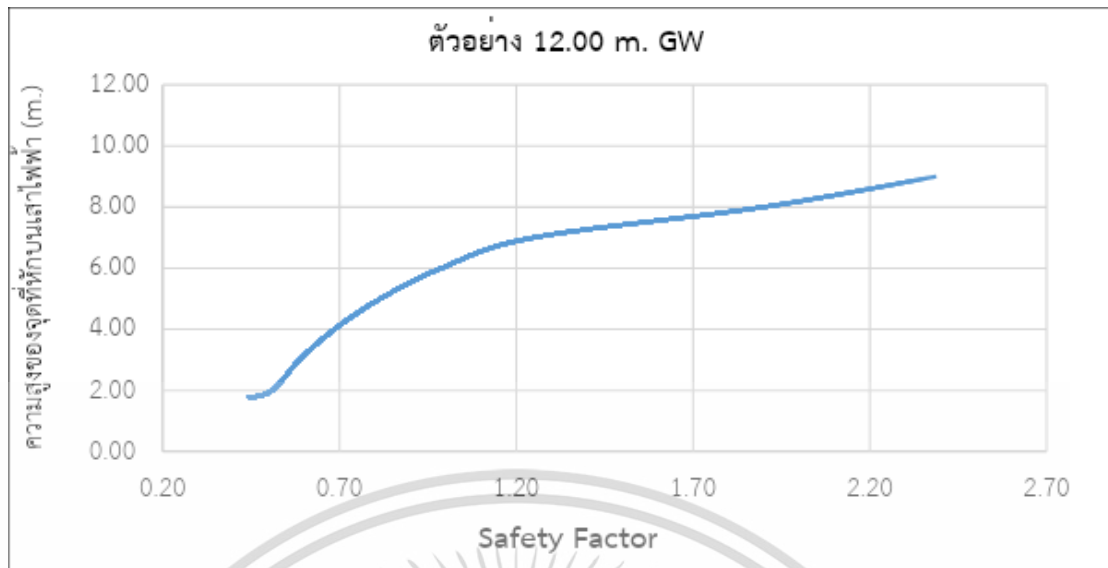
1. หลักการในการหาตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้า

หลักการในการกำหนดตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้าให้สูงกว่าการหักโค่นที่ระดับพื้นดินจะสามารถช่วยลดแรงกระทำที่ส่งผลต่อเสาไฟฟ้าต้นถัดไป เมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่เกิดอุบัติเหตุหักโค่นลง และส่งแรงไปถึงเสาไฟฟ้าต้นที่อยู่ข้าง ๆ ทั้ง 2 ด้าน เสาไฟฟ้าทั้ง 2 ต้นดังกล่าวจะได้รับแรงกระทำและหักที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ด้วยการเสริมกำลังเสาไฟฟ้าซึ่งจะสามารถช่วยลดการหักโค่นไปสู่เสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ด้วยหลักการนี้จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเสริมกำลัง

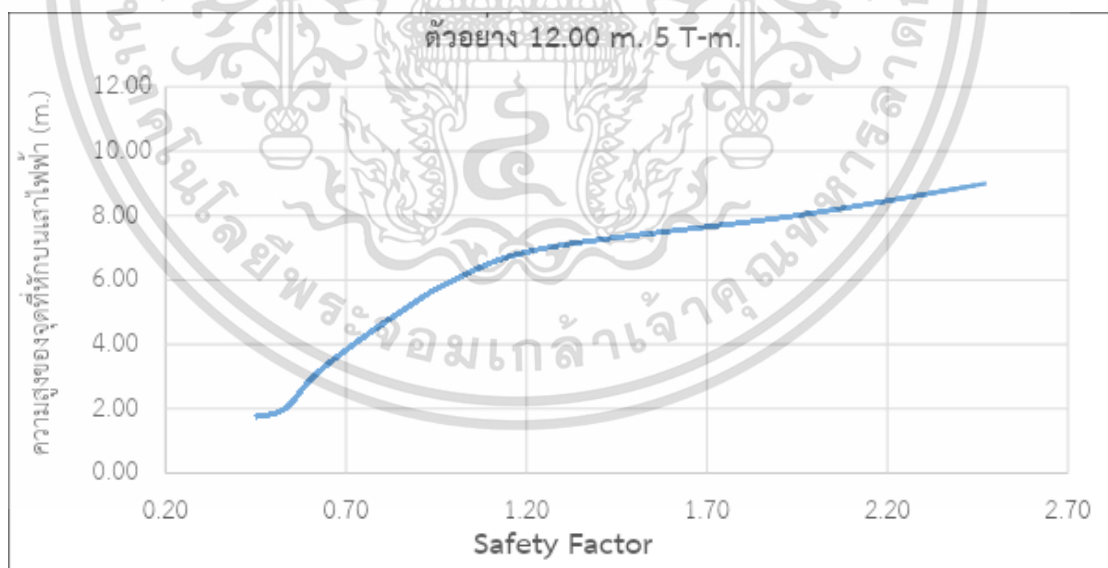


รูปที่ 2.3 ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหักโค่น (ธนีสร สถาพร, 2562, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

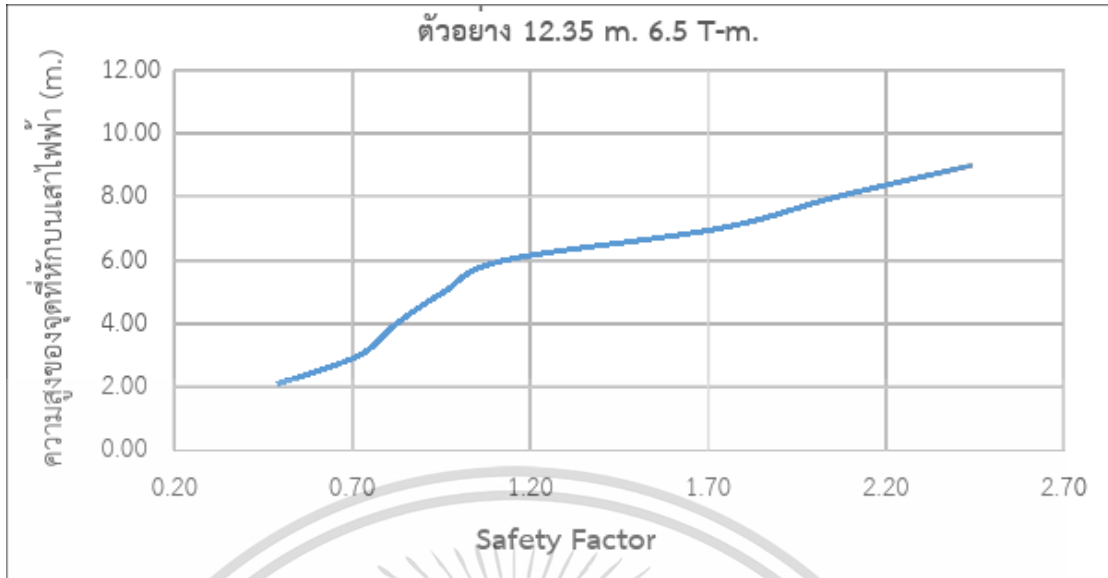


รูปที่ 2.4 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00 เมตร. GW ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ

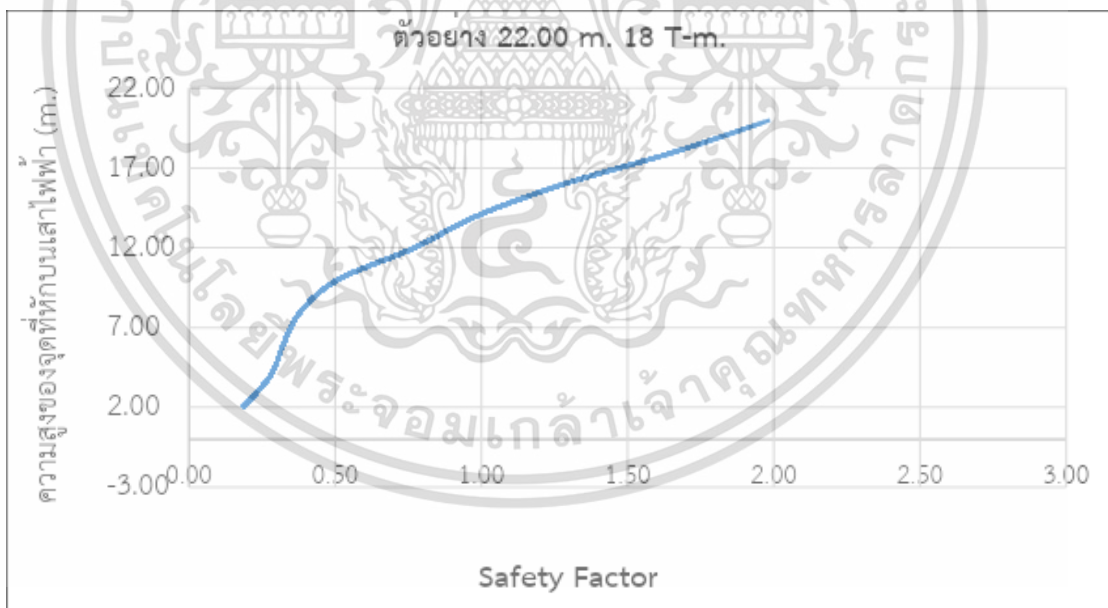


รูปที่ 2.5 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.00 เมตร. 5 ตัน-เมตร ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

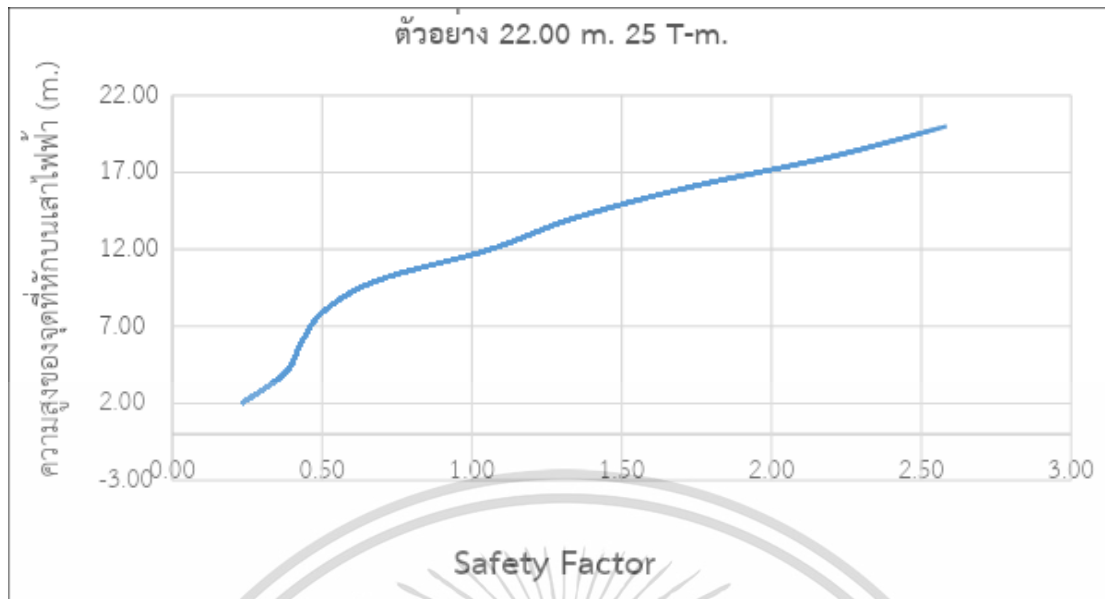


รูปที่ 2.6 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 12.35 เมตร 6.5 ตัน-เมตร ตันถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่ พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ



รูปที่ 2.7 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร ตันถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่ พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 อัตราส่วนความปลอดภัยของโครงสร้างเสาไฟฟ้า EP. 22.00 เมตร 25 ตัน-เมตร ต้นถัดไปเมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงต่าง ๆ

สรุปผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

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

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

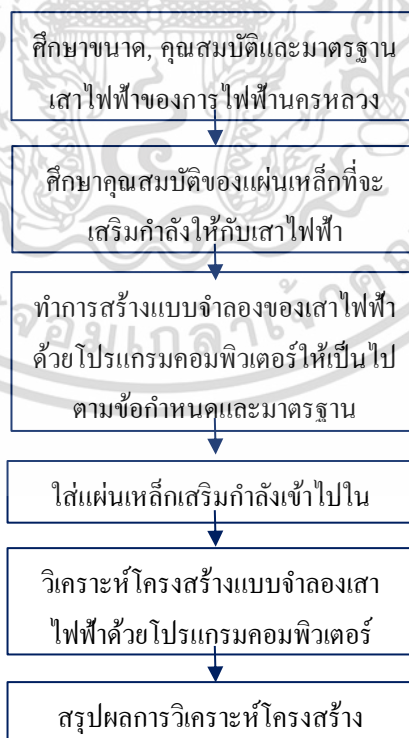
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1. กล่าวนำ

- 1.) ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการโค่นล้มของเสาไฟฟ้า โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ทำให้เกิดการโค่นล้มของเสาไฟฟ้าในทุกกรณี
- 2.))สำรวจข้อมูลการโค่นล้มของเสาไฟฟ้า จากกรณีความเสียหายที่เกิดจากพายุฝนฟ้าคะนองลมกรรโชกแรง ความเสียหายที่เกิดจากอุบัติเหตุยานพาหนะชนเสาไฟฟ้าหรือเกี่ยวสายไฟฟ้า/สายสื่อสาร ความเสียหายที่เกิดจากต้นไม้ล้มทับเสา/สายไฟฟ้า
- 3.) วิเคราะห์หา สาเหตุของปัญหา
- 4.) สร้างแบบจำลองตัวอย่าง
- 5.) สร้างแบบจำลองและใส่ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
- 6.) วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล
- 7.) ข้อเสนอแนะในข้อจำกัดของการวิเคราะห์โครงสร้าง



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

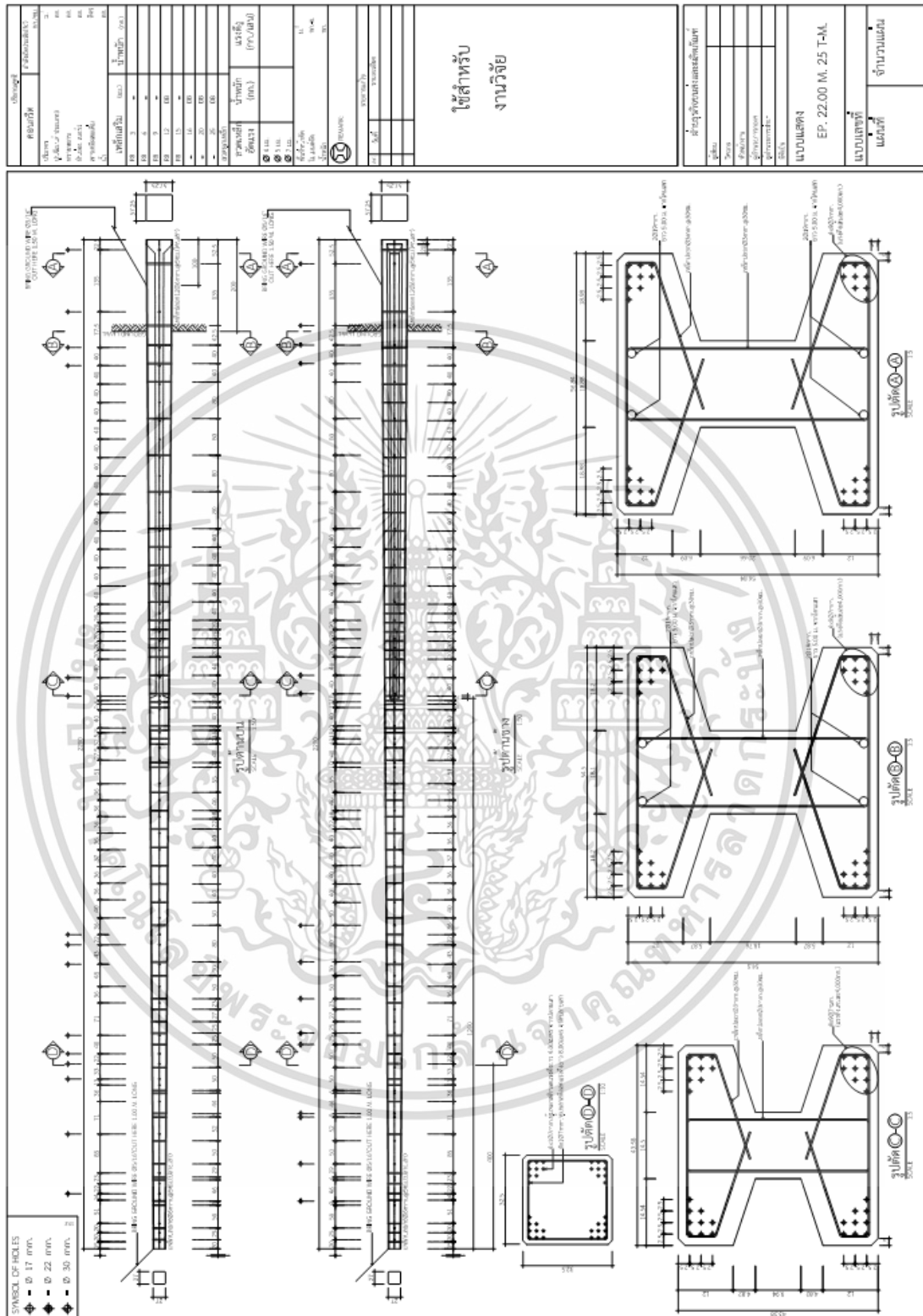
3.2 ตัวแปรที่เป็นค่าคงที่ในการวิเคราะห์

เป็นการกำหนดตัวแปรที่คงที่เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์เสไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดคุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงค่าเริ่มต้นของวัสดุและเงื่อนไขการวิเคราะห์

ชนิดของตัวแปร	ชนิด/ค่า	ชนิด/ค่า	หน่วย
1. ชนิดของเสไฟฟ้า	22.00	22.00	เมตร
	18	25	ตัน-เมตร
2. กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน	450	450	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
3. กำลังจุดครากของเหล็กเสริมโครงสร้าง	17,500	17,500	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
4. กำลังจุดครากของเหล็กปลอกเสริมโครงสร้าง	17,500	17,500	กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
5. ระยะการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลัง	14.10	11.70	เมตร
6. สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย			
(1) สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของเสไฟฟ้าจากผู้ผลิต	1.6	1.6	
(2) สัมประสิทธิ์การกระแทก ACI 318	1.3	1.3	
7. แรงกระทำสูงสุดที่ปลายเสไฟฟ้าการวิเคราะห์	2278.48	2427.18	กิโลกรัม
8. ความสูงเสไฟฟ้า	22.00	22.00	เมตร
9. แรงอัดที่เกิดขึ้นภายในเสไฟฟ้า	242.49	193.77	กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
10. จุดยึดของฐานเสไฟฟ้า	ยึดแน่น	ยึดแน่น	
11. การแบ่งเอลิเมนต์คอนกรีต	2.0	2.0	เซนติเมตร
12. การแบ่งเอลิเมนต์เหล็กเสริมกำลัง	1.00	1.00	เซนติเมตร
13. การแบ่งเอลิเมนต์แผ่นเหล็กเสริมกำลัง	1.00	1.00	เซนติเมตร
14. กำหนด convergent	5	5	เปอร์เซ็นต์

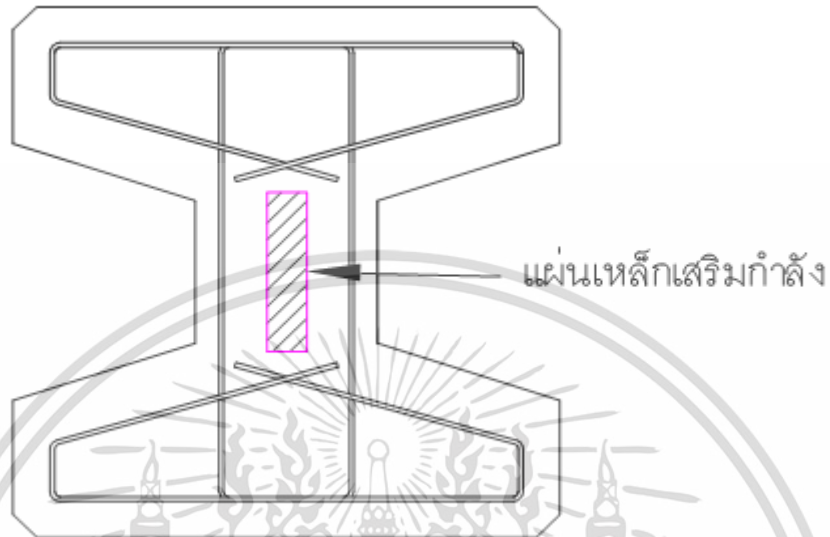
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



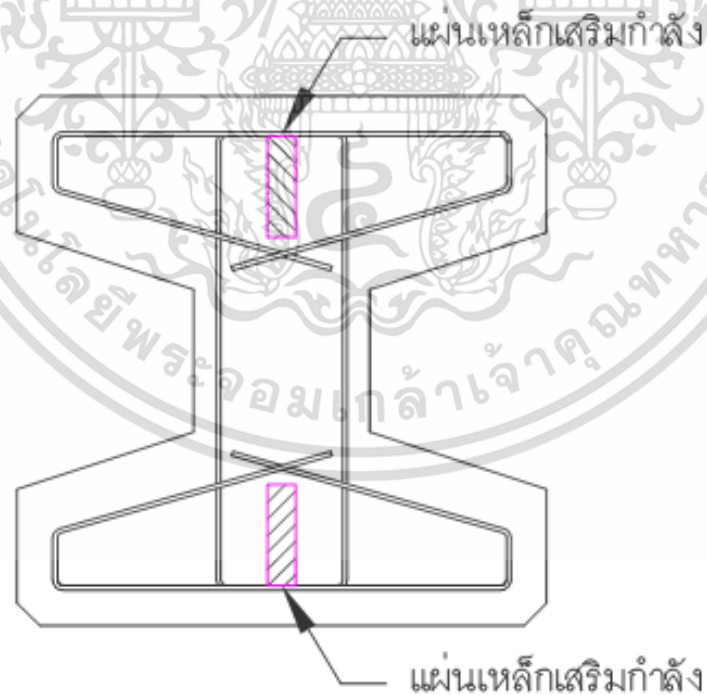
รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00เมตร 25ตัน-เมตร (การไฟฟ้านครหลวง,2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า

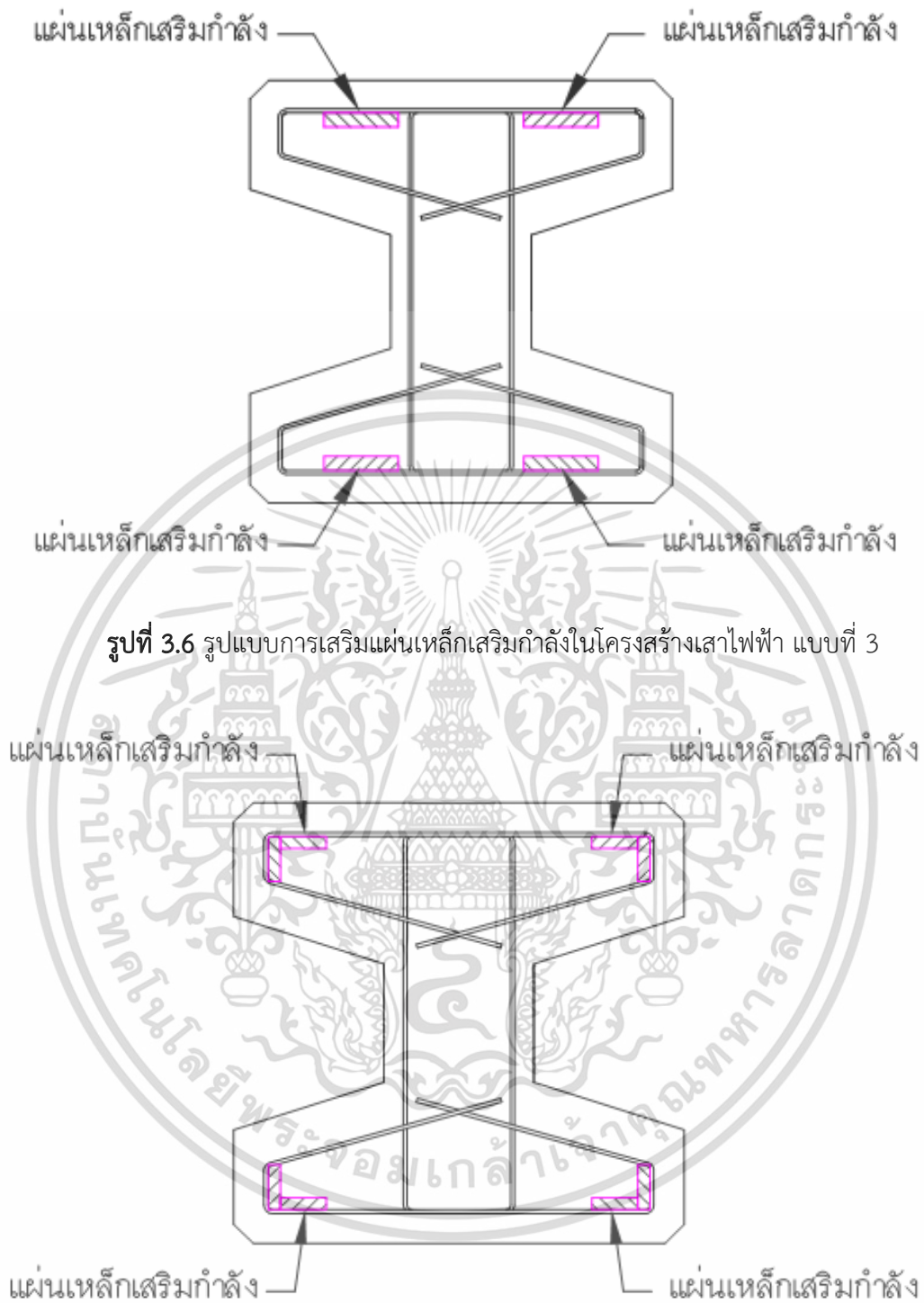


รูปที่ 3.4 รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 1



รูปที่ 3.5 รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รูปแบบการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังในโครงสร้างเสาไฟฟ้า แบบที่ 4

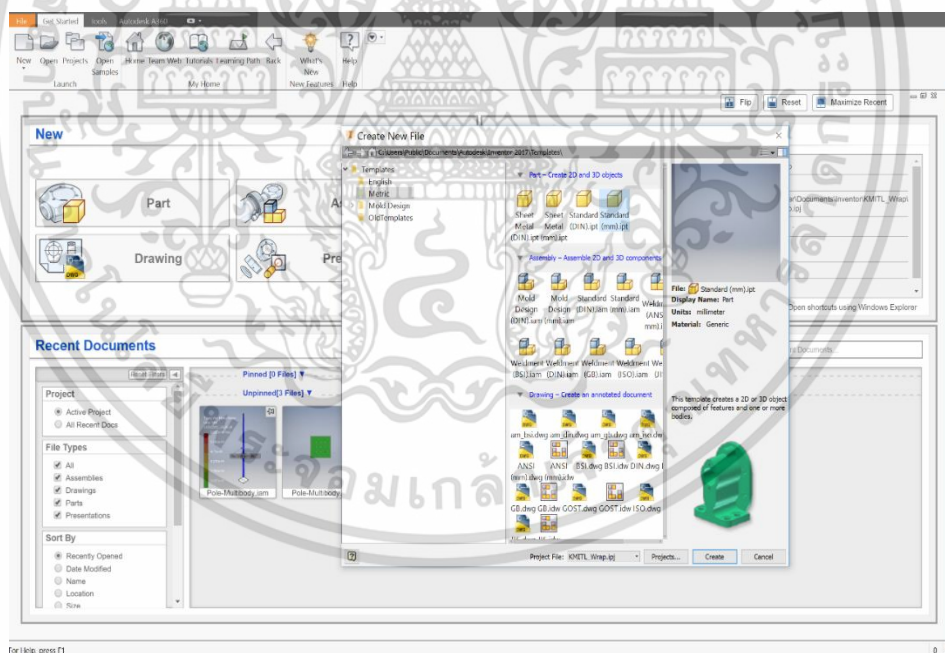
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การใช้งานโปรแกรม

- 1.) ตั้งค่าการขึ้นโมเดล
- 2.) สร้างแบบจำลอง
- 3.) นำแบบจำลองเข้าโปรแกรม Analyze เพื่อวิเคราะห์
- 4.) ตั้งค่าขอบเขต และคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ในโปรแกรม
- 5.) ทำการวิเคราะห์แบบจำลอง
- 6.) ตรวจสอบพฤติกรรมของเสา และดูค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไม่เกินที่กำหนด

1. ตั้งค่าการขึ้นแบบจำลอง

เปิดโปรแกรม จากนั้นเลือกเมนู New Project ซึ่งจะแสดงหน้าต่าง New ดังรูปที่ 3.8



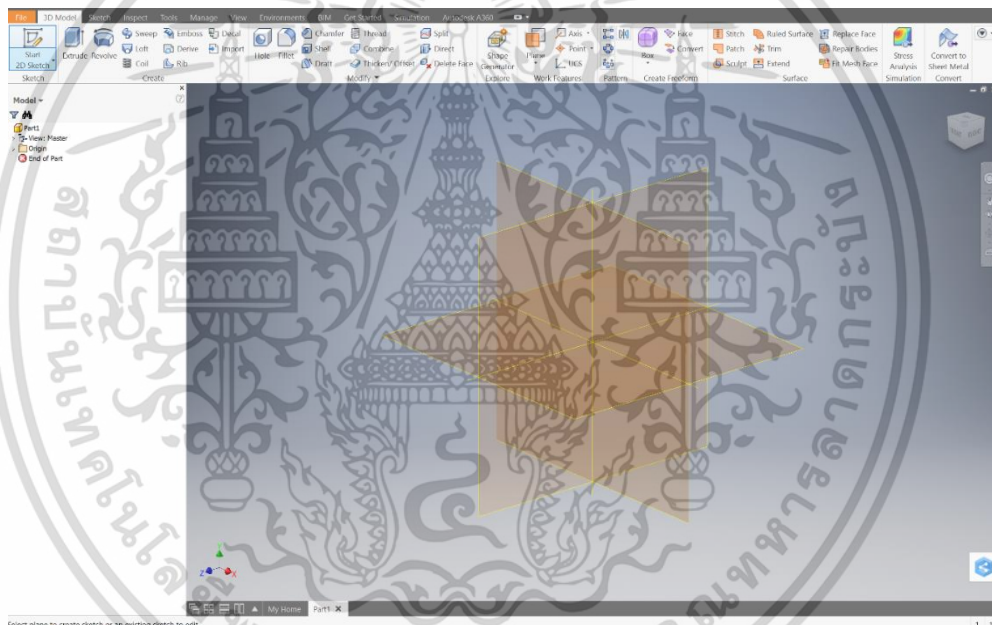
รูปที่ 3.8 แสดงการเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

Project คือไฟล์ที่เก็บข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งสร้างโดยโปรแกรม ของผู้ใช้ เช่น การจัดการ standard

เอกสารนี้ เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้าง New Project

1. เรียกหน้าต่าง Project โดยไปที่ Get Started Tab >> Launch Panel >> Project
2. คลิกที่ New เพื่อสร้าง Project ใหม่
3. เลือก New Single User Project
4. ตั้งชื่อและกำหนด Workspace แล้วกด Finish
5. กด Apply



รูปที่ 3.9 แสดงการเริ่มต้นของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ส่วนประกอบของหน้าต่างโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงดังรูปที่ 3.9 ประกอบด้วยดังนี้

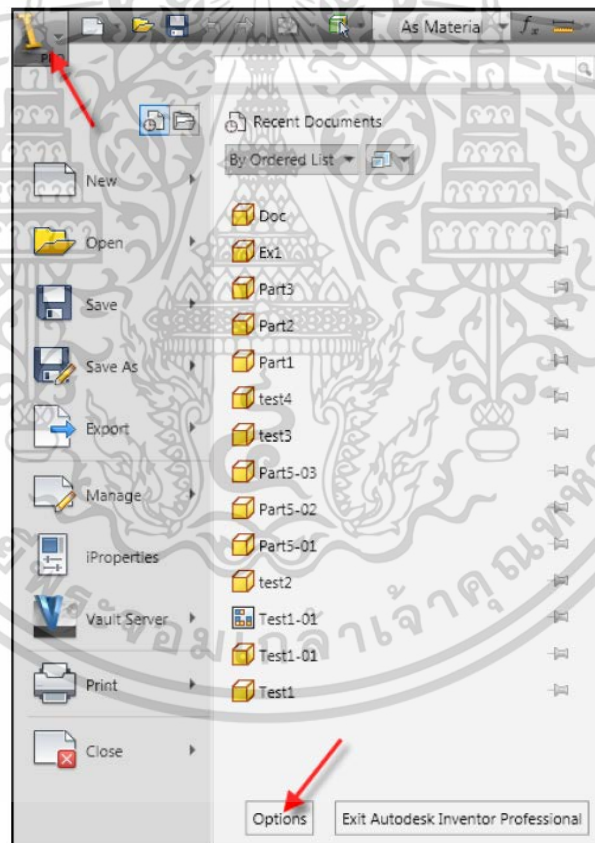
- Menu Bar จะสามารถเรียกคำสั่งของโปรแกรมทุกคำสั่งได้
- Toolbar คำสั่งที่อยู่ถัดลงมาจากเมนู ใช้เพิ่มเป็นเมนูลัดสำหรับสั่งคำสั่งที่ใช้บ่อย สามารถกำหนดได้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Main Window อยู่กลางหน้าจอ ใช้สำหรับแสดงแบบจำลองและผลต่าง ๆ
- Page Control ใช้ทำงานเฉพาะอย่าง การเรียงหน้าหลักและหน้าย่อยจะเป็นไปตามลำดับการทำงาน
- View Orientation แสดงมุมมองและควบคุมการทำงานของโปรแกรม

การปรับแต่ง Option ต่าง ๆ







การปรับแต่ง Option ต่าง ๆ ให้ใช้งานง่ายขึ้นและตามความเหมาะสมหรือความชอบของผู้ใช้ สามารถทำได้ดังนี้ไปที่ Application Menu >> Option



รูปที่ 3.10 แสดงการปรับแต่ง Option ของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับเปลี่ยนมุมมองด้วย View Orientation

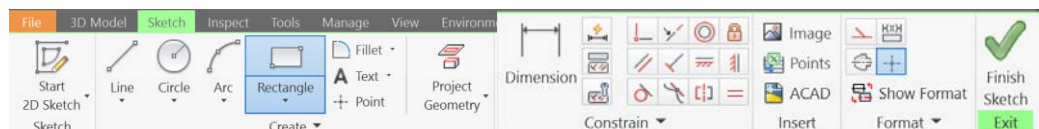
- 
 Free Orbit: การหมุนเปลี่ยนมุมมอง โดยคลิกที่ View Cube ค้างไว้แล้วหมุนเปลี่ยน
 วิวท์หรือคลิก Free Orbit (f4) ที่ Navigation bar
- 
 Isometric View: การเปลี่ยนมุมมองให้กลับมาเป็น Isometric View (f6) หรือ
 คลิกที่ Home View ที่ View Cube
- 
 Selection View: การเลือกมุมมองต่าง ๆ จาก View Cube
- 
 Zoom: สามารถย่อหรือขยายงานใน Graphic Window ได้โดย คลิก คำสั่ง
 ที่ Navigation bar หรือ ที่ Wheel ของเมาส์
- 
 Pan: การลากวัตถุไปมาใน Graphics Window
- 
 View Face: คำสั่งที่เลือกโดยผิวแล้วสำหรับปรับการแสดงใน Graphics Window
 ให้แสดงที่ผิวนั้น ๆ

Basic 2D Sketch

Sketch Tab ประกอบด้วย Panel ที่สำคัญสำหรับการ Sketch ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งประกอบด้วยนี้

1. Draw Panel เป็นที่รวมคำสั่งในการสร้างเส้นต่าง ๆ เช่น Line, Circle เป็นต้น
2. Pattern Panel เป็นที่รวมคำสั่งสำหรับการ Pattern
3. Modify Panel เป็นที่รวบรวมคำสั่งสำหรับแก้ไข Sketch เช่น Move, Trim เป็นต้น
4. Constrain เป็นที่เก็บคำสั่งในการกำหนดความสัมพันธ์ของเส้นต่าง ๆ ใน Sketch เช่น
 Coincident, Parallel เป็นต้น

Coincident, Parallel เป็นต้น



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องมือพื้นฐานในการเขียนภาพ 2 มิติ โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์นี้นั้นสามารถทำได้สองวิธีด้วยกัน คือ

- ใช้ไฟล์คำสั่ง (command file) ไฟล์คำสั่งคือไฟล์ข้อความบรรจุข้อมูลโครงสร้าง โดยจะเป็นคำสั่ง ในภาษาที่เข้าใจง่ายตามรูปแบบของโปรแกรม ผู้ใช้สามารถสร้างไฟล์นี้ได้โดยใช้โปรแกรมอิดิเตอร์ทั่วไป โดยระหว่างใช้งานโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ผู้ใช้งานสามารถเปิดไฟล์คำสั่งขึ้นมาตรวจสอบและแก้ไขได้

- ใช้การสร้างแบบโต้ตอบเชิงกราฟิก วิธีการสร้างแบบกราฟิกจะใช้เครื่องมือทางกราฟิกในโหมดสร้างโมเดล และกำหนดข้อมูลเช่น คุณสมบัติวัสดุ, ค่าคงที่ต่าง ๆ, น้ำหนักบรรทุก และอื่น ๆ โดยขณะที่สร้างโมเดลนั้นไฟล์คำสั่งก็จะถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติอยู่เบื้องหลังซึ่งผู้ใช้สามารถเปิดดูได้ตลอดเวลาเช่นกัน

เตรียมสร้างฐานเสาและปลายเสาไฟฟ้า 2 มิติ เพื่อขึ้นรูปโครงสร้าง 3 มิติของเสาไฟฟ้า

Sketch ที่สามารถใช้คำสั่ง Loft ได้จะต้องเป็นรูปปิด

1. ไปที่ Get Started Tab >> Launch Panel >> New
2. เลือก Standard.ipt >> คลิก OK
3. ไปที่ Model Tab >> Sketch Panel >> Create 2D Sketch เลือกที่ Plan XY ที่อยู่ใน Browser
4. ที่ Sketch Tab >> Draw Panel >> Rectangles
5. คลิกกำหนดจุดเริ่มต้น แล้วกำหนดขนาดของสี่เหลี่ยมคือ 25.27x28.55 เซนติเมตร เป็นฐานเสาไฟฟ้า (เปลี่ยนด้านโดยการกด Tab ที่คีย์บอร์ด)
6. ไปที่ Sketch Tab >> Draw Panel >> Project Geometry จากนั้นเลือกที่ XY Axis
7. ไปที่ Sketch Tab >> Constrain Panel >> Confident Constrain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

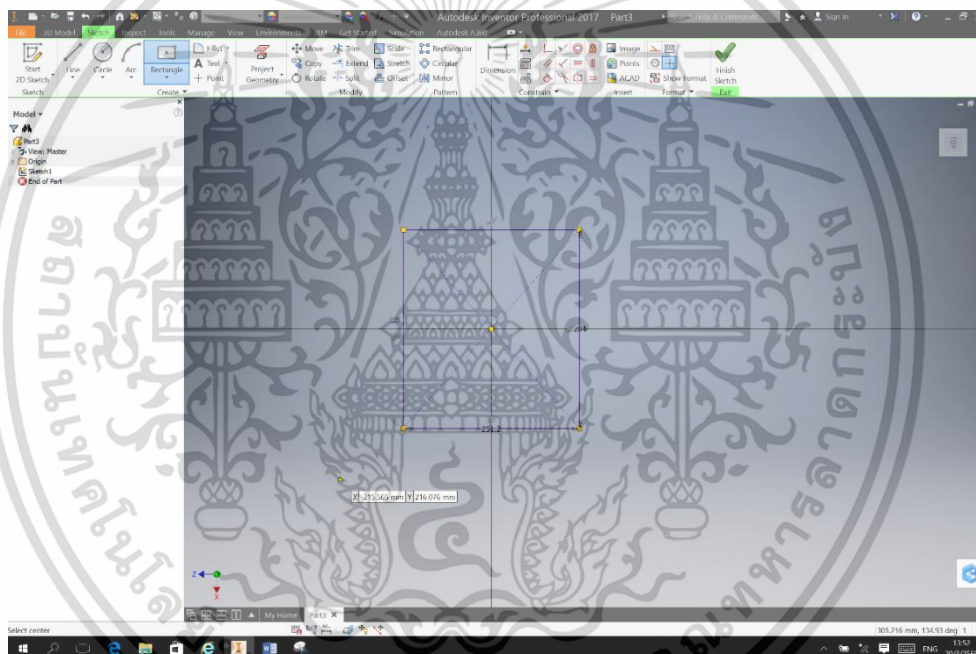
8. จากนั้น เลื่อนเมาส์ไปที่บริเวณกลางเส้นจะปรากฏจุดสี่เหลี่ยมขึ้นหมายถึงกึ่งกลางของเส้นแล้วคลิกเลือก

9. จากนั้นให้คลิกเส้นแกนที่โปรเจกมาจกข้อ 6 ทำทั้งแกน X และแกน Y

10. ไปที่ Sketch Tab >> Exit Panel >> Finish Sketch

11. ไปที่ Application Menu >> Save

12. คลิก OK จะได้ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการวาดรูปฐานเสาไฟฟ้า 2 มิติ

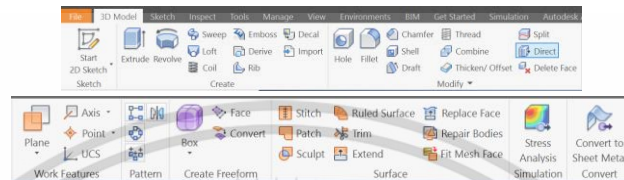
การขึ้นรูปแบบจำลองสามมิติ

เมื่อวาดรูปฐานเสาและปลายเสาไฟฟ้าเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การสร้าง 2D Sketch ให้เป็น 3D Model แล้วได้เตรียม Sketch สำหรับสร้างเสาไฟฟ้า

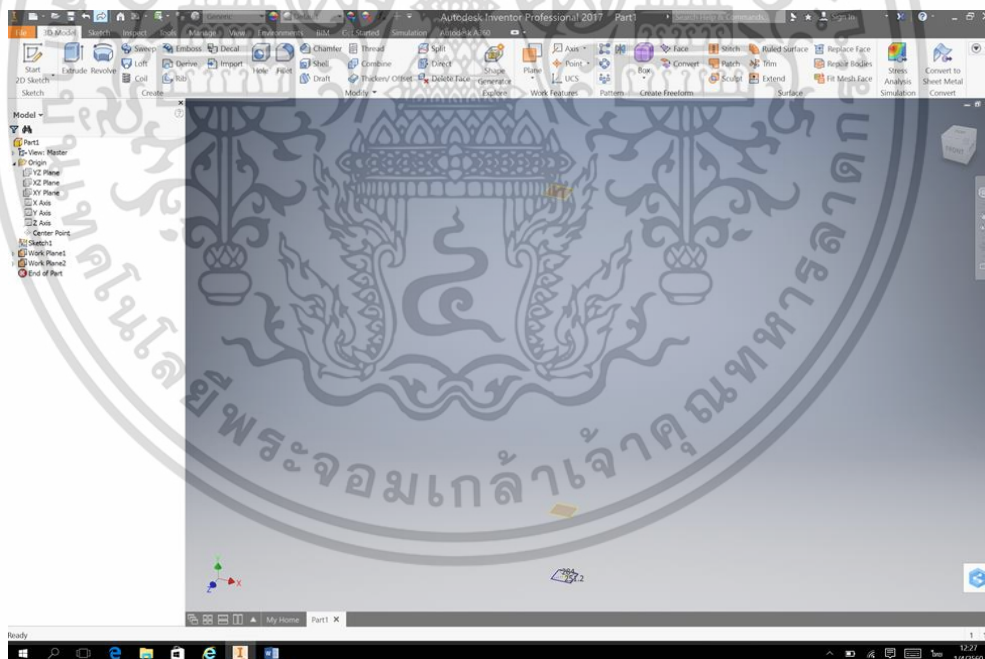
1. ไปที่ 3D Model >> Plane >> Offset from Plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เลือก Plane ฐานเสาไฟฟ้าถึงปลายเสาไฟฟ้า
3. ไปที่ Model Tab >> Loft เพื่อสร้าง Solid ของเสา
4. คลิก OK จะได้ดังแสดงในรูปที่ 3.16

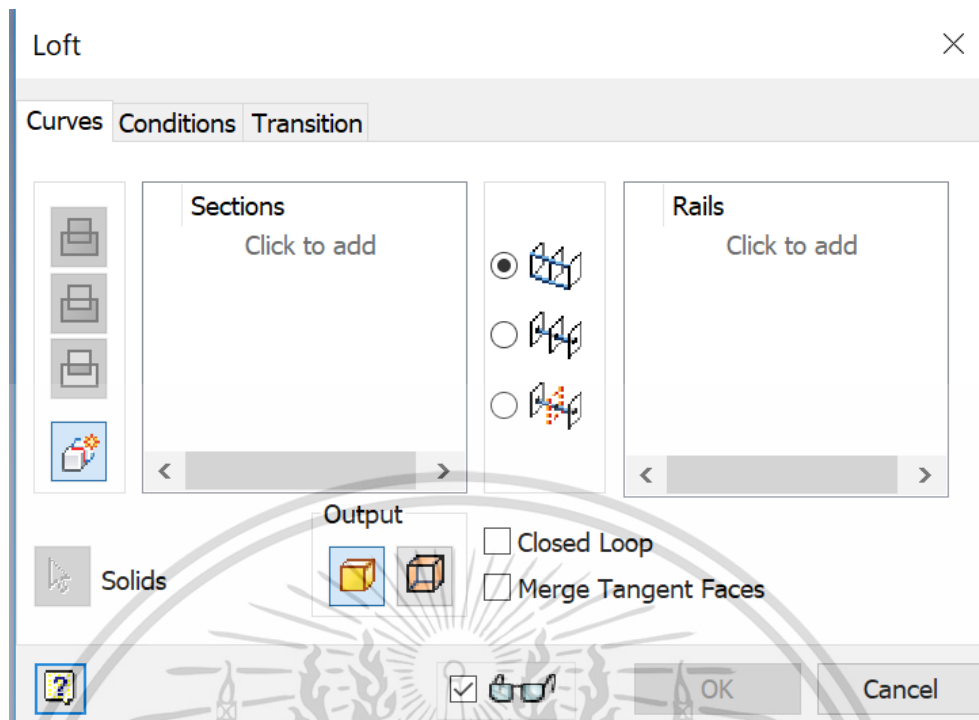


รูปที่ 3.13 แสดงคำสั่งที่ใช้ในแบบจำลอง 3 มิติ

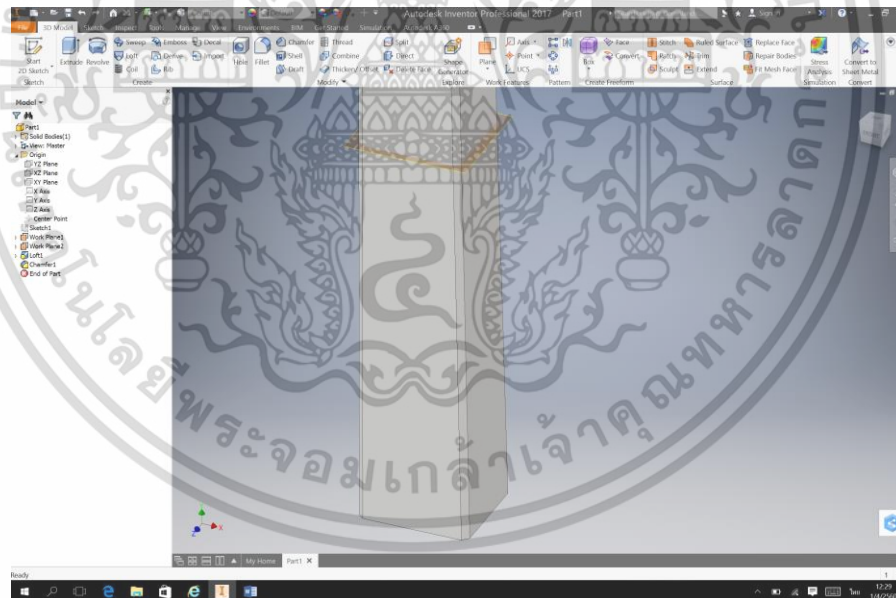


รูปที่ 3.14 แสดง Planes สำหรับระดับของส่วนประกอบในเสาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

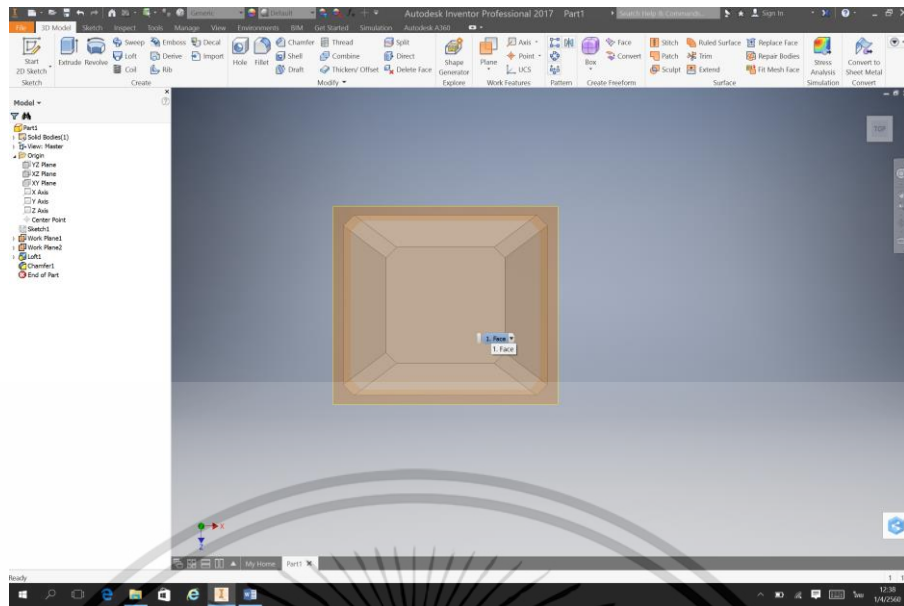


รูปที่ 3.15 แสดงคำสั่ง Loft ในการ Sketch แบบจำลองโครงสร้างเสาไฟฟ้า 3 มิติ



รูปที่ 3.16 แสดงการสร้าง Chamfer ที่ขอบของเสาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

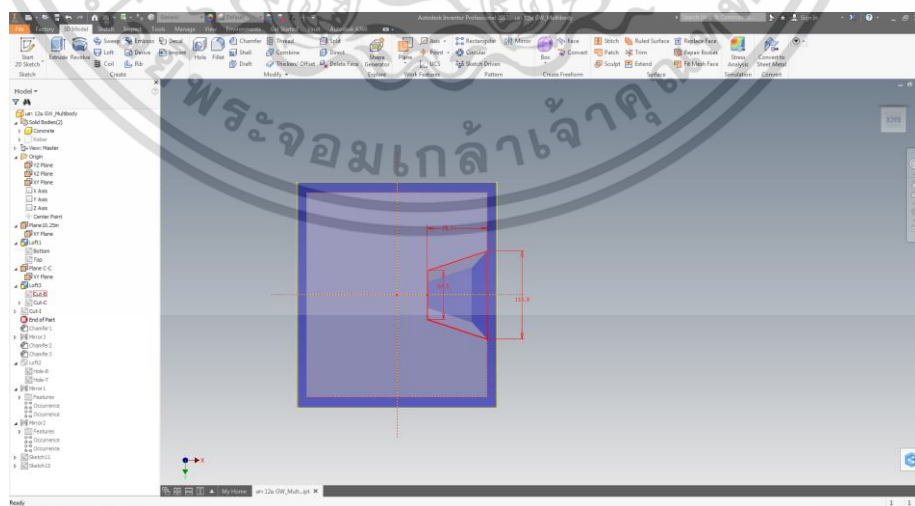


รูปที่ 3.17 แสดงภาพ Top View ของโมเดลเสาไฟฟ้า

การสร้างร่องคอนกรีตในเสาไฟฟ้า

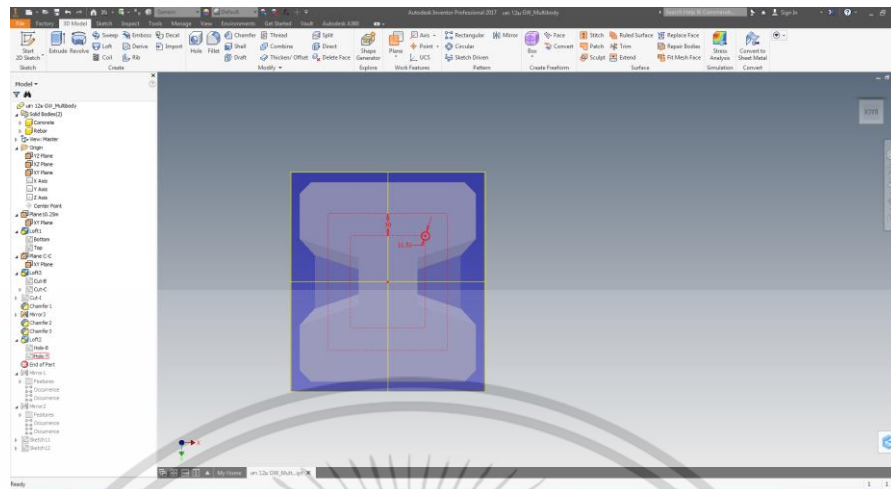
สร้างร่องของเสาไฟฟ้าด้วยคำสั่ง Loft Cut และ Mirror เพื่อให้ได้ร่องในด้านตรงข้ามของเสา

ดังรูปที่ 3.18 และ 3.19



รูปที่ 3.18 แสดงภาพ Top View ของโมเดลเสาไฟฟ้าในการสร้างร่องของเสา

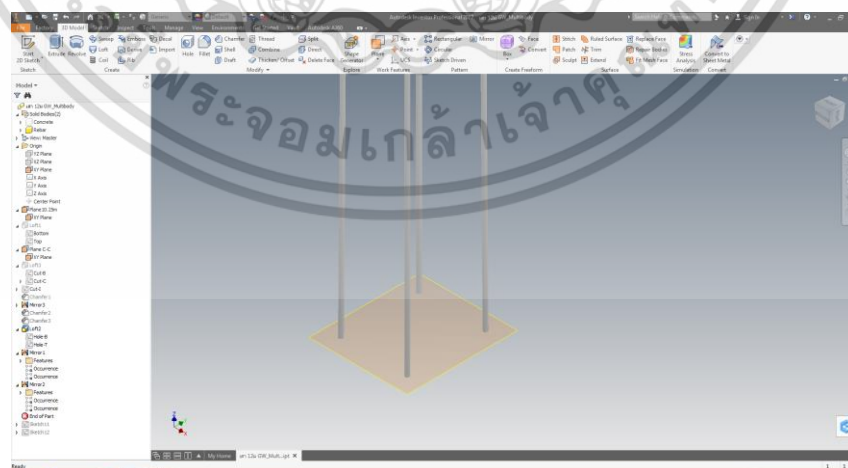
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงภาพ Plane View หลังจาก Mirror ร่องของโมเดลเสาไฟฟ้า

การใส่เหล็กเสริมในเสาไฟฟ้า

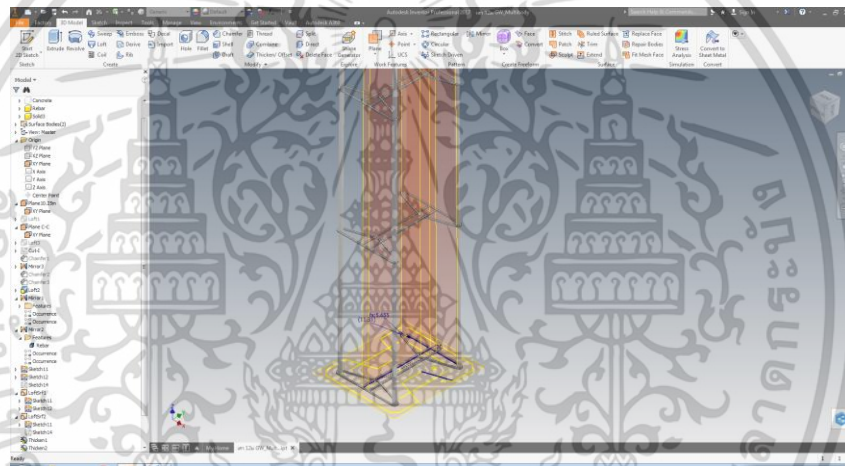
สร้างเหล็กเสริมหลัก โดยเปิด Plane XY Axis แล้วทำการวาดวงกลมของเส้นเหล็กเสริมที่ฐานและปลายของเสาไฟฟ้า แล้วใช้คำสั่ง Loft เพื่อสร้าง Solid ของเหล็กเสริมไปที่ปลายเสาไฟฟ้า เมื่อแล้วเสร็จจะได้ดังรูปที่ 3.20



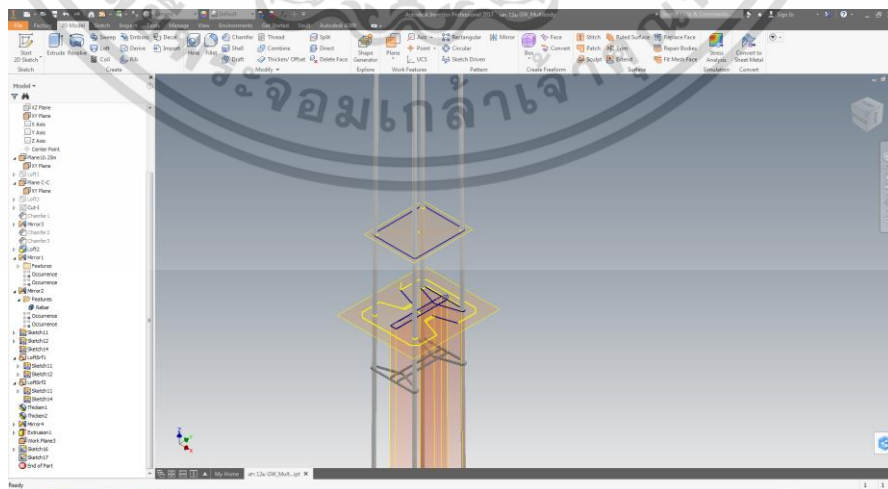
รูปที่ 3.20 แสดงภาพ View ของเหล็กเสริมหลักในโมเดลเสาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กปลอกของเสาไฟฟ้ามี่ 2 ลักษณะ ที่เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมประกอบและรูปทรงสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 3.21 และ 3.22 ที่ฐาน การสร้างเริ่มวาดรูปทรงแบบแรกของเหล็กปลอกจากฐานเสาและที่ Plane ที่กำหนดไว้ ตามแบบมาตรฐานของ กฟน กำหนดความหนาของเหล็กปลอกด้วยคำสั่ง Thicken/Offset สร้างสี่เหลี่ยมตามระยะของเหล็กปลอกและใช้คำสั่ง Loft Cut เพื่อให้ได้ระยะเหล็กปลอกตามแบบมาตรฐาน เมื่อแล้วเสร็จจะได้ดังรูปที่ 3.21 และจาก Plane ในระยะที่กำหนดขึ้นไป วาดสี่เหลี่ยมรอบเหล็กเสริมแบบที่ 2 ที่ Plane นี้และที่ปลายเสา กำหนดความหนาของเหล็กปลอกด้วยคำสั่ง Thicken/Offset สร้างสี่เหลี่ยมตามระยะของเหล็กปลอกอีกครั้งและใช้คำสั่ง Loft Cut เพื่อตัด Solid ออกให้เกิดระยะของเหล็กปลอกตามรูปที่ 3.21, 3.22 และ 3.23

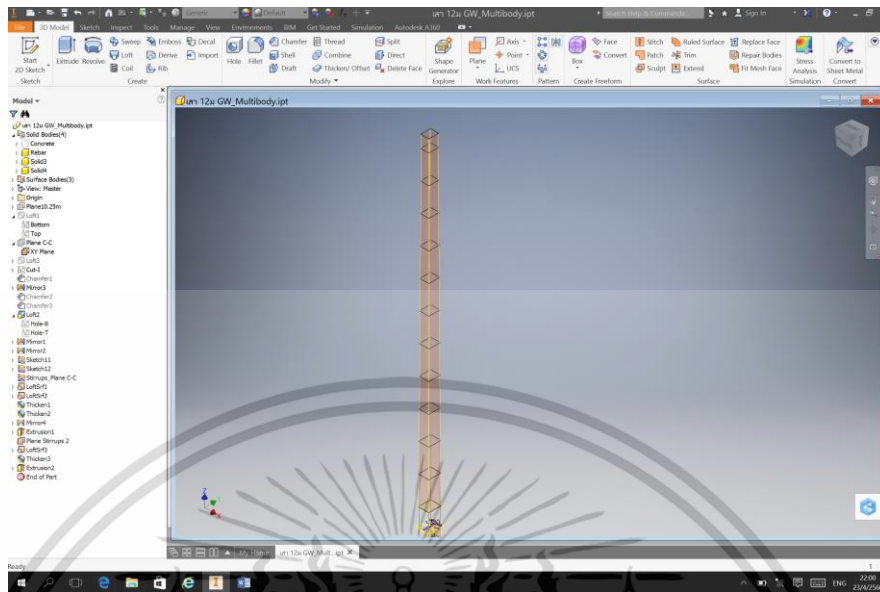


รูปที่ 3.21 แสดงภาพเหล็กปลอกและระยะจากฐานเสา

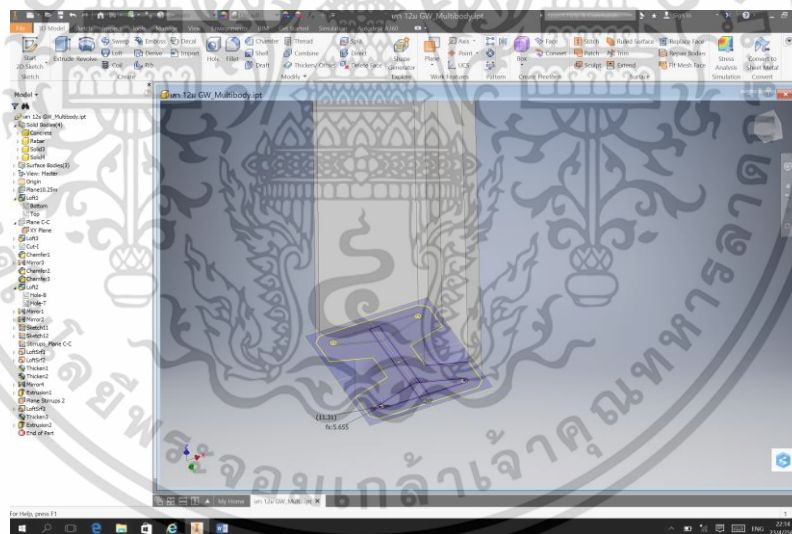


รูปที่ 3.22 แสดงภาพเหล็กปลอกรูปทรงสี่เหลี่ยมจากรยะ Plane ตามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



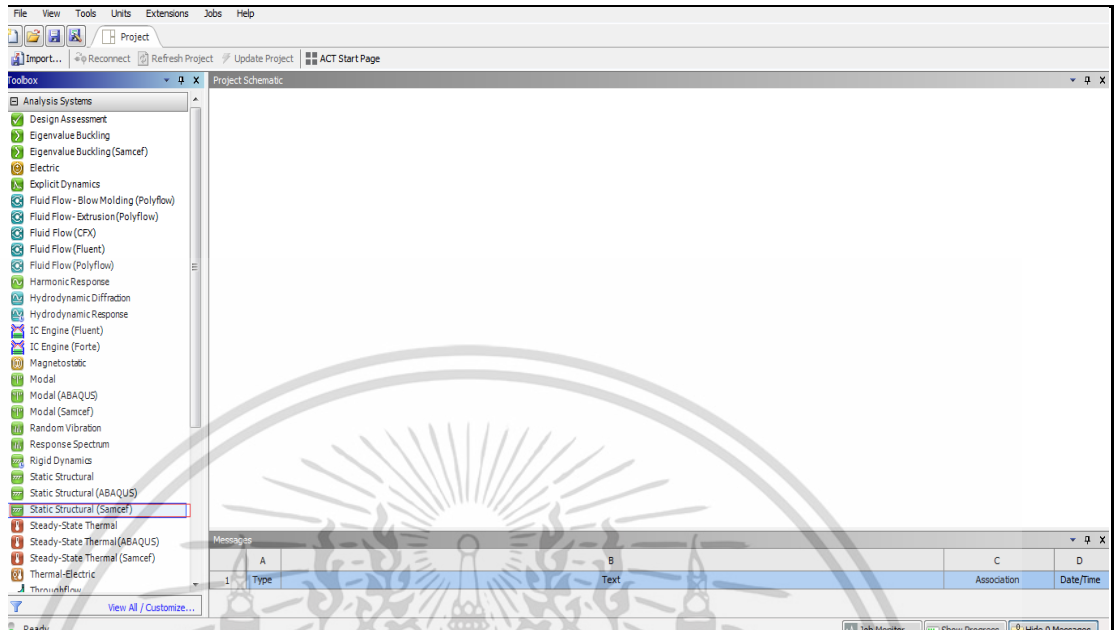
รูปที่ 3.23 แสดงรูปแสดงระยะเหล็กปลอกแบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.24 แสดงภาพตัดที่ Plan ของการเสริมเหล็กในแบบจำลองเสาไฟฟ้า

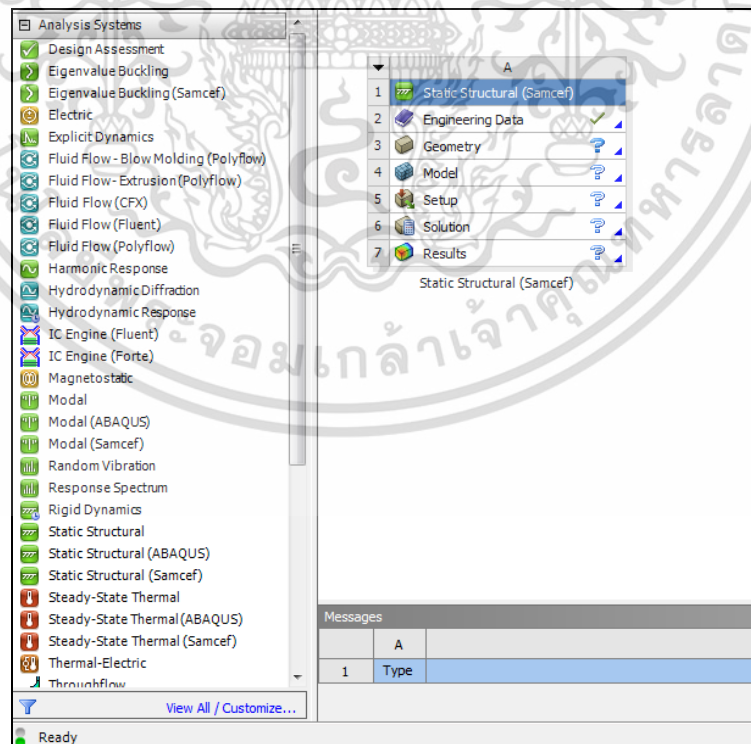
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) นำแบบจำลองเข้าโปรแกรม Analyze เพื่อวิเคราะห์



รูปที่ 3.25 หน้าตาของโปรแกรมวิเคราะห์

ที่แถบ function ให้เลือกคำสั่ง Static Structure

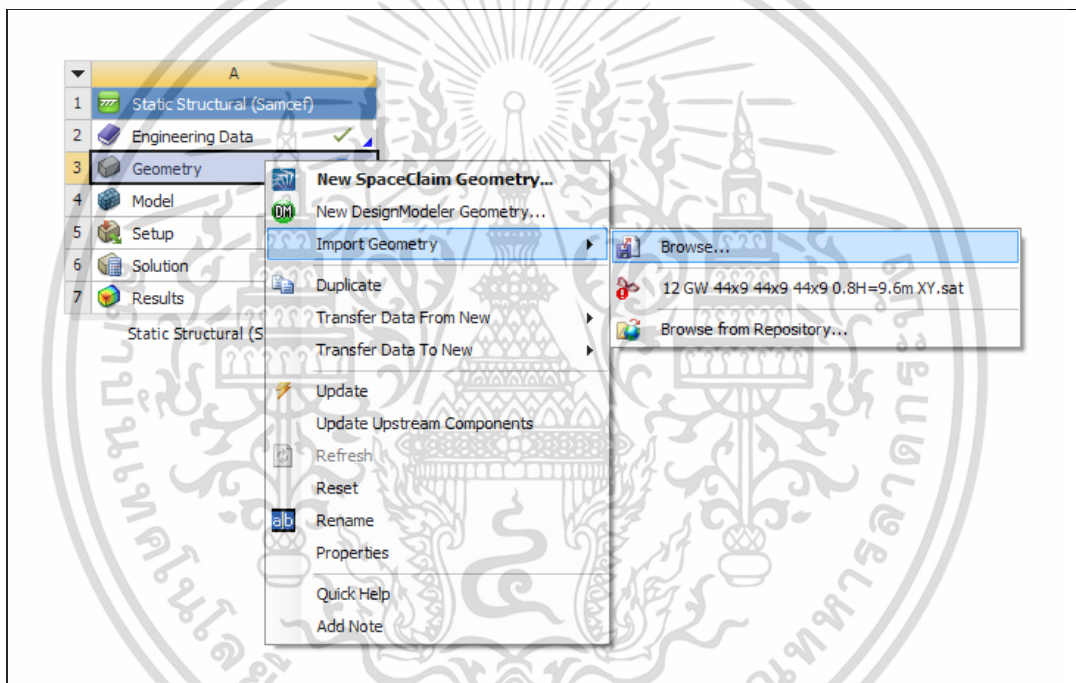


รูปที่ 3.26 หน้าต่างที่แสดงเมื่อกดคำสั่ง Static Structure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะขึ้นคำสั่งดังแสดงในรูปที่ 3.19 คือ

1. Engineering Data
2. Geometry
3. Model
4. Setup
5. Solution
6. Result



รูปที่ 3.27 แสดงการนำ file แบบจำลอง เข้าสู่โปรแกรม

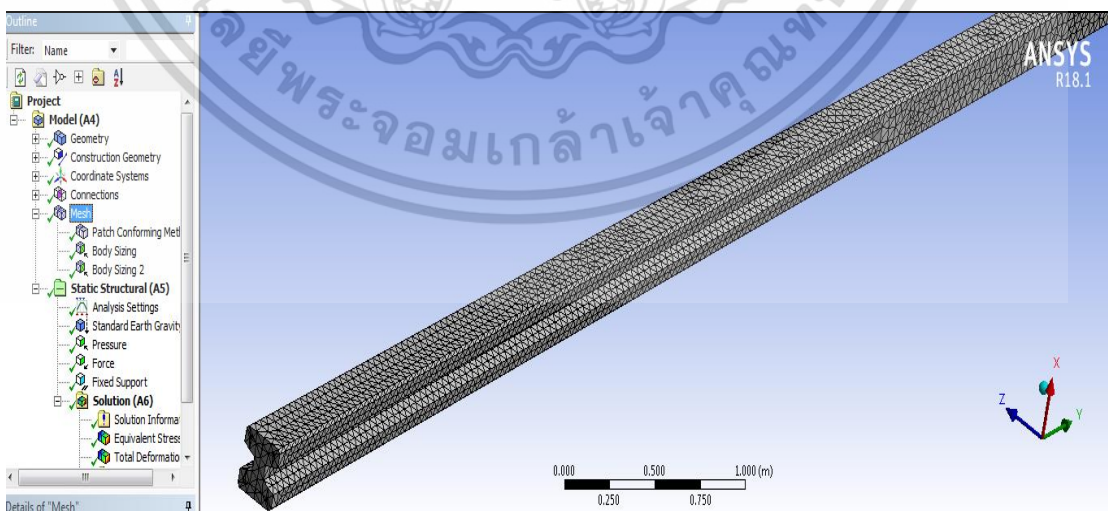
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) ตั้งค่าขอบเขต และคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ในโปรแกรม

	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 ⁻³		
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 3.28 แสดงการตั้งค่าวัสดุต่าง ๆ ของโปรแกรม

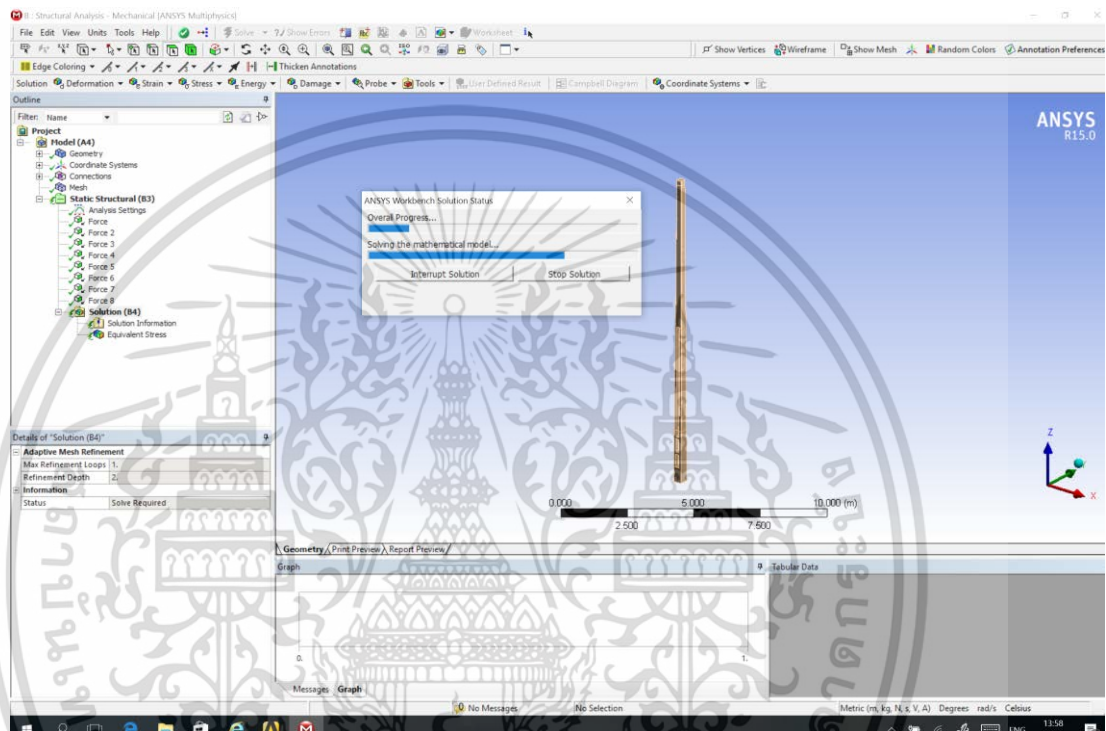


รูปที่ 3.29 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของเสาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแบ่งเอลิเมนต์จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ วัสดุที่เป็นคอนกรีต และ วัสดุที่เป็นเหล็กการแบ่งความกว้างของเอลิเมนต์ของตัวคอนกรีตจะมีค่าอยู่ที่ 2.0 เซนติเมตรการแบ่งความกว้างของเอลิเมนต์ของตัวเหล็กทั้งหมดจะมีค่าอยู่ที่ 1.0 เซนติเมตร

5.) ทำการวิเคราะห์แบบจำลอง



รูปที่ 3.30 แสดงโมเดลจาก Inventor ที่แปลงเป็น STP File เปิดใน ANSYS

การวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของเสาไฟฟ้าที่มีและการเสริมแผ่นเหล็ก และหาความหนาของแผ่นเหล็ก ที่ให้ผลที่ดีที่สุด โดยเมื่อรันโปรแกรมแล้วต้องไม่มีข้อผิดพลาด (0 Error) และคำเตือน (0 Warning) ถึงจะแล้วเสร็จ แต่ถ้าเกิดข้อผิดพลาดและคำเตือนขึ้นจะต้องทำการตรวจสอบและแก้ไขจนกว่าจะไม่มีข้อผิดพลาดและคำเตือนเกิดขึ้นในหน้าการประมวลผลการวิเคราะห์

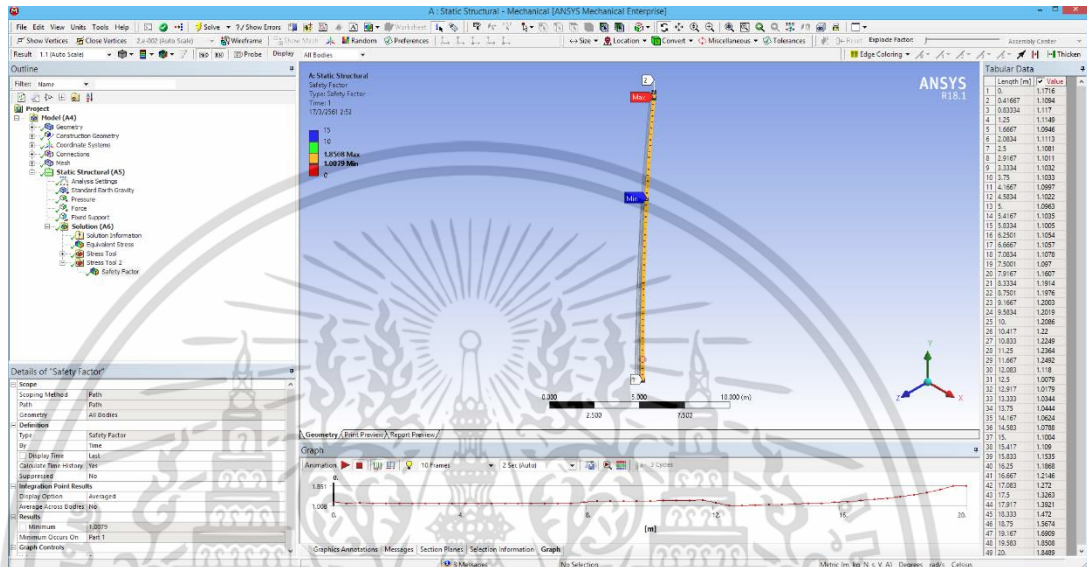
เมื่อเสร็จสิ้นการคำนวณแล้วผลวิเคราะห์จะถูก Save file ออกมาในไฟล์แสดงผลนามสกุล .pdf โดยมีการเลือก View ของภาพการวิเคราะห์ที่ต้องการทั้งใน Mode ของ Stress และ Deformation หลังจากนั้นเรามีสามทางเลือกคือ

- View Output File: ดูไฟล์แสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

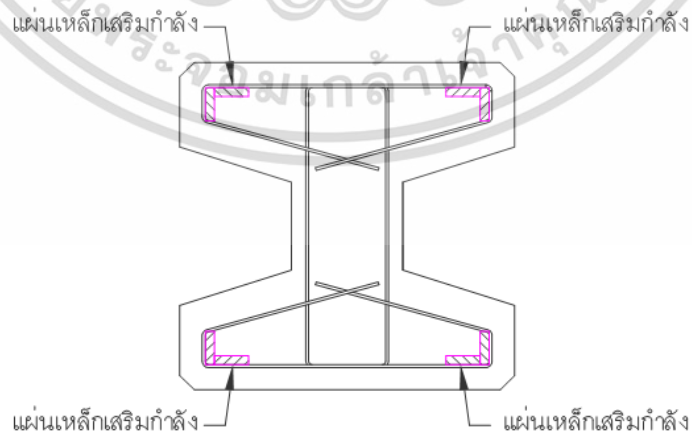
- Go to Post Processing Mode : ไปยังโหมดหลังการคำนวณ
- Stay in Modeling Mode : อยู่ในโหมดสร้างโมเดลเหมือนเดิม

6.) ตรวจสอบพฤติกรรมของเสา และดูค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไม่เกินที่กำหนด



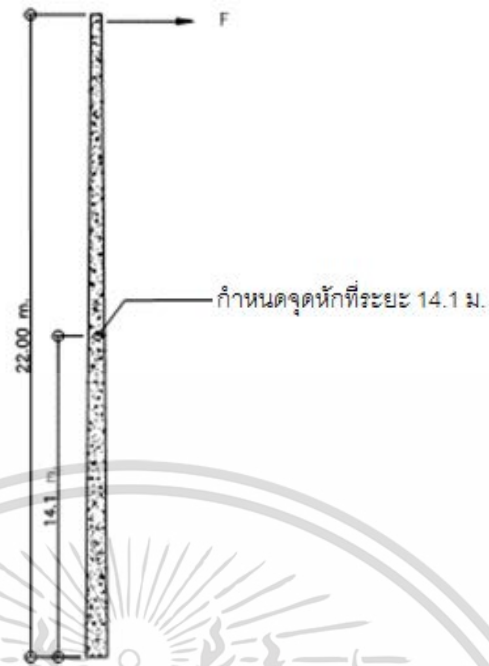
รูปที่ 3.31 แสดงผลของอัตราส่วนความปลอดภัยโดยจะมีแนวโน้มของการลดลง และเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนความปลอดภัย

ผลการวิเคราะห์สามารถแสดงผล Deformation ความเค้นในเสาไฟฟ้า โดยการแสดงผลของ Stress และ Deformation ที่เกิด พร้อมกับตารางของแรงที่ใส่ ดังจะกล่าวในบทที่ 4 ต่อไป



รูปที่ 3.32 แสดงแบบจำลองของเสาไฟฟ้าที่เสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 แสดงตำแหน่งที่บังคับการหักหรือระยะการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ระดับ 14.1 เมตร
ของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร



รูปที่ 3.34 แสดงตำแหน่งที่บังคับการหักหรือระยะการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังที่ระดับ 11.7 เมตร
ของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 25 ตัน-เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยระบบไฟไนต์เอลิเมนต์ในระดับ Bi-Linear โดยหลักการในการวิเคราะห์จะนำความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดใด ๆ ของเสาไฟฟ้ามาเทียบกับกำลังต้านทานของวัสดุ โดยวัสดุจะเกิดการวิบัติก็ต่อเมื่อความเค้น (Stress) ที่หน้าตัดใด ๆ มีค่ามากกว่ากำลังต้านทานของวัสดุ โดยผลการวิเคราะห์จะพิจารณาในรูปแบบของ อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ซึ่งจะต้องมีมากกว่า 1 ในบริเวณจุดที่มีการเสริมกำลังหรือเหนือจุดเสริมกำลังขึ้นไปจะเป็นผลสำเร็จ

4.1. การแบ่งเอลิเมนต์และการวิเคราะห์ผลเสาไฟฟ้า ที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก

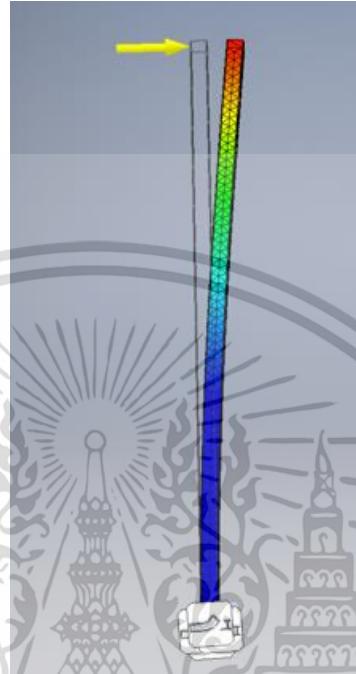
การวิเคราะห์เบื้องต้นของเสาเปล่าขนาด 22 เมตร ใน Inventor Program ด้วย โดยให้แรงกระทำเกิดที่ปลายเสา จะพบว่า ความเค้นสูงสุดจะเกิดที่โคนเสา ในขณะที่ Displacement สูงสุดจะเกิดที่ปลายเสาไฟฟ้าในตำแหน่งที่แรงกระทำ



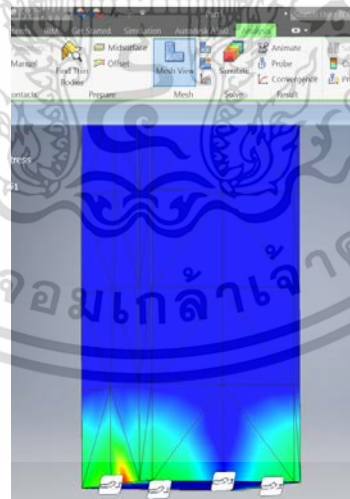
รูปที่ 4.1 แสดงการแบ่ง Mesh การใส่แรง และการกำหนด fix end ที่ปลายเสา
(เสาที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ขั้นแรกโดยใช้แบบจำลองเสาไฟฟ้าที่ยังไม่ใส่แผ่นเหล็กเสริมกำลังพบว่า ความเค้นสูงสุดเกิดที่โคนเสา และมีการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ปลายเสา



รูปที่ 4.2 แสดงผล Displacement ในเสาไฟฟ้า (เสาที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก)

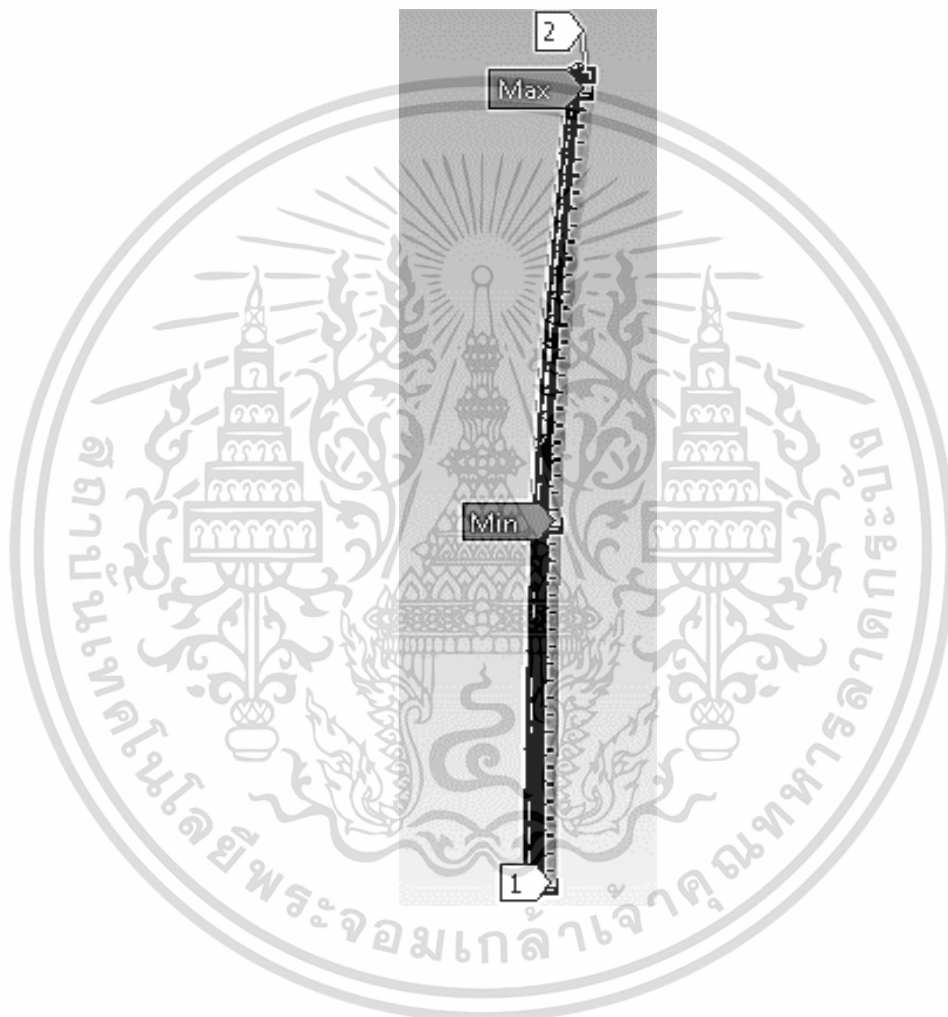


รูปที่ 4.3 แสดงความเค้นสูงสุดที่ปลายเสาไฟฟ้า (เสาที่ไม่มีการเสริมแผ่นเหล็ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้าด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

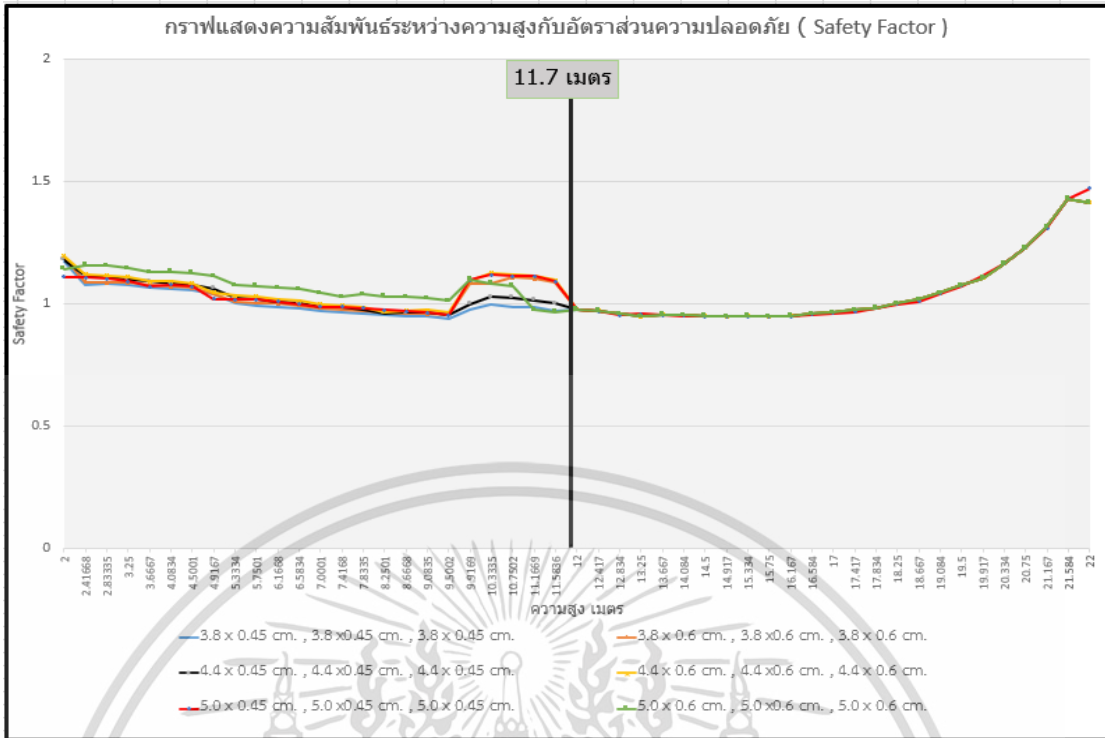
การวิเคราะห์เสาไฟฟ้าที่เสริมแผ่นเหล็ก ในโปรแกรม ANSYS และให้แรงกระทำของลวด Pre-Stressed เป็นแรงกระจายอัดเข้าที่ด้านบนและล่างของเสาไฟฟ้า ในขณะที่ให้แรงที่เกิดแรงดึงจากสายไฟเข้าที่ปลายเสาเป็น 2 เท่าค่านวนจากโมเมนต์ของเสาไฟฟ้าตามมาตรฐานของ กฟน. จากนั้นแบ่ง Mesh ด้วย ด้วย Program control ที่ 10 มม. ทั้ง Solid คอนกรีต เหล็กเสริม และแผ่นเหล็ก



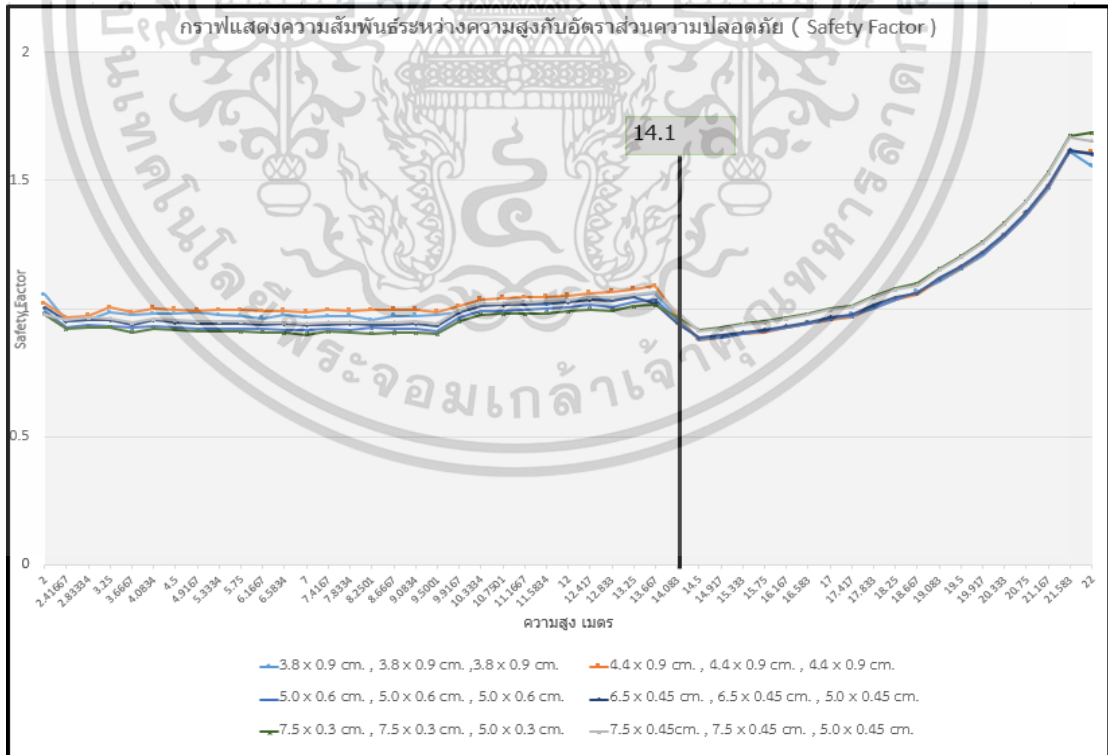
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการแสดงผลค่า Factor of Safety ของตัวอย่างที่ใส่แผ่นเหล็กเข้าไปจนถึงจุดที่กำหนด

จากการวิเคราะห์ใน Path Safety Factor ของ ANSYS เพื่อหาผลวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยในคอนกรีตด้านที่รับกำลังอัดเพื่อทำนายตำแหน่งการเกิดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



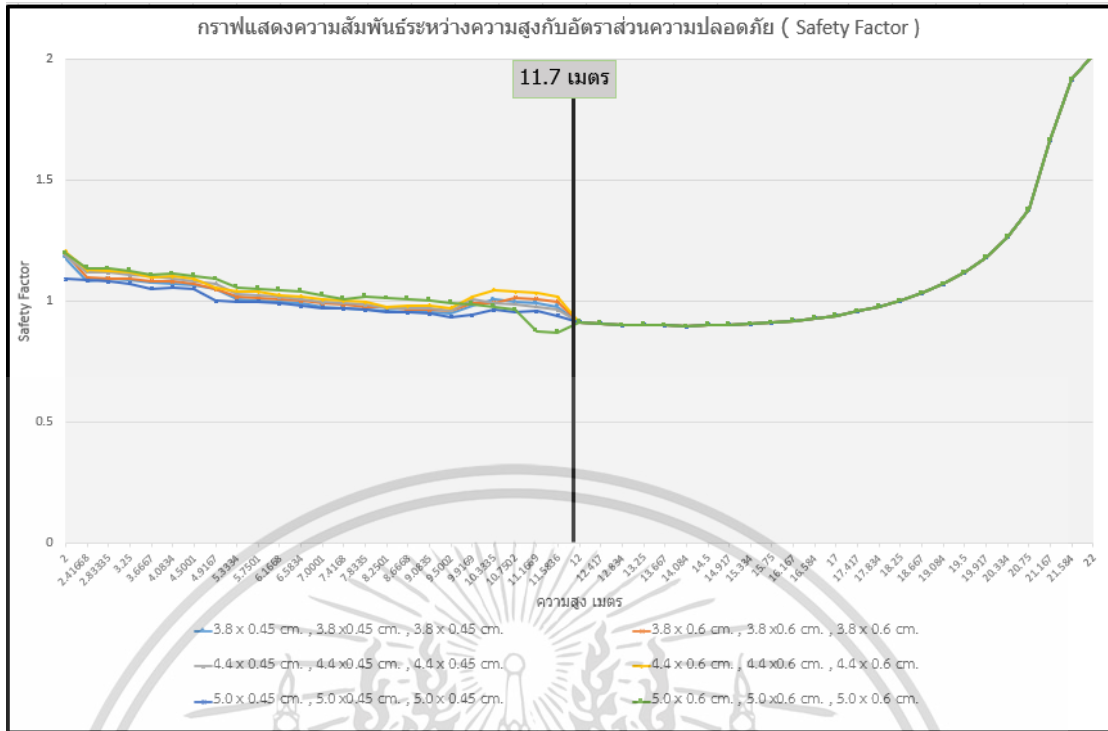
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร. 25 ตัน-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก ขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.4 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร



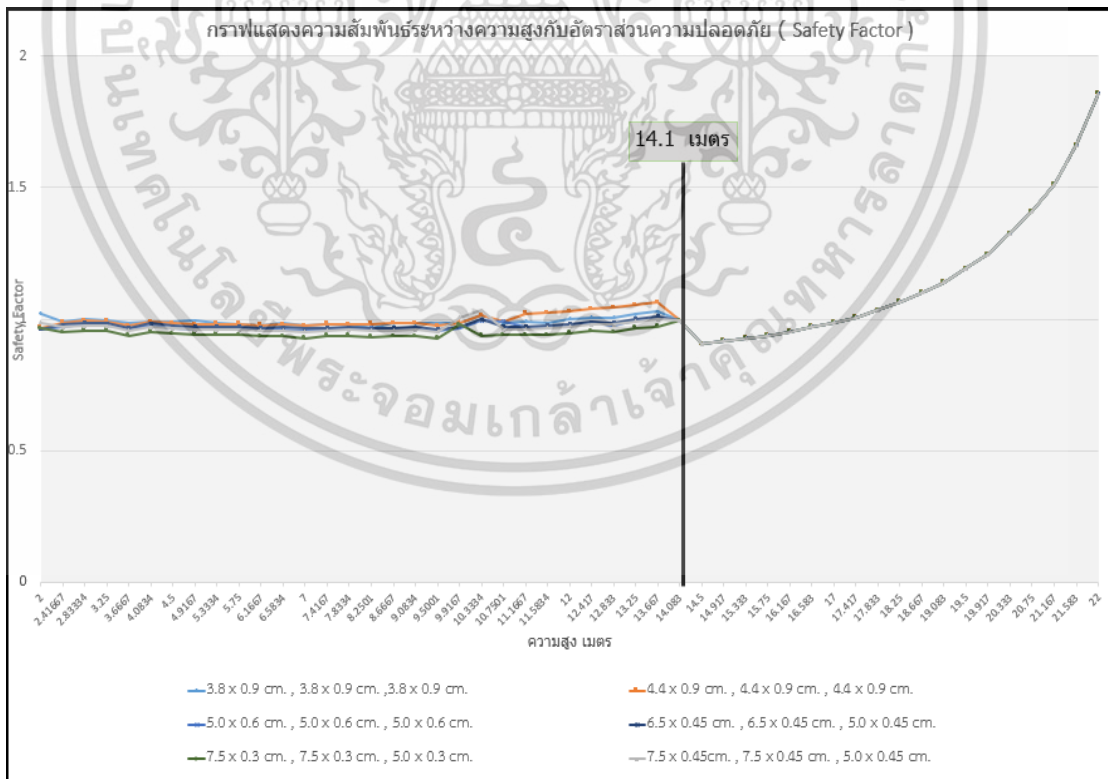
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่น

เหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.4 ที่ระยะความสูงที่ 14,10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



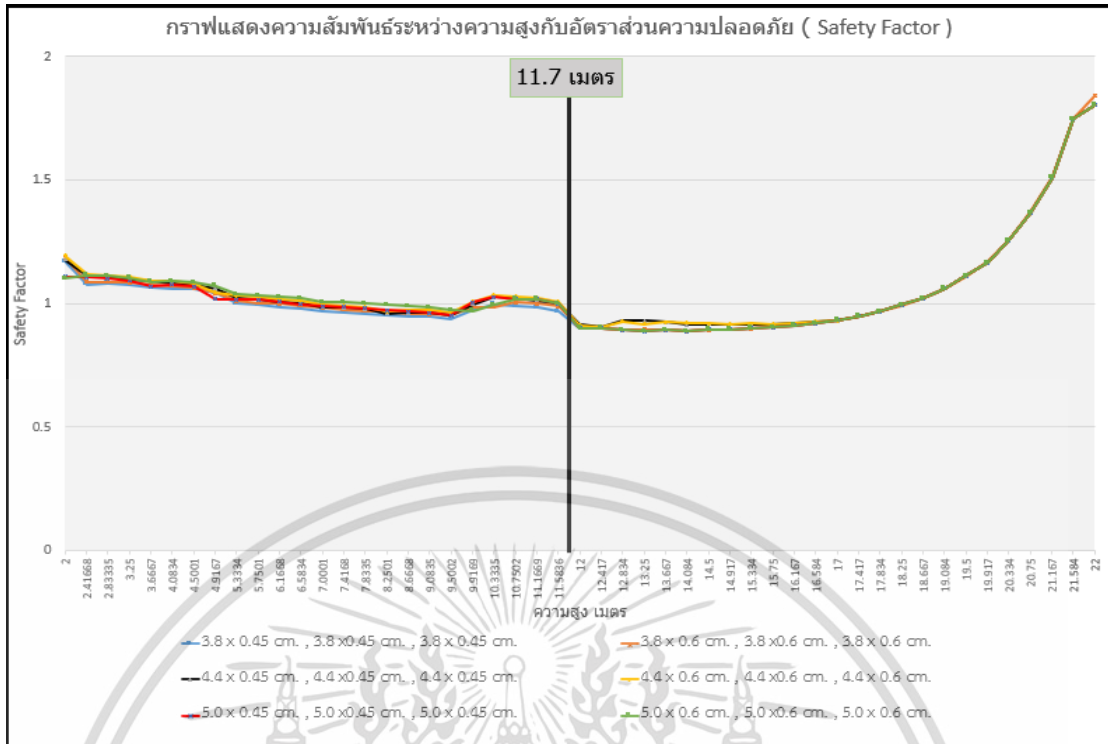
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.5 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร



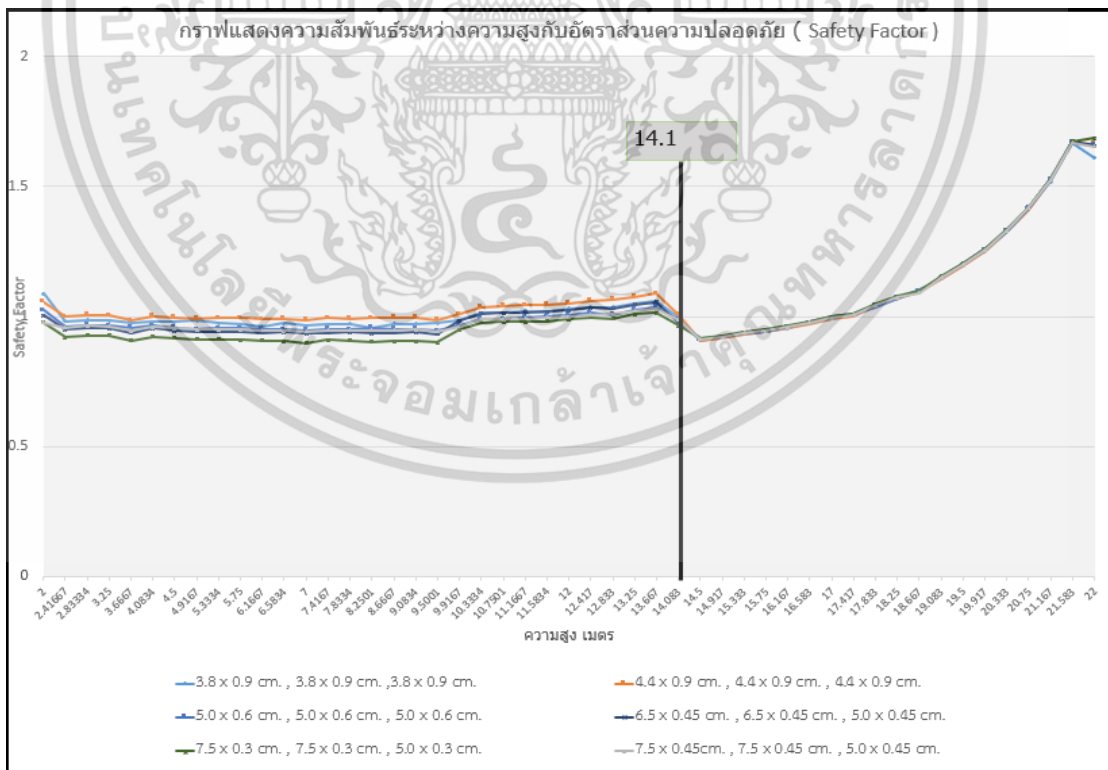
รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่น

เหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.5 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

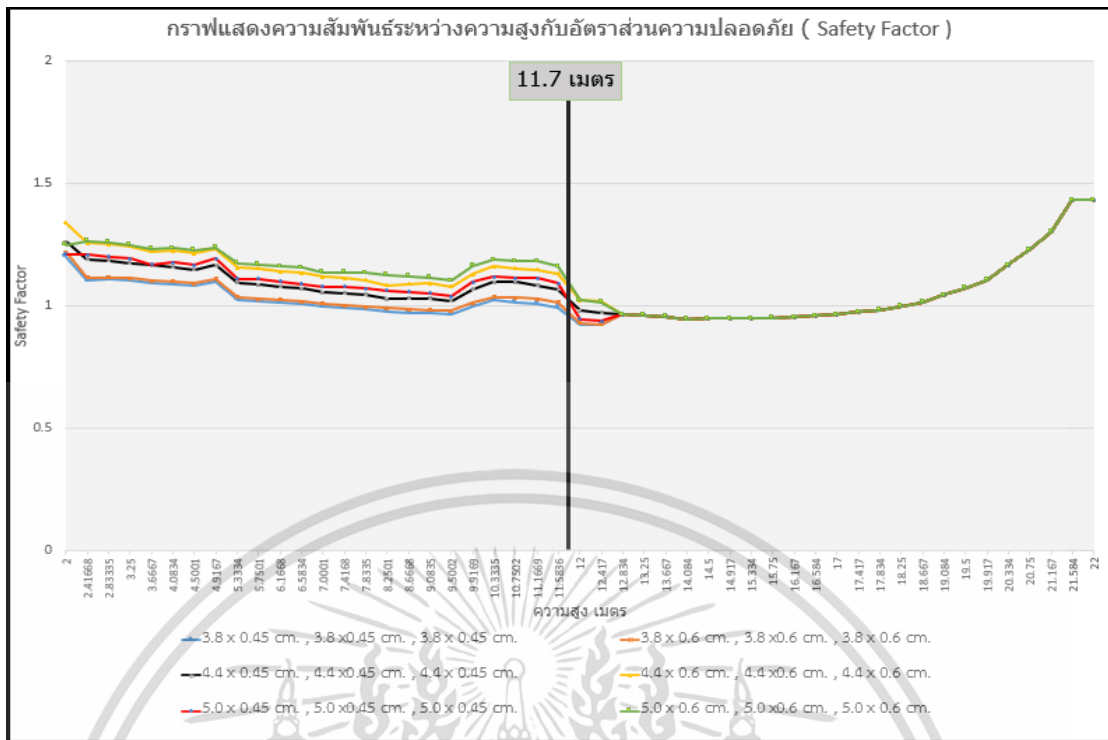


รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร. 25 ตัน-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.6 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร

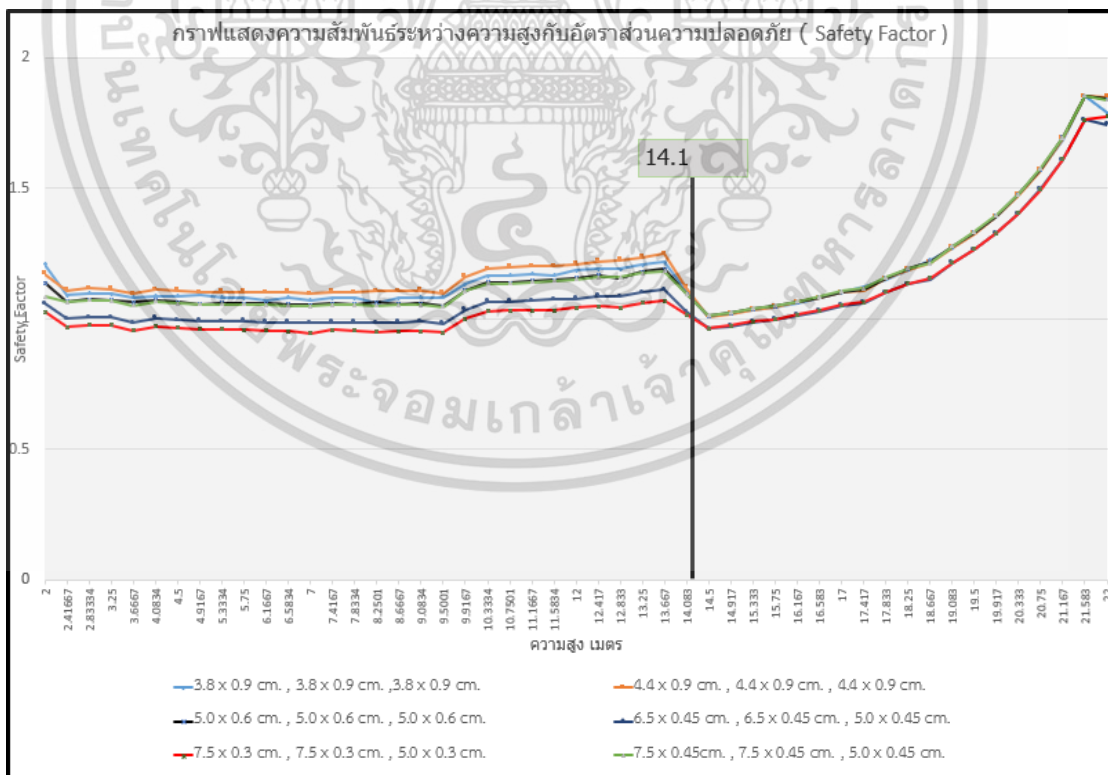


รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.6 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 25 ตัน-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.7 ที่ระยะความสูงที่ 11.70 เมตร



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า 22.00 เมตร 18 ตัน-เมตร ที่ทำการเสริมกำลังด้วย

แผ่นเหล็กขนาดต่าง ๆ ตามรูปที่ 3.7 ที่ระยะความสูงที่ 14.10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์หรือเป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5,4.6,4.7,4.8,4.9 และ4.10 เป็นผลการศึกษาจากการเสริมแผ่นเหล็กตามรูปแบบที่ 1,2,3 ในลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 3.4,3.5 และ3.6 ตามลำดับ การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังแต่ละขนาดไม่สามารถทำให้ตัวอย่างของเสาไฟฟ้าแต่ละชนิดเกิดการหักบริเวณความสูงของเสาไฟฟ้าที่กำหนดไว้ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง และขนาดของแผ่นเหล็กไม่สามารถใหญ่กว่าขนาดที่ทำการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดของเสาไฟฟ้า ที่เมื่อที่ความสูงที่เพิ่มขึ้นพื้นที่หน้าตัดของเสาไฟฟาลดลง

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 เป็นผลการศึกษาจากการเสริมแผ่นเหล็กตามรูปแบบที่ 4 ในลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 3.7 การเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังแต่ละขนาดมีบางขนาดที่สามารถทำให้การหักของเสาไฟฟ้าเกิดที่บริเวณจุดที่ต้องการ โดยที่สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยมีค่ามากกว่าหนึ่ง

จากผลวิเคราะห์ Path Safety Factor ข้างต้นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เสาไฟฟ้าขนาด 22 เมตร (BM 18 ตัน-เมตร) ที่มีระยะเสาฝังดิน 2.00 เมตร และเสริมกำลังเสาไฟฟ้าด้วยการเสริมแผ่นเหล็ก จนถึงระยะความสูง 14.1 เมตร จากระดับโคนเสาในดิน จะได้กราฟในรูปที่ 4.11 ซึ่งพบว่าค่า Safety Factor ของเสาที่ติดด้วยการเสริมแผ่นเหล็ก ในทุก ๆ ความหนา มีค่ามากกว่า 1 และสูงขึ้นตามลำดับความสูงของเสาไฟฟ้า และที่ระดับความสูง 14.1 เมตร ของทุกความหนาจะมีค่า Safety Factor ลดลงน้อยกว่า 1 ในจุดสูงสุดที่ติดการเสริมแผ่นเหล็ก จากนั้นค่า Safety Factor จะมีค่าสูงขึ้นใกล้เคียงกันไปทุกต้น

2. เสาไฟฟ้าขนาด 22 เมตร (BM 25 ตัน-เมตร) ที่มีระยะเสาฝังดิน 2.00 เมตร และเสริมกำลังเสาไฟฟ้าด้วยการเสริมแผ่นเหล็ก จนถึงระยะความสูง 11.7 เมตร จากระดับโคนเสาในดิน จะได้กราฟในรูปที่ 4.12 ซึ่งพบว่าค่า Safety Factor ของเสาที่ติดด้วยการเสริมแผ่นเหล็ก ในทุก ๆ ความหนา มีค่ามากกว่า 1 และสูงขึ้นตามลำดับความสูงของเสาไฟฟ้า และที่ระดับความสูง 11.7 เมตร ของทุกความหนาจะมีค่า Safety Factor ลดลงน้อยกว่า 1 ในจุดสูงสุดที่ติดการเสริมแผ่นเหล็ก จากนั้นค่า Safety Factor จะมีค่าสูงขึ้นใกล้เคียงกันไปทุกต้น

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 การวิเคราะห์เสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะต้องได้ค่า Safety of Factor ตั้งแต่ที่ฐานถึงจุดปลายที่มีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังมากกว่า 1.0 เสมอ เพื่อบังคับให้เสาไฟฟ้ามีการโค่น ในตำแหน่งที่สูงจากการเสริมแผ่นเหล็กเข้าไป ความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่โคนเสาขยับจากโคนเสาสูงขึ้นไปที่ระยะที่มีแผ่นเหล็กเสริมกำลัง

บทที่ 5

สรุปผลการวิเคราะห์

5.1 สรุปผล

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่า Factor of Safety ของเสาไฟฟ้าต้นถัดไปเมื่อมีแรงกระทำเนื่องจากเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับความสูงค่าหนึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 แสดงให้เห็นว่าหากเสาไฟฟ้าต้นที่พิจารณาหักที่ระดับดังกล่าวจะทำให้เสาไฟฟ้าต้นถัดไปไม่หักโค่นลงมาตั้งนั้นจะไม่เกิดการพังแบบต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า (Progressive Collapse) ขึ้นจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ทราบว่าควรจะเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าที่ระดับความสูงดังต่อไปนี้เพื่อป้องกันการเกิดการโค่นล้มต่อเนื่องของเสาไฟฟ้า

ผลจากการวิเคราะห์เสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ขนาดแผ่นเหล็กชนิดที่เป็น Flat bars ที่มีขายในท้องตลาด ในการเสริมเข้าไปภายในเสาไฟฟ้าที่มีขนาดความสูง 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร และ 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร ผลที่ได้จากการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังที่มีขนาดความกว้างหน้าตัดและความหนาต่างกัน จะต้องได้ค่า Safety Factor ตั้งแต่ที่ฐานถึงจุดปลายที่มีการเสริมแผ่นเหล็กเสริมกำลังมากกว่า 1.0 เสมอ เพื่อบังคับให้เสาไฟฟ้ามีการโค่น/หัก ในตำแหน่งที่สูงจากการเสริมแผ่นเหล็กเข้าไป ดังนั้นสรุปได้ว่า

เสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 18 ต้น-เมตร

เสริมแผ่นเหล็กที่ระดับโคนเสาถึง 14.1 เมตร เพื่อบังคับการหักโค่นในระยะความสูง 14.1 เมตร จากการวิเคราะห์แผ่นเหล็กขนาด 3.8 x 0.9 เซนติเมตร, 4.4 x 0.9 เซนติเมตร, 5.0 x 0.6 เซนติเมตร, 6.5 x 0.45 เซนติเมตร, 7.5 x 0.3 เซนติเมตร, 7.5 x 0.45 เซนติเมตร ซึ่งเห็นได้ว่าการาฟ 4.11 มีค่า Safety Factor ที่น้อยที่สุดตรงจุดที่บังคับให้เสาไฟฟ้ามีการหักโค่นเสาพอดี เมื่อเปรียบเทียบกับจึงพบว่า ใช้แผ่นเหล็กที่ขนาด 5.0 x 0.6 cm. จะเหมาะสมและประหยัดที่สุด

เสาไฟฟ้าขนาด 22.00 เมตร 25 ต้น-เมตร

เสริมแผ่นเหล็กที่ระดับโคนเสาถึง 11.7 เมตร เพื่อบังคับการหักโค่นในระยะความสูง 11.7 เมตร จากการวิเคราะห์แผ่นเหล็กขนาด 3.8 x 0.45 เซนติเมตร, 3.8 x 0.6 เซนติเมตร, 4.4 x 0.45 เซนติเมตร, 4.4 x 0.6 เซนติเมตร, 5.0 x 0.45 เซนติเมตร, 5.0 x 0.6 เซนติเมตร ซึ่งเห็นได้ว่าการาฟ

4.12 มีค่า Safety Factor ที่น้อยที่สุดตรงจุดที่บังคับให้เสาไฟฟ้ามีการหักโค่นเสาพอดี เมื่อเปรียบเทียบกันจึงพบว่า ใช้แผ่นเหล็กที่ขนาด 4.4×0.45 เซนติเมตร จะเหมาะสมและประหยัดที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ถึงแม้การติดตั้งแผ่นเหล็กจะมีขั้นตอนที่ยุงยาก แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่เกิดขึ้นในแต่ละเหตุการณ์ อาจมีมูลค่าความเสียหายที่ประเมินค่าไม่ได้ การใช้วัสดุการเสริมแผ่นเหล็ก เพื่อช่วยลดการเกิดอันตรายและความเสียหายดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

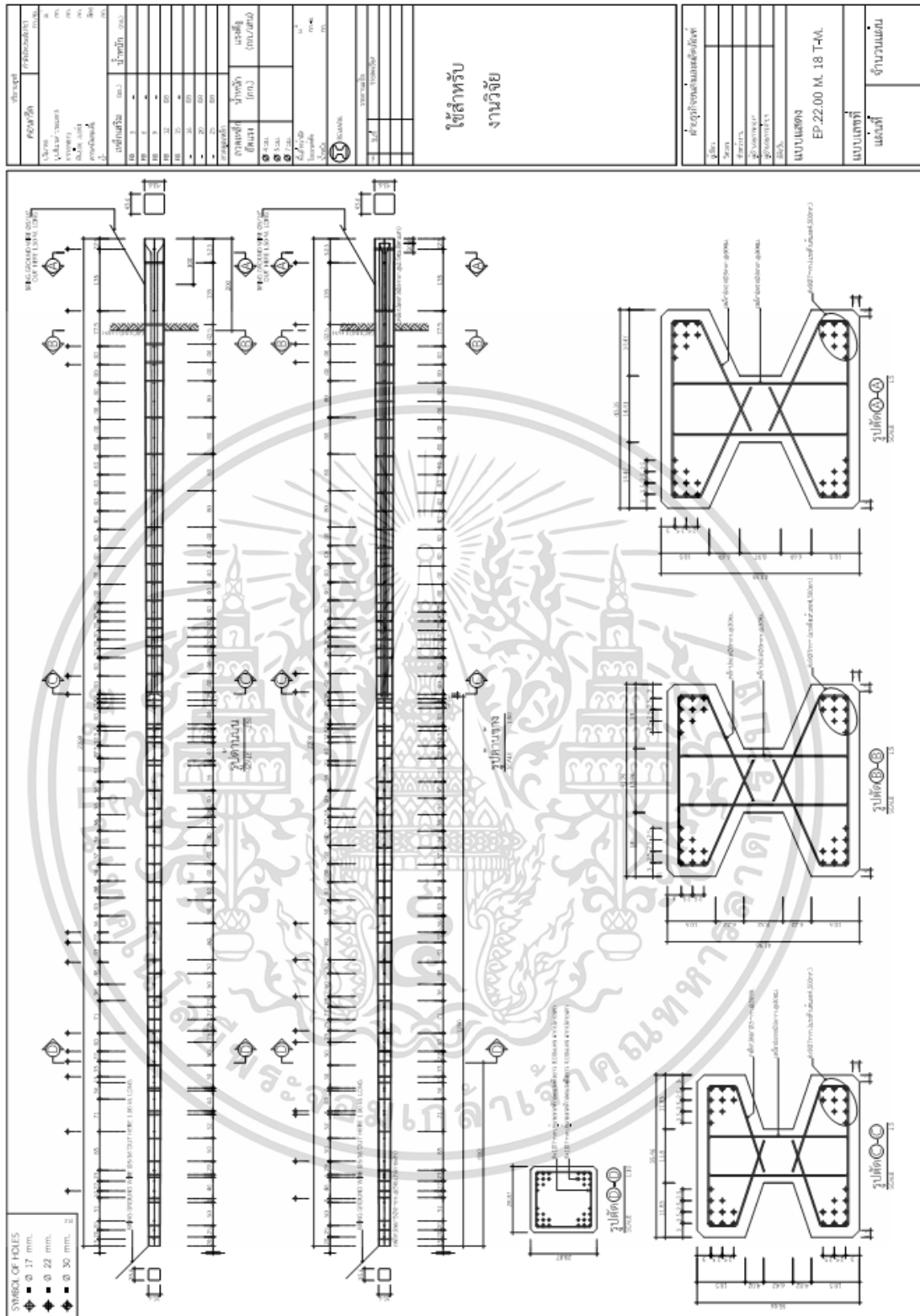


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- การไฟฟ้านครหลวง, ฝ่ายธุรกิจขนส่งและผลิตภัณฑ์, 2560, **คำแนะนำแบบมาตรฐานเสาไฟฟ้า 22 เมตร (18 ตัน-เมตร) และ 12.35 22เมตร (25 ตัน-เมตร) ของ กฟน. ม.ป.ท. : ม.ป.ป.**
- การไฟฟ้านครหลวง, กองมาตรฐานการติดตั้งสายใน/สายนอกและความปลอดภัย, 2547, **คู่มือการออกแบบและประมาณราคา**, ม.ป.ท. : ม.ป.ป.
- นันทิกา นามวิจิตร, 2554, **“การเสริมกำลังอัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กหน้าตัดกลมโดยการโอบรัดก่อนด้วยปลอกเหล็ก”**, ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- ณัฐสา สกานุกพงษ์ ณัฐธยาน์ ก้อยชูสกุล และ ประภาทิพย์ โชคสกุลวงษ์, 2557, **“รูปแบบรอยร้าว และกำลังของคานคอนกรีต”**, ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูชัย สุจิวิรกุล และ วทีญญ ชูติคามิ, 2548, **“ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติในการรับแรงดัดและแรงอัดของชิ้นส่วนคอนกรีตที่ผสมเส้นใยเหล็กแบบตะขอ”**, การประชุมวิชาการโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 11
- Chuchai Sujivorakul and Akkaphol Taotip, **“Parameters Affecting Tensile Properties of Hooked Steel Fibers Reinforced Concrete”**, Faculty of Industrial Technology and Education, King Mongkut’s University of Technology Thonburi
- วินิต ช่อวิเชียร, และวรนิติ ช่อวิเชียร. (2550). **การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ : ป.สัมพันธ์พาณิชย์.
- ศิริวัฒน์ ไชยชนะ. (2542). **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : เอส.เอส.บุ๊คเฮาส์.
- Ravi Prakash Khandelwal , Anupam Chakrabarti and Pradeep Bhargava **“การศึกษาพฤติกรรมของเสาคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยปลอกเหล็กซึ่งมีครีบบเสริมกำลังภายในเมื่อรับแรงอัดในแนวแกน”Thin-Walled Structures**, ปีที่ 2014, ฉบับที่82, ตุลาคม 2014 .หน้า 132-144
- James F. Wilson **“..Failure of Flawed Utility Poles in Wind Gusts” Journal of Mechanical Design**, ปีที่ 2553, ฉบับที่132, พฤศจิกายน 2553 .หน้า 111006-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แสดงรายละเอียดของเสาไฟฟ้าขนาด 22.00เมตร 25 ตัน-เมตร(การไฟฟ้านครหลวง,2560)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

