

การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเพื่อช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า

An Optimization of Strengthening Position to Avoid Progressive Failure in Utility Poles.

ธนีสร์ สถาพร อาทิตย์ เพชรศศิธร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเกิดเหตุการณ์เสาไฟฟ้าหักโค่นเป็นจำนวนมากซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากรถชนเสาไฟฟ้า รถเกี่ยวสายไฟฟ้าหรือสายสื่อสาร และต้นไม้ล้มทับเสาและสายไฟฟ้า ส่งผลกระทบบให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ประชาชนผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับความเดือดร้อนไม่มีไฟฟ้าใช้เป็นระยะเวลาเวลานาน และเกิดอันตรายต่อประชาชนทั่วไปจากเสาไฟฟ้าที่หักโค่น จึงนำมาสู่การศึกษาแนวทางการป้องกันเสาไฟฟ้าหักโค่น โดยจะมุ่งเน้นศึกษาวิธีที่จะลดผลกระทบจากการหักโค่นล้มของเสาไฟฟ้าให้น้อยลงที่สุด โดยมีแนวคิดในการกำหนดตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้าให้สูงกว่าการหักโค่นที่ระดับพื้นดินจะสามารถช่วยลดแรงที่กระทำต่อเสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ เมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่เกิดอุบัติเหตุหักโค่นลง และส่งแรงไปยังเสาไฟฟ้าต้นที่อยู่ข้างๆ ทั้ง 2 ด้าน เสาไฟฟ้าทั้ง 2 ต้น จะได้รับแรงกระทำ และหักที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ด้วยการเสริมกำลัง จะสามารถช่วยลดการหักโค่นไปสู่เสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ ด้วยหลักการนี้จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาไฟฟ้า เพื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับสมมติฐานที่ตั้งขึ้น และหาตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเสริมกำลัง

คำสำคัญ : โครงสร้างเสาไฟฟ้า ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

In the past several years, a large number of electrical poles have been failed. Most of failure caused by car crash, truck pull electrical cables or communication cables and tree fall over electrical poles and cables. As a result, affected a wide area. People suffer from lack of electricity for a long period of time and danger from electrical poles fall over and electric leakage. The study approach to prevent electrical poles failure. The study will focus on ways to reduce impact of electrical poles failure. The concepts is determine break point on electrical poles higher than ground level that can reduce force which transfer to next electrical poles. When electrical poles fall and transfer force to next electrical poles on both side. Both electrical poles are loaded and fail at fixed point by reinforcement. It will make the next electrical poles stop falling.

This principle leads to simulate the electrical poles structure models by finite element method to compare analysis from finite element method and hypothesis and optimize reinforcement position.

Keywords : Utility poles structure, Finite element method

1. บทนำ

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ประสบปัญหาจากปัจจัยภายนอกมากระทำกับเสาและสายไฟฟ้าของ กฟน. เป็นเหตุให้เสาไฟฟ้าหักโค่นล้มเป็นจำนวนมากหลายต้นต่อเหตุการณ์ โดยพบว่าปัจจัยภายนอกที่มากระทำส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากรถชนเสาไฟฟ้า รถเกี่ยวสายไฟฟ้าหรือสายสื่อสาร และต้นไม้ล้มทับเสาและสายไฟฟ้า ส่งผลกระทบให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟน. ได้รับความเดือนร้อนไม่มีไฟฟ้าใช้ เป็นระยะเวลานาน และเกิดอันตรายต่อประชาชนทั่วไปจากเสาและสายไฟฟ้าที่หักโค่น

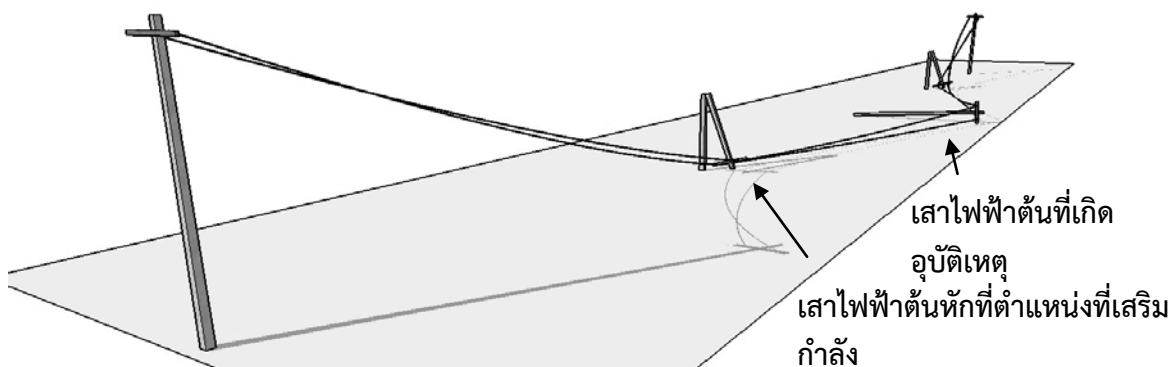
กฟน. จึงต้องการจัดทำโครงการศึกษาแนวทางการป้องกันเสาไฟฟ้าหักโค่นล้ม เพื่อควบคุมและลดจำนวนเสาไฟฟ้าที่เสียหาย เพื่อให้สามารถซ่อมแซมแก้ไขกลับมาใช้งานได้ภายในระยะเวลาไม่นาน และลดความเดือนร้อนของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ และเนื่องจากจำนวนเหตุการณ์เสาหักโค่นล้มมีจำนวนมาก โครงการฯ จึงมุ่งเน้นการป้องกันเหตุการณ์ที่เป็นเหตุทำให้เสาไฟฟ้าหักโค่นล้มพร้อมกันหลายต้น จึงนำไปสู่งานวิจัยนี้

การศึกษากลไกการเอียงของเสาไฟฟ้าโดยการทดสอบภาคสนาม ซึ่งผลลัพธ์ในการป้องกันการล้มเอียงของเสาไฟฟ้าโดยการเพิ่มขนาดของฐานรากและวัสดุที่เลือกใช้ในการทำฐานราก เสนอใน [1] การทดสอบประสิทธิภาพของ

โครงสร้างเสาไฟฟ้าคอนกรีต ผลการทดสอบเสาไฟฟ้าคอนกรีตนั้นมีประสิทธิภาพที่เพียงพอในการใช้งานตามปกติอย่างปลอดภัย ถ้าไม่มีปัจจัยภายนอกเข้ามากระทำจนมากเกินไป เช่น ลมกระโชกแรง หิมะ หรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับเสาไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับทดสอบภาคสนามจริง โดยผลการทดสอบนั้นให้ค่าใกล้เคียงกัน เสนอใน [2] เนื่องด้วยมาตรฐานการติดตั้งเสาไฟฟ้าในประเทศไทยจึงไม่มีปัญหาเนื่องจากฐานราก [3] และการวิบัติส่วนใหญ่ของเสาไฟฟ้าจะเป็นการหักโค่นที่ตำแหน่งระดับพื้นดิน [4] งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังเมื่อเสาไฟฟ้าเกิดการหักโค่นด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาผลลัพธ์ที่จะช่วยลดผลกระทบจากการหักโค่นล้มของเสาไฟฟ้าให้น้อยลงที่สุด

2. แนวคิดในการหาตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้า

การวิเคราะห์โครงสร้างของเสาไฟฟ้าเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมของการเสริมกำลังเพื่อที่จะช่วยลดการหักโค่นของเสาไฟฟ้า โดยมีแนวคิดในการกำหนดตำแหน่งของจุดที่เกิดการหักบนเสาไฟฟ้าให้สูงกว่าการหักโค่นที่ระดับพื้นดินจะสามารถช่วยลดแรงที่กระทำต่อเสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ เมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่เกิดอุบัติเหตุหักโค่นลง และส่ง



รูปที่ 1 ภาพจำลองเหตุการณ์เมื่อเสาไฟฟ้าหักโค่น

แรงไปถึงเสาไฟฟ้าต้นที่อยู่ข้างๆ ทั้ง 2 ด้าน เสาไฟฟ้าทั้ง 2 ต้น จะที่ได้รับแรงกระทำ และหักที่ตำแหน่งที่กำหนดไว้ ด้วยการเสริมกำลัง จะสามารถช่วยหยุดการหักโค่นไปสู่เสาไฟฟ้าต้นถัดไปได้ ด้วยหลักการนี้จึงนำไปสู่การสร้างแบบจำลองโครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จำลองขึ้นจากแบบของเสาไฟฟ้า เพื่อเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์กับสมมติฐานที่ตั้งขึ้น และหาตำแหน่งที่เหมาะสมกับการเสริมกำลัง

3. การวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

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

3.1 มาตรฐานในการติดตั้งเสาไฟฟ้า

มาตรฐานในการติดตั้งเสาไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ความลึกของการปักเสาไฟฟ้า, ระยะห่างในการปักเสาไฟฟ้า และรายละเอียดแบบมาตรฐานการก่อสร้างการก่อสร้างเสาไฟฟ้า

ความลึกของการปักเสาไฟฟ้าจากระดับถนนในปัจจุบันกำหนดให้เสาไฟฟ้าคอนกรีตทุกขนาดต้องมีจุดอ้างอิงโดยมีลักษณะเป็นแถบสีดำเพื่อบอกระดับอ้างอิงในการปักเสา มีรายละเอียดดังนี้

1. เสา 12.00 m. GW. ปักลึกจากระดับถนน 1.75 เมตร
2. เสา 12.00 m. 5 T-m. ปักลึกจากระดับถนน 1.75 เมตร
3. เสา 12.35 m. 6.5 T-m. ปักลึกจากระดับถนน 2.10 เมตร
4. เสา 22.00 m. 18 T-m. ปักลึกจากระดับถนน 2.00 เมตร
5. เสา 12.00 m. 25 T-m. ปักลึกจากระดับถนน 2.00 เมตร

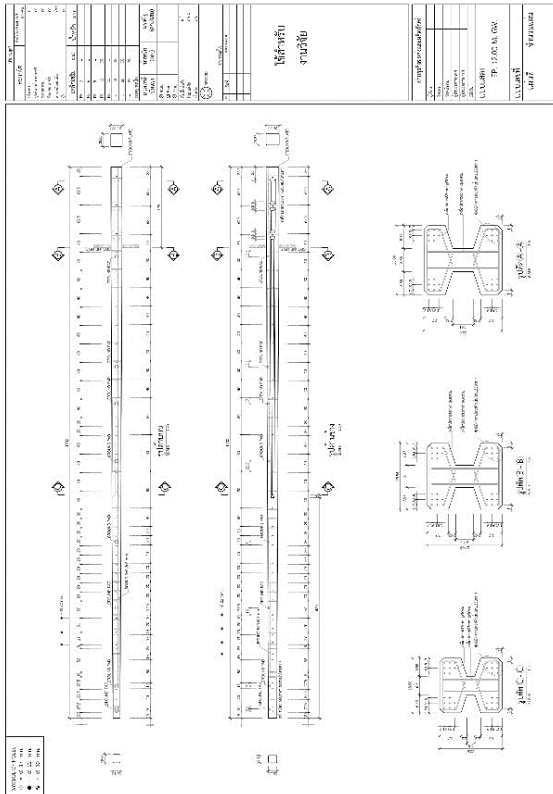
ระยะห่างในการปักเสาไฟฟ้าในการปักเสาไฟฟ้ามีรายละเอียดดังนี้

1. เสาไฟฟ้าในระบบ 12/24 KV. ระยะห่างช่วงเสาสูงสุด 40 เมตร
2. เสาไฟฟ้าในระบบ 69/115 KV. ระยะห่างช่วงเสาสูงสุด 80 เมตร

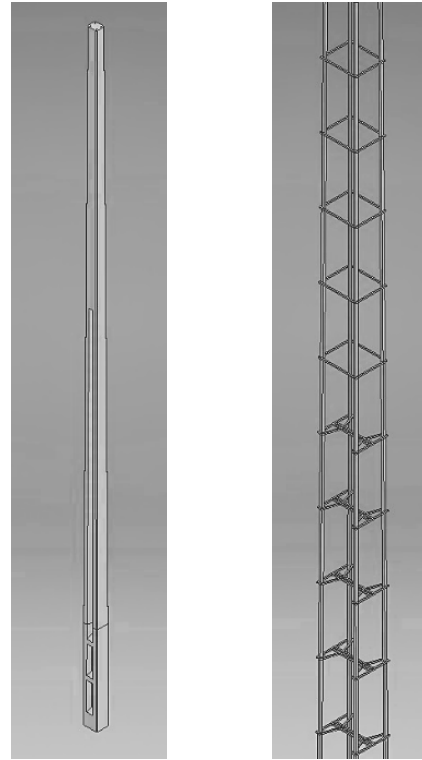
รายละเอียดแบบมาตรฐานการก่อสร้างเสาไฟฟ้ามีรายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดแบบมาตรฐานการก่อสร้างเสาไฟฟ้า

รายการ	กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	ลวดเหล็กอัดแรง	เหล็กปลอก	เหล็กปลอกปลายบน	เหล็กปลอกปลายล่าง	เหล็กเสริมพิเศษ	ขนาดหน้าตัดปลายบน (ซม.)	ขนาดหน้าตัดปลายล่าง (ซม.)
EP. 12.00 M. GW.	450	4x8Ø4 มม. (แรงดึงเส้นละ 1350กก.)	Ø3 มม. @30 ซม.	5Ø3 มม. @5 ซม.	3Ø3 มม. @5 ซม.	-	18.55x16.18	28.55x25.27
EP. 12.00 M. 5 T-M.						4DB25 มม. (L=5.00 ม.) จาก โคน /4DB12 มม. (L=5.00 ม.)		
EP. 12.35 M. 6.5 T-M.		4x5Ø7 มม. (แรงดึงเส้นละ 4000 กก.)		4Ø6 มม. @5 ซม.	4Ø6 มม. @5 ซม.	-	22.40x22.40	35.63x35.63
EP. 22.00 M. 18 T-M.		4x9Ø7 มม. (แรงดึงเส้นละ 4500 กก.)		5Ø6 มม. @5 ซม.	3Ø6 มม. @2.5 ซม.	-	25.60x25.60	43.60x43.60
EP. 22.00 M. 25 T-M.		4x9Ø7 มม. (แรงดึงเส้นละ 4500 กก.)		6Ø6 มม. @5 ซม.	12Ø6 มม. @5 ซม.	4Ø19 มม. (L=5.00 ม.) จาก โคน	27.00x27.00	57.25x57.25



รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบมาตรฐานเสาไฟฟ้าคอนกรีต



(ก.)

(ข.)

รูปที่ 3 (ก.) แบบจำลอง โครงสร้างเสาไฟฟ้าความสูง 12.00 m. (ข.) เหล็กเสริมภายในโครงสร้างเสาไฟฟ้า

3.2 ข้อกำหนดในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างเสาไฟฟ้า

1. รวมลวดเหล็กอัดแรงเป็นมุมละเส้น โดยยังคงพื้นที่หน้าตัดของลวดเหล็กอัดแรงไว้เท่าเดิม
2. แปลงหน้าตัดเหล็กทั้งหมดจากวงกลมเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยยังคงพื้นที่หน้าตัดเท่าเดิม
3. แปลงขนาดเหล็กปลอกขนาด $\varnothing 3$ มม. เป็นเหล็กปลอกขนาด $\varnothing 6$ มม. โดยเปลี่ยนคุณสมบัติของวัสดุให้เทียบเท่ากัน
4. ตัดส่วนของเสาไฟฟ้าที่อยู่ในดินทั้งหมด และกำหนดจุดรองรับเป็นแบบยึดแน่น

3.3 เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลองโครงสร้างเสาไฟฟ้า

1. ใส่จุดรองรับที่ระดับพื้นดินเป็นแบบยึดแน่น
2. ใส่แรงกระทำโดยมีขนาดมาจากน้ำหนักของเสาขณะลี้มที่ระยะความสูงที่ห้กต่าง ๆ
3. ใส่แรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของตัวเสาไฟฟ้า (แรงโน้มถ่วงของโลก)
4. ใส่แรงกระทำเนื่องจากลวดเหล็กอัดแรงให้กระจายตลอดทั้งหน้าตัด

3.4 แรงกระทำที่เกิดขึ้นกับเสาไฟฟ้าเมื่อเสาไฟฟ้าหักที่ตำแหน่งที่เสริมกำลัง

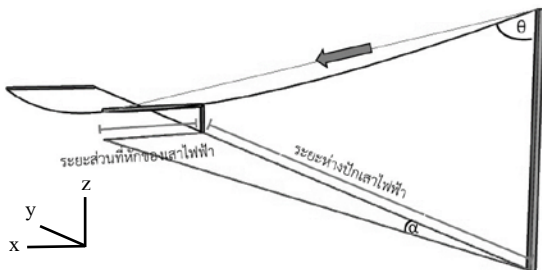
แรงที่กระทำเกิดขึ้นจากน้ำหนักของเสาไฟฟ้าที่ลี้ม ทำให้เกิดแรงดึงเนื่องจากสายไฟฟ้าไปยังเสาไฟฟ้าต้นถัดไป เมื่อเสาไฟฟ้ามีส่วนที่หักน้อยลงเนื่องจากการเสริมกำลังก็จะทำให้น้ำหนักส่วนที่หักน้อยลงส่งผลให้เกิดแรงกระทำไปยังเสาต้นต่อไปน้อยลงเช่นกัน โดยใส่แรงกระทำจากน้ำหนักส่วนของเสาไฟฟ้าต้นที่หักจากการเสริมกำลังที่ความสูงต่างๆ น้ำหนักของเสาไฟฟ้าคิดจากการหาปริมาตรของวัสดุคูณด้วยความหนาแน่นของวัสดุ โดยความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความหนาแน่นของเหล็กเท่ากับ 7,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีตัวอย่างน้ำหนักของเสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 น้ำหนักของเสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW มีระยะ
ปักลงไปในดิน 1.75 เมตร

ระยะความสูงของตำแหน่งที่ เสริมกำลังจากระดับโคนเสา (เมตร)	น้ำหนักส่วนที่เหลือของเสา ไฟฟ้าเมื่อหักที่ตำแหน่งที่ เสริมกำลัง (กิโลกรัม)
1.75	1,016.80
2.00	986.44
3.00	868.62
4.00	756.37
5.00	649.55
6.00	548.04
7.00	451.77
8.00	348.57
9.00	250.45

สามารถหาแรงที่กระทำกับเสาไฟฟ้าได้จากสูตร
ดังต่อไปนี้

แรงกระทำ = สัมประสิทธิ์แรงกระทำ \times น้ำหนักของ
เสาไฟฟ้า



รูปที่ 4 ภาพแสดงการเกิดมุมแนวราบและแนวตั้งเมื่อเสา
ไฟฟ้าหักที่ตำแหน่งเสริมกำลัง

ตัวอย่างการคำนวณเสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW เมื่อ
เสริมกำลัง และหักที่ความสูง 1.75 เมตร จากโคนเสา หรือ
เท่ากับระดับพื้นดิน

น้ำหนักของเสาไฟฟ้า = 1,016.80 กิโลกรัม

ระยะแกน x = 10.25 เมตร

ระยะแกน y = 40.00 เมตร

ระยะแกน z = -10.25 เมตร

กำหนดให้สัมประสิทธิ์แรงกระทำ เท่ากับ 1.3

แรงกระทำในแนวแกน x

$$= 1.3 \times 1,016.80 \times \frac{10.25}{\sqrt{(10.25)^2 + (40)^2 + (-10.25)^2}}$$

$$= 318.46 \text{ กิโลกรัม} = 3122.98 \text{ นิวตัน}$$

แรงกระทำในแนวแกน y

$$= 1.3 \times 1,016.80 \times \frac{40}{\sqrt{(10.25)^2 + (40)^2 + (-10.25)^2}}$$

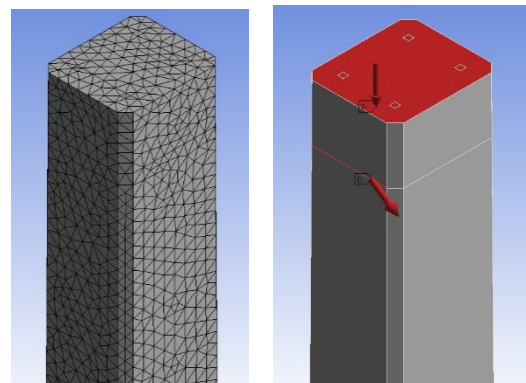
$$= 1242.75 \text{ กิโลกรัม} = 12187.21 \text{ นิวตัน}$$

แรงกระทำในแนวแกน z

$$= 1.3 \times 1,016.80 \times \frac{-10.25}{\sqrt{(10.25)^2 + (40)^2 + (-10.25)^2}}$$

$$= -318.46 \text{ กิโลกรัม} = -3122.98 \text{ นิวตัน}$$

เมื่อได้แรงในแนวแกนทั้ง 3 แรง นำไปใส่ในแบบจำลอง
บริเวณปลายบนของเสาไฟฟ้า



(ก.)

(ข.)

รูปที่ 5 (ก.) ตัวอย่างการแบ่งเอลิเมนต์ของแบบจำลองเสา
ไฟฟ้า (ข.) ตัวอย่างการใส่แรงกระทำเนื่องจากแรงดึง และ
แรงกระทำที่จำลองการอัดของลวดอัดแรงบนแบบจำลอง
เสาไฟฟ้า

แบบจำลองมีทั้งหมด 46 แบบจำลอง และสามารถแบ่ง
แบบจำลองได้ดังนี้

EP. 12.00 m. GW. มี 9 แบบจำลอง แบ่งเป็น เมื่อเสริม
กำลัง และหักที่ความสูง 1.75, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00,
7.00, 8.00 และ 9.00 เมตร จากโคนเสา

EP. 12.00 m. 5 T-m. มี 9 แบบจำลอง แบ่งเป็น เมื่อเสริม
กำลัง และหักที่ความสูง 1.75, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00,
7.00, 8.00 และ 9.00 เมตร จากโคนเสา

EP. 12.35 m. 6.5 T-m. มี 8 แบบจำลอง แบ่งเป็น เมื่อเสริมกำลัง และหักที่ความสูง 2.10, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00 และ 9.00 เมตร จากโคนเสา

EP. 22.00 m. 18 T-m. มี 10 แบบจำลอง แบ่งเป็น เมื่อเสริมกำลัง และหักที่ความสูง 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, 16.00, 18.00 และ 20.00 เมตร จากโคนเสา

EP. 22.00 m. 25 T-m. มี 10 แบบจำลอง แบ่งเป็น เมื่อเสริมกำลัง และหักที่ความสูง 2.00, 4.00, 6.00, 8.00, 10.00, 12.00, 14.00, 16.00, 18.00 และ 20.00 เมตร จากโคนเสา

เมื่อเสาไฟฟ้าเกิดอุบัติเหตุที่ควบคุมไม่ได้จนทำให้เสาไฟฟ้าหักและล้มทั้งต้น ส่งแรงไปยังเสาไฟฟ้าต้นถัดไป เสาไฟฟ้าต้นถัดไปก็จะหักที่ตำแหน่งเสริมกำลัง และส่งแรงไปยังเสาไฟฟ้าต้นถัดไป การวิเคราะห์จะเกิดขึ้นที่เสาต้นที่ถัดจากต้นที่หักที่ตำแหน่งเสริมกำลัง โดยใส่แรงกระทำจากน้ำหนักส่วนของเสาไฟฟ้าต้นที่หักจากการเสริมกำลังที่ความสูงต่างๆ

4. ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ผลจากการวิเคราะห์จะทำการเปรียบเทียบ Stress ที่เกิดขึ้นบนแบบจำลอง โครงสร้างเสาไฟฟ้าแล้วเทียบกับค่ากำลังของวัสดุ โดยจะเกิดการหักต่อเมื่อค่า Stress ที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำมีค่ามากกว่ากำลังของวัสดุที่รับได้ ดังสมการที่ (1) เปรียบเทียบอยู่ในรูปของ Safety Factor ดังสมการที่ (2) โดยมีสมการดังนี้

$$\sigma_e \geq S_{limit} \tag{1}$$

Safety Factor

$$FS = \frac{S_{limit}}{\sigma_e} \tag{2}$$

เป้าหมายในการออกแบบ

$$\frac{S_{limit}}{\sigma_e} > 1 \tag{3}$$

σ_e = Equivalent Stress (Pa)

S_{limit} = ค่ากำลังของวัสดุ (Pa)

FS = Safety Factor

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างเสาไฟฟ้าด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ในข้างต้น เกิดค่า Safety factor ต่ำสุดบนวัสดุคอนกรีตที่ระดับพื้นดิน หรือรอยต่อระหว่างตำแหน่งที่เสริมกำลังขึ้นมาจากโคนเสา แต่เหล็กยังคงสามารถรับแรงได้โดยไม่เกิดการวิบัติโดยมีค่า Safety factor มากกว่า 1.5 ทุกกรณีเมื่อเทียบกำลังจุดคราก



(ก.)

(ข.)

รูปที่ 6 (ก.) ตัวอย่างการเกิด Stress บนแบบจำลองเสาไฟฟ้า (ข.) ตัวอย่างแบบจำลองเสาไฟฟ้าที่แสดงให้เห็นจุดที่ Safety factor ต่ำสุด

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์เสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW. เมื่อเสริมกำลัง และหักที่ระดับความสูงต่างๆจากโคนเสา เทียบกับ Safety Factor ของเสาไฟฟ้าต้นถัดไป

ตารางที่ 3 เมื่อเสาไฟฟ้าเสริมกำลัง และหักที่ความสูงเท่ากับ 5.00 เมตร จากโคนเสา

ระยะความสูง (เมตร)	Safety Factor
5.0000	0.8153
5.1667	0.8220
5.3803	0.8307
5.5938	0.8402

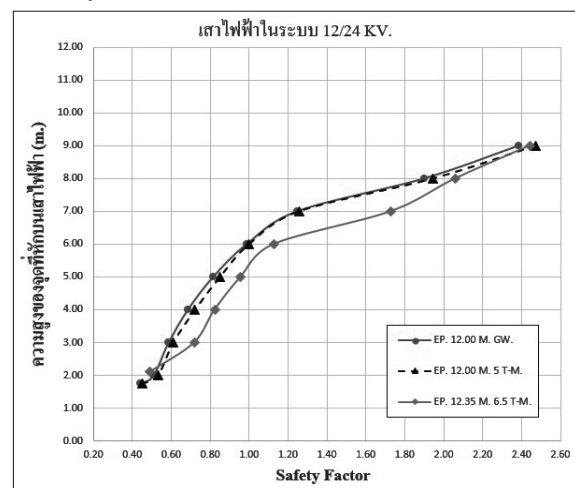
5.8074	0.8503
6.0209	0.8614
6.2344	0.8729
6.4480	0.8857
6.6615	0.8996
6.8751	0.9146
7.0886	0.9460
7.3022	1.1554
7.5157	1.1925
7.7293	1.2104
7.9428	1.2298
8.1564	1.2521
8.3699	1.2764
8.5834	1.3040
8.7970	1.3346
9.0105	1.3692
9.2241	1.4078
9.4376	1.4525
9.6512	1.5031
9.8647	1.5613
10.0783	1.6282
10.2918	1.7071
10.5053	1.7994
10.7189	1.9094
10.9324	2.0430
11.1460	2.2074
11.3595	2.4150
11.5731	2.6827
11.7870	3.0361
12.0000	3.0784

ตารางที่ 4 เมื่อเสาไฟฟ้าเสริมกำลัง และหักที่ความสูงเท่ากับ 6.00 เมตร จาก โคนเสา

ระยะความสูง (เมตร)	Safety Factor
6.0000	0.9881
6.2344	1.0017
6.4480	1.0154
6.6615	1.0304
6.8751	1.0464
7.0886	1.0817
7.3022	1.3180
7.5157	1.3591
7.7293	1.3774
7.9428	1.3973
8.1564	1.4202

8.3699	1.4451
8.5834	1.4734
8.7970	1.5046
9.0105	1.5398
9.2241	1.5790
9.4376	1.6241
9.6512	1.6751
9.8647	1.7333
10.0783	1.7997
10.2918	1.8775
10.5053	1.9676
10.7189	2.0738
10.9324	2.2010
11.1460	2.3548
11.3595	2.5452
11.5731	2.7842
11.7870	3.0891
12.0000	3.0784

ผลการวิเคราะห์จะแสดงถึงความสูงของจุดที่หักบนเสาไฟฟ้าจากโคนเสาเนื่องจากการเสริมกำลัง และ Safety factor ที่ต่ำที่สุดของเสาไฟฟ้าต้นถัดไป ในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8

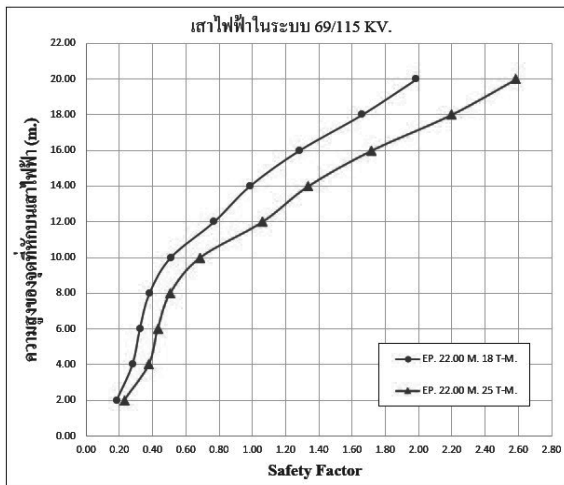


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของจุดที่หักบนเสาไฟฟ้ากับ Safety Factor ของเสาไฟฟ้าระบบ 12/24 KV.

เสาไฟฟ้า 12.00 m. GW. ที่ Safety Factor เท่ากับ 1 ความสูงของจุดหักบนเสาไฟฟ้าเท่ากับ 6.05 เมตร

เสาไฟฟ้า 12.00 m. 5 T-m. ที่ Safety Factor เท่ากับ 1 ความสูงของจุดหักบนเสาไฟฟ้าเท่ากับ 6.00 เมตร

เสาไฟฟ้า 12.35 m. 6.5 T-m. ที่ Safety Factor เท่ากับ 1 ความสูงของจุดหักบนเสาไฟฟ้าเท่ากับ 5.30 เมตร



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของจุดหักบนเสาไฟฟ้ากับ Safety Factor ของเสาไฟฟ้าระบบ 69/115 KV.

เสาไฟฟ้า 22.00 m. 18 T-m. ที่ Safety Factor เท่ากับ 1 ความสูงของจุดหักบนเสาไฟฟ้าเท่ากับ 14.10 เมตร

เสาไฟฟ้า 22.00 m. 25 T-m. ที่ Safety Factor เท่ากับ 1 ความสูงของจุดหักบนเสาไฟฟ้าเท่ากับ 11.70 เมตร

5. สรุป

เมื่อเสาไฟฟ้าต้นที่ 1 เกิดอุบัติเหตุที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้เสาไฟฟ้าหักโค่นลงทั้งต้น ส่งผลให้เกิดแรงดึงไปยังเสาไฟฟ้าต้นที่ 2 ซึ่งอยู่ถัดไป เสาไฟฟ้าต้นที่ 2 หักที่ตำแหน่งที่ได้ทำการเสริมกำลังจาก โคนเสา ส่งผลให้เกิดแรงดึงที่ยังเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 โดยการวิเคราะห์ Safety Factor จะเกิดขึ้นที่เสาไฟฟ้าต้นที่ 3 และใช้แรงที่กระทำเนื่องจากการหักที่จุดเสริมกำลังของเสาไฟฟ้าต้นที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เมื่อตำแหน่งที่หักของเสาไฟฟ้าต้นที่ 2 เลื่อนสูงขึ้นจากระดับพื้นดินทำให้ส่งแรงไปยังเสาไฟฟ้าต้นที่ 3 น้อยลงจนทำให้เสาไฟฟ้าต้นที่ 3 สามารถรับแรงได้โดยไม่เกิดการวิบัติโดยแสดงค่า Safety Factor เท่ากับ 1 หรือมากกว่า สามารถสรุปตำแหน่งความสูงเพื่อการเสริมกำลังบนเสาไฟฟ้าได้ดังนี้

1. เสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. GW ควรเสริมกำลังให้จุดที่หักอยู่สูงกว่า 6.05 เมตร จากโคนเสา

2. เสาไฟฟ้า EP. 12.00 m. 5 T-m. ควรเสริมกำลังให้จุดที่หักอยู่สูงกว่า 6.00 เมตร จาก โคนเสา

3. เสาไฟฟ้า EP. 12.35 m. 6.5 T-m ควรเสริมกำลังให้จุดที่หักอยู่สูงกว่า 5.30 เมตร จากโคนเสา

4. เสาไฟฟ้า EP. 22.00 m. 18 T-m. ควรเสริมกำลังให้จุดที่หักอยู่สูงกว่า 14.10 เมตร จากโคนเสา

5. เสาไฟฟ้า EP. 22.00 m. 25 T-m. ควรเสริมกำลังให้จุดที่หักอยู่สูงกว่า 11.70 เมตร จากโคนเสา

6. ข้อเสนอแนะ

ตัวอย่างการเสริมกำลังเสาไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท เสาไฟฟ้าที่มีการผลิตหรือติดตั้งไปแล้วจะเสริมกำลังโดยการใช้คาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) ในการหุ้มเสาไฟฟ้าเพื่อกำหนดจุดหัก และเสาไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ผลิตจะเสริมกำลังโดยการใช้แผ่นเหล็กเสริมกำลังเข้าไปในเสาไฟฟ้า

การป้องกันเสาไฟฟ้าหักโค่นล้มในแบบอื่นๆ เช่น การออกแบบวัสดุที่ใช้ทำรอยต่อที่ทำให้สายไฟฟ้าหลุดออกจาก โครงสร้างไฟฟ้าเมื่อเสาไฟฟ้าเกิดหักโค่นล้มเพื่อป้องกันการส่งแรงไปยังเสาไฟฟ้าต้นถัดไป, การนำสายไฟฟ้าร้อยทอลงดิน และการป้องกันทางด้านกรจรจรเพื่อลดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับเสาไฟฟ้าเนื่องจากรถยนต์หรือยานพาหนะอื่นๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Vivek, S. Sharma, P. Raychowdhury, S.Ray-Chaudhri, "A Study on Failure Mechanism of Self-Supported Electric Poles through Full-Scale Field Testing," *Engineering Failure Analysis*, Vol.77, pp. 102–117, August, 2016.
- [2] Mehran Zeynalian, Mehrdad Zamani Khorasgani, "A Structural Performance of Concrete Poles used in Electric Power Distribution Network," *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol.18, pp. 863–876, January, 2018.
- [3] King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang, "A Computer Program Developed for Design Utility Poles Installation," 2557.
- [4] King Monkut's Institute of Technology Ladkrabang, "A Study of Methods to Prevent Utility Poles from Progressive Collapse," 2560.