

# การวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากสายส่งกำลังไฟฟ้า

## ANALYSIS OF THE INDUCED VOLTAGE GENERATED

กฤตพล นบหนอง และ ณัฐพงศ์ ศิริวัฒนไพฑูรย์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการขยายตัวของที่อยู่อาศัยอย่างรวดเร็วจนรุกล้ำเข้ามาในแนวเขตปลอดภัยของสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสูง ก่อให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้าบนตัวนำที่ไม่มีการต่อลงดินซึ่งเป็นอันตรายกับผู้สัมผัส เพื่อหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจเกิดขึ้น การหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำจึงมีความสำคัญ ซึ่งการตรวจวัดค่าโดยตรงมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์และผู้ตรวจวัดที่มีความรู้ความชำนาญ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำงาน จึงนำเสนอโปรแกรมคำนวณหาแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่สภาวะการทำงานปกติที่เกิดจากเสาส่งกำลังไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV จำนวน 6 รูปแบบที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้อยู่ในปัจจุบัน และนำผลที่ได้ไปใช้ในการคำนวณพื้นที่อันตราย โดยใช้เกณฑ์แรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้าจากระยะปลอดภัยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และเกณฑ์กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายมนุษย์ที่ทำให้เกิดอาการเกร็งกล้ามเนื้อ จากผลการดำเนินงานพบว่า เสาส่งกำลังไฟฟ้ารูปแบบ SS-TG-3 เนื่องจากเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้าแบบผสม ที่มีทั้งระบบสายส่ง (115 kV) และระบบสายจำหน่าย (22 kV) ส่งผลให้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของทั้ง 2 ระบบหักล้างกัน อีกทั้งยังใช้ตัวนำเดี่ยวในแต่ละเฟสจึงมีระยะทางตัวนำไปยังจุดที่สนใจมากกว่าตัวนำรวม

**คำสำคัญ:** สนามไฟฟ้า, สนามแม่เหล็ก, แรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้า, พื้นที่อันตราย

### Abstract

At present, there is a rapid increase in electricity consumption has resulted in community areas encroaching on the safe distance of transmission lines. This area is an area with high electric and magnetic field intensity. This creates an induced voltage on ungrounded conductors, which is dangerous for people in contact with such conductors. To avoid potential hazards, it is important to determine the induced voltage. Direct induced voltage measurements are complex. This project presents a software for calculating the inductive voltage at normal operating conditions arising from six types of 115 kV power towers used in the Provincial Electricity Authority. The results of the calculations were applied to find the hazardous area using two criteria: one using induced voltage obtained from a safe distance from the Provincial Electricity Authority, and the second using an electric

current that flows through the human body which causes loss of muscular control. From the results, it was found that the pole type SS-TG-3 has the least dangerous area because it is a mixed-circuit transmission tower with both transmission line (115 kV) and distribution lines (22 kV), resulting in the electric and magnetic fields of both systems being canceled. It also uses a single conductor for each phase, so the distance from the conductor to the point of interest is greater than the bundle conductor.

**Keywords:** electric fields ,magnetic fields , induced voltage , dangerous area

### 1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของมนุษย์และเศรษฐกิจ โดยประเทศไทยมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยปีละ 1,000 เมกะวัตต์ [1] เพื่อให้สามารถส่งไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ที่อยู่ห่างจากจุดจำหน่ายเป็นระยะทางไกลการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำเป็นต้องมีการเพิ่มแรงดันและขยายระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ส่งอีกทั้งการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ ทำให้มีการก่อสร้างชุมชนรอบๆเสาส่งกำลังไฟฟ้ามากขึ้นจนมีแนวโน้มที่จะเข้าใกล้และรุกล้ำเข้ามาในแนวเขตของระบบสายส่งไฟฟ้า จนอาจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อชีวิต

สายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีการแผ่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา [2] เมื่อวัตถุที่เป็นตัวนำถูกเหนี่ยวนำจนเกิดแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดอันตรายกับผู้สัมผัสโดยระดับความอันตรายขึ้นอยู่กับขนาดแรงดัน ขนาดกระแส และระยะเวลาที่ถูกกระแสไหลผ่าน ซึ่งวิธีการหลีกเลี่ยงคือการอยู่ให้ห่างจากพื้นที่อันตราย แต่เนื่องจากการตรวจวัดแรงดันเหนี่ยวนำนั้นมีขั้นตอนที่ยุ่งยากในการจัดหาและติดตั้งอุปกรณ์ ต้องใช้วิศวกรที่มีการเชี่ยวชาญ [3] จึงใช้การคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้าด้วยทฤษฎีประจุภาพและทฤษฎีการวางซ้อน แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาพื้นที่อันตรายจากแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้า

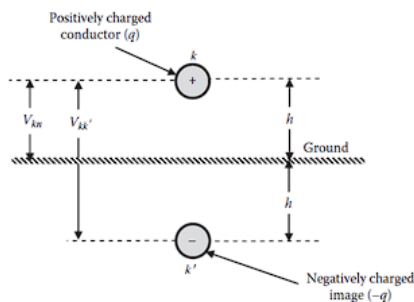
เมื่อนำการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้ามาใช้คำนวณแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่เกิดจากเสาไฟฟ้ารูปแบบต่างๆที่มีใช้ในปัจจุบันของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแล้วจัดทำแผนภาพซึ่งแสดงพื้นที่อันตราย นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อหารูปแบบของเสาไฟฟ้าที่มีพื้นที่อันตรายน้อยที่สุด

## 2. เนื้อความหลัก

### 2.1 การคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำ

#### 2.1.1 การคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามไฟฟ้า

ในการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำ[4]เนื่องจากสนามไฟฟ้าใช้ทฤษฎีปรากฏโดยสมมติประจุตรงข้ามขึ้นภายใต้พื้นดินแล้วจึงนำมาคำนวณด้วยสมการ (1) เพื่อหาค่าประจูดัชนี จากนั้นนำไปคำนวณหาแรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามไฟฟ้าโดยใช้สมการ (2)



รูปที่ 1 สักไฟฟ้าของตัวนำในทฤษฎีปรากฏ

$$\begin{bmatrix} \bar{q}_1 \\ \bar{q}_2 \\ \vdots \\ \bar{q}_n \end{bmatrix} = 2\pi\epsilon_0 \begin{bmatrix} \ln\left(\frac{2h_1}{r_1}\right) & \ln\left(\frac{d'_{12}}{d_{12}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{d'_{1n}}{d_{1n}}\right) \\ \ln\left(\frac{d'_{21}}{d_{21}}\right) & \ln\left(\frac{2h_2}{r_2}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{d'_{2n}}{d_{2n}}\right) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \ln\left(\frac{d'_{n1}}{d_{n1}}\right) & \ln\left(\frac{d'_{n2}}{d_{n2}}\right) & \cdots & \ln\left(\frac{2h_n}{r_n}\right) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \bar{V}_1 \\ \bar{V}_2 \\ \vdots \\ \bar{V}_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

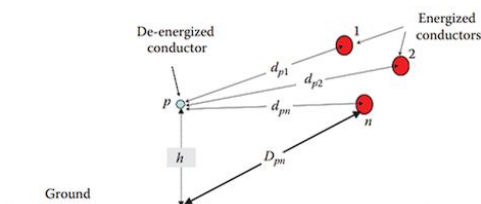
$$\bar{V}_p = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \bar{q}_i \ln\left(\frac{d'_{pi}}{d_{pi}}\right) \quad (2)$$

โดย  $r$  คือรัศมีของสายไฟฟ้า หากเป็นสาย bundle ให้ค่า  $r$  คือ GMR  $d$  คือระยะห่างระหว่างตัวนำ ( $d'$  คือระยะจากประจุที่สมมติขึ้น)  $h$  คือระยะจากพื้นถึงสายไฟ

$V_p$  คือแรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามไฟฟ้า

#### 2.1.1 การคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามแม่เหล็ก

ในการคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามแม่เหล็กใช้ทฤษฎีการวางซ้อนเป็นการหาแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจากตัวนำหลายๆตัวรวมกันดังรูปที่ 2 โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการ (3) เพื่อหาค่าสนามไฟฟ้าต่อเมตร หลังจากนั้นนำค่าที่ได้ไปคูณกับความยาวที่ตัวนำที่สนใจขนานกับสายไฟฟ้าได้ค่าแรงดันเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2 หาแรงดันเหนี่ยวนำ โดยทฤษฎีการวางซ้อน

$$E_p = 2 \times 10^{-7} \omega \left[ \ln\left(\frac{D_{pa}}{d_{pa}}\right) \ln\left(\frac{D_{pb}}{d_{pb}}\right) \ln\left(\frac{D_{pc}}{d_{pc}}\right) \right] \begin{bmatrix} I_a \angle \theta_A \\ I_b \angle \theta_B \\ I_c \angle \theta_C \end{bmatrix} \quad (3)$$

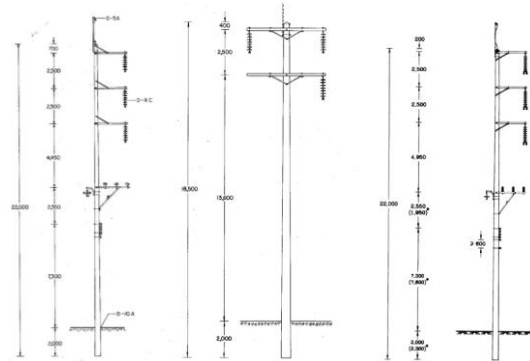
โดย  $I$  คือ กระแสที่ไหลบนสายส่งกำลังไฟฟ้า

$E_p$  คือ ค่าสนามแม่เหล็ก

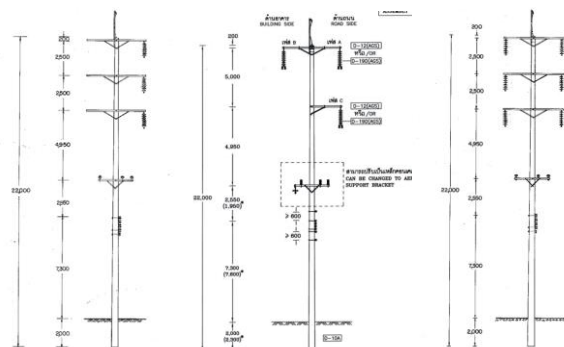
## 2.2 เสาไฟฟ้ารูปแบบต่างๆที่วิเคราะห์

ในปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการใช้เสาไฟฟ้าทั้งหมด 6 รูปแบบ [5]

ซึ่งใช้วิเคราะห์ในที่นี้ มีลักษณะและข้อดังนี้



รูปที่ 3 เสาไฟฟ้าแบบ SS-TG-2, SS-TG-8, SD-TG-3

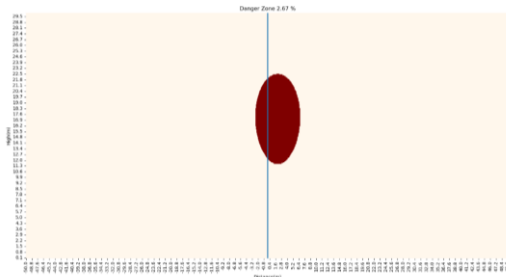


รูปที่ 4 เสาไฟฟ้าแบบ SS-TG-3, SD-TG-9, DS-TG-1

## 2.3 จัดทำโปรแกรมแสดงพื้นที่อันตราย

### 2.3.1 ใช้ระดับแรงดันเหนี่ยวนำเป็นเกณฑ์

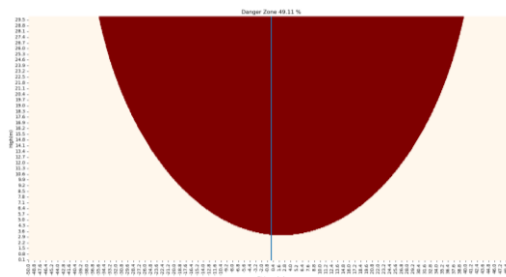
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีมาตรฐานความปลอดภัยระหว่างสายตัวนำกับวัตถุโดยให้ห่างกันในระดับเดียวกับสายตัวนำอย่างน้อย 2.3 m เมื่อคำนวณแรงดันเหนี่ยวนำที่ระยะปลอดภัยจากเสาไฟฟ้าได้แรงดันเหนี่ยวนำจากเสาทุกรูปแบบดังนี้ 36.55 kV, 31.64 kV, 43.29 kV, 35.28 kV, 35.99 kV และ 41.91 kV จากผลการคำนวณที่ได้ จะเห็นว่ามีค่าแรงดันเหนี่ยวนำตั้งแต่ 30 kV ขึ้นไป จึงสรุปว่าแรงดันเหนี่ยวนำที่มากกว่า 30 kV อาจทำให้เกิดอันตรายได้ จึงใช้ค่า 30 kV เป็นเกณฑ์ในการคำนวณหาพื้นที่อันตราย เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่างในรูปที่ 5 ซึ่งสีแดงแสดงถึงพื้นที่อันตรายและสีขาวรอบๆแสดงถึงพื้นที่ปลอดภัย



รูปที่ 5 พื้นที่อันตรายของเสารูปแบบ SS-TG-2 โดยเกณฑ์แรงดัน

### 2.3.2 ใช้กระแสที่ทำให้มนุษย์กล้ามเนื้อเกร็งเป็นเกณฑ์

ตามมาตรฐาน IEEE กระแสที่ทำให้กล้ามเนื้อของมนุษย์ส่วนใหญ่เกร็งตัวมีค่า 10.5mA [6] จึงใช้กระแสค่านี้เป็นเกณฑ์กำหนดพื้นที่อันตราย แม้กระแสค่านี้จะไม่ทำให้มนุษย์ถึงแก่ความตายแต่เนื่องจากการเกร็งกล้ามเนื้อทำให้มนุษย์เสียการควบคุมจนอาจเกิดอันตรายจากสาเหตุอื่นๆ เช่นการตกจากที่สูง เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังตัวอย่าง รูปที่ 6



รูปที่ 6 พื้นที่อันตรายของเสารูปแบบ SS-TG-2 โดยเกณฑ์กระแส

### 2.4 พื้นที่อันตรายของเสาไฟฟ้าแต่ละรูปแบบ

เมื่อทำการคำนวณหาพื้นที่อันตรายจากเสาไฟฟ้าทั้ง 6 รูปแบบ ในระยะ 50 m ไปทางซ้ายและขวาของเสาไฟฟ้า และ สูงจากพื้น 30 เมตร จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พื้นที่อันตรายของเสาไฟฟ้าแต่ละรูปแบบ

รูปแบบเสาไฟฟ้า	พื้นที่อันตราย	
	กระแสไหลสู่ร่างกาย (%)	แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (%)
SS-TG-2	49.11	2.67
SS-TG-8	48.39	2.54
SD-TG-3	56.68	5.23
SS-TG-3	46.04	2.14
SD-TG-9	55.32	4.82
DS-TG-1	59.66	6.59

### 2.5 การวิเคราะห์พื้นที่อันตรายจากเสาไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ

การวิเคราะห์เสาส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 115 kV วงจรเดี่ยวที่ใช้ในการวิเคราะห์มีทั้งหมด 3 แบบได้แก่รูปแบบ SS-TG-2 , SS-TG-8 และ SD-TG-3 ซึ่งพบว่าเสาส่งกำลังไฟฟ้าแบบ SS-TG-8 ที่มีการจัดวางสายตัวนำทั้งสองฝั่งของเสา มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่า SS-TG-2 ที่มีการจัดวางสายตัวนำฝั่งเดียว เนื่องจากการจัดวางตัวนำไว้ทั้งสองฝั่งจะทำให้ตัวนำทั้งสามตัวอยู่ใกล้กันมากขึ้น มีผลทำให้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเกิดการหักล้างกัน ส่วนเสารูปแบบ SD-TG-3 ที่มีการจัดวางสายตัวนำฝั่งเดียวอีกทั้งเป็นสายควบ จะมีพื้นที่อันตรายที่มากกว่า SS-TG-2 ซึ่งเป็นสายตัวนำแบบเดี่ยว เนื่องจากสายควบมีค่ารัศมีเฉลี่ยทางเรขาคณิต (GMR) ที่มากกว่ารัศมีของสายตัวนำเดี่ยว ส่งผลให้ตัวนำชนิดนี้เสมือนอยู่ใกล้จุดที่สนใจมากขึ้น ค่าแรงดันเหนี่ยวนำไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น พื้นที่อันตรายจึงเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์เสาส่งกำลังไฟฟ้าแบบ 115 kV วงจรเดี่ยวและระบบ 22 kV วงจรเดี่ยว ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีทั้งหมด 2 แบบได้แก่รูปแบบ SS-TG-3 และ SD-TG-9 พบว่าเสาส่งกำลังไฟฟ้าแบบ SS-TG-3 ที่มีการจัดวางสายตัวนำฝั่งเดียวและเป็นสายเดี่ยว มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่าแบบ SD-TG-9 ที่มีการจัดวางสายตัวนำทั้งสองฝั่งและเป็นสายควบ ทำให้เห็นว่าสายควบมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อันตรายมากกว่าการจัดวางสายตัวนำแบบฝั่งเดียว

จากการพิจารณาเสารูปแบบ SS-TG-3 ซึ่งเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV วงจรเดี่ยวที่มีระบบ 22 kV และเสารูปแบบ SS-TG-2 ซึ่งเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV วงจรเดี่ยวที่ไม่มีระบบ 22 kV พบว่าเสารูปแบบ SS-TG-3 มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่า SS-TG-2 สาเหตุอาจมาจากการเพิ่มระบบ 22 kV ส่งผลให้มีการหักล้างกันของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

จากการพิจารณาเสารูปแบบ DS-TG-1 ซึ่งเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV วงจรคู่ที่มีระบบ 22 kV และเสารูปแบบ SS-TG-3 ซึ่งเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV วงจรเดี่ยวที่มีระบบ 22 kV โดยเสาทั้งสองรูปแบบมีการจัดวางตัวนำฝั่งเดียวเหมือนกัน พบว่าเสารูปแบบ DS-TG-1 มีพื้นที่อันตรายมากกว่ารูปแบบ SS-TG-3 สาเหตุอาจมาจากการมีสายตัวนำที่มีแรงดันสูงเพิ่มขึ้นในระบบแต่เนื่องจากการจัดวางตัวนำที่สลับเฟสกัน พื้นที่อันตรายจึงเพิ่มขึ้นไม่มาก

### 3. สรุปผล

จากการศึกษาผลของค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจากสายส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยทำการวิเคราะห์และประเมินระดับแรงดันที่เกิดขึ้นโดยจะจำแนกจากระบบสายส่งขนาด 115 kV ที่มีการจัดวางสายตัวนำในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ระบบสายส่ง 115 kV วงจรเดี่ยว , ระบบสายส่งแบบผสม 115 kV วงจรเดี่ยว กับ 22 วงจรเดี่ยว และระบบสายส่งแบบผสม 115 kV วงจรคู่ กับ 22 วงจรเดี่ยว

จากที่ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ทฤษฎีของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้าและทฤษฎีของแรงดัน

เหนียววันที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กและรวบรวมข้อมูลโครงสร้างของระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ทำงานในสภาวะปกติจากนั้นทำการคำนวณแรงดันเหนียววันที่เกิดขึ้น โดยในการคำนวณนั้นมีความซับซ้อนและใช้เวลาในการคำนวณด้วยมือมาก ผู้จัดทำจึงเลือกโปรแกรม Python มาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากมีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งานและความแม่นยำในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงรูปแบบของกราฟแรงดันเหนียววันที่ไฟฟ้าในระดับความสูงที่สนใจและแผนภาพ Heatmap ของแรงดันเหนียววันที่ไฟฟ้าโดยรอบเสาส่งกำลังไฟฟ้าในระยะที่กำหนด จากนั้นนำค่าแรงดันเหนียววันที่ได้ไปใช้หาพื้นที่อันตรายเนื่องจากการที่มนุษย์สัมผัสตัวนำที่ถูกเหนียวและไม่ต้องลงดิน พร้อมแสดงยังแสดงร้อยละของพื้นที่อันตรายต่อพื้นที่ทั้งหมด

พื้นที่อันตรายที่ได้จากการคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายมนุษย์ เปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าขั้นต่ำที่ทำให้มนุษย์ส่วนใหญ่เกิดอาการกล้ามเนื้อเกร็งซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.5 mA แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มนุษย์ยืนเท้าเปล่าบนพื้นเปียกและผิวหนังของมนุษย์เปียกชื้น และกรณีที่มนุษย์ยืนเท้าเปล่าบนพื้นแห้งและผิวหนังของมนุษย์แห้ง พบว่ากรณีที่มนุษย์ยืนเท้าเปล่าบนพื้นเปียกและผิวหนังของมนุษย์เปียกชื้นนั้นมีพื้นที่อันตรายเท่ากับ 100% จึงไม่ใช้กรณีนี้ในการวิเคราะห์ต่อไป ผู้จัดทำจึงเลือกใช้กรณีที่มนุษย์ยืนเท้าเปล่าบนพื้นแห้งและผิวหนังของมนุษย์แห้ง เนื่องจากเป็นกรณีที่พบได้ทั่วไปและสามารถแสดงให้เห็นพื้นที่อันตรายในระยะที่สนใจ ส่วนพื้นที่อันตรายเนื่องจากแรงดันเหนียววันที่ไฟฟ้าจากระยะปลอดภัยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ระยะ 2.3 m ในระดับเดียวกับตัวนำพบว่าแรงดันเหนียววันที่ไฟฟ้าจากเสาไฟฟ้าทุกรูปแบบมีค่าไม่น้อยกว่า 30 kV

พื้นที่อันตรายโดยใช้เกณฑ์ทั้งสองที่กล่าวไปข้างต้น พบว่าเสาไฟฟ้าทุกรูปแบบมีรูปร่างของพื้นที่อันตรายใกล้เคียงกันกล่าวคือ เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดวางตัวนำระหว่างรูปแบบ SS-TG-2 ที่มี การจัดวางสายตัวนำฝั่งเดียว และ SS-TG-8 ที่มีการการจัดวางสายตัวนำทั้งสองฝั่ง พบว่าเสาแบบ SS-TG-8 มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าเสาส่งกำลังไฟฟ้าที่มีการจัดวางสายตัวนำทั้งตัวฝั่งเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้าที่ดี และเมื่อเปรียบเทียบเสาแบบ SS-TG-2 ซึ่งเป็นรูปแบบสายเดี่ยว และ SS-TG-3 ซึ่งเป็นรูปแบบสายควบ พบว่า SS-TG-2 มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าเสาส่งกำลังไฟฟ้าที่มีรูปแบบสายเดี่ยวเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้าที่ดี เมื่อวิเคราะห์เสาส่งกำลังไฟฟ้ารูปแบบ SS-TG-3 ที่มีการจัดวางตัวนำฝั่งเดียวและเป็นสายเดี่ยว กับ SS-TG-9 ที่มีการจัดวางตัวนำทั้งสองฝั่งและเป็นสายควบพบว่าเสาแบบ SS-TG-3 มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าสายควบมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของพื้นที่อันตรายมากกว่าการจัดวางสายตัวนำแบบฝั่งเดียว เมื่อวิเคราะห์เสาส่งกำลังไฟฟ้ารูปแบบ SS-TG-2 ซึ่งเป็นเสาที่ไม่มีระบบจำหน่าย 22 kV และ SS-TG-3 ซึ่งเป็นเสาที่มีระบบจำหน่าย 22 kV พบว่าเสาแบบ SS-TG-3 มีพื้นที่อันตรายน้อยกว่า จึงสรุปได้ว่าเมื่อมีระบบจำหน่าย 22 kV จะช่วยให้พื้นที่

อันตรายลดลง และเมื่อวิเคราะห์เสาส่งกำลังไฟฟ้ารูปแบบ DS-TG-1 ซึ่งเป็นเสาส่งไฟฟ้าแบบผสม วงจรคู่ พบว่าเมื่อมีการเพิ่มวงจรส่งจ่ายไฟฟ้าทำให้พื้นที่อันตรายเพิ่มขึ้นเนื่องจากการวางตัวนำสลับเฟสกันระหว่างวงจรจึงทำให้พื้นที่อันตรายไม่เพิ่มขึ้นมากนัก

เมื่อพิจารณาเสาส่งกำลังไฟฟ้าทุกรูปแบบจะได้ว่า เสาแบบ SS-TG-3 มีพื้นที่อันตรายน้อยที่สุด แต่ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเสาที่มีพื้นที่อันตรายน้อยที่สุดควรมีลักษณะเป็นเสาส่งกำลังไฟฟ้าแบบผสม วงจรเดี่ยว ใช้สายตัวนำเดี่ยว และมีการจัดวางตัวนำแบบสองฝั่ง ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่มีใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากมีความไม่สะดวกในการติดตั้งและดูแลรักษา รวมไปถึงมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่มากกว่าเสาแบบ SS-TG-3

#### 4. เอกสารอ้างอิง

- [1] กำลังการผลิต กฟผ. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564  
[https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=452&Itemid=116](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=452&Itemid=116)
- [2] Electric and Magnetic Fields from Power Lines. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564  
<https://www.epa.gov/radtown/electric-and-magnetic-fields-power-lines>
- [3] แผนกวิจัยระบบไฟฟ้า กองวิจัย (2564). รายงานผลการศึกษาระบบไฟฟ้าเหนี่ยวขณะปฏิบัติงานในระบบจำหน่ายที่ดับไฟโดยมีระบบสายส่ง 115 KV จ่ายไฟอยู่เหนือระบบจำหน่าย
- [4] Mohamed El-sharkawi, "Electric Safety Practice and Standards," Broken Sound Parkway, NW, USA: CRC Press. 2014.
- [5] กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. [ออนไลน์] สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2564  
<https://peagateway.pea.co.th/remote/login?lang=en>
- [6] IEEE Guide to Grounding During the Installation of Overhead Transmission Line Conductors, IEEE Standard 524a, 1993.