

การเปรียบเทียบผลกระทบจากสนามไฟฟ้าที่มีต่อสิ่งแวดล้อมใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ
และสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

นาย นุชิต ทิพย์เจริญ

ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า กองบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้า แผนกอุปกรณ์สถานีย่อย2

การไฟฟ้านครหลวง

Email. nuchit_tipcharoen@yahoo.co.th โทรศัพท์ 02-2563392-3 โทรสาร 02-2563394

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบจากสนามไฟฟ้าที่มีแหล่งกำเนิดมาจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับและสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงเหนือพื้นดิน ตลอดจนผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมใกล้สายส่งไฟฟ้า โดยเลือกวิเคราะห์จากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 500 กิโลโวลต์ และสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง 300 กิโลโวลต์ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในประเทศไทย และเนื่องจากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับมีความถี่ต่ำจึงสามารถแยกวิเคราะห์เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก รวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นแยกออกจากกันได้ โดยอาศัยโปรแกรมที่สร้างขึ้นจาก MATLAB มาใช้ในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า ที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงทั้งสอง โดยพัฒนาขีดความสามารถของโปรแกรมให้สามารถแสดงค่าความเข้มสนามไฟฟ้าในรูปแบบตลอดแนวความยาวของช่วงเสาส่งไฟฟ้า (Longitudinal profile) หลังจากนั้นนำค่าสนามไฟฟ้า ที่ได้นำไปสู่การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นในรูปของการเหนี่ยวนำสนามขนาดใหญ่ เช่น บ้านที่อยู่อาศัย รถยนต์ ที่อยู่ใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสายส่งไฟฟ้าทั้งสองระบบ สำหรับการวัดความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นจะสามารถพิจารณาได้จากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แรงดันไฟฟ้า และพลังงานสะสมที่เกิดจากการที่ร่างกายคนเข้าไปสัมผัสส่วตัวขนาดใหญ่ภายใต้การวิเคราะห์ในเงื่อนไขต่าง ๆ สุดท้ายนำเสนอการศึกษาการลดระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่อไป

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับและกระแสตรง ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับระดับแรงดันสูงที่สุดที่มีใช้งานในประเทศไทย คือ 500 kV และระดับสูงที่สุดในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง คือ 300 kV โดยความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2544 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้มีการนำระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง เข้าใช้ในโครงการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าระหว่างประเทศไทยกับมาเลเซียขนาด 300 MW เป็นการส่งจ่ายที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากกระแสสลับระบบ 3 ϕ 230 kV 50 Hz (EGAT SYSTEM / THAILAND) เป็นระบบไฟฟ้า

แรงสูงกระแสตรง 300 kV ส่งพลังงานไฟฟ้าด้วยสายส่งกระแสตรงชนิด MONOPOLAR และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 3 ϕ 275kV 50 Hz (TNB/MALAYSIA) เป็นระยะทางรวม 110 km (EGAT 25 km / TNB 85 km) ผลที่ได้จากโครงการนี้สามารถลดระดับการสำรองกำลังผลิต ช่วยลดต้นทุนและสร้างความแข็งแกร่งให้กับระบบไฟฟ้าในบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย ทั้งนี้ประเทศไทยตั้งอยู่ในภูมิภาคศาสตร์ที่ได้เปรียบเสมือนประตูส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าโดยในอนาคตจะพัฒนาเป็นศูนย์กลางเชื่อมโยงโครงข่ายระบบส่งไฟฟ้าของอาเซียน (ASEAN POWER GRID)

ประการสำคัญ ที่วิศวกรต้องคำนึงถึงในการออกแบบระบบส่งจ่ายไฟฟ้า นอกเหนือจากการออกแบบทางด้านเทคนิค คือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นในรูปแบบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (ELECTROMAGNETIC FIELD) โดยเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งระบบไฟฟ้าแบบแรงดันสูงกระแสสลับและแรงดันสูงกระแสตรง โดยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใกล้สายส่งไฟฟ้า

ประเด็นที่น่าสนใจในการพิจารณา:

1. ลักษณะการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเมื่อมีส่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงทั้งสองระบบ
2. ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ขอบแนวการเดินทางของสายส่ง (RIGHT OF WAY) อยู่ในค่ามาตรฐานตามหลักการออกแบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
3. เมื่อสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีการพาดผ่านชุมชน ผลกระทบที่เกิดขึ้นในรูปแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า COUPLING กับ วัตถุตัวนำขนาดใหญ่ เช่น บ้าน รั้ว ส่งผลกระทบต่อคนเมื่อเข้าไปสัมผัส

ซึ่งในอนาคตอาจมีการเดินสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงเข้ามาในเขตความรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง บทความนี้จึงเป็นการนำเสนอประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับลักษณะของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง และสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาในอนาคต

2. สนามไฟฟ้า

2.1 สายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ

สนามไฟฟ้าเป็นแรงในการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่มีทั้งขนาดและทิศทางเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ \vec{E} และถูกวัดออกมาในหน่วยของแรงดันต่อระยะทาง (kV/m) โดยที่ขนาดของสนามไฟฟ้าเกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างสองจุดใด ๆ ในสนามไฟฟ้า ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าจะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง และจะแปรผกผันกับระยะห่างจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง สนามไฟฟ้า ณ จุดใด ๆ ในอากาศจะประกอบด้วยองค์ประกอบของสนามไฟฟ้าตามแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ สำหรับค่าของสนามไฟฟ้าในสภาวะคงที่ (Steady-State) เราสามารถเขียนสมการของสนามไฟฟ้าที่มีองค์ประกอบตามแนวแกน X, Y และ Z ได้ดังนี้

$$E = e_x(t)u_x + e_y(t)u_y + e_z(t)u_z \quad (1)$$

เมื่อ $\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z$ คือ ยูนิตเวกเตอร์ตามแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ และ $e_x(t), e_y(t), e_z(t)$ คือขนาดของสนามไฟฟ้าในทิศทางตามแนวแกน x, y และ z ที่อยู่ในรูปฟังก์ชันของเวลา

การคำนวณหาสนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่บริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูง สมมุติฐานในการคำนวณ คือไม่มีประจุไฟฟ้าใด ๆ นอกจากประจุไฟฟ้าที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง, พื้นดินบริเวณที่พิจารณานั้นราบเรียบสม่ำเสมอและมีค.ท. ค่อนข้างน้อยมาก ,ค่าเพอร์มิททิวิตี (Permittivity) ของตัวกลางอากาศไม่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและมีค่าเท่ากับเพอร์มิททิวิตีของอากาศ ($\epsilon = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m)

ค่าประจุ (Q) บนตัวนำสายส่งไฟฟ้าแรงสูง สามารถหาได้จากค่าของแรงดันไฟฟ้า (V) และค่าสัมประสิทธิ์ของ (Maxwell Potential Coefficient (P)) ซึ่งไปดังสมการ

$$[Q] = [P]^{-1} [V] \quad (2)$$

ค่าสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ที่เกิดจากสายไฟฟ้าเฟส a ณ จุด x, y ใด ๆ (X_n, Y_n) ในแนวแกน X และ Y จะหาได้จากสมการ

$$E_{x,a} = \frac{(Q_{ra} + jQ_{ia})(x_n - x_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_n)^2]} - \frac{(Q_{ra} + jQ_{ia})(x_n - x_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_n)^2 + (y_a + y_n)^2]} \quad (3)$$

$$E_{y,a} = \frac{(Q_{ra} + jQ_{ia})(y_n - y_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_n)^2]} - \frac{(Q_{ra} + jQ_{ia})(y_n - y_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_n)^2 + (y_a + y_n)^2]} \quad (4)$$

ค่าสนามไฟฟ้ารวมในแนวแกน X และ แกน Y จากสายเฟสพิจารณาได้

$$E_x = E_{x,a} + E_{x,b} + E_{x,c} + \dots \quad (5)$$

$$E_y = E_{y,a} + E_{y,b} + E_{y,c} + \dots \quad (6)$$

ค่าสนามไฟฟ้ารวม ณ จุด x, y ใด ๆ (X_n, Y_n) คือ

$$E^2 = E_x^2 \cos^2(\omega t + \theta) + E_y^2 \cos^2(\omega t + \phi) \quad (7)$$

สนามไฟฟ้าสูงสุดเมื่อ $\frac{dE^2}{dt} = 0$ ดังนั้น

$$\tan(2\omega t) = \frac{-E_x^2 \sin 2\theta + E_y^2 \sin 2\phi}{E_x^2 \cos 2\theta + E_y^2 \cos 2\phi} \quad (8)$$

$$\text{เมื่อ } \omega t_1 = \omega t + \frac{\pi}{2}$$

$$E_{\max} = \sqrt{(E_x \cos(\omega t_1 + \theta))^2 + (E_y \cos(\omega t_1 + \phi))^2} \quad (9)$$

$$\text{angle} = \tan^{-1} \left[\frac{E_y \cos(\omega t_1 + \phi)}{E_x \cos(\omega t_1 + \theta)} \right] \quad (10)$$

2.2 สายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

สนามไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเกิดจากแรงดันไฟฟ้าทำให้เกิดประจุไฟฟ้ากระจายอยู่ทั่วบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ในส่วนของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ ประจุที่กระจายอยู่รอบบริเวณสายส่งจะประกอบด้วยประจุบวกและประจุลบตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz สำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงประจุที่กระจายอยู่รอบบริเวณสายส่งจะมีเพียงประจุบวกหรือประจุลบ หรือทั้งประจุบวกและประจุลบในเวลาเดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการส่งจ่ายว่าเป็นแบบโมโนโพลาร์ (Monopolar) หรือเป็นแบบไบโพลาร์ (Bipolar) นอกจากนั้นแล้วจากการที่ระบบไฟฟ้ากระแสตรงไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของแรงดันไฟฟ้าตามเวลาทำให้บริเวณที่ผิวตัวนำของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงสะสมความเครียดสนามไฟฟ้าได้เร็วและเกิดการแตกตัวเป็นไอออนของอากาศรอบสายตัวนำ (Ionization) ได้เร็วกว่าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ ดังนั้นค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงนอกจากจะขึ้นอยู่กับค่าประจุไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าปกติแล้วยังขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการเบรคดาวนบางส่วนของอากาศรอบสายตัวนำที่เรียกว่าปรากฏการณ์โคโรนาอีกด้วย ซึ่งระดับของการเกิดโคโรนาจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาล

สนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจะพิจารณาประจุไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าของระบบ และประจุไฟฟ้าเมื่อสายส่งอยู่ภายใต้สภาวะการเกิดโคโรนา ซึ่งเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นได้ง่ายสำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามวิธีการของ HVTRC (High Voltage Transmission Research Center) โดยเฉพาะในส่วนของสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย

1. คำนวณสนามไฟฟ้าในกรณีที่ยังไม่อยู่สภาวะการเกิดโคโรนา ซึ่งใช้วิธีการเดียวกับการคำนวณสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ

2. ประมาณค่าสนามไฟฟ้าเมื่อสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงอยู่ในสภาวะของการเกิดโคโรนาตามวิธีของ HVTRC (พิจารณา) จากค่าสถิติของการเกิดโคโรนาตามฤดูกาล

3. ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างการเกิดโคโรนาและไม่เกิดโคโรนา

2.2.2 สนามไฟฟ้าในสภาวะของการเกิดโคโรนา (Corona Saturation)

สนามไฟฟ้าที่ขอบแนวทางเดินของสายส่งไฟฟ้า (R.O.W) สามารถหาได้สมการ

$$E_s = 1.46 \times [1 - e^{-2.5P_H/H}] \times [e^{-0.7(X-P_H/2)/H}] \times V/H \quad (11)$$

$$\text{เงื่อนไขของสมการ } 1 < \frac{X - P_H}{H} < 4$$

สนามไฟฟ้าแรงสูงสุดในสภาวะของการเกิดโคโรนา (corona saturation) สามารถหาได้จากสมการ

$$E_s = 1.31 \left[1 - e^{-1.7P_H/H} \right] \frac{V}{H} \quad (12)$$

เมื่อ

E_s = ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในสภาวะโคโรนา, P_H = ระยะห่างของสายตัวนำ, H = ความสูงของสายตัวนำเหนือพื้นดิน, V = แรงดันไฟฟ้าของระบบ

2.2.3 ระดับโคโรนาสูงสุด (Degree of Corona Saturation)

ระดับของการเกิดโคโรนาของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจะขึ้นอยู่กับค่าเกรเดียนท์โวลต์เตจบริเวณที่ผิวของสายตัวนำและจากฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงส่งผลให้อากาศรอบสายตัวนำมีสภาพการเป็นฉนวนแตกต่างกันออกไป ระดับของการเกิดโคโรนาเมื่อพิจารณาจากค่าสถิติของการเกิดเกรเดียนท์โวลต์เตจ คือ

$$S_e = 1 - e^{-K(G-G_o)} \quad (13)$$

เมื่อ

S = ระดับของการเกิดโคโรนา, G_o = ค่าเกรเดียนท์โวลต์เตจเมื่อเริ่มเกิดแรงดันโคโรนา, G = ค่าเกรเดียนท์ที่ผิวตัวนำ (โดยปกติ $G > G_o$), K = ค่าสัมประสิทธิ์ในการทดสอบดังตาราง[1]

ตารางที่ 1 ระดับโคโรนาสำหรับสภาวะอากาศ(ฝนตก)

	Positive peak		Negative peak		
	G_o kV/cm	K	G_o kV/cm	K	
50%	6	0.058	6	0.058	
95%	6	0.058	6	0.058	

ดังนั้นค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงสำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงสามารถหาได้ดังสมการ 2.27

$$E = E_e + S_e [E_s - E_e] \quad (14)$$

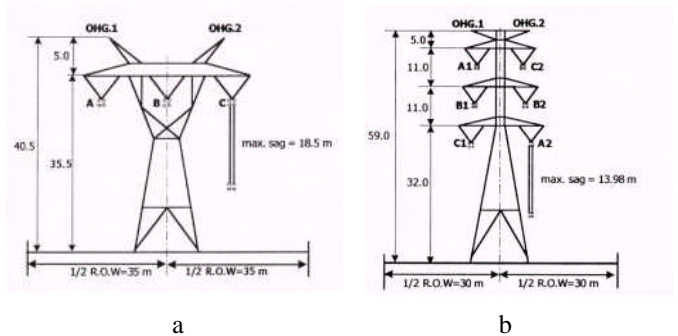
เมื่อ

E = สนามไฟฟ้าที่เกิดบนสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง, E_s = สนามไฟฟ้าเมื่อสายส่งเกิดโคโรนา, E_e = สนามไฟฟ้าในกรณีสายส่งไม่เกิดโคโรนา, S_{50} = สถิติ 50% ของค่าการเกิดโคโรนา

3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

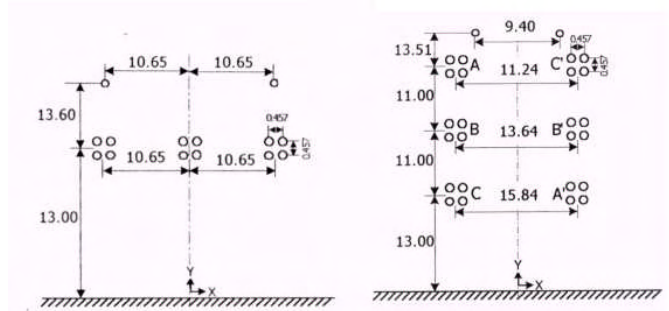
3.1 ลักษณะเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 500 kV

ปัจจุบันสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 500 kV ในประเทศไทยมีจำนวนมากกว่า 2,200 วงจร-กิโลเมตร ในจำนวนนี้แบ่งออกเป็นสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 500 kV ที่ใช้สายตัวนำควม 4 เส้น ขนาด 795 MCM ACSR/GA และสายส่งควม 4 เส้น ขนาด 1272 MCM ACSR/GA สำหรับที่เลือกวิเคราะห์จะเป็นสายส่ง 500 kV ที่ใช้สายตัวนำควม 4 เส้น ขนาด 795 MCM ACSR/GA ซึ่งมีทั้งชนิดวงจรเดี่ยว (SINGLE CIRCUIT) และ วงจรคู่ (DOUBLE CIRCUIT) ซึ่งลักษณะของวงจรทั้งสองนอกจากจะมีความแตกต่างกันทางโครงสร้างแล้วยังมีความแตกต่างกันในเรื่องของระยะความกว้างของเขตแนวการเดินสาย (ROW) และระยะห่างเสาไฟฟ้า (Span Length) ตามรายละเอียดดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1. Tower 500 kV Thailand configuration 795 MCM ACSR/GA 4 bundle

a. Single circuit b. Double circuit

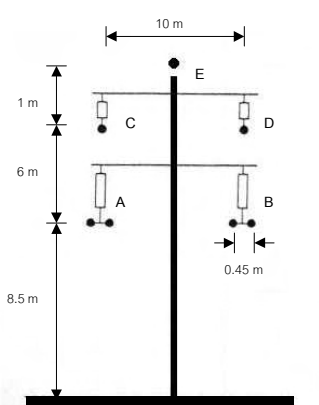


รูปที่ 2. Lateral 500 kV Thailand configuration at midspan single circuit and double circuit

3.2 ลักษณะเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง 300 kV

โครงการระบบส่งไฟฟ้า เชื่อมโยงไทย - มาเลเซีย ระยะที่ 2 ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการ กฟผ เมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2536 เป็นระบบส่งไฟฟ้าขนาดแรงดัน 300 kV กระแสตรง (HVDC) แบบ Point to Point สามารถแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าได้ 300 MW โดยก่อสร้างแบบ MONOPOLAR เพื่อแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า 300 MW สองทางระหว่าง กฟผ. และการไฟฟ้ามาเลเซีย(TNB) และยังได้เตรียมการสำหรับขยายระบบในอนาคตให้ เป็นแบบสองวงจร (Bipolar) เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็น 600 MW สายส่ง HDVC จึงก่อสร้างโดยใช้ตัวนำ แบบสองวงจร(BIPOLAR) เพื่อรองรับพลังงานไฟฟ้าอีก 300 MW BIPOLAR ต่อไป ระบบ MONOPOLAR สามารถรองรับพลังงานต่อเนื่อง 300 MW ที่ 300 kV 1000 A ที่ DC Terminal ของโดยข้อมูลของสายตัวนำ

ข้อมูล	สายส่งไฟฟ้า300 kV MONOPOLARและBIPOLAR
1. สายตัวนำ	$\Phi = 0.0303$ m 2 BUNDLE (ACSR/GA CARDINAL)
2. สายนิวทอล	$\Phi = 0.022$ m (477 MCM ACSR/GA HEN)
3. OPGW	$\Phi = 0.012$ m (12 CORES SINGLE - MODE DISPERSION SHIFTED)



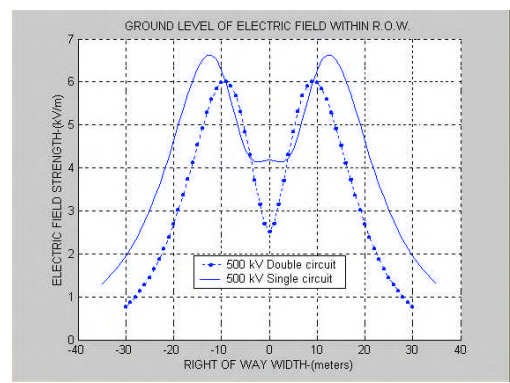
รูปที่ 3. Lateral 300 kV HVDC Thailand configuration at midspan

4. ผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้า

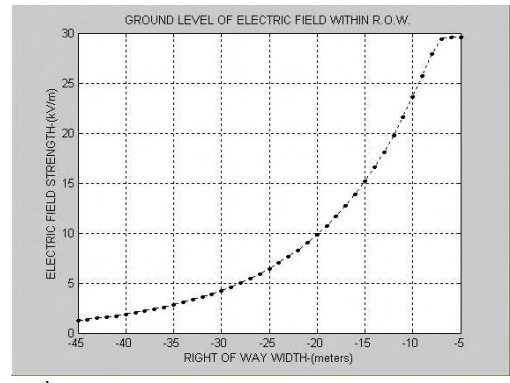
จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กบนพื้นดินที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงทั้งสองชนิด พบว่าค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะมีค่าสูงสุดบริเวณตำแหน่งคกทังข้างของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง และในการวิเคราะห์รูปแบบ 3 มิติของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การเปลี่ยนแปลงไปตามระยะหย่อนตัวของสายไฟที่ซึ่งสรุปไว้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าสูงสุดที่ตำแหน่งคกทังข้างและที่ขอบแนวเดินสายส่งไฟฟ้า(R.O.W)

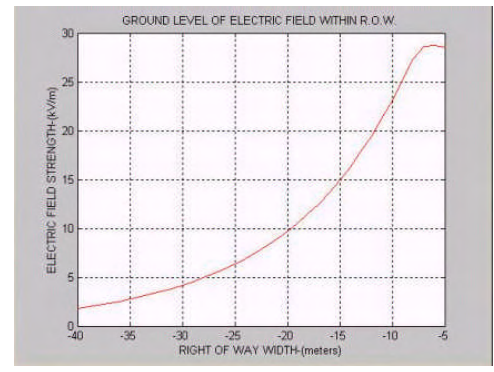
Electric field at Ground (kV/m)		
Configulation	Edge of R.O.W	Maximum
HVAC Transmission line of Thailand		
500 kV (single circuit)	1.219	6.630
500 kV (double circuit)	0.764	6.012
HVDC Transmission line of Thailand (rain weather)		
300 kV (monopolar)	9.137	29.643
300 kV (bipolar, positive)	9.688	28.688
300 kV (bipolar, negative)	-9.688	-28.688

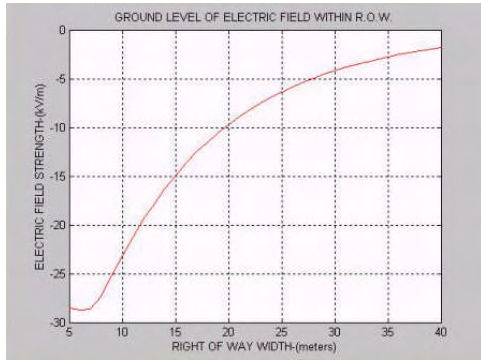


รูปที่ 4. Lateral electric field profiles for 500 kV HVAC single circuit and double circuit configuration



รูปที่ 5. Lateral electric field profiles for 300 kV HVDC Monopolar configuration (+300 kV)

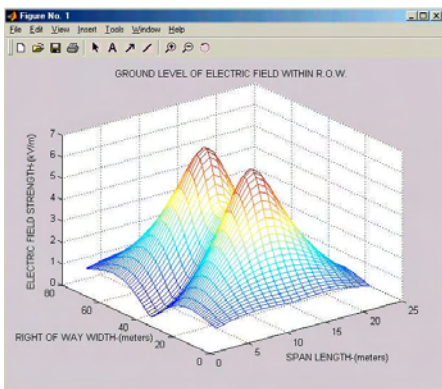




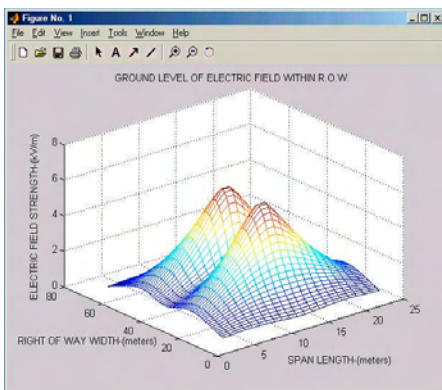
b

รูปที่ 6. Lateral electric field profiles for 300 kV HVDC Bipolar configuration

a. positive (+300 kV) b. negative (-300 kV)



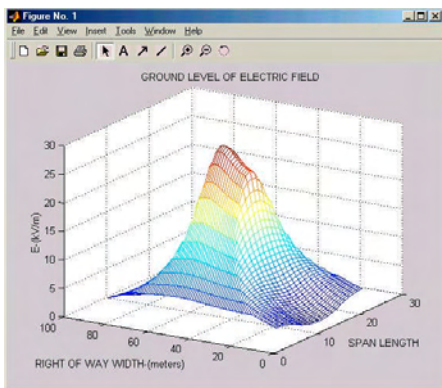
a.



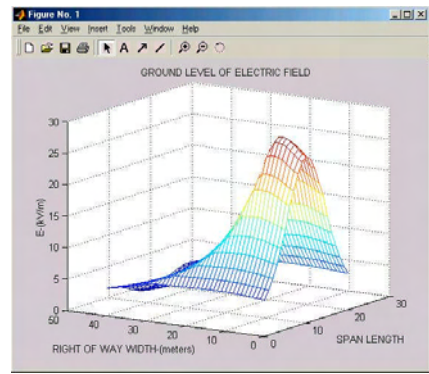
b

รูปที่ 7. Longitudinal electric field profiles for 500 kV HVAC

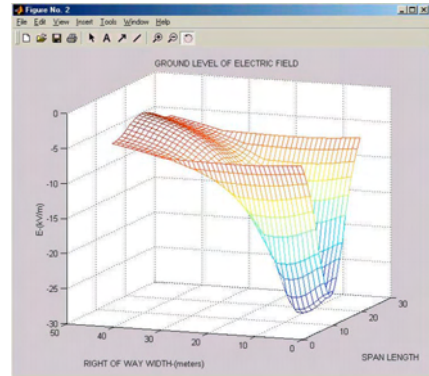
a. single circuit b. double circuit



a.



b.(positive)



c.(negative)

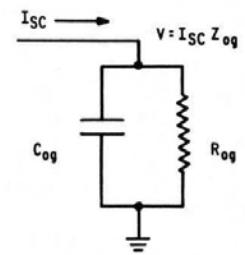
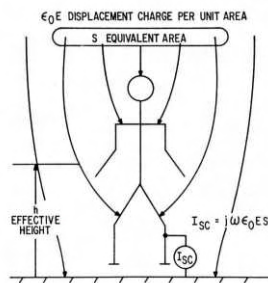
รูปที่ 7. Lateral electric field profiles for 300 kV HVDC

a. monopolar(+300 kV) b. bipolar(+300 kV) c. bipolar(-300 kV)

5. ผลกระทบจากสนามไฟฟ้าต่อวัตถุขนาดใหญ่ใกล้สายส่งไฟฟ้า

5.1 สายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ

การเหนี่ยวนำเนื่องจากสนามไฟฟ้ากับวัตถุตัวนำภายใต้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับหรือเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า "Electrostatic Effect" ซึ่งเราสามารถพิจารณาค่าพารามิเตอร์ในปรากฏการณ์นี้ได้เป็น กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induced Current) หรือเรียกว่ากระแสชอร์ตเซอร์กิต (I_{SC}) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมวัตถุ (V ; Potential of the object) และพลังงานสะสมในวัตถุ (W : Stored Energy)



รูปที่ 8 วงจรสมมูลย์ของวัตถุตัวนำภายใต้สนามไฟฟ้า

$$I_{SC} = (j\omega\epsilon_0 E)(S) \quad (15)$$

$$V = \frac{I_{SC}}{j\omega C_{og} + \frac{1}{R_{og}}} \quad (16)$$

$$W = C_{og} (V_{oc})_{r.m.s}^2 \quad (17)$$

เมื่อ I_{SC} คือกระแสชอร์ตเซอร์กิต (แอมป์ :A) , $j\omega\epsilon_o E$ คือ ดิสเพลสเมนต์ของกระแสไฟฟ้า (แอมป์ ต่อ ตารางเมตร: A/m²), S คือ พื้นที่สมมูลย์ของวัตถุตัวนำ (ตารางเมตร: m²)

5.2 สายส่งไฟฟ้ากระแสตรง

ในส่วนของการเหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจะพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าจากความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้า (ion current density , J) มีหน่วยเป็น A/m² ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการ ดังนี้

$$J = \rho \cdot \mu \cdot E_{DC} \quad (18)$$

เมื่อ

E_{DC} คือ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง

ρ คือ ความหนาแน่นประจุไฟฟ้า

μ คือ อัตราการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้า (ion mobility)

ค่าความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าโดยใช้วิธี HVTRC [3] เช่นเดียวกันกับการหาค่าสนามไฟฟ้า นั่นคือพิจารณาจากสภาวะการเกิดโคโรน่าของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง โดยสมมติฐานคือไม่มีประจุไฟฟ้าที่ตัวนำ ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่ตัวนำมีค่าเป็นศูนย์ ค่าความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าสูงสุด เมื่อสายส่งอยู่ในสภาวะที่เกิดโคโรน่า คือ

$$J_s (+) = 1.65 \times 10^{-15} [1 - e^{-0.7P/H}]. \frac{V^2}{H^2} \quad (19)$$

$$J_s (-) = -2.15 \times 10^{-15} [1 - e^{-0.7P/H}]. \frac{V^2}{H^2} \quad (20)$$

เมื่อ $\mu(+)=1.5 \times 10^{-4} m^2 / v.s$ และ $\mu(-)=1.15 \times 10^{-4} m^2 / v.s$ และค่าของความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงสำหรับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงที่มีการส่งจ่ายในแบบไบโพลาร์ คือ

$$J_{DC} (+) = J_e + S(+)[J_s - J_e] \quad (21)$$

$$J_{DC} (-) = J_e + S(-)[J_s - J_e] \quad (22)$$

เมื่อ

$J_{DC}(+)$ = ความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง **ขึ้น** ขั้วบวก

$J_{DC}(-)$ = ความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง **ลง** ขั้วลบ

= ระดับการอิมิตตัวของโคโรน่า

J_s = ความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าขณะเกิดโคโรน่าสูงสุด

J_e = ความหนาแน่นประจุกระแสไฟฟ้าขณะไม่เกิดโคโรน่า

ในขณะที่เกิดโคโรน่าสูงสุดสมมติฐานก็คือไม่มีประจุใดๆอยู่ที่สายตัวนำ ดังนั้น $J_e=0$ ดังนั้นในการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง กับวัตถุตัวนำพิจารณาจากการแปรผัน

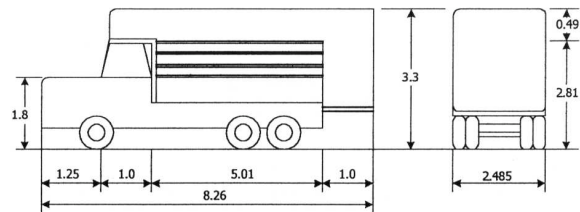
ตรงระหว่าง ค่าความหนาแน่นประจุไฟฟ้า(ต่อพื้นที่) กับ พื้นที่สมมูลย์ของวัตถุตัวนำ

$$I_{SC} (DC) = J \cdot S \quad (23)$$

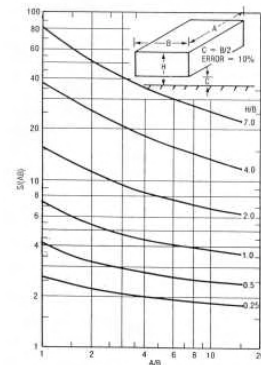
$$V_o = I_{SC} (DC) \times R_o \quad (24)$$

$$W = \frac{1}{2} C_o V_o^2 \quad (25)$$

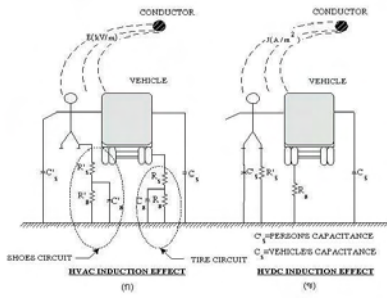
เราสามารถพิจารณาผลกระทบจากสนามไฟฟ้าที่มีต่อวัตถุตัวนำขนาดใหญ่เช่น บ้าน ช้างฉาง รั้ว ฯลฯ [3] ในบทความนี้ยกตัวอย่างรถบรรทุกที่จอดอยู่ใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยเปรียบเทียบผลกระทบเมื่ออยู่ภายใต้สายส่งไฟฟ้ากระแสสลับและสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง และถูกใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องมาจากความหนาแน่นของประจุไฟฟ้าสูงสุด(Maximum Current Density)



รูปที่ 9. ขนาดของรถบรรทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบจากสนามไฟฟ้าภายใต้สายส่งไฟฟ้ากระแสตรงและสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ



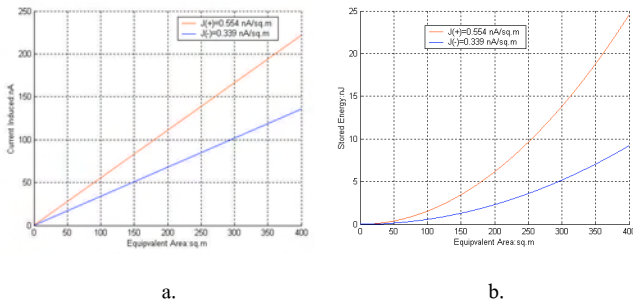
รูปที่ 10. Shape factor of vehicle [3] for equivalent area



รูปที่ 11 วงจรสมมูลย์ของคนเมื่อสัมผัสรถบรรทุกภายใต้สนามไฟฟ้ากระแสสลับและสนามไฟฟ้ากระแสตรง

Table 3 .The current density of HVDC of Thailand

The current density(J) ;300 kV		
J	Maximum	Edge of R.O.W
Monopolar		
J(+)	85.63 nA/m ²	4.49 nA/m ²
Bipolar		
J(+)	85.63 nA/m ²	4.49 nA/m ²
J(-)	-111.59 nA/m ²	-6.98 nA/m ²
u(+)=1.15x10 ⁻⁴ m/s ² , u(-)=1.5x10 ⁻⁴ m/s ²		

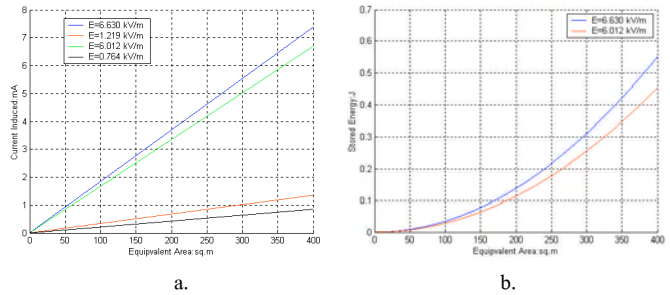


รูปที่ 12. ผลการวิเคราะห์ภายใต้(HVDC) a. current density b.energy stored

Table 4 .The Electric field effect to vehicles

500 HVAC Transmission line (maximum effect)				
E (kV/m ²)	I _{SC} (mA)	V _{og} (V)	W(mJ)	C _{og} =1000 pF R _{0g} = 1 M Ω [2]
Maximum				
6.63	2.27	7225	52.20	
6.01	2.06	6557	42.99	
Edge of R.O.W				
1.22	0.42	1327	1.76	
0.77	0.26	834	0.695	
300 HVDC Transmission line(maximum effect)				
J(nA/m ²)	I _{SC} (uA)	V _o (V)	W(nJ)	C _o =1000 pF R ₀ = 1 M Ω [2]
Maximum				
85.63	10.54	10.54	55.56	
-111.59	-13.74	-13.74	94.36	
Edge of R.O.W				
4.49	0.55	0.55	0.15	
-6.98	0.86	0.86	0.37	
S =123.12 m²				

การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้ากระแสตรง ผลที่เกิดขึ้นคือ แตกต่างจากสนามไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ ก็จะมีอยู่ในลักษณะที่ประจุสะสมบนวัตถุตัวนำ(Object Charging) โดย



รูปที่ 12. ผลการวิเคราะห์ภายใต้(HVAC) a. current density b.energy stored

พิจารณาจากค่าความหนาแน่นของกระแส เมื่อดูผลของกระแสเหนี่ยวนำเมื่อไหลผ่านวัตถุลงกราวด์ พบว่าค่ากระแสเหนี่ยวนำซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันสูงกระแสสลับมีค่าอยู่ในระดับ มิลลิแอมป์ (mA) ส่วนกระแสเหนี่ยวนำซึ่งมาจากแรงดันสูงกระแสตรง มีค่าอยู่ในระดับนาโนแอมป์ (nA) เมื่อพิจารณากับมนุษย์[2] เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าทั้งสองพบว่าค่ากระแสเหนี่ยวนำเริ่มต้นที่คนสามารถรู้สึกในส่วนกระแสสลับมีค่ามากกว่า 1 mA ในส่วนกระแสตรงต้องมีค่ามากกว่า 5 mA เมื่อพิจารณาถึงไฟฟ้าระหว่างวัตถุกับกราวด์ ในส่วนของสนามไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นฟังก์ชันของ อิมพีแดนซ์ (คาปาซิแตนซ์ , ความต้านทาน) ระหว่างวัตถุกับกราวด์ ซึ่งในสนามไฟฟ้ากระแสตรงก็ไฟฟ้าระหว่างวัตถุกับกราวด์เป็นฟังก์ชันของค่าความต้านทานเพียงอย่างเดียวและผลจากการทดสอบพบว่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัตถุกับกราวด์ ในสนามไฟฟ้ากระแสตรงมีค่าน้อยกว่าในสนามไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อพิจารณากับคน เมื่อสัมผัสกับวัตถุตัวนำ อาจจะได้รับอันตรายถ้าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าสูงเป็นร้อยโวลต์ขึ้นไป

7.สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่มาจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรง และสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ และวิเคราะห์ผลกระทบในรูปของสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อวัตถุตัวนำขนาดใหญ่ใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงทั้งสอง โดยวิเคราะห์เป็นแนวทางให้สามารถเข้าใจถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดขึ้นแนวโน้มความรุนแรงจากสายส่งไฟฟ้ากระแสตรงน้อยกว่าสายส่งไฟฟ้ากระแสสลับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Electric Power Research Institute. Transmission Line Reference Book 345 kV and Above. 2 nd Ed. California 1982.
- [2] Electric Power Research Institute. Transmission Line Reference Book HVDC To +600 kV , Palo Alto, California
- [3] Electric Power Research Institute. HVDC Transmission Line Reference Book. EPRI TR-102764 Project 2472-03 Final Report, Palo Alto, California, 1993