การพิจารณาการจัดเรียงตัวนำของสายส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV ที่มีผลต่อค่าสนามแม่เหล็กด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์

A Consideration of Conductor Alignments of 115 kV Transmission Line effecting on Magnetic Field by Using Finite Element Method

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์[1] ชัยยุทธ์ สัมภวะคุปต์[1] วรายุทธ คัมภีราวัฒน์[1] และ เผด็จ เผ่าละออ[2]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 โทรศัพท์ : 0-2988-3666 ต่อ 3304 E-mail: arnon@mut.ac.th

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กของสายส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อยที่มีความซับซ้อนในการหาค่าผลเฉลย โดยบทความนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ถึงผลของการจัดเรียงตัวนำสายส่งกำลังไฟฟ้าที่ส่งผลต่อค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นภายในเขตเดินสายไฟ โดยพิจารณาระบบ 115 kV วงจรเดี่ยว ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าแรงสูงที่มีรูปแบบการวางตัวนำที่มีความหลากหลาย ซึ่งในการจำลองหาค่าสนามแม่เหล็กได้พิจารณารูปแบบการวางตัวนำที่นิยมทั้งหมด 3 รูปแบบ โดยมุ่งเน้นพิจารณาถึงผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่มีต่อมนุษย์ที่สัญจรอยู่ใต้สายส่งกำลังไฟฟ้าภายในเขตเดินสายไฟ และเปรียบเทียบค่าของสนามแม่เหล็กที่ได้จากการจำลองกับมาตรฐานของ ICNIRP การจำลองผลได้อาศัยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์เป็นเครื่องมือในการหาค่าผลเฉลย ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายอยู่ในเขตเดินสายไฟทั้ง 3 แบบ ที่มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ICNIRP ซึ่งค่าสนามแม่เหล็กมีค่าไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ที่สัญจรภายใต้เขตเดินสายไฟ

คำสำคัญ: การจัดเรียงตัวนำ, วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์, สนามแม่เหล็ก, ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

Abstract

This paper proposes the mathematical model of magnetic fields distributing around electric power transmission line in the form of complex partial differential equation. The proposed model uses to analyze effects of magnetic field distributing near the row of ways from different conductor alignments. By considering single-circuit 115 kV transmission line, a high voltage system with various forms of conductor alignments, three frequently forms of conductor alignment are selected for this analysis. The main objective is to consider and compare amount of magnetic field density which may affect on humans who live or walk near the row of ways based on ICNIRP's standard. The comparisons use finite element method to simulate the magnetic field distributing around conductors. The result show that the amount of magnetic field density due to the considered conductor alignments is lower than the hazardous value based on ICNIRP's standard.

Keywords: Conductor Alignments, Finite Element Method, Magnetic Fields, Transmission System

1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยแบ่งระดับของแรงดันออกเป็น 4 ระดับคือ ระดับแรงดันต่ำ ระดับแรงดันปานกลาง ระดับแรงดันสูงและระดับแรงดันสูงพิเศษ โดยที่แต่ละระดับแรงดันจะมีโครงสร้างการวางตัวของกลุ่มตัวนำ (Conductor Alignment) และเสาไฟฟ้าที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้ค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายตัวออกมาจากสายส่งกำลังไฟฟ้ามีความแตกต่างกัน โดยขนาดของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งและระยะห่างระหว่างจุดที่พิจารณากับกลุ่มตัวนำสายส่ง บทความนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากรูปแบบการวางตัวนำของระบบ 115 kV วงจรเดี่ยว ที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ ได้แก่แบบแนวนอน แบบสามเหลี่ยม และแบบแนวตั้ง ที่ส่งผลต่อบุคคลที่สัญจรอยู่ข้างล่างในแนวเขตเดินสายไฟ โดยการจำลองผลได้อาศัยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ (Finite Element Method: FEM) แบบ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม MATLAB พร้อมได้ดำเนินการเปรียบเทียบระดับอันตรายของสนามแม่เหล็กกับมาตรฐาน ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection)

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็ก[1]

แบบจำลองของสนามแม่เหล็กที่กระจายรอบบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในรูปแบบ 2 มิติสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (1)

$$\nabla^2\mathbf{H} - \left(\frac{1}{v^2}\right)\left(\frac{\partial^2\mathbf{H}}{\partial t^2}\right) - \mu\sigma\left(\frac{\partial\mathbf{H}}{\partial t}\right) = 0 \qquad (1)$$

จากคุณสมบัติของระบบที่เป็น time-harmonic อย่างเช่นในระบบสายส่งไฟฟ้าจะได้

$$\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \approx j\omega H \quad \text{และ} \quad \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \approx -\omega^2 H$$

จากสมการที่ (1) จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ได้ดังสมการที่ (2)

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} + (\mu\varepsilon\omega^2 - j\mu\sigma\omega)H = 0 \qquad (2)$$

โดยที่ $\mu = \mu_0\mu_r$ และ $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$ เมื่อ μ_r คือ สภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ และ ε_r คือ สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ซึ่ง $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ H/m, $\varepsilon_0 = 8.854\times10^{-12}$ F/m ประยุกต์วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างด้วยวิธีกาเลอร์คิน ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ จากนั้นดำเนินการจัดรูปสมการรวมของระบบให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นดังสมการที่ (3) เพื่อหาค่าผลเฉลย

$$[K]\{H\} = \{f\} \qquad (3)$$

โดยที่

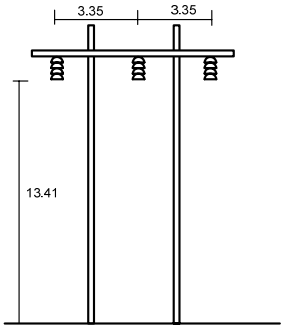
K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของระบบรวม

H คือ ค่าสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่า ณ ตำแหน่งโนดต่าง ๆ

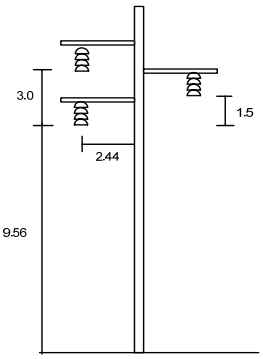
f คือ ค่าแรงภายนอกที่มากระทำ ณ ตำแหน่งโนดต่าง ๆ

3. ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

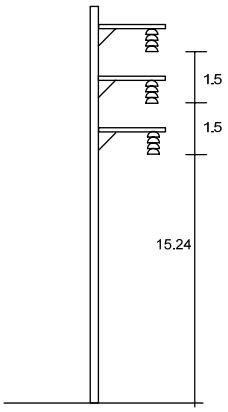
ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังกลุ่มโหลดที่กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ โดยดำเนินการส่งจ่ายด้วยระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV 115 kV 230 kV และ 500 kV ลักษณะของเสาไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันตามพิกัดของแรงดัน ในบทความนี้พิจารณาลักษณะของเสาไฟฟ้าที่พิกัดแรงดัน 115 kV วงจรเดี่ยวเท่านั้น โดยเสาไฟฟ้าระบบ 115 kV วงจรเดี่ยวจะมีรูปแบบของการวางตำแหน่งตัวนำเป็น 3 แบบ คือ แบบแนวนอน แบบสามเหลี่ยม และแบบแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 1-3 [2]



รูปที่ 1 การวางตำแหน่งตัวนำแบบแนวนอน



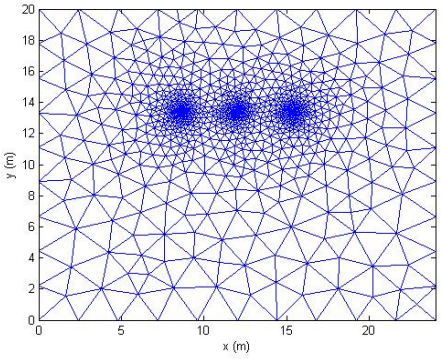
รูปที่ 2 การวางตำแหน่งตัวนำแบบสามเหลี่ยม



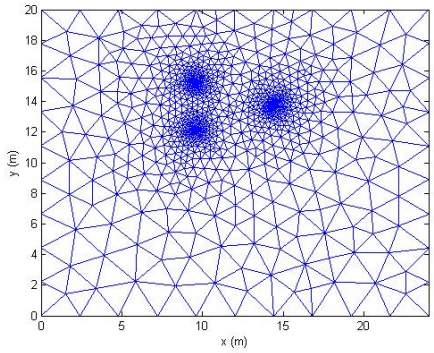
รูปที่ 3 การวางตำแหน่งตัวนำแบบแนวตั้ง

4. ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์

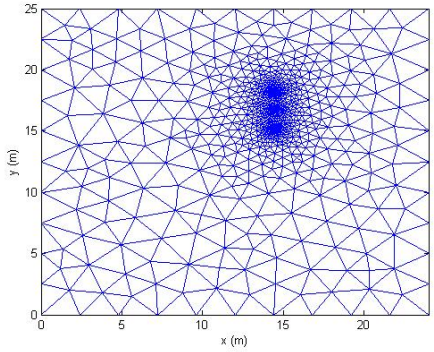
ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ โดยการแบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหาออกเป็นอิลิเมนท์ แล้วสร้างสมการของแต่ละอิลิเมนท์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์และอิลิเมนท์ต่าง ๆ จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อซึ่งเป็นตำแหน่งที่คำนวณหาค่าผลเฉลยแบบประมาณ [3] บทความนี้ได้วิเคราะห์ค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้า 115 kV โดยมีการเรียงตัวของตัวนำ 3 แบบ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ผลการแบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV ที่มีการวางตำแหน่งตัวนำทั้ง 3 แบบ ออกเป็นอิลิเมนท์แสดงดังรูปที่ 4-6



รูปที่ 4 แบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV ที่มีการวางตำแหน่งตัวนำแบบแนวนอนออกเป็นอิลิเมนท์



รูปที่ 5 แบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV ที่มีการวางตำแหน่งตัวนำแบบสามเหลี่ยมออกเป็นอิลิเมนท์



รูปที่ 6 แบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV ที่มีการวางตำแหน่งตัวนำแบบแนวตั้งออกเป็นอิลิเมนท์

5. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและพารามิเตอร์

บทความนี้ได้อาศัยหลักการคำนวณสนามแม่เหล็กด้วยวิธีพื้นฐาน[4] เพื่อคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กบริเวณขอบของตัวนำสายส่งในแต่ละรูปแบบการจัดเรียง ซึ่งค่าสนามแม่เหล็กที่พิจารณาจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นจำนวนจริงและส่วนที่เป็นจำนวนจินตภาพ และกำหนดให้ค่าสนามแม่เหล็กที่บริเวณขอบของตัวนำแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน บทความนี้กำหนดให้กระแสที่ไหลในแต่ละเฟสมีค่าเท่ากับ 145 A [3] ซึ่งเป็นค่ากระแสมากที่สุดสำหรับสายส่งชนิด AAC โดยค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งขอบของตัวนำในแต่ละรูปแบบการจัดเรียงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

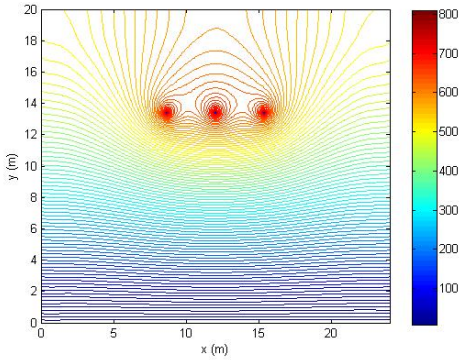
ตารางที่ 1 ค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีพื้นฐาน ณ ตำแหน่งขอบของตัวนำเมื่อมีการจัดเรียงตำแหน่งตัวนำในแบบต่าง ๆ

ตัวนำเฟส	ค่าสนามแม่เหล็กที่ขอบตัวนำ (μT)		
	การจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน	การจัดเรียงตัวนำแบบสามเหลี่ยม	การจัดเรียงตัวนำแบบแนวตั้ง
A	566.65+j576.72	716.92+j555.92	576.70+j570.02
B	550.65+j602.37	578.27+j579.93	553.23+j599.77
C	573.88+j591.47	724.95+j557.08	606.68+j551.04

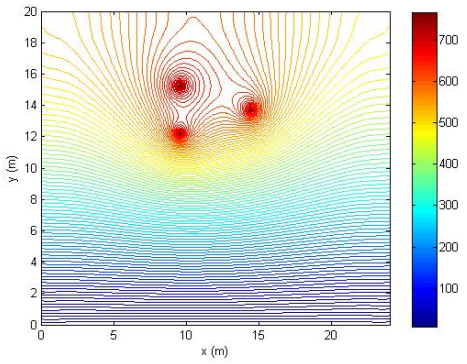
ตัวนำที่ใช้ในการจำลองผลระบบ 115 kV จะกำหนดให้สายส่งเป็นอลูมิเนียมเปลือยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm และค่าคงที่ทางไฟฟ้าของตัวนำมีค่าดังต่อไปนี้ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ε_r) เป็น 3.5 ค่าความนำไฟฟ้า (σ) เป็น $0.8\text{x}10^7$ และค่าซึมซาบได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r) เป็น 300

6. ผลการจำลอง

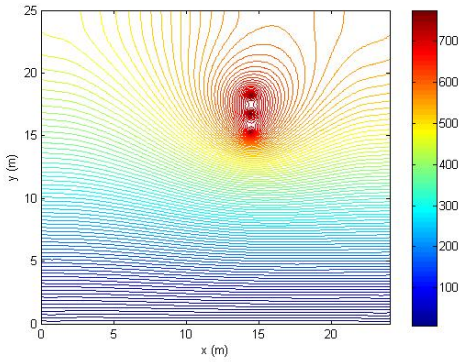
การจำลองผลในบทความนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ที่พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นเองเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ค่าสนามแม่เหล็ก โดยวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายส่งตัวนำ เมื่อมีการจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน แบบสามเหลี่ยมและแบบแนวตั้ง ที่ระยะความสูงต่าง ๆ ซึ่งผลการจำลองแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 7 การกระจายสนามแม่เหล็ก (μT) เมื่อจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน



รูปที่ 8 การกระจายสนามแม่เหล็ก(μT)เมื่อจัดเรียงตัวนำแบบสามเหลี่ยม



รูปที่ 9 การกระจายสนามแม่เหล็ก (μT) เมื่อจัดเรียงตัวนำแบบแนวตั้ง

รูปที่ 7, 8 และ 9 แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กเมื่อมีการจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน แบบสามเหลี่ยมและแบบแนวตั้ง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสนามแม่เหล็กจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณตำแหน่งของตัวนำ และจะมีค่าลดน้อยลงไปเมื่อระยะห่างจากตัวนำมีค่ามากขึ้น โดยช่วงระยะความสูง 1-2 m (ความสูงเฉลี่ยของมนุษย์) ค่าสนามแม่เหล็กเมื่อมีการจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน แบบสามเหลี่ยมและแบบแนวตั้งมีค่าอยู่ในช่วง 32.63-64.59 μT 43.85-87.07 μT และ 41.03-81.64 μT ตามลำดับ ซึ่งตารางที่ 3 เป็นการยืนยันว่าค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการจัดเรียงตัวนำทั้ง 3 แบบนี้ อยู่ในระดับที่มนุษย์สามารถสัญจรไปมาได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย เนื่องจากค่าสนามแม่เหล็กตามมาตรฐาน ICNIRP กำหนดว่าต้องมีค่าสนามแม่เหล็กไม่เกิน 100 μT ดังตารางที่ 3 และจากผลการดำเนินงานพบว่า ถ้าพิจารณาตามระยะความสูง เมื่อมีการจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน ระยะความสูงที่ไม่มีผลกระทบจากสนามแม่เหล็กต่อร่างกายมนุษย์ต้องไม่เกิน 3.10 m แบบสามเหลี่ยมระยะความสูงต้องไม่เกิน 2.29 m และแบบแนวตั้งระยะความสูงต้องไม่เกิน 2.45 m

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีการจัดเรียงตัวนำในแต่ละแบบ ที่ระยะความสูงต่าง ๆ

ระยะความสูง y (m)	ค่าสนามแม่เหล็ก (μT)		
	การจัดเรียงตัวนำแบบแนวนอน	การจัดเรียงตัวนำแบบสามเหลี่ยม	การจัดเรียงตัวนำแบบแนวตั้ง
1	32.63	43.85	41.03
2	64.59	87.07	81.64
5	161.40	217.63	204.07
10	322.84	434.96	407.90
15	483.42	585.14	547.00
20	537.25	588.88	547.36
25	537.59	582.67	541.46

ตารางที่ 3 ค่าสนามแม่เหล็กตามมาตรฐาน ICNIRP สำหรับระบบ 50Hz

กิจกรรม	ค่าสนามแม่เหล็ก (μT)
สถานประกอบการ	
ตลอดทั้งวัน	500
ช่วงเวลาสั้น (2 ชั่วโมง/วัน)	5000
สถานที่สาธารณะ	
ตลอดทั้งวัน	100
2-3 ชั่วโมง/วัน	1000

7. สรุป

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การจัดเรียงของตัวนำสายส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV วงจรเดี่ยว ที่มีผลต่อค่าสนามแม่เหล็กด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์เทียบตามมาตรฐาน ICNIRP ซึ่งผลจากการดำเนินงานเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับบุคคลหรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่ต้องทำงานหรืออยู่ในแนวเขตเดินสายไฟของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV เพราะจะได้ทราบถึงระยะความสูงที่ปลอดภัยในการเข้าใกล้สายส่งกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวนำทั้งแบบแนวนอน แบบสามเหลี่ยม และแบบแนวตั้ง โดยที่การจัดเรียงตัวนำแบบแนวตั้งจะมีค่าสนามแม่เหล็กมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] Sadiku and Matthew N.O., “Numerical Techniques in Electromagnetics”, CRC Press, Florida: 2000.

[2] ชวลิต ดำรงรัตน์, “การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพ ฯ: 2533.

[3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, “ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม”, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ: 2542.

[4] พิทักษ์ ปิ่นอนงค์, “การวิเคราะห์ผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงเหนือพื้นดินและกรณีศึกษาการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง: 2545.

ประวัติผู้เขียนบทความ

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ชัยยุทธ์ สัมภวะคุปต์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

วรายุทธ คัมภีราวัฒน์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เผด็จ เผ่าละออ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี โทและเอก สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี