

การเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กของระบบส่งกำลังไฟฟ้า 115 kV เมื่อจ่ายโหลดในวันปกติและวันหยุด ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

A Comparison of Magnetic Fields of 115 kV Transmission Line loading on official day and weekend by Using Finite Element Method

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์ สุนทร พิมพ์สวัสดิ์ และ ชัยรัตน์ ประทุมทอง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถ.เชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530 โทรศัพท์ : 0-2988-3666 ต่อ 3304 E-mail: amon@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ถึงผลของสนามแม่เหล็กที่กระจายออกมาจากสายส่งกำลังไฟฟ้าขนาดแรงดัน 115 kV ที่ตกกระทบต่อร่างกายมนุษย์ที่สัญจรอยู่ภายใต้สายส่ง โดยระบบส่งจ่ายที่พิจารณาเป็นสายส่งวงจรเดี่ยว สายคู่ควบ ซึ่งการจำลองหาค่าสนามแม่เหล็กได้พิจารณากระแสโหลดที่จ่ายโหลดตลอด 24 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็นกระแสโหลดที่ไหลในวันทำงานปกติ(วันจันทร์ถึงศุกร์) และวันหยุด(วันเสาร์และวันอาทิตย์) บทความนี้มุ่งเน้นพิจารณาถึงผลการเปรียบเทียบของสนามแม่เหล็กทั้งสองกรณีและเปรียบเทียบผลการจำลองกับมาตรฐานของ ICNIRP การจำลองผลได้อาศัยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นเครื่องมือในการหาค่าผลเฉลย ผลการจำลองที่ได้แสดงให้เห็นถึงค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายในขณะจ่ายโหลดในวันทำงานปกติมีค่ามากกว่าวันหยุดในช่วงเวลา 06.00 น. ถึง 19.00 น. และมีค่าน้อยกว่าวันหยุดในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 06.00 น. และตลอดทั้งวันค่าสนามแม่เหล็กมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ICNIRP ซึ่งค่าสนามแม่เหล็กมีค่าไม่เพียงพอที่ทำให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ที่สัญจรอยู่ใต้เขตเดินสายไฟ

คำสำคัญ: วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, สนามแม่เหล็ก, มาตรฐาน ICNIRP
ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

Abstract

This paper presents an analysis of magnetic field distributing around 115 kV power transmission line which may affect to humans living near the row of ways. The considered transmission line is a single circuit of two-bundle conductor. In this analysis, magnetic field due to load current carried by the line through 24 hours is simulated by considering the time when current is loaded in 2 different periods, i.e. official day (Monday-Friday) and weekend (Saturday-Sunday). The study addresses to the comparison of the magnetic field value in the 2 periods and the criterion based on ICNIRP standard. The simulation

utilizes Finite Element Method for obtaining the solutions. The results show that the magnetic field values due to loads on official day are more than those due to loads on weekend in the period of 6 am - 7 pm and less than those due to loads on weekend in other period. However, the simulated magnetic field values of all periods are lower than the criteria of ICNIRP standard, they are not much enough to harm humans living near the row of ways.

Keywords: Finite Element Method, Magnetic Fields, ICNIRP Standard, Transmission System

1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยแบ่งระดับของแรงดันออกเป็น 4 ระดับคือ ระดับแรงดันต่ำ ระดับแรงดันปานกลาง ระดับแรงดันสูงและระดับแรงดันสูงพิเศษ โดยที่แต่ละระดับแรงดันจะมีกระแสที่ไหลในตัวนำที่แตกต่างกัน รวมทั้งโครงสร้างเสาที่แตกต่างกันจึงส่งผลให้ค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายตัวออกมาจากสายส่งกำลังไฟฟ้ามีความแตกต่างกัน โดยขนาดของสนามแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งและระยะห่างระหว่างจุดที่พิจารณากับกลุ่มตัวนำสายส่ง บทความนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ถึงผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสโหลดที่จ่ายโหลดตลอด 24 ชั่วโมงของระบบ 115 kV วงจรเดี่ยว แบบคู่ควบ โดยวัดค่ากระแสที่จ่ายโหลดในวันศุกร์ (แทนโหลดวันทำงานปกติ) และกระแสที่จ่ายโหลดในวันอาทิตย์ (แทนโหลดวันหยุด) ที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ที่สัญจรอยู่ข้างล่างในแนวเขตเดินสายไฟ โดยการจำลองผลได้อาศัยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) แบบ 2 มิติ ด้วยโปรแกรม MATLAB พร้อมได้ดำเนินการเปรียบเทียบระดับอันตรายของสนามแม่เหล็กที่ได้จากกระแสโหลดทั้งสองกรณีกับมาตรฐาน ICNIRP (International Commission on No Ionizing Radiation Protection)

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็ก[1]

แบบจำลองของสนามแม่เหล็กที่กระจายรอบบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในรูปแบบ 2 มิติสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (1)

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

จากคุณสมบัติของระบบที่เป็น time-harmonic อย่างเช่นในระบบสายส่งไฟฟ้าจะได้

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

จากสมการที่ (1) จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ได้ดังสมการที่ (2)

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

โดยที่ $\mu = \mu_0\mu_r$ และ $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ เมื่อ μ_r คือ สภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ และ ϵ_r คือ สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ซึ่ง $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ประยุกต์วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษคคลังด้วยวิธีกาลเลอร์กิน ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการกำหนดฟังก์ชันการถ่วงน้ำหนักให้เท่ากับฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์ จากนั้นดำเนินการจัดรูปสมการรวมของระบบให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นดังสมการที่ (3) เพื่อหาค่าผลเฉลย

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

โดยที่

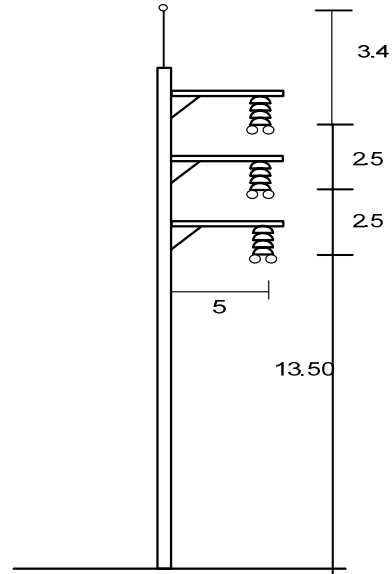
K คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของระบบรวม

H คือ ค่าสนามแม่เหล็กที่ไม่ทราบค่า ณ ตำแหน่งโนดต่าง ๆ

f คือ ค่าแรงภายนอกที่มากระทำ ณ ตำแหน่งโนดต่าง ๆ

3. ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

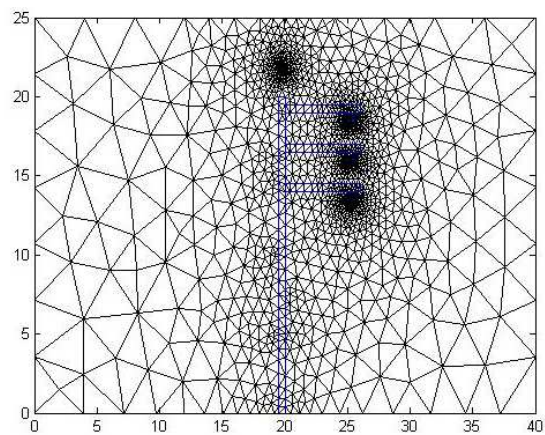
ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังกลุ่มโหลดที่กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ โดยดำเนินการส่งจ่ายด้วยระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV 115 kV 230 kV และ 500 kV ลักษณะของเสาไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันตามพิคของแรงดัน [2] ในบทความนี้พิจารณาลักษณะของเสาไฟฟ้าที่พิคของแรงดัน 115 kV วงจรเดี่ยว ตัวนำคู่ควบเท่านั้น ซึ่งเป็นชนิดของการส่งจ่ายที่พบเห็นได้โดยทั่วไปและมีจำนวนมาก โดยเสาไฟฟ้าระบบ 115 kV วงจรเดี่ยว ตัวนำคู่ควบจะพิจารณาการวางตำแหน่งตัวนำในลักษณะที่เป็นแบบแนวตั้งเท่านั้น ระยะห่างระหว่างสายควบเป็น 0.045 เมตรและมีระยะห่างระหว่างสายตัวนำ รวมทั้งระยะห่างระหว่างสายตัวนำและสายดินเหนือศีรษะ แสดงดังรูปที่ 1 โดยการจำลองผลจะอาศัยเส้นโค้งโหลดในวันปกติและวันหยุดที่ได้จากการบันทึกข้อมูลแต่ละชั่วโมงตลอด 24 ชั่วโมงที่สถานีไฟฟ้าอัยพิณ โลกเป็นกรณีศึกษา



รูปที่ 1 ตำแหน่งสายตัวนำและสายดินเหนือศีรษะ 115 kV วงจรเดี่ยว ตัวนำคู่ควบ

4. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

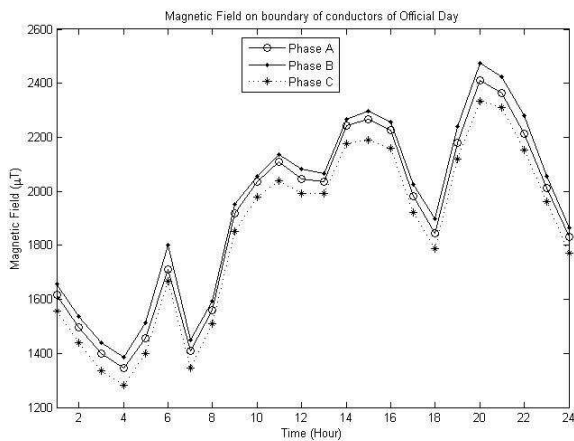
ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาคำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ โดยการแบ่งรูปร่างของขอบเขตของปัญหาออกเป็นเอลิเมนต์ แล้วสร้างสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์และเอลิเมนต์ต่าง ๆ จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อซึ่งเป็นตำแหน่งที่คำนวณหาค่าผลเฉลยแบบประมาณ โดยเลือกใช้การเชื่อมต่อแบบสามเหลี่ยมสามจุดต่อ [3] บทความนี้ได้วิเคราะห์ค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้า 115 kV โดยมีกระแสไหลคในวันปกติและวันหยุด ดังที่กล่าวมาข้างต้น ผลการแบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV ออกเป็นเอลิเมนต์แสดงดังรูปที่ 2



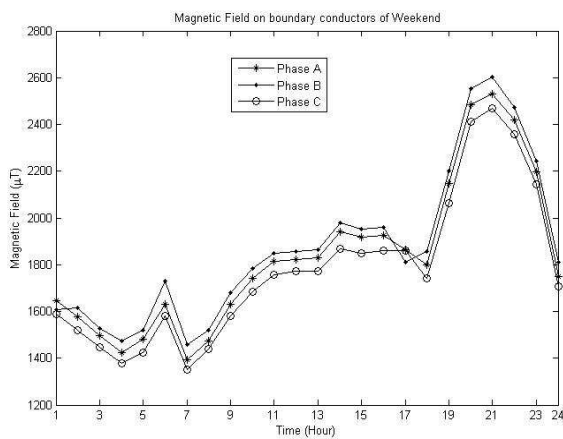
รูปที่ 2 แบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV วงจรเดี่ยว ตัวนำคู่ควบ

5. การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตและพารามิเตอร์

บทความนี้ได้อาศัยหลักการคำนวณสนามแม่เหล็กด้วยวิธีพื้นฐาน[4] เพื่อคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กบริเวณขอบของตัวนำสายส่งเมื่อค่ากระแสไหลดมีการเปลี่ยนแปลงไปทุกชั่วโมง และกำหนดให้ค่าสนามแม่เหล็กที่บริเวณขอบของตัวนำคู่ควบแต่ละเฟสมีค่าเท่ากัน บทความนี้กำหนดให้ระบบส่งจ่ายด้วยสายส่งชนิด AAC ซึ่งเป็นสายส่งที่ไม่มีฉนวนหุ้ม ดังนั้นจึงไม่พิจารณาผลของฉนวนของสายส่ง โดยค่าสนามแม่เหล็กที่ตำแหน่งขอบของตัวนำในแต่ละชั่วโมงซึ่งแยกเป็นวันปกติและวันหยุดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 3 ค่าสนามแม่เหล็ก (μT) ที่ขอบตัวนำสำหรับไหลดวันทำงานปกติ

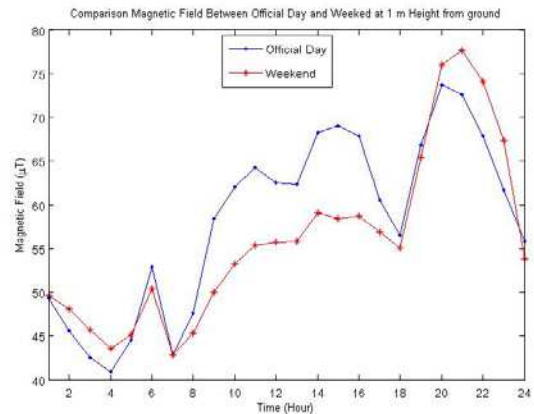


รูปที่ 4 ค่าสนามแม่เหล็ก (μT) ที่ขอบตัวนำสำหรับไหลดวันหยุด

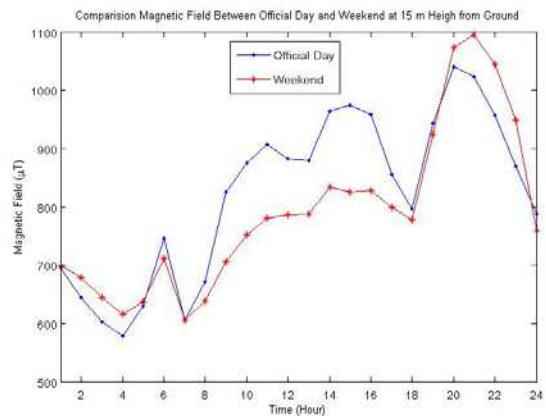
ตัวนำที่ใช้ในการจำลองผลระบบ 115 kV จะกำหนดให้สายส่งเป็นอลูมิเนียมเปลือยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm สายดินเหนือศีรษะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 1.25 cm และค่าคงที่ทางไฟฟ้าของตัวนำมีค่าดังต่อไปนี้ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ (ϵ_r) เป็น 3.5 ค่าความนำไฟฟ้า (σ) เป็น 0.8×10^7 และค่าซึมซาบได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์ (μ_r) เป็น 300

6. ผลการจำลอง

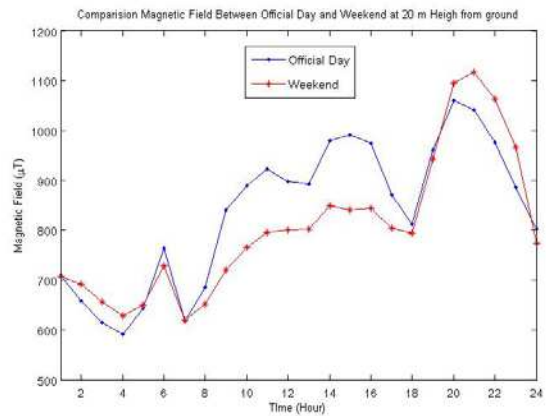
การจำลองผลในบทความนี้ใช้โปรแกรม MATLAB ที่พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นเองเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ค่าสนามแม่เหล็ก โดยวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายออกจากสายส่งตัวนำ เมื่อมีการจ่ายไหลดในวันทำงานปกติและวันหยุด ที่ระยความสูงต่าง ๆ ซึ่งผลการจำลองแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5 การกระจายสนามแม่เหล็กที่ระยความสูง 1 เมตรจากพื้นดิน



รูปที่ 6 การกระจายสนามแม่เหล็กที่ระยความสูง 15 เมตรจากพื้นดิน

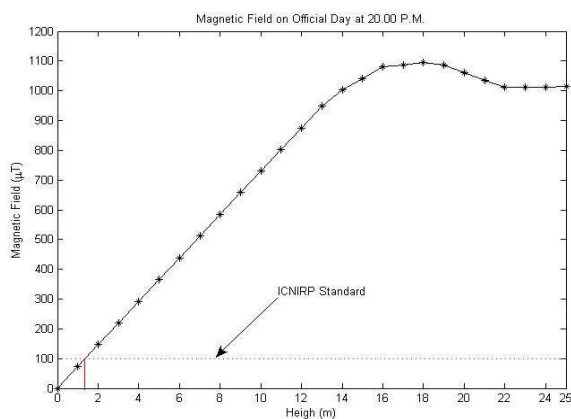


รูปที่ 7 การกระจายสนามแม่เหล็กที่ระยความสูง 20 เมตรจากพื้นดิน

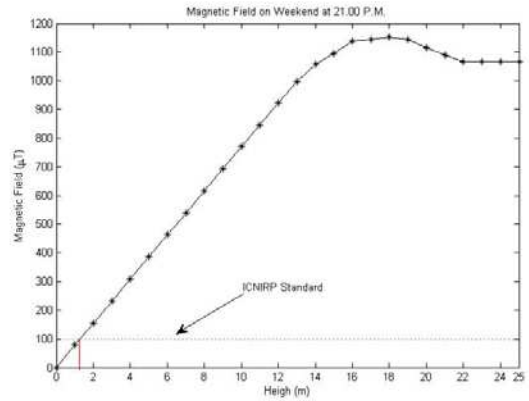
รูปที่ 6 แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กที่ความสูง 1 เมตรจากพื้นดินซึ่งแทนด้วยการสัญจรของมนุษย์ที่อยู่ได้สายส่ง รูปที่ 7 แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กที่ความสูง 15 เมตรซึ่งเป็นความสูงที่กลุ่มตัวนำและรูปที่ 8 แสดงการกระจายสนามแม่เหล็กที่ความสูง 20 เมตรซึ่งเป็นความสูงที่อยู่เหนือกลุ่มตัวนำ จะเห็นได้ว่าสนามแม่เหล็กจะมีค่ามากที่สุดที่บริเวณกลุ่มตัวนำและจะลดน้อยลงไปเมื่อระยะห่างจากตัวนำมีค่ามากขึ้น โดยที่ค่าสนามแม่เหล็กเมื่อจ่ายโหลดวันทำงานปกติมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 73.69-99.30 μT ที่เวลา 20.00 น. และระยะความสูง 1-1.3 เมตรเป็นระยะความสูงที่มีค่าสนามแม่เหล็กอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อจ่ายโหลดในวันหยุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 77.65-100.02 μT ที่เวลา 21.00 น. ที่ระยะความสูง 1-1.29 เมตรเป็นระยะที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากตารางที่ 1 เป็นการยืนยันว่าค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการจ่ายโหลดทั้งสองกรณีอยู่ในระดับที่มนุษย์สามารถสัญจรไปมาได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายเนื่องจากค่าตามมาตรฐาน ICNIRP กำหนดว่าต้องมีค่าสนามแม่เหล็กไม่เกิน 100 μT ตามตารางที่ 2 และจากผลการดำเนินงานพบว่า ถ้าพิจารณาตามระยะความสูง เมื่อมีการจ่ายโหลดทั้งสองกรณีสามารถแสดงตำแหน่งความสูงที่มากที่สุดที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน ICNIRP โดยพิจารณาจากช่วงเวลาที่มีการจ่ายโหลดมากที่สุดในวันทำงานปกติคือ เวลา 20.00 น. และ ในวันหยุดคือเวลา 21.00 น. แสดงได้ดังรูปที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก เมื่อมีการจ่ายโหลดทั้งสองกรณี ที่ระยะความสูงต่างๆ

ระยะความสูง y (m)	ค่าสนามแม่เหล็ก (μT)	
	วันทำงานปกติ	วันหยุด
1	73.69	77.65
2	146.78	154.67
10	730.50	769.76
15	1040.24	1095.44
20	1060.62	1116.34



รูปที่ 8 ค่าสนามแม่เหล็กที่ความสูงต่างๆ เมื่อจ่ายโหลดวันทำงานปกติ



รูปที่ 9 ค่าสนามแม่เหล็กที่ความสูงต่างๆ เมื่อจ่ายโหลดวันหยุด

ตารางที่ 2 ค่าสนามแม่เหล็กตามมาตรฐาน ICNIRP สำหรับระบบ 50Hz

กิจกรรม	ค่าสนามแม่เหล็ก (μT)
ตลอดทั้งวัน	100
2-3 ชั่วโมง/วัน	1000

7. สรุป

บทความนี้นำเสนอการกระจายสนามแม่เหล็กตามข้อมูลการใช้โหลดในวันทำงานปกติและวันหยุดด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยค่าสนามแม่เหล็กจากการจ่ายโหลดวันทำงานปกติจะมีค่ามากกว่าการจ่ายโหลดวันหยุดในช่วงเวลา 06.00 น.-19.00 น. และจะมีค่ามากที่สุดที่เวลา 20.00 น. โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์เทียบตามมาตรฐาน ICNIRP ซึ่งผลการดำเนินงานสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่าสนามแม่เหล็กทุกช่วงเวลาที่จ่ายโหลดทั้ง 2 กรณีไม่เกินค่ามาตรฐานที่ตำแหน่งความสูง 1 เมตร และจากผลการดำเนินงานเห็นว่าเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับบุคคลหรือผู้ที่เกี่ยวข้องที่ต้องทำงานหรืออยู่ในแนวเขตเดินสายไฟของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV เพราะจะได้ทราบถึงระยะความสูงที่ปลอดภัยในการเข้าใกล้สายส่งกำลังไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Matthew N.O. Sadiku. 2000. **Numerical Techniques in Electromagnetics**. Boca Raton London New York Washington, D.C. :CRC Press.
- [2] ชวลิต ดำรงรัตน์. 2533. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า. กรุงเทพฯ ๑: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [3] ปราโมทย์ เคะฮาไฟ. 2542. **ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] พิทักษ์ ปันอนงค์. 2545. “การวิเคราะห์ผลกระทบจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงเหนือพื้นดินและกรณีศึกษาการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง