

RMUTSV



SK073651

19660



รายงานการวิจัย

การศึกษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยจากผลกระทบของโคโรนา
และสนามไฟฟ้าโดยรอบสายส่ง

**A Study and Analysis Safety from Corona and Fields Effect
near the Electric Tower**

คณะผู้วิจัย

สลักจิต นิลบวร Salakjit Nilboworn

เสนอ สะอาด Saner Sa-ad

รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ Runglawan Chusawat

ดรุณี ชายทอง Darunee Chaytong

เจริญชัย ฮวดอุปต์ Charoenchai Huadupat

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2554

621.3
ส 171
2554

ไฟฟ้า
ไฟฟ้า -- ปรุขันธ์



การศึกษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยจากผลกระทบของโคโรนา และสนามไฟฟ้าโดยรอบสายส่ง

สลักจิตร์ นิลบวร เสนอ สะอาด รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ ตรีณี ชายทอง เจริญชัย ฮวดอุปิต

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การเกิดสนามไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน หรือ Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF) ในสายส่งระดับแรงดันปานกลาง 33 kV หนึ่งวงจร การวางสายแบบ flat และแบบจับยึดด้วย Spacer ในสายส่งเหนือหัว เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณโดยรอบ โดยการสร้างโมเดลเสมือนสำหรับการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าภายในระยะปลอดภัย (Right of Way) ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงระดับแรงดันสูงสุดและระดับแรงดันที่ลดลงตามระยะทางที่ห่างออกมาจากเสาส่ง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดินเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานและข้อกำหนดของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน การวางสายแบบ flat แบบจับยึดด้วย Spacer ระยะปลอดภัย

A Study and Safety Analysis from Electric Fields Effect near the Electric Tower

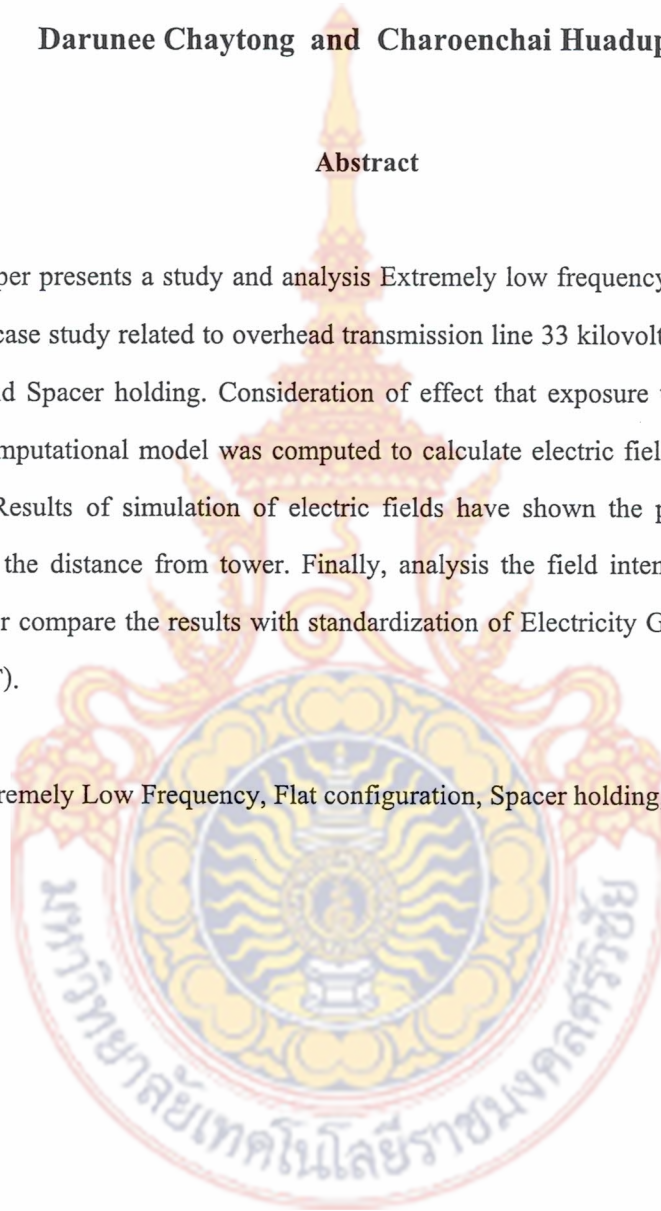
Salakjit Nilboworn Saner Sa-ad Runglawan Chusawat

Darunee Chaytong and Charoenchai Huadupat

Abstract

This paper presents a study and analysis Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF). A case study related to overhead transmission line 33 kilovolts, single circuit for flat configuration and Spacer holding. Consideration of effect that exposure to environment nearby the tower. A computational model was computed to calculate electric fields existing in Right of way (R.O.W). Results of simulation of electric fields have shown the peak field and voltage reduction along the distance from tower. Finally, analysis the field intensity at height 1 meter above ground for compare the results with standardization of Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT).

Keywords: Extremely Low Frequency, Flat configuration, Spacer holding, Right of Way



กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชวงค์ วัฒนศักดิ์ภูบาลเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ข้อมูล พร้อมทั้งความร่วมมือในการตรวจวัดสนามไฟฟ้าในสถานที่จริงซึ่งเป็นประโยชน์ในการเก็บข้อมูล ในครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำปรึกษาในการจัดทำงานวิจัย

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยที่ช่วยเก็บผลการทดลองและช่วยวิเคราะห์ผล ซึ่งทำให้ได้ผลการ ทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ พร้อมทั้งช่วยเหลือในส่วนของการทดลองทุกอย่าง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ช่วยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำในด้านของกระบวนการ ทำงานให้สำเร็จ พร้อมทั้งให้กำลังใจด้วยดีมาตลอด ผู้จัดทำวิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจึงขอ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำขอโน้มระลึกถึงพระคุณของครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ สั่งสอนอบรม แก่ผู้จัดทำวิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีกระบวนการทางความคิดสามารถที่จะต่อยอดผลงานต่อไปได้ โดย ผู้วิจัยหวังว่าคุณค่าและประโยชน์ในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและ นักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัยต่อไป

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย งบประมาณเงินรายได้ประจำปี พ.ศ. 2554

คณะผู้จัดทำ
มี.ค. 2555

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย /หรือแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.3 ผลกระทบจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	11
2.4 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 ขั้นตอนการทดสอบ	18
3.2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส (Three phase systems)	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
4.1 ขั้นตอนการตรวจวัดค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของ กฟภ.	23
4.2 การทดสอบผลสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	24
4.3 การกระจายสนามไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน	28
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก ข้อมูลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ กฟภ.	33
ภาคผนวก ข การเผยแพร่ผลงาน	46



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ภาวะความรำบผิดชอบของโรคอันมาจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	13
2.2 ค่าระดับแรงดันอันตราย	14
2.3 ระยะปลอดภัยต่ำสุด	15
2.4 ขีดจำกัดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าสำหรับ 50 Hz ของ ICNIRP	16
2.5 ขีดจำกัดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าสำหรับ 50 Hz ของ IEEE	17
2.6 ขีดจำกัดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าสำหรับ 50 Hz ของ IEEE	17
3.1 ข้อมูลอินพุตสายส่ง	19
3.2 ค่าแรงดันของมุมที่กำหนด	20
4.1 ผลการตรวจวัดระบบจำหน่าย 33 kV วงจรเดี่ยว จ.สงขลา	22





สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก (magnetic field) แทนด้วยตัว H ส่วนสนามไฟฟ้า (electric field) แทนด้วยตัว E สนามทั้ง 2 นี้ปกติจะวางตัวตั้งฉากกัน	6
2.2 โครงสร้างเสาส่งที่แรงดัน 33 kV (ก) การวางสายแบบ Flat (ข) การวางสายแบบมี spacer ยึด	9
2.3 ลักษณะสายตัวนำแบบหลายเส้น (Bundle)	10
2.4 สนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในบุคคล ลูกศรภายในแสดงถึง “flux lines”	11
2.5 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าภายในร่างกาย ทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะขนานไปกับร่างกายแนวขวางตามภาพ	12
3.1 รายละเอียดการสร้างโมเดลสายส่ง	18
4.1 การกระจายของสนามไฟฟ้าในสายส่งแบบ Flat เมื่อแรงดันสูงสุดที่เฟส A	23
4.2 การกระจายของสนามไฟฟ้าในสายส่งแบบสามเหลี่ยมเมื่อแรงดันสูงสุดที่เฟส A	23
4.3 การกระจายของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส A วางสายแบบ Flat	24
4.4 การกระจายของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส B วางสายแบบ Flat	24
4.5 การกระจายของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส C วางสายแบบ Flat	25
4.6 การกระจายของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส A วางสายแบบสามเหลี่ยม	25
4.7 การกระจายของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส B วางสายแบบสามเหลี่ยม	26
4.8 การกระจายของสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส C วางสายแบบสามเหลี่ยม	26
4.9 สนามไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดินการวางสายแบบ Flat	27
4.10 สนามไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดินการวางสายแบบสามเหลี่ยม	27
4.11 สนามไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดินการวางสายแบบ Flat	28
4.12 สนามไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดินการวางสายแบบสามเหลี่ยม	28



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันได้เข้ามามีบทบาทมากมายในชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะที่ไหนที่ไฟฟ้าไหลผ่านจะมีสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กกระจายอยู่รอบสายตัวนำและแหล่งจ่ายเหล่านี้จึงเกิดคำถามขึ้นมากมายถึงผลกระทบจากไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำมาก (Extremely low frequency, ELF) และจากสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Electric and magnetic fields, EMF) ว่ามีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมที่มีต่อคนและสัตว์โดยรอบเพียงใด ซึ่งในเรื่องนี้ได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างมากมายถึงผลกระทบด้านสุขภาพเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจในลักษณะการเกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเหล่านี้

ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (สายส่งไฟฟ้า) ก็เป็นต้นเหตุหนึ่งในการเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบไม่จงใจขึ้น เพราะฉะนั้นเมื่อต้องเดินผ่านบริเวณดังกล่าวสนามไฟฟ้าที่ระดับพื้นดินได้เสาส่งจะประมาณค่าด้วยสนามไฟฟ้าในแนวตั้งฉากกับพื้นดิน ผลกระทบจะเกิดขึ้นโดยตรงกับผู้ที่ยืนอยู่ใต้สายส่งหรือบริเวณใกล้เคียง ลักษณะเช่นนี้จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านศีรษะ คอ ลำตัวลงสู่เท้า เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วย่อมต้องมีการกำหนดค่ามาตรฐานของสนามไฟฟ้าที่ยอมรับได้เพื่อให้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อมโดยรอบสายส่งเอาไว้ โดยมีหน่วยงานต่างๆ มากมายที่ทำการวิจัยและพัฒนาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น หน่วยงาน International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ที่กำหนดมาตรฐานและควบคุมค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีความปลอดภัย เป็นต้น

โดยสิ่งสำคัญก็คือการศึกษาและวิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าในบริเวณใต้สายส่งเพื่อให้ทราบแนวทางและวิธีแก้ไขเพื่อความปลอดภัยของสิ่งมีชีวิตและทรัพย์สินโดยรอบสายส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ที่ระดับแรงดันปานกลาง 33 กิโลโวลต์ เดินสาย 1 วงจร ภายในระยะการเดินสาย (Right of Way)

1.2 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมีความสนใจในเรื่องสุขภาพและความปลอดภัยจากรังสีเพิ่มมากขึ้น แม้จะยังไม่ได้ข้อสรุปที่ชัดเจนในแง่มุมทั้งหมด แต่ก็เริ่มมีข้อมูลบางอย่างที่ทำให้พอจะทราบถึงผลต่างๆ เหล่านี้ได้บ้าง ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่ผู้ใช้ส่วนใหญ่เริ่มกังวล ไม่แพ้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ฉะนั้นประชาชนและผู้สนใจจึงควรรับทราบ และเข้าใจสนามไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาจากระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่างๆ ได้

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] คณะวิจัยระบบสายส่งและสายจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ศึกษาค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าจากระบบสายส่งและระบบจำหน่ายแรงสูงเบื้องต้น โดยมีการศึกษาค่าสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าจากการตรวจวัดภาคสนามในระบบสายส่ง 115 kV และระบบจำหน่าย 22 kV และ 33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โปรแกรม EFC 400LF เพื่อให้ผลที่ได้จากการศึกษามีความถูกต้องเหมาะสมและจำลองการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลทั้งสองค่า โดยพบว่าผลการศึกษาข้างต้น ค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดจากระบบส่ง 115 เควี และระบบจำหน่ายแรงดันปานกลาง 22-33 เควี ของ กฟภ. นั้น ค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ความสูง 1 เมตร เหนือพื้นดินมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับขีดจำกัดของ International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) โดยมีค่าสูงสุดเพียงแค่ 500 โวลต์ต่อเมตรหรือคิดเป็น 10% สำหรับสนามไฟฟ้า และ 12.5 ไมโครเทสลา หรือคิดเป็น ๑๒.๕% สำหรับสนามแม่เหล็ก ส่วนที่ด้านข้างของระบบไฟฟ้าเมื่อพิจารณาที่ระยะห่าง 4.35 เมตร จากสายตัวนำ ค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมีค่าสูงสุดที่ความสูง 15 เมตร เหนือพื้นดิน โดยมีค่าสูงสุด 7,000 โวลต์ต่อเมตรหรือคิดเป็น 140% สำหรับสนามไฟฟ้า และ 140 ไมโครเทสลา หรือคิดเป็น 140% สำหรับสนามแม่เหล็ก

[2] กมลทิพย์ ไหมวงศ์ธำรง และคณะ ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่พาดผ่านพื้นที่ที่มีความหนาแน่นประชากรแตกต่างกันทั่วทั้งประเทศไทย และใช้แนวคิดประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) ที่มุ่งเน้นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปลายทางคือ สุขภาพของประชาชนเป็นหลัก โดยทำการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยทางระบาดวิทยาที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมเนื่องมาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดเลือกโรคที่สำคัญ 7 โรคมาทำการศึกษาโดยการคำนวณจากข้อมูลที่รวบรวมได้ตามลำดับ ดังนี้คือ การคำนวณหาระยะทางสายส่งไฟฟ้าแรงสูงทั่วทั้งประเทศ, การคำนวณหาระยะทางที่มีผู้คน

อาศัยอยู่ใกล้เสาไฟฟ้าแรงสูงแล้วเสี่ยงต่อการเกิดโรค, การคำนวณหาจำนวนประชากรในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเป็นโรค, การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ในการเกิดโรคเพิ่มขึ้นท้ายที่สุดคือการนำสิ่งที่คำนวณได้ในแต่ละขั้นตอนมาคำนวณหาจำนวนประชากรที่เสี่ยงในการเกิดโรคพบว่า โรคเนื้องอกในไตมีโอกาสเสี่ยงเป็นเพิ่มขึ้นมากที่สุดและมีโอกาสเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งผลที่ได้นั้นสามารถนำไปหาภาระความรับผิดชอบที่เกิดขึ้นจากโรคโดยใช้ดัชนีชี้วัดความสูญเสียทางสุขภาพ (DALYs) เป็นเครื่องมือ เพื่อเป็นแรงผลักดันให้เกิดแนวคิดในการแก้ไขและป้องกันผลกระทบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงต่อไป

[3] X. L. Chen, S. Benkler, N.Chavannes, N.Kuster ได้ศึกษาโปรแกรมทดสอบการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้าในร่างกายมนุษย์เมื่ออยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ต่ำมาก (Simulation of Human Body Exposure in Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields) โดยแสดงขั้นตอนการคำนวณด้วยสมการแมกซ์เวลล์ คำนวณสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำกับร่างกายมนุษย์โดยแยกการวิเคราะห์ออกเป็นหน่วยย่อยถึงระดับอวัยวะแต่ละส่วนของร่างกาย รวมทั้งวิเคราะห์ถึงผลการเหนี่ยวนำเมื่อผู้ปฏิบัติงานมีลักษณะท่าทางแตกต่างกัน 3 แบบออกไปแสดงให้เห็นว่า สนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำสูงสุดในสมองและที่ศีรษะซึ่งมีค่าเสี่ยงในระดับอันตราย คือ $4.5 \times 10^{-3} \text{ V/m}$ และ 0.23 V/m

[4] Elise Saraiva*, MSc; Marcelo L. R. Chaves, Dr.; José R. Camacho, PhD ได้ศึกษาพร้อมทั้งจำลองหม้อแปลงสามเฟสด้วยโปรแกรม FEMM สำหรับวิเคราะห์ความกว้างช่องอากาศในหม้อแปลง โดยนำเสนอผลการทดสอบด้วยโปรแกรม FEMM ที่แพร่หลายสามารถทำการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในระบบงานที่กว้างขวางได้ และสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรการคำนวณได้หลากหลาย

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.4.1 เพื่อศึกษาข้อมูลและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากผลกระทบจากสนามไฟฟ้า
- 1.4.2 เพื่อคำนวณปริมาณศักย์ไฟฟ้าใต้เสาส่งไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง 33 kV
- 1.4.3 วิเคราะห์ความปลอดภัยของบุคคลภายใต้ผลกระทบจากสนามไฟฟ้า

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย /หรือแนวคิดที่นำมาใช้ในการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลของเสาส่งและลักษณะข้อมูลพื้นฐานการก่อสร้างเสาส่ง
- 1.5.2 ศึกษากระบวนการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งหมด
- 1.5.3 ศึกษาข้อกำหนดและผลกระทบด้านสุขภาพของสนามไฟฟ้า

1.5.4 กำหนดค่าขอบเขตเริ่มต้นการคำนวณ พิกัดตำแหน่งสายส่ง

1.5.5 การจำลองการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม FEMM 4.2

1.5.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับข้อมูลผลการตรวจวัดจริงจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

1.5.7 พิจารณาถึงระดับความปลอดภัยและผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิตใกล้แนวสายส่ง

1.5.8 สรุปและรายงานผลการดำเนินงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถศึกษาข้อมูลและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากผลกระทบจากสนามไฟฟ้า

1.6.2 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงปริมาณศักย์ไฟฟ้าได้เสาส่งไฟฟ้าระดับแรงดันปานกลาง 33 kV ได้

1.6.3 สามารถวิเคราะห์ความปลอดภัยของบุคคลภายใต้ผลกระทบจากสนามไฟฟ้าได้

1.7 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอน	2553		2554										
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
1.ศึกษาการตรวจวัดสนามไฟฟ้า	←	→											
2.ออกแบบและดำเนินการเก็บข้อมูล		←	→										
3.ทดลองใช้เครื่องวัดสนามไฟฟ้า			←	→									
4.ดำเนินการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์				←	→								
5.วิเคราะห์ผล/สรุปผล								←	→				
6.นำเสนอผลงานและเผยแพร่ผลงานวิจัย								←	→				

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นผลอันเนื่องมาจากกระแสและแรงดันไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อมีการใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานก็จะทำให้เกิดสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น โดยสัญญาณเหล่านี้ใช้ในการส่งสัญญาณข้อมูลข่าวสารต่างๆ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือสามารถนำไปใช้เพื่อควบคุมหรือสั่งการอุปกรณ์ระยะไกล และหากสัญญาณดังกล่าวเป็นสัญญาณไม่พึงประสงค์ เราจะเรียกว่า สัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า โดยสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถส่งผลทำให้อุปกรณ์เกิดการ ทำงานที่ผิดพลาดได้ สำหรับการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ความถี่ไฟฟ้ากำลัง 50 Hz นั้น จัดอยู่ในย่านความถี่ต่ำ (Extremely Low Frequency : ELF) ซึ่งการพิจารณาสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจะคำนึงถึงทั้งสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้นำเสนอรายละเอียดทฤษฎีที่ถูกนำมาประกอบเข้าด้วยกันในการคำนวณเฉพาะสนามไฟฟ้าเท่านั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้นในระบบไฟฟ้าและทฤษฎีที่ใช้ในการทดสอบ

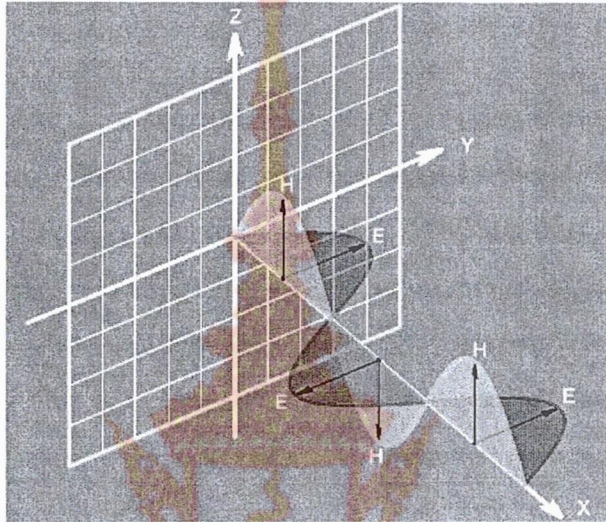
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก

สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก (Electric and Magnetic Fields: EMFs) จะหมายถึงเส้นสมมุติที่เขียนขึ้นเพื่อแสดงอาณาเขตและความเข้มของเส้นแรงที่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุที่มีความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้า (เรียกว่าสนามไฟฟ้า) และที่เกิดขึ้นโดยรอบวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้าไหล (เรียกว่าสนามแม่เหล็ก) ในกรณีกล่าวถึงทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพร้อมกันมักจะเรียกรวมว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF) หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างดรูปที่ 1 สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ สนามแม่เหล็กโลก คลื่นรังสีจากแสงอาทิตย์ คลื่นฟ้าผ่า คลื่นรังสีแกมมา เป็นต้น และลักษณะที่เกิดขึ้นจากการสร้างของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) แบบจงใจ คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จงใจสร้างให้เกิดขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้ เช่น สัญญาณเรดาร์ คลื่นโทรศัพท์ คลื่นโทรทัศน์ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

2) แบบไม่จงใจ คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ โดยไม่ได้มีวัตถุประสงค์หลักที่จะใช้ประโยชน์โดยตรงจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เช่น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (สายส่งไฟฟ้า) รวมถึงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.1 สนามแม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็ก (magnetic field) แทนด้วยตัว H ส่วนสนามไฟฟ้า (electric field) แทนด้วยตัว E สนามทั้ง 2 นี้ปกติจะวางตัวตั้งฉากกัน แหล่งที่มา www.hs8jyx.com/html/electromagnetic.htm

2.2.2 ศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential: V)

ความเข้มสนามไฟฟ้าสถิตสามารถแสดงเป็นเกรเดียนต์ของสนามสเกลาร์ได้ ซึ่งทำให้สามารถหาศักย์ไฟฟ้าสเกลาร์ได้ (Scalar electric potential) V ได้จากสมการที่ 2.1

$$E = -\nabla V \quad (2.1)$$

เมื่อ

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (2.2)$$

โดย V เป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งนอกจากจะขึ้นอยู่กับ q แล้ว ยังขึ้นอยู่กับระยะทาง R ความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุด P_2 และ P_1 ที่ระยะทาง R_2 และ R_1 ซึ่งห่างจาก q คือ



$$V_{21} = V_{P2} - V_{P1} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (2.3)$$

ศักย์ไฟฟ้าในระยะ R อันเนื่องมาจากจำนวนประจุไม่ต่อเนื่อง (Discrete charges) q_1, q_2, \dots, q_n ที่ตำแหน่ง R, R_+, R_- โดยอาศัยกฎการทับซ้อน (superposition) จะได้ผลบวกของศักย์อันเนื่องมาจากแต่ละประจุ คือ

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{|R - R_k|} \quad (2.4)$$

ค่าประจุไฟฟ้า (Q) ที่เกิดจากสายส่ง วงจรเดี่ยวสามารถหาได้จากสมการที่ (2.5) ดังนี้

$$[Q] = [P]^{-1} \cdot [V] \quad (2.5)$$

เมื่อเมตริกซ์ P เป็นค่าสัมประสิทธิ์ Maxwell potential coefficient ซึ่งมีสมาชิกในเมตริกซ์เท่ากับจำนวนของตัวนำทั้งหมดที่พิจารณา โดยมีค่า $\epsilon = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ และค่าเอลิเมนต์ภายในเมตริกซ์ P สามารถหาได้ ดังนี้

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \ln \frac{4y_a}{D_{eq}(a)} \quad (2.6)$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \cdot \ln \left[\frac{(x_a - x_b)^2 + (y_a + y_b)^2}{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

เมื่อ y_a, y_b = ความสูงจากพื้นดินของสายไฟฟ้าเฟส a, b (m)

x_a, x_b = ระยะห่างจากแนวสายส่งของสายไฟฟ้าเฟส a, b (m)

ค่าสนามไฟฟ้า (\vec{E}) ที่เกิดจากสายไฟฟ้าเฟส a ณ จุด x,y ใดๆ (x_n, y_n) ในแนวแกน x และ y จะหาได้จากสมการ

$$\vec{E}_{x,a} = \frac{(Q_{ra} + jQ_{la}) \cdot (x_N - x_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_N)^2]} - \frac{(Q_{ra} + jQ_{la}) \cdot (x_n - x_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2]} \quad (2.8)$$

$$\vec{E}_{y,a} = \frac{(Q_{ra} + jQ_{la}) \cdot (y_n - y_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_n)^2 + (y_a - y_N)^2]} - \frac{(Q_{ra} + jQ_{la}) \cdot (y_n - y_a)}{2\pi\epsilon[(x_a - x_N)^2 + (y_a + y_N)^2]} \quad (2.9)$$

$$\vec{E}_x = \vec{E}_{x,a} + \vec{E}_{x,b} + \vec{E}_{x,c} + \dots \quad (2.10)$$

$$\vec{E}_y = \vec{E}_{y,a} + \vec{E}_{y,b} + \vec{E}_{y,c} + \dots \quad (2.11)$$

ค่าสนามไฟฟ้ารวม ณ จุด x,y ใดๆ (x_n, y_n) $\vec{E}_{x,a}$ คือ

$$E^2 = E_x^2 \cdot \cos^2(\omega t + \theta) + E_y^2 \cdot \cos^2(\omega t + \phi) \quad (2.12)$$

2.2.3 Non-ionizing radiation

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าถือเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นที่เป็นรังสีแบบไม่ก่อประจุ (Non-ionizing radiation) หรือรังสีที่ไม่ทำให้แตกตัวเป็นรังสีที่มีกำลังต่ำจึงไม่ทำให้เกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอนของอะตอมหรือโมเลกุลที่ไปตกกระทบ รังสีเหล่านี้จะอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทั้งหมดไล่เรียงตามความถี่ (frequency) จากสูงไปต่ำคือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) แสง (visible light) รังสีอินฟราเรด (infrared) คลื่นไมโครเวฟ (microwave) คลื่นวิทยุ (radiofrequency) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน (ELF-EMF) รังสีเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้มากมายแต่เมื่อมาตกกระทบกับร่างกายมนุษย์ จะก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพซึ่งเป็นที่พึงประสงค์และโทษ

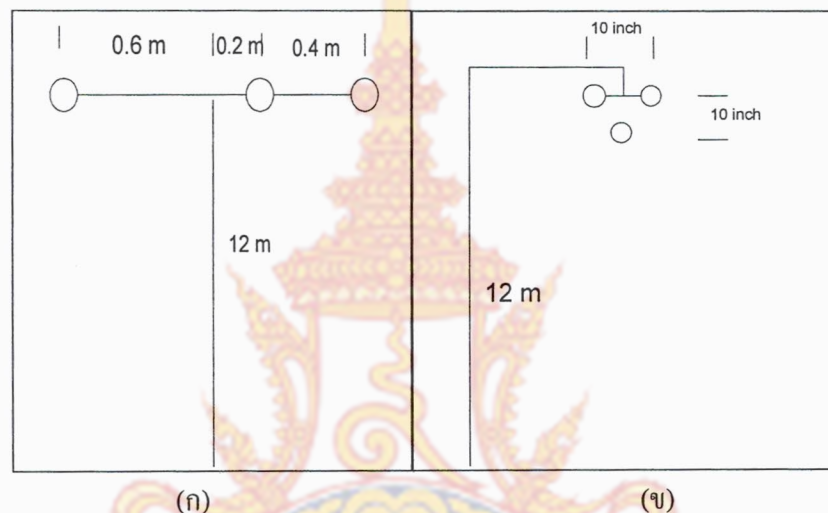
2.2.4 Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF)

สนามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน หรือ Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่คลื่นในช่วง 3 – 3,000 Hz ซึ่งเป็นความถี่คลื่นในระดับต่ำมาก โดยความถี่ที่ได้รับความสนใจว่าจะมีผลต่อสุขภาพมากที่สุดคือความถี่ที่ 50 – 60 Hz ซึ่งเป็นความถี่ของ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ตามบ้านเรือนนั่นเอง หน่วยวัดระดับของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น แม้จะมีทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าอยู่ด้วยกัน แต่เวลาวัดจะใช้คน

หน่วย สนามไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็น โวลต์ต่อเมตร (V/m) ส่วนระดับของสนามแม่เหล็กจะใช้หน่วย Tesla หรือ gauss

2.2.5 รายละเอียดระบบส่งจ่าย

รายละเอียดของเสาเป็นข้อมูลเริ่มต้นซึ่งประกอบด้วยข้อมูลแรงดันไฟฟ้า ข้อมูลความสูงของสายตัวนำ ระยะระหว่างสายตัวนำแต่ละเฟส และลำดับเฟสของสายส่งระดับแรงดันสูงปานกลาง (Medium Voltage) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างเสาส่งที่แรงดัน 33 kV (ก) การวางสายแบบ Flat
(ข) การวางสายแบบมี spacer ยึด

เสาไฟฟ้าที่ใช้แขวนสายไฟฟ้ามีหลายแบบตามสภาพการติดตั้งแบ่งออกเป็นเสาวงจรเดี่ยว (Single Circuit Tower) เสาวงจรรู (Double Circuit Tower) และเสาสี่วงจร (Four Circuit Tower) เป็นต้น แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ เสาไม้ เสาคอนกรีต เสาเหล็ก และเสาโครงเหล็ก

1. เสาไม้ (Wood Pole) ใช้กับสายส่งที่มีน้ำหนักเบา แรงดันไฟฟ้าต่ำ ราคาถูก ในพื้นที่ที่หาเสาไม้ได้ง่าย มีข้อเสียคือ มีความสูงจำกัด ช่วงเสาสั้น มีอายุการใช้งานสั้นด้วย
2. เสาคอนกรีต (Concrete Pole) เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เห็นอยู่ทั่วไปตามสองข้างทางถนนในเมืองไทย เพราะคงทนและติดตั้งง่าย แต่ไม่สะดวกในการติดตั้งในแนวที่ห่างไกลจากถนนเพราะมีน้ำหนักมากและมีความสูงจำกัด ขนส่งได้ยากลำบาก
3. เสาเหล็ก (Steel Pole) มีชิ้นส่วนประกอบหลักน้อยชิ้น จับยึดด้วยเหล็กประกับ มีความสูงมากขึ้นเหมาะกับบริเวณที่มีเขตแนวสายส่งจำกัด



4. เสาโครงเหล็ก (Steel Tower) ประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยๆ จับยึดติดกัน มีความแข็งแรง มีความสูงตามที่ต้องการ และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน เพราะขนส่งได้สะดวก และมีอายุการใช้งานยาวนานสายส่งไฟฟ้าที่ระดับแรงดันต่างๆ มีทั้งแบบวงจรเดี่ยวและวงจรคู่ประกอบด้วยสายตัวนำไฟฟ้าวางตามลำดับไฟฟ้า 3 เฟส ในการผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไปแรงเคลื่อนที่ผลิตออกมามีมุมเฟสต่างกันอยู่ 120 องศา โดยที่เฟส (a) จะมีค่าสูงสุดที่มุม 120 ก่อนถึงเฟส (b) และ 240 องศา ก่อนถึงเฟส (c) การไล่ตามเฟสจะไล่ตามลำดับของการที่แรงเคลื่อนถึงค่าสูงสุดของมันหรือที่เรียกกันว่า Phase Sequence หรือ a-b-c ซึ่งใช้อักษร a, b และ c แทนเฟสต่างๆ

2.2.6 สายส่งไฟฟ้า

อุปกรณ์ส่งไฟฟ้าเป็นส่วนสำคัญของระบบตัวนำกระแสไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า ก็คือสายอะลูมิเนียมทั้งแบบมีฉนวนหุ้มและแบบสายเปลือย สายตัวนำนี้แขวนอยู่บนเสาไฟฟ้าโดยมีพวงลูกถ้วย (Insulator Assembly) ซึ่งประกอบด้วยลูกถ้วยแขวน (Suspension Insulators) มีจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันไฟฟ้าเป็นตัวยึด สายตัวนำมีลักษณะเป็นสายลวดอะลูมิเนียมเล็กๆ ควั่นเป็นเกลียวเหมือนเชือก มีหลายขนาดตามแต่จะเลือกใช้ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการนำกระแสที่ต้องการ และบางครั้งแทนที่จะเลือกสายขนาดใหญ่เส้นเดียวต่อเฟสจะออกแบบเป็นแบบหลายเส้นหรือหลายมัด (Bundle) ต่อเฟสแทน เช่น 2 เส้นต่อเฟส เรียกว่า 2-Bundle 4 เส้นต่อเฟส เรียกว่า 4-Bundle การออกแบบเป็น Bundle เพื่อลดค่ารีแอกแตนซ์ในสายส่งรวมทั้งยังลดค่าเกรเดียนต์แรงดัน (Voltage Gradient) ที่มีผลช่วยลดค่าความรบกวนต่อคลื่นวิทยุ (Radio Interference Voltage, RIV) ลงด้วย



รูปที่ 2.3 ลักษณะสายตัวนำแบบหลายเส้น (Bundle)

2.3 ผลกระทบจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ขณะที่มีกระแสไฟฟ้าไหลไปในสายส่งไฟฟ้าจะเกิดปรากฏการณ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) สนามไฟฟ้า (Electric field) และโคโรนา (Corona) เป็นต้น การออกแบบระบบส่งไฟฟ้าจะต้องป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเหล่านี้ ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียง เช่น สายโทรเลข สายโทรศัพท์ รั้วลวดหนาม รวมทั้งผู้ที่อยู่ใต้สายส่งไฟฟ้านั้นด้วย หากมีผู้สัมผัสตัวนำที่ถูกเหนี่ยวนำนั้นจะรู้สึกถูกไฟฟ้าดูด



ดังนั้นจึงต้องป้องกันอันตรายที่เกิดจากไฟฟ้าช็อตโดยการต่อตัวนำเหล่านั้นลงดิน ในขณะที่เดียวกันก็จะต้องออกแบบสายส่งไฟฟ้าไม่ให้มีค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าได้แนวสายส่งแรงสูงเกินค่าที่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยใกล้แนวสายส่งไฟฟ้าโดยการเพิ่มความสูงของเสาไฟฟ้าซึ่งสามารถสรุปผลกระทบที่เกิดออกได้เป็น

1) ผลกระทบที่เกิดกับคน

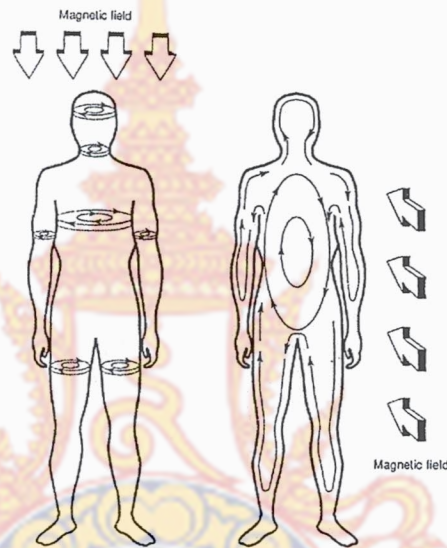
กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากสนามไฟฟ้าและมีผลกระทบต่อคนสามารถแบ่งผลกระทบออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยตรงกับคนที่ยืนอยู่ใต้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง (การฉนวนระหว่างคนกับพื้นดินไม่ดีพอ) ลักษณะเช่นนี้จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านศีรษะ คอ ลำตัวลงสู่เท้า ดังรูปที่ 1.4 นี้จะแสดงให้เห็นถึงเส้นฟลักซ์ที่ไหลภายในร่างกายของมนุษย์ ลูกศรภายในร่างกายแสดงถึงทิศทางและความเข้มของสนามไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในร่างกาย ทิศทางของลูกศรมีทิศทางตรงกันข้ามทุกครั้งคลื่น สำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่ง จะเกิดขึ้นในลักษณะของการที่คนเข้าไปสัมผัสกับวัตถุที่สภาพเป็นตัวนำไฟฟ้าภายใต้สนามไฟฟ้า ลักษณะเช่นนี้จะเกิดกับวัตถุสภาพตัวนำไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่หรือภายใต้สนามไฟฟ้าที่มีปริมาณมาก ๆ ซึ่งภายใต้สนามไฟฟ้าขนาดต่างๆ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดผลของไฟฟ้าสถิตและทำให้คนที่มาสัมผัสสามารถรู้สึกได้ว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสามารถลดปริมาณของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ลงได้ด้วยการต่อระบบสายดินให้กับวัตถุที่มีสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 สนามไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในบุคคล ลูกศรภายในแสดงถึง “flux lines”



แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าที่เกิดกับวัตถุที่มีสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้าแต่วัตถุนั้นไม่มีส่วนใดสัมผัสกับพื้นดิน ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะเกิดในลักษณะที่คนเข้าไปสัมผัสกับวัตถุที่มีสภาพเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการสปาร์กกระหว่างคนที่มาสัมผัสกับวัตถุ (เนื่องจากความต่างศักย์ของแรงดันไฟฟ้าระหว่างคนกับวัตถุ) การสปาร์กนี้เกิดขึ้นชั่วขณะหนึ่งเป็นระยะเวลาสั้นๆ ที่เรียกว่า “micro shock” สำหรับตัวอย่างของผลกระทบจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เห็นเด่นชัด เช่น การจับลูกบิดประตูภายใต้สนามไฟฟ้าที่มีปริมาณมากพอหรือการสัมผัสกับเหล็กคัต เป็นต้น



รูปที่ 2.5 การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าภายในร่างกาย ทิศทางของสนามแม่เหล็ก จะขนานไปกับร่างกายแนวขวางตามภาพ

สนามไฟฟ้าสามารถสร้างผลกระทบต่างๆ เหล่านี้ขึ้นมาได้ เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วย่อมต้องมีการกำหนดค่ามาตรฐานของสนามไฟฟ้าที่ยอมรับได้เพื่อให้เป็นตัวบ่งชี้ถึงความปลอดภัยต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อมโดยรอบสายส่งเอาไว้ ตามมาตรฐานด้านสุขภาพของหน่วยงาน International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ได้ทำการวิจัยและพัฒนาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยได้กำหนดระดับสูงสุดของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก ระบบไฟฟ้าความถี่ต่ำ (50 Hz) ที่ประชาชนสามารถสัมผัสได้อย่างปลอดภัยไว้



2) ผลเสียต่อสุขภาพ

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่างานวิจัยของ Hakasson *et al* [1] มีข้อมูลที่ครอบคลุมโรคต่างๆที่เกิดจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและสอดคล้องกับโรคมะเร็งสำคัญ 7 ชนิด

ตารางที่ 2.1 ภาวะความรับผิดชอบของโรคร้ายมาจากการได้รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ผลลัพธ์	ภาวะความรับผิดชอบ(DALYs)
Tumor of kidney	ไม่มีข้อมูล
Tumor of pituitary gland	389
Tumor of liver and biliary passage	65,549
Astrocytoma	1,878
Myeloid leukemia	302
Cancer of corpus uteri	812
Cancer of multiple myeloma	ไม่มีข้อมูล

จากการคำนวณภาวะความรับผิดชอบของโรคจากดัชนีชี้วัดสุขภาพ (DALYs) ดังตารางที่ 2.1 พบว่าโรคที่มีภาวะความรับผิดชอบสูงสุดคือโรคมะเร็งตับและทางเดินน้ำดีที่มีมากถึง 65,549 DALYs ต่อปี รองลงมาคือโรคมะเร็งในสมองที่เกิดจากความผิดปกติของแอสโตรไซท์โดยมีภาวะความรับผิดชอบ 2,878 DALYs นอกจากนี้มีงานวิจัยอีกมากมายที่ทดสอบการเกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์และการคลอดบุตร ผลต่อระบบเลือด, ภูมิคุ้มกันและต่อมไร้ท่อ ผลต่อระบบประสาท พฤติกรรมศาสตร์ ผลต่อกลุ่มคนที่มีอาการ Electromagnetic Hypersensitivity จากการศึกษาข้อมูลผลกระทบต่อสุขภาพของ ELF-EMF ดูเหมือนว่าการสัมผัสสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนี้จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันใดๆ ขึ้น แต่ความผิดปกติซึ่งเชื่อว่าจะเกิดจากการสัมผัสในระยะยาวบางอย่างที่ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยานั้น แม้ว่าปัจจุบันจะยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอนแต่ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ

2.4 ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ข้อกำหนดความปลอดภัย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้กำหนดค่าที่ปลอดภัยสำหรับสนามไฟฟ้าที่มีความแรงสูงสุดได้สายส่งไว้ไม่เกิน 15 กิโลโวลต์ต่อเมตร และกำหนดค่าสนามไฟฟ้านอกเขตเดินสายส่ง (Right-

of-Way) ไร่ไม่เกิน 2 กิโลโวลต์ต่อเมตร และมีข้อกำหนดสนามไฟฟ้าภายในสถานีไฟฟ้ากำหนดไว้ไม่เกิน 10 กิโลโวลต์ต่อเมตร และกำหนดค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดตามแนวถนนรอบรั้วภายในลานไถไฟฟ้า 1.0-4.0 กิโลโวลต์ต่อเมตร นอกรั้วลานไถไฟฟ้าไว้ไม่เกิน 1 กิโลโวลต์ต่อเมตร และกำหนดค่าสนามแม่เหล็กนอกแนวเขตเดินสายส่งไว้ไม่เกิน 200 มิลลิเกาส์ เป็นค่าที่บริษัทไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกาใช้กัน นับว่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่คณะกรรมการระหว่างประเทศด้านการป้องกันรังสีชนิดอากาศชนิดอากาศไม่แตกตัวให้คำแนะนำไว้มาก จึงเป็นค่าที่ปลอดภัยแก่ผู้ที่อาศัยอยู่ใกล้แนวสายส่งไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2532 องค์กรป้องกันรังสีนานาชาติ (The International Radiation Protection Association, IRPA) ได้กำหนดให้ใช้ค่าสนามแม่เหล็กที่จะต้องสัมผัสระหว่างวันละ 8 ชั่วโมงไว้ไม่เกิน 5 เกาส์เป็นการชั่วคราวและไม่เกิน 10 kV/m สำหรับสนามไฟฟ้า

1) ชีตแดนอันตราย

แดนอันตราย หมายถึง ขนาดแดนระหว่างส่วนที่มีไฟฟ้ากับดินที่อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่คนได้ ถ้าสัมผัสเข้าโดยบังเอิญหรือตั้งใจ แต่แต่ละประเทศได้กำหนดแดนอันตรายไว้ ดังตัวอย่างในบางประเทศต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 ค่าระดับแดนอันตราย

มาตรฐานหรือข้อกำหนด	ระดับแดนอันตรายที่กำหนด (โวลต์)
SEV สวิตเซอร์แลนด์	50
VDE เยอรมนี	65
IEC นานาประเทศ	42
NEC Code USA	50

การพิจารณาความอันตรายจะคำนึงถึงแดนสัมผัส แต่ใช้เกณฑ์ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านร่างกายคนซึ่งคิดจากค่าความต้านทานของร่างกาย กระแสนี้จะไม่คงตัวแต่จะขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวหนัง อุณหภูมิ เวลาที่สัมผัส ขนาดแดน และขนาดของร่างกายตรงส่วนที่สัมผัส

2) ข้อกำหนดระยะห่างเพื่อความปลอดภัย (Electrical Safety Clearances)

ข้อกำหนดเหล่านี้เกี่ยวกับระยะห่างทางไฟฟ้าทั้งสายไฟฟ้าเปลือยและสายไฟฟ้าหุ้มฉนวน ประกอบด้วยระยะห่างเพื่อความปลอดภัย (Electrical Safety Clearances) จากไฟฟ้าแรงสูงของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ เช่น ถนน ทางรถไฟ หรือสายไฟฟ้าอื่น เป็นต้น และระยะปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Approach Distance) ในทางปฏิบัติงานเกี่ยวกับไฟฟ้า เพื่อใช้อ้างอิงในการออกแบบ และ

ติดตั้งให้มีระยะห่างจากตัวอาคารหรือสิ่งก่อสร้างได้ระยะที่ปลอดภัย รวมทั้งในการปฏิบัติงานกับระบบไฟฟ้าด้วย

ตารางที่ 2.3 แสดงระยะปลอดภัยต่ำสุดในหน่วยเมตรและนิ้ว สำหรับแรงดันเฟส-เฟส ทั่วไปที่ใช้ในงานในระบบของ Bonneville Power Administration (BPA) ระยะปลอดภัยต่ำสุดกำหนดจากค่าแรงดันทรานเซียนต์สูงสุดที่การตัดต่อวงจรแบบอัตโนมัติสามารถสร้างได้ และเป็นระยะปลอดภัยต่ำสุดตามข้อกำหนดของ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) และ Electrical Safety Code (NEC)

ตารางที่ 2.3 ระยะปลอดภัยต่ำสุด

ระดับแรงดันไฟฟ้า (เฟส-เฟส)	ไม่มีการควบคุม		มีการควบคุม	
	เมตร	นิ้ว	เมตร	นิ้ว
ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ				
แรงดันไฟฟ้า < 15 kV	0.67	26	0.67	26
แรงดันไฟฟ้า 34.5 kV	0.72	28	0.72	28
แรงดันไฟฟ้า 69 kV	0.94	37	0.94	37
แรงดันไฟฟ้า 115 kV	0.97	38	0.97	38
แรงดันไฟฟ้า 138 kV	1.07	42	1.07	42
แรงดันไฟฟ้า 161 kV	1.25	49	1.25	49
ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ				
แรงดันไฟฟ้า 230 kV (2)	1.83*	72*	1.33	52
แรงดันไฟฟ้า 287 kV	1.58*	62*	1.50	59
แรงดันไฟฟ้า 345 kV	1.71*	67*	1.68	66
แรงดันไฟฟ้า 500 kV (1)	3.21*	126*	2.24	88

ระยะปลอดภัยต่ำสุด				
ระดับแรงดันไฟฟ้า (เฟส-เฟส)	ไม่มีการควบคุม	มีการควบคุม		
	เมตร	นิ้ว	เมตร	นิ้ว
ระบบไฟฟ้ากระแสตรง				
แรงดันไฟฟ้า 500 kV DC +	2.37*	93*	2.67	105
แรงดันไฟฟ้า 500 kV DC +	3.05*	120*	3.51	138
ระบบสื่อสาร				
ไฟเบอร์ ออปติก (OPGW)	0.61	24	0.61	24
สายล่อฟ้าแยกเฟส (Insulated Overhead Ground Wires)	0.61	24	0.61	24

3) International Council on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ก่อตั้งขึ้นจากโครงการ International Project ขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) และประกอบไปด้วย องค์การสากล สถาบันวิทยาศาสตร์อิสระ และผู้แทนรัฐบาลประเทศต่างๆ มากกว่า 50 ประเทศ ได้มีการพิจารณาเผยแพร่ขีดจำกัดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า “Guidelines For Limiting Exposure To Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)” ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขีดจำกัดสูงสุดของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าสำหรับ 50 Hz ของ ICNIRP

สถานที่	สนามแม่เหล็ก	สนามไฟฟ้า
สาธารณะ	100 μ T หรือ	5 kV/m หรือ
	1,000 mG	5,000 V/m
สถานประกอบการ	500 μ T หรือ	10 kV/m หรือ
	5,000 mG	10,000 V/m

3) IEEE ได้มีการพิจารณาเผยแพร่ขีดจำกัดของสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้า IEEE Standard 95.6 “Standards for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz” ดังนี้



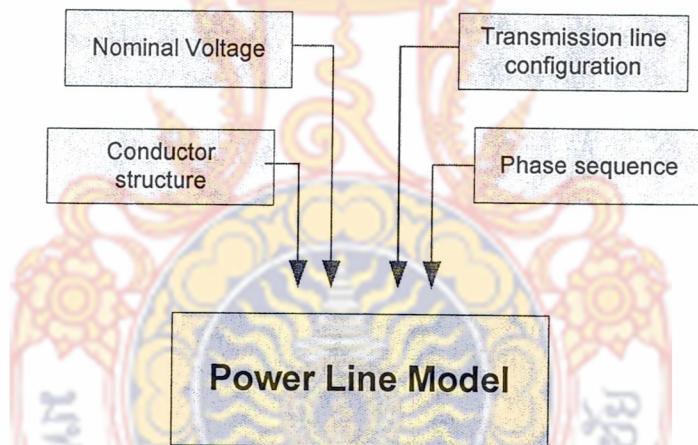
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เมื่อเริ่มต้นออกแบบรูปทั่วไปของสมการการคำนวณได้ก็ถึงขั้นตอนการสร้างโมเดลสายส่งเพื่อทำการทดสอบผลเฉลย เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้วก็สามารถแก้สมการ Quasi-static form จากสมการแมกซ์เวลล์ได้ หลังจากนั้นสามารถคำนวณซ้ำที่แต่ละแรงดันเฟสของสายส่งต่อไป

3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

โครงสร้างการสร้างโมเดลการทดสอบในรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยโครงสร้างข้อมูลการทดสอบที่ใช้ในการประมวลผลศักย์ไฟฟ้าใกล้แนวสายส่ง เพื่อกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่เป็นตัวแปรอินพุต



รูปที่ 3.1 รายละเอียดการสร้างโมเดลสายส่ง

จากรูปที่ 3.1 ค่า nominal voltage และโครงสร้างสายส่ง (Conductor structure) การจัดวางสาย (Transmission Line configuration) ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 และการเรียงลำดับเฟส (Phase Sequence) โดยมีข้อมูลอินพุตของสายส่ง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลอินพุตสายส่ง

Voltage Level	33	kV
Number of Circuits	1	
Number of conductors per phase	1	
Diameter of single conductor	25	mm
Spacing between conductor	10	inch
Conductor type	SAC	
Height of the tower	12	m
Minimum clearance from ground	5.8	m

การแสดงผลวิเคราะห์ทิศทางที่เกิดของสนามไฟฟ้าในสายส่งด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น ได้กำหนดขอบเขตของปัญหาต่างๆ จากข้อมูลพื้นฐานประกอบการคำนวณดังตารางที่ 3.1 แต่การที่จะเกิดผลได้นั้นสิ่งหนึ่งที่ต้องนำมาประกอบคือ การคำนวณหาค่าแรงดันของแต่ละองศาเพื่อนำไปแทนค่าในโมเดลสายส่งที่ออกแบบไว้ กรณีคำนวณหาค่าแรงดันนั้นได้อธิบายที่มาของสมการดังต่อไปนี้

3.2 ระบบไฟฟ้า 3 เฟส (Three phase systems)

ในการผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไปแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตออกมามีมุมเฟสต่างกันอยู่ 120° โดยที่เฟส (a) จะมีมุม 120° นำหน้าเฟส (b) และ 240° นำหน้าเฟส (c) การเรียงลำดับเฟสจะไล่ตามลำดับของการที่แรงเคลื่อนถึงค่าสูงสุดหรือที่เรียกกันว่า Phase Sequence หรือ a-b-c ซึ่งใช้อักษร a, b และ c แทนเฟสต่างๆเมื่อ V_p คือ ค่าแรงดันสูงสุดของแต่ละเฟส (Peak values)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าแต่ละเฟสเป็นข้อมูลเริ่มต้นการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าในระบบดังสายส่ง 3 เฟส ก่อให้เกิดสนามไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเฟสรวมกันที่จุด P โดยสมมติให้ 2 เฟสที่เหลือมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์ผลรวมของสนามไฟฟ้าที่จุด P เป็นค่าสเกลาร์หรือผลรวมเวกเตอร์ที่เวลา t ใดๆ

สรุปสูตรสมการหาค่าแรงดันในแต่ละเฟส

$$V = \frac{[33kV \times 1.05]}{\sqrt{3}} \cos \theta \quad (2.1)$$

อธิบายสมการดังนี้

V	=	แรงดันที่ได้จากการคำนวณ (kV)
33 KV	=	ขนาดแรงดันของสายเคเบิลใต้ดิน
1.05	=	ค่าคงที่
$\sqrt{3}$	=	ระบบ 3 เฟส
$\cos \theta$	=	มุมต่างๆ

เมื่อกำหนดหาค่าแรงดันได้ซึ่งกำหนดมุมต่างๆจากตารางที่ 3.2 การกำหนดนั้นได้กำหนดมุมครั้งละ 30 องศา เพื่อดูแรงดันเปลี่ยนแปลงในแต่ละองศา

ตารางที่ 3.2 ค่าแรงดันของมุมที่กำหนด

มุมองศา θ	เฟส A (kV)	เฟส B (kV)	เฟส C (kV)
0	20.0051	-10.0025	-10.0025
30	17.324	-17.324	0
60	10.0025	-20.005	10.0025
90	0	-17.324	17.325
120	-10.0025	-10.0025	20.0058
150	-17.325	0	17.324
180	-20.005	10.0025	10.0025
210	-17.325	17.325	0
240	-10.0029	20.0058	-10.0025
270	0	17.324	-17.325
300	10.0025	10.0025	-20.005
330	17.325	0	-17.325
360	20.0058	-10.0025	-10.0025

ในการทดสอบนั้นผู้วิจัยมุ่งเน้นการนำเสนอผลที่มีการเปรียบเทียบกันระหว่างการตรวจวัดค่าสนามไฟฟ้าจริงดังหัวข้อที่ 4.1 และผลที่ได้จากการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังหัวข้อที่ 4.2 เปรียบเสมือนมีการตรวจสอบผลการตรวจวัดอีกครั้งเพื่อความปลอดภัยไว้นั่นเอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าภาคสนามในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของ กฟภ. อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Standard 644-1994, “IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines”, 1994 และ CIGRE technical brochure no.375, “Technical Guide For Measurement of Low Frequency Electric and Magnetic Fields Near Overhead Power Lines”, April 2009.

4.1 ขั้นตอนการตรวจวัดค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กของ กฟภ.

ในการตรวจวัดภาคสนามนั้น พื้นที่การตรวจวัดอาจไม่อำนวยให้สามารถตรวจวัดค่าสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าได้ทั้ง 2 ด้านของระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย ดังนั้นการตรวจวัดจึงดำเนินการเพียงด้านเดียวเท่านั้น โดยกำหนดแนวทางการตรวจวัด ดังนี้

4.1.1 ตรวจวัดที่ระบบสายส่งและระบบจำหน่ายของ กฟภ. ที่ระดับแรงดัน 115 เควี 33 เควี และ 22 เควี

4.1.2 ตรวจวัดที่ระดับความสูง 2 ระดับดังนี้

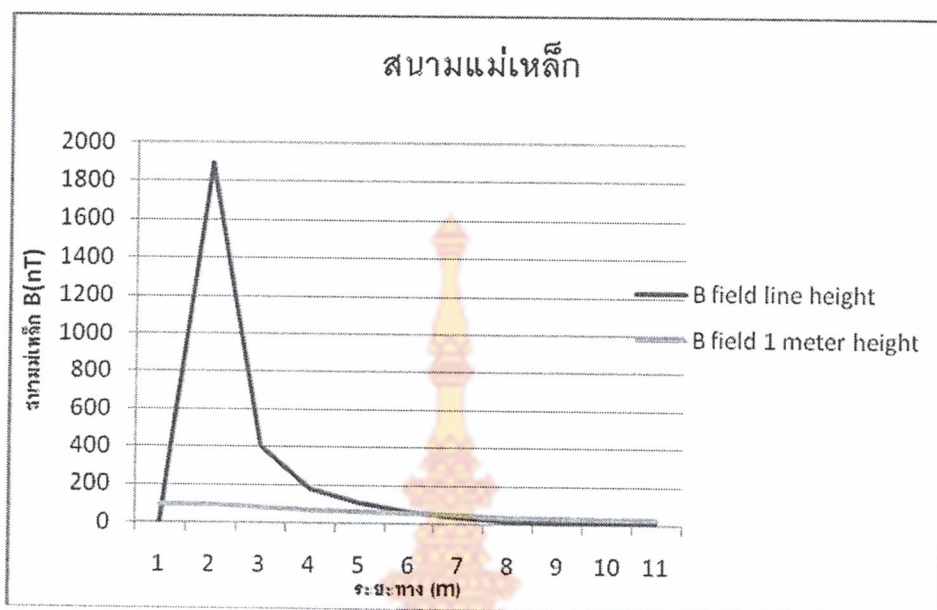
1. ตรวจวัดที่ระดับความสูงเท่ากับสายเฟส A เฟส B และ เฟส C ระดับแรงดัน 33 เควี โดยเริ่มวัดที่ระยะห่างสายสายเฟส 2 เมตร และวัดในแนวระดับออกไปทุก 2 เมตร จนถึงระยะ 20 เมตร
2. ตรวจวัดที่ระดับสูงจากพื้นดิน 1 เมตร โดยเริ่มวัดจากแนวเสา และวัดที่ระยะห่างทุก 2 เมตร ไปจนถึงที่ระยะ 20 เมตร (Lateral Profile)

โดยได้ค่าผลการตรวจวัดที่จังหวัดสงขลาคาดังตารางที่ 4.1 ของระบบจำหน่าย 33 เควี วงจรเดี่ยว วัดจากระยะกึ่งกลางเสาออกมาทางด้านข้างที่ละ 2 เมตรภายในระยะ 0-20 เมตร วัดที่สองระดับความสูงสายส่งและที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดินซึ่งเป็นระยะเดียวกับมาตรฐาน ICNIRP โดยเปรียบเทียบในรูปแบบของกราฟแสดงค่าสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 จากข้อมูลส่วนนี้จะเป็นข้อมูลเปรียบเทียบที่สำคัญในการทดสอบผลลัพธ์ด้วยการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์

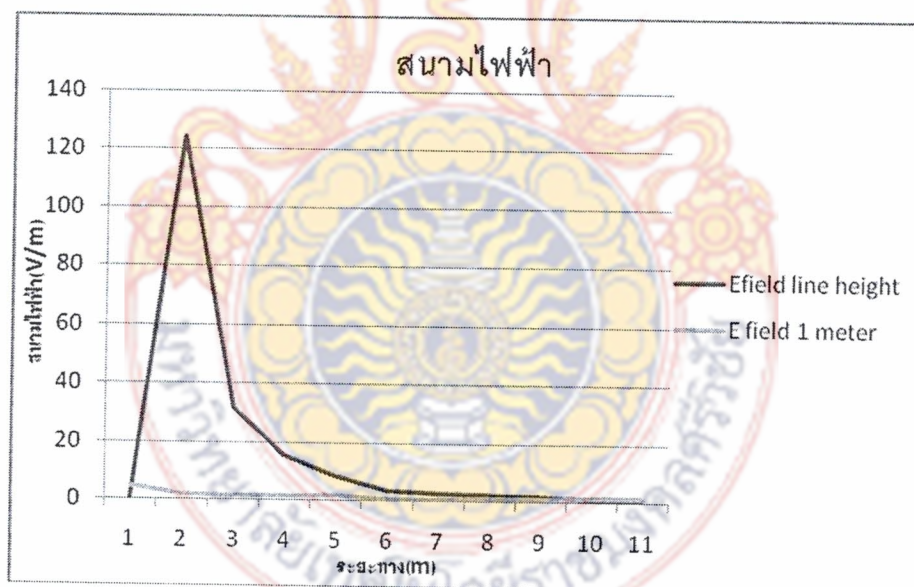
ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจวัดระบบจำหน่าย 33 เควี วงจรเดียว สถานที่ จ.สงขลา

ระยะ	สูงระดับสายเฟส		1 ม.จากพื้น		คำนวณ 1 m
	B (nT)	E (V/m)	B (nT)	E (V/m)	E (V/m)
0	0	0	100	4.775	0.1331
2	1890	124.4	98.5	2.104	0.1733
4	404.8	31.73	89	1.76	0.2293
6	181.9	15.5	75	1.479	0.2854
8	112	8.65	65	2.072	0.3110
10	66.9	3.9	55.5	0.891	0.2886
12	42.5	2.7	50	1.056	0.2346
14	19.7	2.3	40	1.27	0.1787
16	14.9	1.89	35.5	1.35	0.1370
18	21	1.3	30.3	1.548	0.1092
20	21	1.1	30	1.609	0.0900

ตารางที่ 4.1 เป็นการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในเขตจังหวัดสงขลาเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2554 เป็นการตรวจวัดค่าเพื่อตรวจสอบมาตรฐานตามระยะเวลาที่กำหนด โดยการตรวจวัดในครั้งนี้ได้มีการวัดในหลายๆ พื้นที่ในบริเวณเขตจังหวัดซึ่งมีรายละเอียดเพิ่มเติมอยู่ในภาคผนวก ก จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 นำมาอธิบายในรูปของกราฟเส้นเพื่อเปรียบเทียบผลดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟสนามแม่เหล็กที่ระดับความสูงสายส่งและความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน



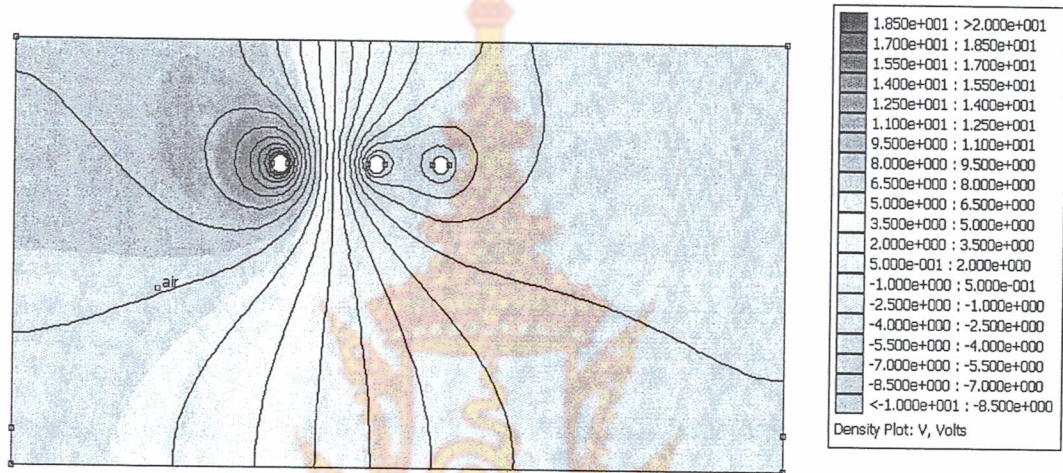
รูปที่ 4.2 กราฟสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูงสายส่งและระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน

4.2 การทดสอบผลสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

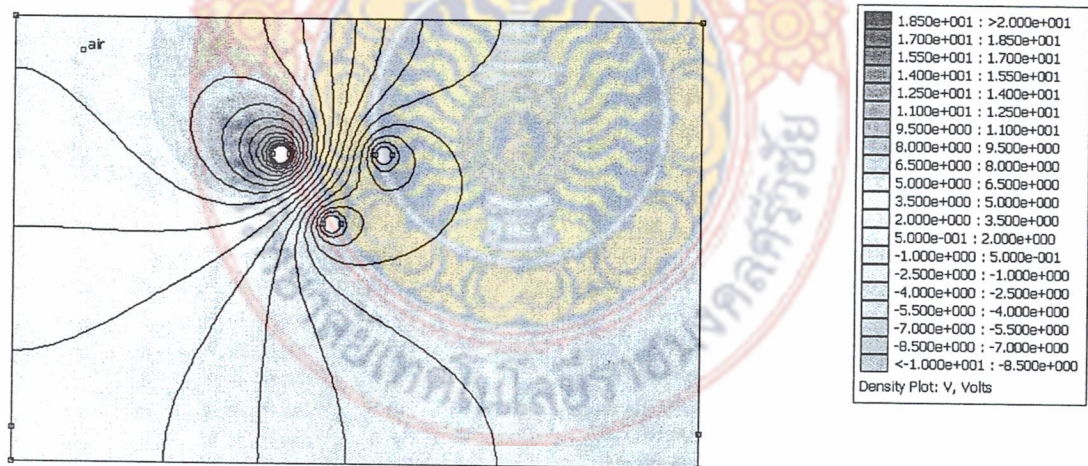
การทดสอบแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 เงื่อนไขหลัก ดังต่อไปนี้

4.2.1 การกระจายสนามไฟฟ้าตามลักษณะการวางสาย

การกระจายสนามไฟฟ้าของสายส่งตามรูปที่ 1.2 ขนาดพิกัดแรงดัน 33 kV มีด้วยกันสองลักษณะ ซึ่งการกระจายของเส้นศักย์ไฟฟ้าตามลักษณะการวางสายทั้ง 2 กรณีมีความแตกต่างกันที่ทิศทาง การแพร่ ค่าต่างๆที่เกิดขึ้นมีความแตกต่างกันไปด้วย



รูปที่ 4.3 การกระจายของสนามไฟฟ้าในสายส่งแบบ flat เมื่อแรงดันสูงสุดที่เฟส A



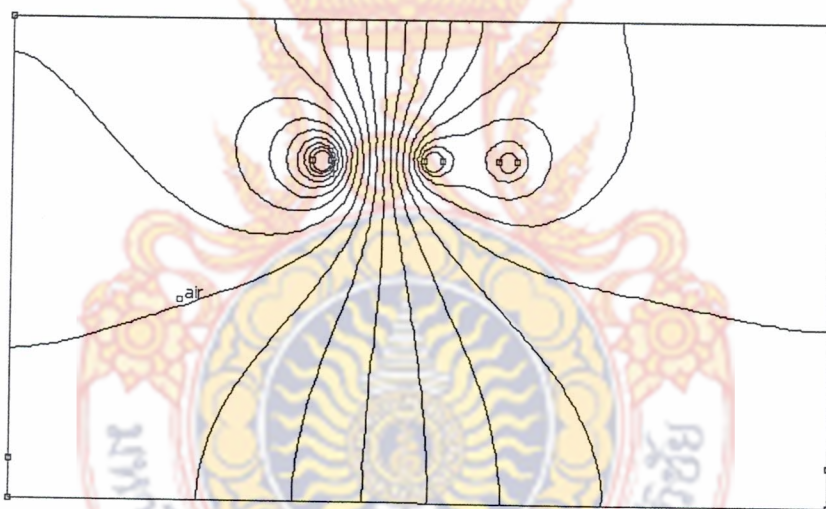
รูปที่ 4.4 การกระจายของสนามไฟฟ้าในสายส่งแบบสามเหลี่ยม เมื่อแรงดันสูงสุดที่เฟส A

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 การกระจายสนามไฟฟ้าเป็นการกระจายจากผิวตัวนำออกสู่บริเวณภายนอก เพราะฉะนั้นจะไม่มีแรงดันเกิดขึ้นภายในสายส่งจึงเกิดเป็นจุดสีขาวปรากฏอยู่ในรูป โดยสภาพแวดล้อมสมมูลให้เป็นอากาศ (Air) มีค่าสัมประสิทธิ์ความนำเท่ากับ 1

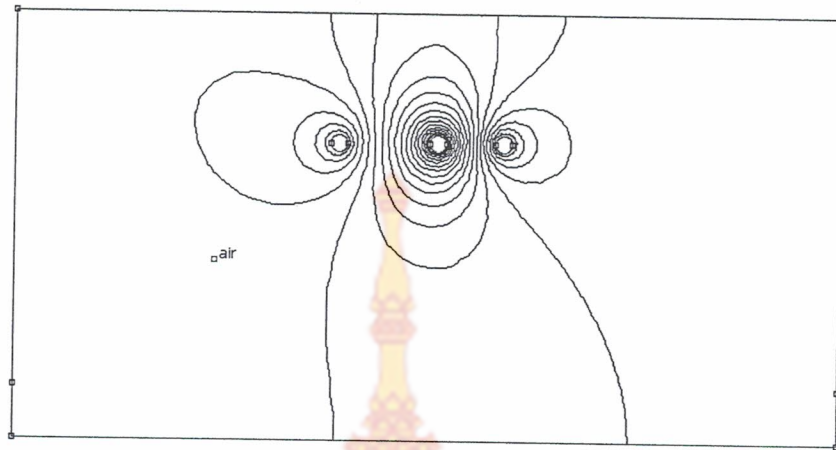
จากผลการทดสอบจะเห็นว่าเกิดเส้นแรงไฟฟ้าไหลจากจุดที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงไปยังศักย์ไฟฟ้าต่ำ แสดงความเข้มด้วยแถบสีซึ่งสามารถดูระดับได้จากแถบความเข้มด้านขวามือของรูป

4.2.2 การกระจายสนามไฟฟ้าตามแรงดันเฟส

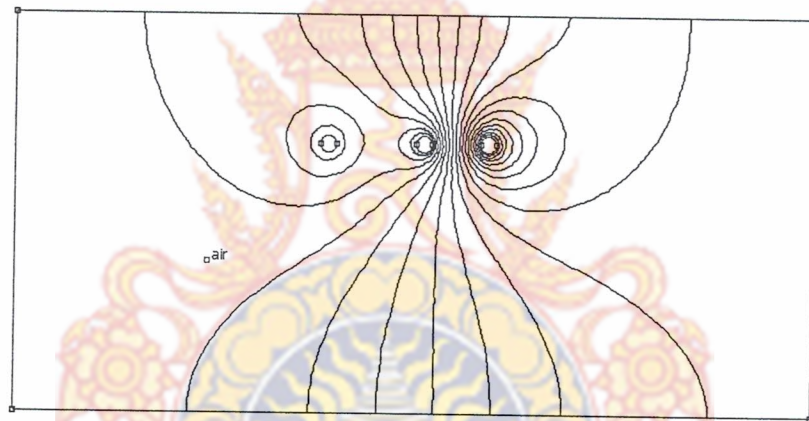
ระบบไฟฟ้าตัวอย่างของ กฟภ. ที่นำมาทำการจำลองเพื่อศึกษาค่าสนามไฟฟ้าระบบจำหน่ายแรงสูง 33 เควี จำนวน 1 วงจร นับเป็นรูปแบบระบบไฟฟ้าที่จ่ายโหลดได้สูงสุด โดยจัดวางสายตัวนำตามแบบมาตรฐานการก่อสร้างของ กฟภ. ในการจำลองนั้นพิจารณากรณีที่ระบบไฟฟ้าแต่ละวงจรจ่ายโหลดค่าสูงสุดเช่นเดียวกันเพื่อให้ได้ค่าสนามไฟฟ้าที่สูงสุดที่เป็นไปได้ที่มีแหล่งกำเนิดจากระบบไฟฟ้าของ กฟภ. โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.2



รูปที่ 4.5 การกระจายสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส A วางสายแบบ Flat

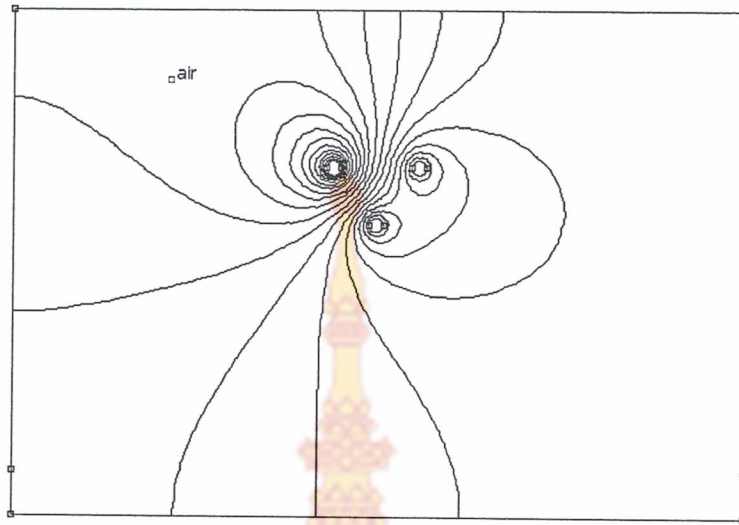


รูปที่ 4.6 การกระจายสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส B วางสายแบบ Flat

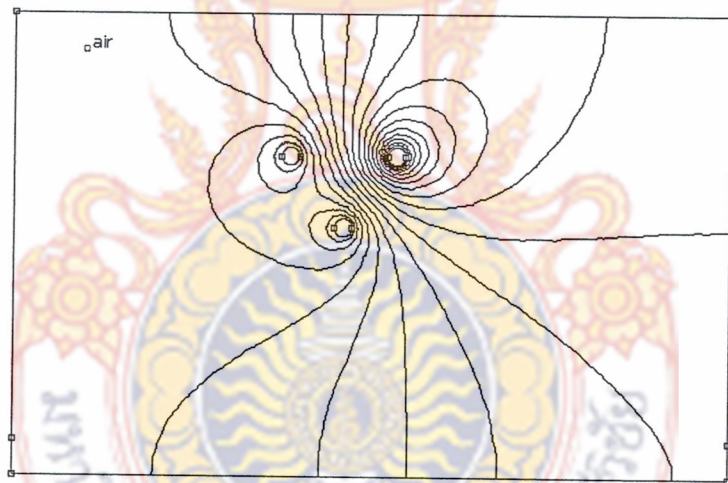


รูปที่ 4.7 การกระจายสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส C วางสายแบบ Flat

ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าคู่ได้จากการอัดแน่นของเส้นศักย์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 โดยเปลี่ยนแปลงแรงดันสูงสุดไปตามเฟส A เฟส B และเฟส C กรณีการวางสายแบบ Flat สำหรับการวางสายแบบสามเหลี่ยมก็จะมีผลลัพธ์ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.8 การกระจายสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส A วางสายแบบสามเหลี่ยม



รูปที่ 4.9 การกระจายสนามไฟฟ้าแรงดันสูงสุดที่เฟส B วางสายแบบสามเหลี่ยม

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การคำนวณสนามไฟฟ้าโดยรอบสายส่งที่เกิดการสูญเสียจากโคโรนา (corona discharge) สามารถวิเคราะห์ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method : FEM) และ Charge Simulation method (CSM) ซึ่งระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นที่นิยมแพร่หลายในการวิเคราะห์โดยการประมาณขอบเขตตัวกลางระหว่างสายส่งตัวนำ สำหรับสายส่งเหนือศีรษะจะประมาณขอบเขตออกไปสู่ระยะอนันต์ สำหรับวิธี CSM จะหลีกเลี่ยงปัญหาจากวิธี FEM โดยการกำหนดค่าขอบเขตเป็นศูนย์ที่ระยะอนันต์เป็นเงื่อนไขขอบเขตการคำนวณ และจำนวนของประจุจะส่งผลให้เกิดการคำนวณจุดที่น้อยกว่าชิ้นส่วนของ FEM แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าคำนวณได้เร็วกว่าระเบียบวิธี FEM เพียงแต่เป็นทางเลือกให้กับผู้ใช้เท่านั้น ดังนั้นการทดลองต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะสามารถแสดงให้เห็นถึงระดับแรงดันที่กระจายตัวอยู่รอบสายส่งแรงดันต่ำ โดยสามารถสร้างความมั่นใจให้กับผู้ปฏิบัติงานภายในสถานีไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าทุกคนได้ โดยการทดสอบยังมีข้อจำกัดบางอย่างดังต่อไปนี้

5.1 สรุป

จากผลการตรวจวัดสนามไฟฟ้าที่ได้แนวสายไฟโดยตรงนั้นจะเห็นได้ว่าค่าสนามไฟฟ้าที่เป็นไปได้มีค่าไม่เกินขีดจำกัดตามข้อกำหนดของ ICNIRP ที่ระยะความปลอดภัยทางไฟฟ้า อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่าที่ได้เป็นค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วค่าสนามไฟฟ้าจะแปรเปลี่ยนไปตามความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดเวลา อีกทั้งการได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมก็ส่งผลต่อการลดทอนหรือเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ดังนั้นการนำข้อมูลนี้ไปใช้งานจึงต้องพิจารณาปัจจัยด้านต่างๆ ให้ครบถ้วนและถูกต้องในทุกๆ ด้าน ทั้งนี้ปัจจุบันเริ่มมีการศึกษาผลกระทบจากสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กมากขึ้นมีบางหน่วยงานเห็นว่าค่าขีดจำกัดของ ICNIRP มีค่าค่อนข้างสูง บางประเทศในยุโรปจึงกำหนดขีดจำกัดต่ำกว่านี้หรือเพิ่มเติมรายละเอียดการใช้งานมากขึ้น อีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ขีดจำกัดที่ถูกกำหนดนั้นมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากการผลักดันโดยการมีส่วนร่วมของภาคประชาชนที่ตื่นตัวต่อผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยจากการตกอยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กในฐานะเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียโดยตรง

ในอนาคตอันใกล้นี้ มีความเป็นไปได้ที่ประเทศไทยจะมีการออกข้อกำหนดหรือกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเพื่อนำมาบังคับใช้เพื่อให้สอดคล้องกับความก้าวหน้าใน

ด้านต่างๆ และความต้องการปลอดภัยจากผลกระทบจากการดำเนินการด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งทางตรงและทางอ้อม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำผลการทดสอบและตรวจวัดของ กฟภ. ซึ่งเป็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงมาเป็นแนวทางในการศึกษา ติดตามข้อมูล ทิศทางการดำเนินการด้านขีดจำกัดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก เพื่อให้มีข้อมูลที่ถูกต้อง ทันสมัยอยู่ตลอดเวลา จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์มีการกระจายเป็นรูปเส้นโค้งสูงต่ำ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับผลการวัดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพียงแต่มีการเบี่ยงเบนค่าในบางช่วงค่อนข้างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการวัดจริงและการสร้างโมเดลเพื่อการทดสอบ ยังมีตัวแปรบางส่วนที่มีผลต่อการทดสอบอยู่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การกำหนดขอบเขตการทดสอบที่ค่อนข้างชัดเจนซึ่งอาจไม่ตรงตามสภาวะแวดล้อมจริง โดยในสภาพแวดล้อมอาจจะมีสภาวะอื่นๆ ที่เป็นประเด็นสำคัญเนื่องจากระเบียบวิธีฟิสิกส์อิเล็กทริกจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้ชัดเจนเพื่อการแทนค่าตัวแปร

5.2.2 การคำนวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับแรงดันต่ำมากสามารถแยกย่อยออกเป็นสองส่วนหลักๆ คือ สนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H ซึ่งแบ่งแยกชัดเจนโดยอธิบายไว้ในสมการของแมกซ์เวลล์ จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมุ่งเน้นเพื่อคำนวณหาสนามไฟฟ้าโดยรอบสายส่งแรงต่ำเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถต่อยอดผลงานได้อีกต่อไปในด้านการคำนวณสนามแม่เหล็ก H

5.2.3 ผู้วิจัยสามารถปรับลดค่าความผิดพลาดในผลการคำนวณได้ แต่จะต้องขึ้นอยู่กับความยุ่งยากในการทดสอบที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงคัดเลือกจุดที่คิดว่าเหมาะสมและมีค่าความผิดพลาดในระดับที่ยอมรับได้



เอกสารอ้างอิง

- [1] วิวัฒน์ เอกบุรณะวิวัฒน์. Health Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) ศูนย์อาชีวเวชศาสตร์และเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม รพ.นพรัตนราชธานี ;www.thaiocmed.org
- [2] กมลทิพย์ ไหมวงศ์ธารง และคณะ. การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทย. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 หน้า 640-647, 2554.
- [3] Guidelines for limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields (Up to 300 GHz), ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Vol 74, 1998.
- [4] ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสายส่งไฟฟ้า. การไฟฟ้านครหลวง จัดพิมพ์โดย บริษัท วิสมา เอเชีย จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 2 ฝ่ายวิจัยและพัฒนา, 2551.
- [5] S. Nilboworn, K. Tuntrarungroj, A. Seagar. "Reduction of Fields Nearby High Tension Power Lines using Grounded Shields " 30th Electrical Engineering Conference (EECON 30), Khanchanaburi, 25-26 October 2007, p201-204.
- [6] Seagar A.D., R.J-M Grogard "Simulation of Current Flow in Piecewise Constant Media." Australasian Physical & Engineering Science in Medicine. Vol. 14 No.4
- [7] สุรัตน์ นันตะสุคนธ์. ระบบไฟฟ้ากำลัง เล่ม 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 3, 2541.
- [8] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. คู่มือความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูง. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 1, 2553.
- [9] ระบบสายส่ง และสายจำหน่ายของ กฟภ. รายงานความก้าวหน้า งานวิจัยเพื่อศึกษาค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากระบบส่งและระบบจำหน่ายแรงสูง. 2553.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ กฟภ.

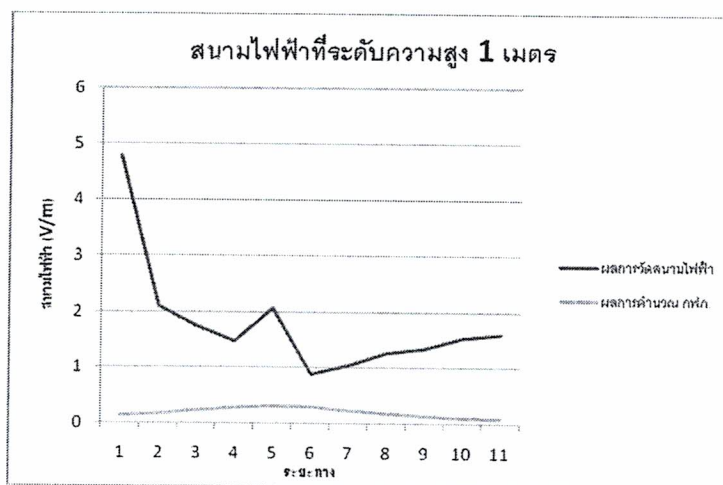
1. การทดสอบสถานที่แรก

30 พ.ย. 53 14.30 น. 33 kV

Cable Spacer 1 วงจร

Ia	86.8	A
Ib	89.6	A
Ic	87.3	A

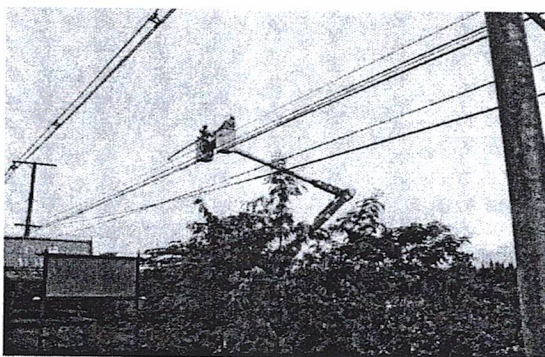
ระยะ	สูงระดับสายเฟส		1 ม.จากพื้น		คำนวณ 1 m
	B (nT)	E (V/m)	B (nT)	E (V/m)	E (V/m)
0	0	0	100	4.775	0.1331
2	1890	124.4	98.5	2.104	0.1733
4	404.8	31.73	89	1.76	0.2293
6	181.9	15.5	75	1.479	0.2854
8	112	8.65	65	2.072	0.3110
10	66.9	3.9	55.5	0.891	0.2886
12	42.5	2.7	50	1.056	0.2346
14	19.7	2.3	40	1.27	0.1787
16	14.9	1.89	35.5	1.35	0.1370
18	21	1.3	30.3	1.548	0.1092
20	21	1.1	30	1.609	0.0900



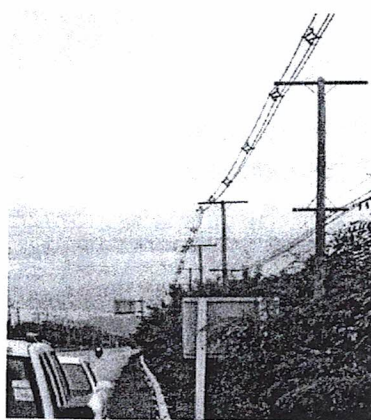
รูปที่ ก.1 เปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณของ กฟภ.



รูปที่ ก.2 การตรวจวัด ณ สถานที่จริง



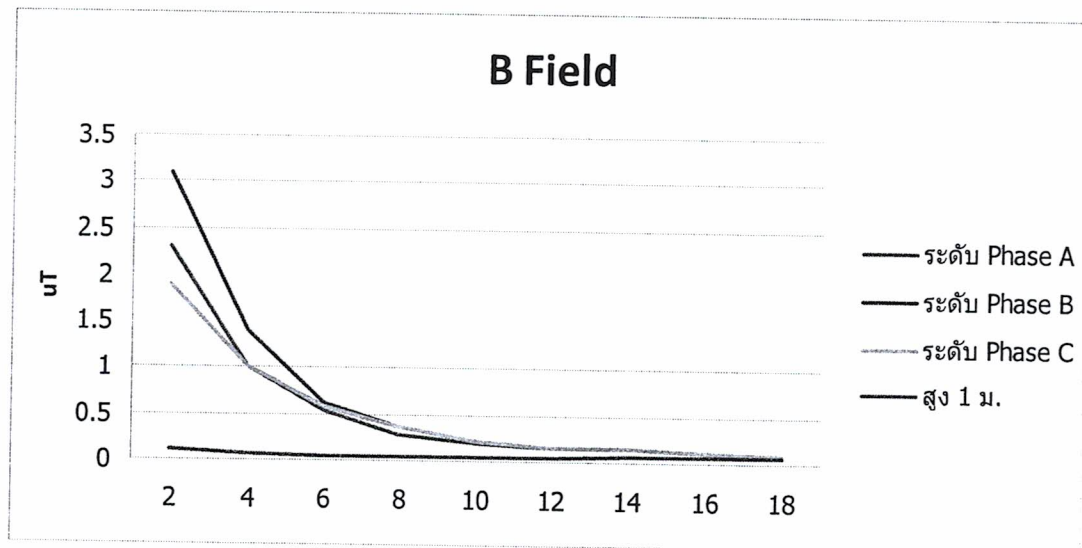
รูปที่ ก.3 การขึ้นปฏิบัติการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



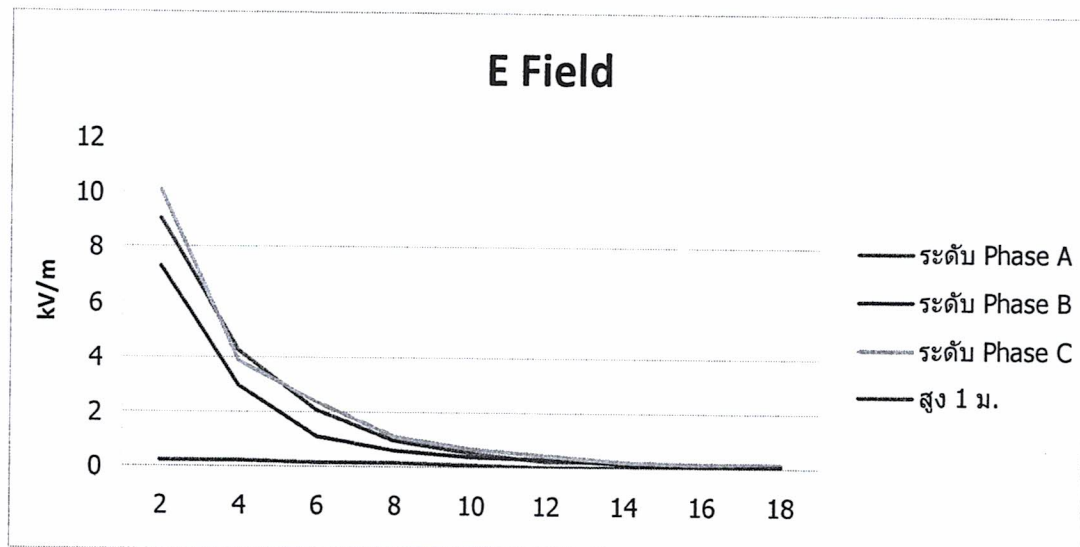
รูปที่ ก.4 ลักษณะแนวสาย ณ สถานที่จริง

2.2 การตรวจวัดสนามไฟฟ้า

Distance	E field (kV/m)	E field (kV/m)	E field (kV/m)	สูง 1 ม.
	ระดับ Phase A	ระดับ Phase B	ระดับ Phase C	
	18.3	15.8	13.3	
2	9.069	7.297	10.1	0.187
4	4.227	2.964	3.831	0.213
6	2.031	1.137	2.376	0.174
8	0.9432	0.576	1.126	0.12
10	0.523	0.388	0.6505	0.067
12	0.2437	0.2589	0.4526	0.03
14	0.242	0.1666	0.2111	0.015
16	0.165	0.1495	0.1807	0.032
18	0.175	0.1322	0.1638	0.047



รูปที่ ก.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส



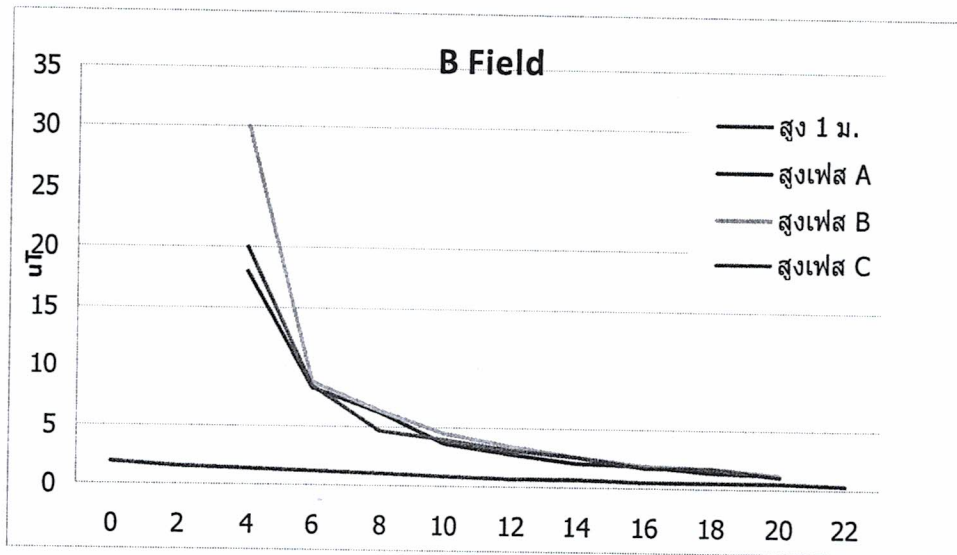
รูปที่ 6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส

3. การทดสอบที่พุทธมณฑลสาย 5 ฟังศาลายา

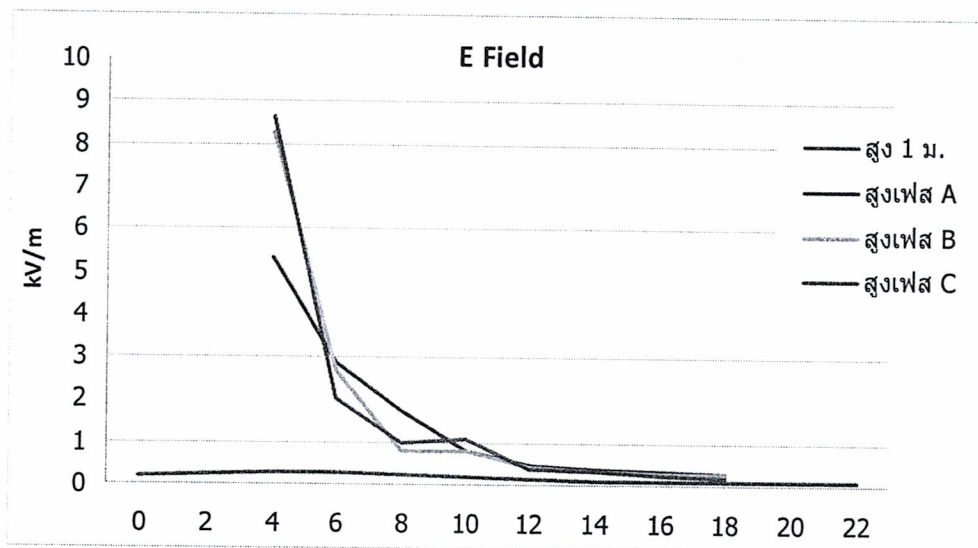
115kV 2 วงจร

22 kV 2 วงจร PIC+SAC

	Case 1	Case2	หน่วย	
NCA 5YB-01	470	810	A	115 ต้นทาง
PMB 5YB-01	350	683	A	115 ปลายทาง
PMB 3YB-01	0	302	A	115
PMB 6YB-01	254	263	A	สายเปลือย
PMB 1YB-01	90	108	A	สาย SAC



รูปที่ ก.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส
ที่พุทธมณฑลสาย 5 ฟังศาลายา



รูปที่ ก.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส
ที่พุทธมณฑลสาย 5 ฟังศาลายา

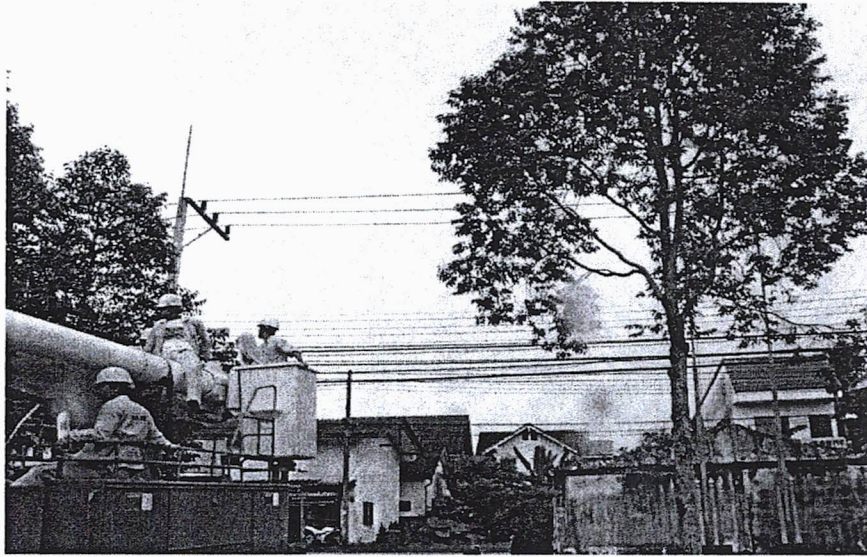
4. การทดสอบที่วัดคลื่นเหนี่ยวน (วัดชายคลอง)

วันที่ 30 พ.ย. 53 15.30 น.

สายPIC Allay Arm

Ia	46.7	A
Ib	51	A
Ic	49.8	A

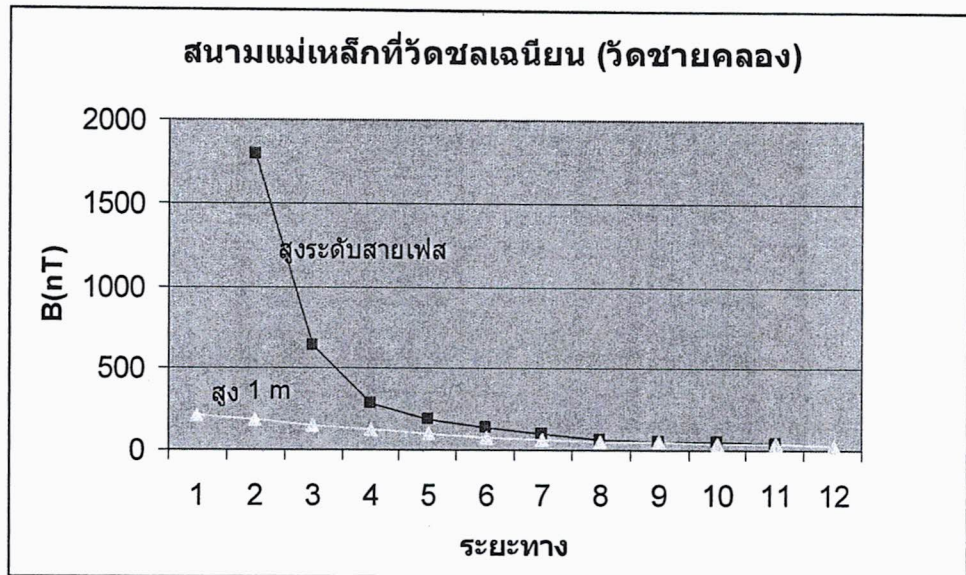
ระยะ	สูงระดับสายเฟส		1 ม.จากพื้น	
	B (nT)	E (V/m)	B (nT)	E (V/m)
0			207	49.81
2	1789	299.2	179.4	10.99
4	643	81.85	148.3	12.92
6	288.1	33.31	117.6	8.57
8	186.4	15.1	95.7	4.477
10	138.4	8.5	77.5	3.275
12	96.8	1.95	65.6	3.343
14	62.2	1.6	53.4	3.416
16	49.5	1.45	44.9	3.199
18	43.31	1.4	38.81	2.857
20	35.32	1.26	33.7	2.529
22			29.24	2.256



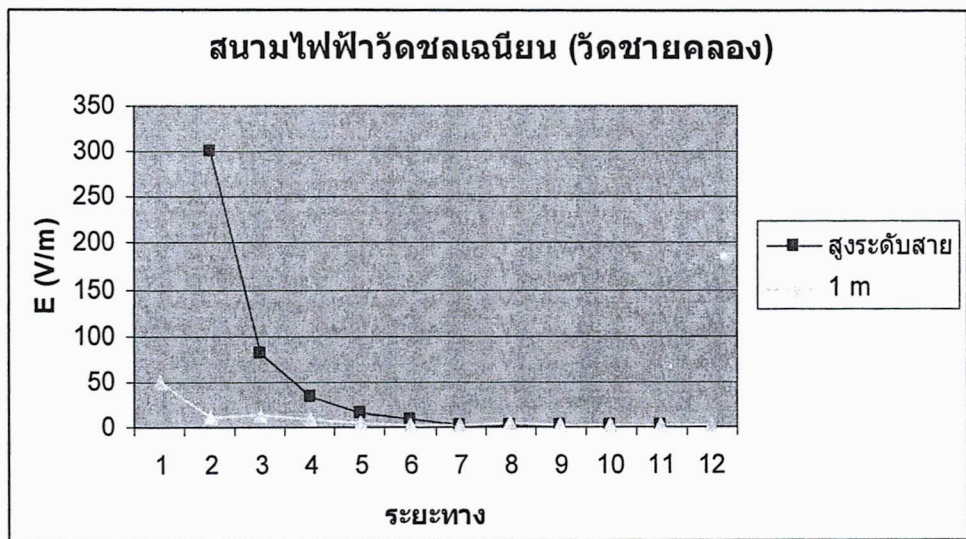
รูปที่ ก.11 การตรวจวัด ณ สถานที่จริง



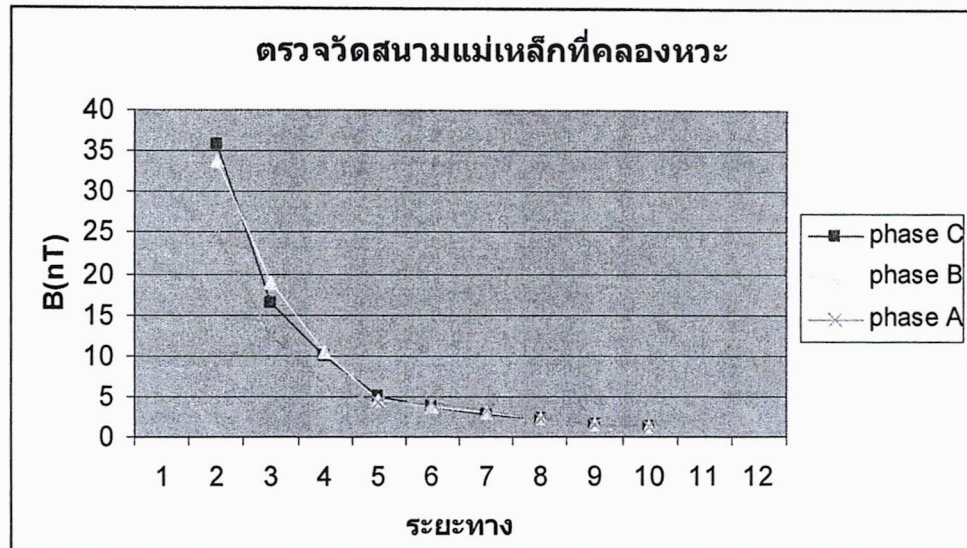
รูปที่ ก.12 การตรวจวัดทั้งสองด้าน



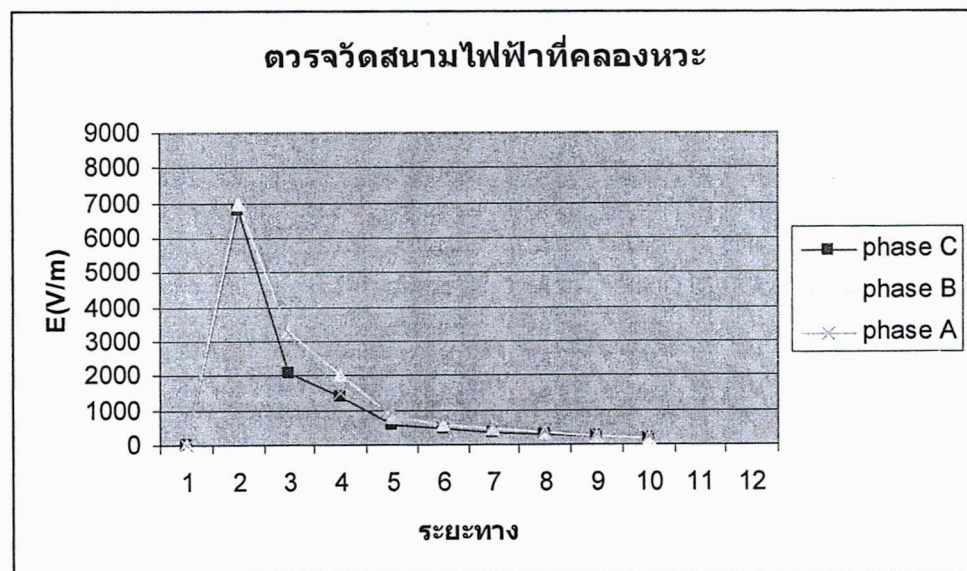
รูปที่ ก.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงที่วัดชลเจนียน (วัดชายคลอง)



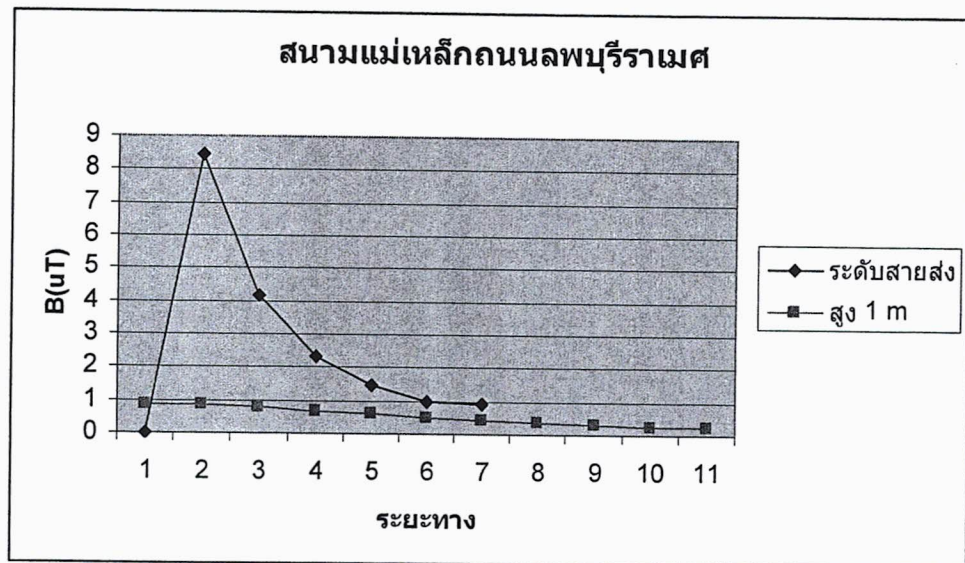
รูปที่ ก.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่วัดชลเจนียน (วัดชายคลอง)



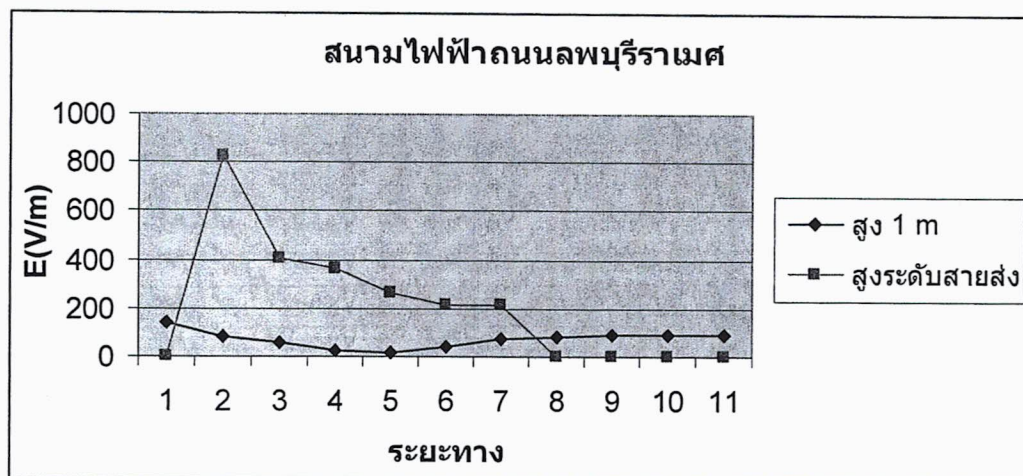
รูปที่ ก.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงที่คลองหะ



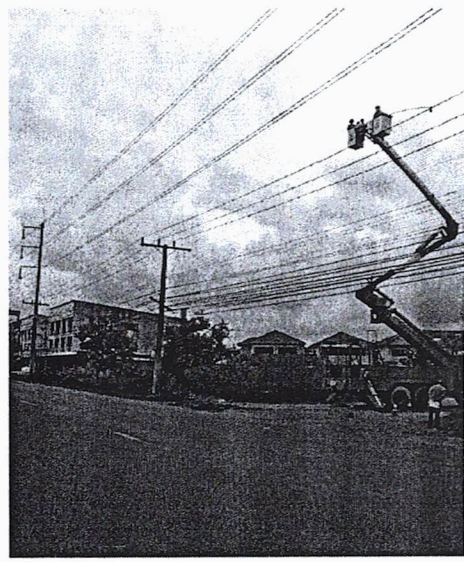
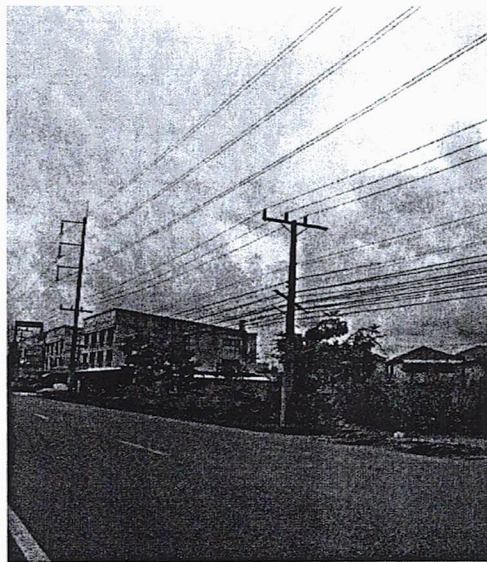
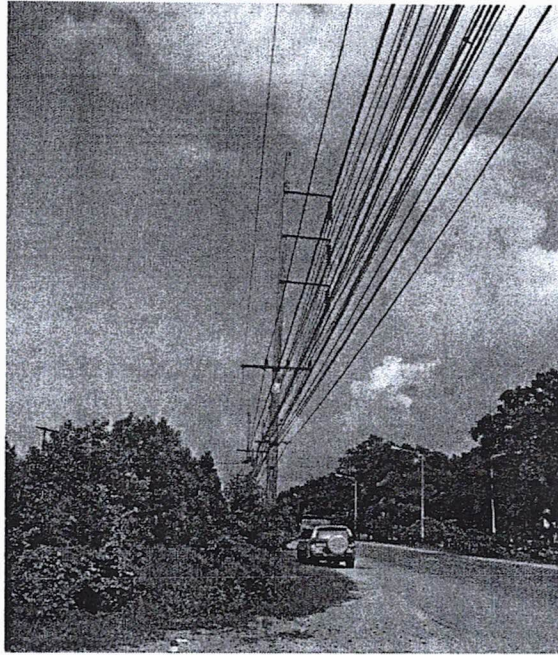
รูปที่ ก.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่คลองหะ



รูปที่ ก.18 กราฟสนามแม่เหล็กเฉลี่ยที่ถนนลพบุรีราเมศ



รูปที่ ก.19 กราฟสนามแม่ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ถนนลพบุรีราเมศ



รูปที่ ก.20 การตรวจวัด ณ ถนนลพบุรีราเมศ

7. การทดสอบที่หน้ากรมพัฒนาที่ดิน อ.จะนะ

Confiqure 115 kV Single Circuit Single conductor

วันที่ 15 ธ.ค. 2553

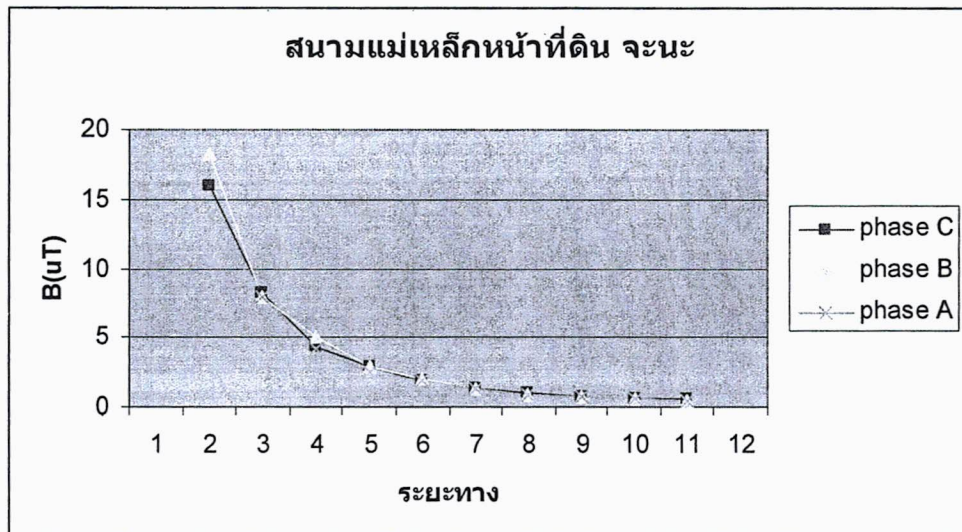
เวลา 9.57 น.

กระแส

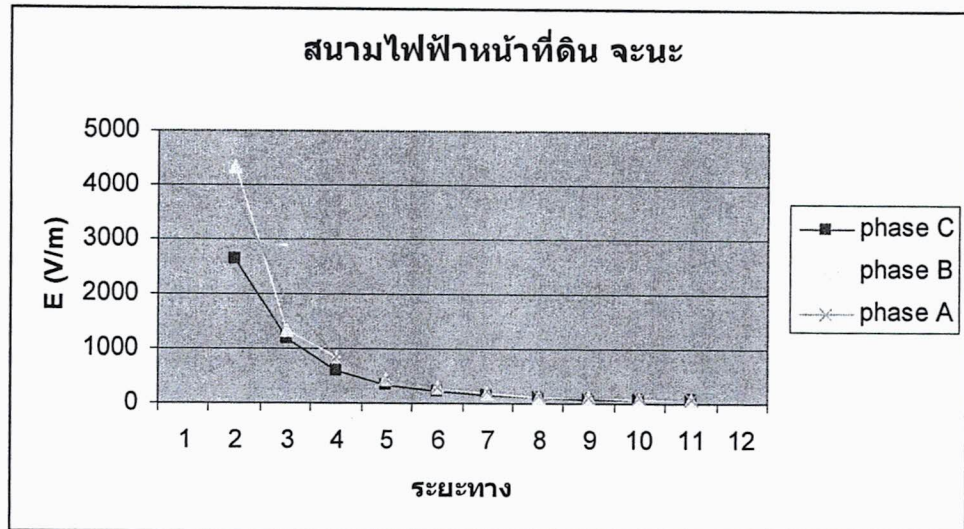
115	Ia	276 A
115	Ib	276 A
115	Ic	276 A

ระยะ	ระดับเฟส C (115 kV)		ระดับเฟส B (115 kV)	
	B Field (uT)	E Field (V/m)	B Field (uT)	E Field (V/m)
0				
2	16.04	2647	18.34	4347
4	8.239	1179	7.869	1327
6	4.254	576	5.068	847
8	2.847	346.6	2.879	440.5
10	1.934	228.8	2.048	288.9
12	1.303	131.4	1.295	175.2
14	0.968	95.46	0.908	119.1
16	0.723	75.8	0.747	96.7
18	0.617	74.1	0.6	91.3
20	0.517	67	0.495	72.7
22				

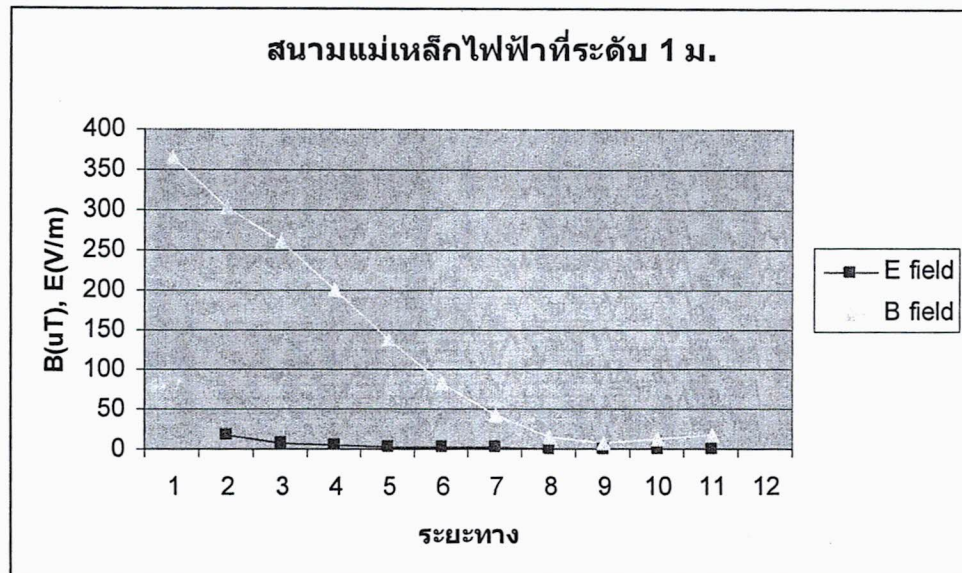
ระดับเฟส A (115 kV)		1 ม. จากพื้น	
B Field (uT)	E Field (V/m)	B Field (uT)	E Field (V/m)
		1.895	365.8
13.79	3799	1.662	303.3
7.957	1845	1.364	259.4
4.223	869	1.112	199.1
2.493	455.8	0.902	136.5
1.806	306.9	0.732	82.63
1.269	211.6	0.593	41.58
0.883	134.9	0.488	14.32
0.764	120.3	0.417	6.36
0.559	96.5	0.351	13.03
0.491	77.7	0.315	17.4



รูปที่ ก.21 กราฟสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟสหน้าสำนักงานที่ดิน อ.จะนะ



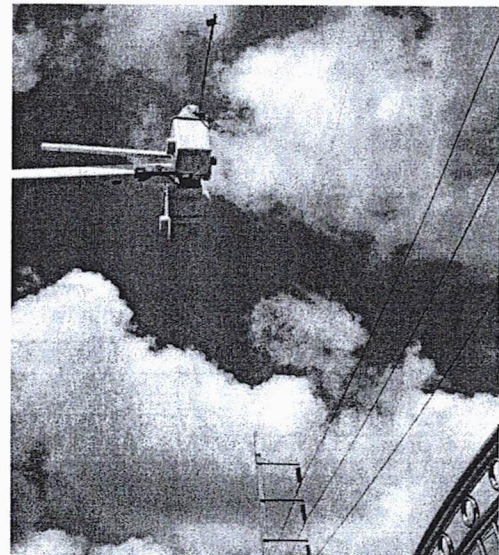
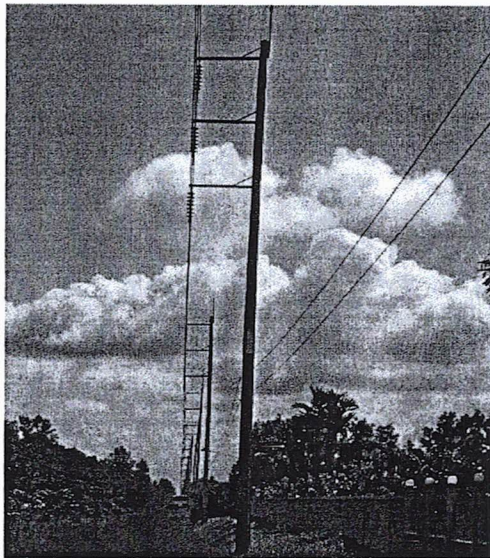
รูปที่ ก.22 กราฟสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟสหน้าสำนักงานที่ดิน อ.จะนะ



รูปที่ ก.23 กราฟสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ความสูง 1 เมตร
ตรวจวัดหน้าสำนักงานที่ดิน อ.จะนะ



รูปที่ ก.24 การตรวจวัด ณ หน้ากรมพัฒนาที่ดิน อ.จะนะ



รูปที่ ก.25 แนวเสาส่งและการขึ้นปฏิบัติงานหน้ากรมพัฒนาที่ดิน อ.จะนะ

ภาคผนวก ข

การศึกษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยจากผลกระทบของสนามไฟฟ้าโดยรอบสายส่ง
A Study and Safety Analysis from Electric Fields Effect
near the Electric Tower

¹สลักจิต นิลบวร ¹สมคิด ลีลาชนะชัยพงษ์ ²กัณตภณ มะหะหมัด

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ด.บ่ออย่าง อ.เมือง จ.สงขลา

N.salakchit@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การเกิดสนามไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน หรือ *Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF)* ในสายส่งระดับแรงดันปานกลาง 33 kV หนึ่งวงจร การวางสายแบบ flat ในสายส่งเหนือหัว เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณ โดยรอบ โดยการสร้าง โมเดลเสมือนสำหรับการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าภายในระยะปลอดภัย (*Right of Way*) ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงระดับแรงดันสูงสุดและระดับแรงดันที่ลดลงตามระยะทางที่ห่างออกมาจากเสาส่ง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานและข้อกำหนดของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน การวางสายแบบ flat ระยะปลอดภัย

Abstract

This paper presents a study and analysis Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF). A case study related to overhead transmission line 33 kilovolts, single circuit for flat configuration. Consideration of effect that exposure to environment nearby the tower. A computational model was computed to calculate electric fields existing in Right of way (R.O.W) Results of simulation of electric fields have shown the peak field and voltage reduction along the distance from tower . Finally, analysis the field intensity at height 1 meter above ground for compare the results with standardization of Electricity Generating Authority of Thailand.

Keyword:. Extremely low frequency Electromagnetic field, flat configuration, Right of way

1. บทนำ

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าออกสู่ชุมชนเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดคลื่นที่เป็นรังสีแบบไม่ก่อประจุ (Non-ionizing radiation) ออกมาซึ่งจัดเป็นประเภทสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน หรือ Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF) รังสีเหล่านี้มีความถี่คลื่นในช่วง 3-3,000 Hz ซึ่งเป็นความถี่ในระดับต่ำมาก โดยความถี่ที่ได้รับมีความสนใจว่าจะมีผลต่อสุขภาพมากที่สุดก็คือความถี่ที่ 50-60 Hz [1] ซึ่งเป็นความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนนั่นเอง รังสีเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้มากมายแต่เมื่อมาตกกระทบกับร่างกายมนุษย์อาจก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพซึ่งเป็นที่พึงประโยชน์และโทษ มีการศึกษาวิจัยหลายฉบับพบว่าการสัมผัสสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ELF-EMF โดยตรงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลต่อโรคมะเร็ง [1], [2] และผลกระทบทางด้านต่างๆ ต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แม้ว่าปัจจุบันจะยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอนแต่ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยมีหน่วยงานต่างๆ มากมายที่ทำการวิจัยและพัฒนาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น หน่วยงาน International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [3] องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ที่กำหนดมาตรฐานและควบคุมค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีความปลอดภัย เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อทดสอบระดับของสนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่โดยรอบสายส่งภายในระยะปลอดภัย 1 เฟส 3 สายระดับแรงดันปานกลาง 33 kV และวิเคราะห์ถึงความปลอดภัยของสิ่งแวดล้อมบริเวณสายส่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานข้อกำหนดต่างๆ

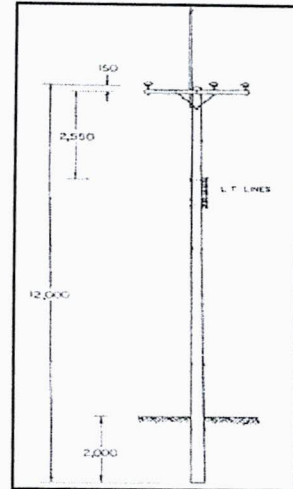
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รายละเอียดสายส่งไฟฟ้า

รายละเอียดของเสาเป็นข้อมูลเริ่มต้นการทดสอบ ดังภาพที่ 1 สายส่งไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 33 kV แบบวงจรเดี่ยวประกอบด้วยสายตัวนำไฟฟ้าวางตามลำดับไฟฟ้า 3 เฟส เสาสูงขนาด 12 เมตร

2.2 ชีตอันตรายจากไฟฟ้า

อันตรายจากไฟฟ้าอาจเกิดจากแรงดันหรือกระแส แต่อันตรายที่เกิดขึ้นแก่ร่างกายมนุษย์และสัตว์จะมากน้อยเพียงใดนั้นกำหนดด้วยกระแสและแรงดันที่ไหลผ่านร่างกาย ในแต่ละประเทศได้กำหนดแรงดันอันตรายไว้ ดังตัวอย่างในบางประเทศต่อไปนี้



ภาพที่ 1 : ระบบส่งไฟฟ้าแรงดันปานกลางขนาด 33 กิโลโวลต์
ข้อมูลโครงสร้างจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ 1 ค่าระดับแรงดันอันตราย

มาตรฐานหรือข้อกำหนด	ระดับแรงดันอันตรายที่กำหนด (โวลต์)
SEV สวิตเซอร์แลนด์	50
VDE เยอรมนี	65
IEC นานาชาติ	42
NEC Code USA	50

2.3 ระยะปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Approach Distance)

ตารางที่ 2 แสดงระยะปลอดภัยต่ำสุดในหน่วยเมตรและนิ้วสำหรับแรงดันเฟส-เฟส ทั่วไปที่ใช้งานในระบบของ Bonneville Power Administration (BPA) ระยะปลอดภัยต่ำสุดกำหนดจากค่าแรงดันทรานเซียนด์สูงสุดที่การติดต่อวงจรแบบอัตโนมัติสามารถสร้างได้ และเป็นระยะปลอดภัยต่ำสุดตาม

ข้อกำหนดของ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) และ Electrical Safety Code (NESC)

ตารางที่ 2 ระยะปลอดภัยต่ำสุด [7]

ระดับแรงดันไฟฟ้า (เฟส-เฟส)		
	เมตร	นิ้ว
แรงดันไฟฟ้า < 15 kV	0.67	26
แรงดันไฟฟ้า 34.5 kV	0.72	28

2.4 การประมาณเชิงตัวเลข

สมการแมกซ์เวลล์เป็นสมการที่อธิบายหลักการทั่วไปเกี่ยวกับค่าของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H ความสัมพันธ์ของ Maxwell's Equation เป็นดังนี้ [4]

$$\begin{aligned} \epsilon \nabla \cdot E &= \rho \\ \nabla \times H - \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} &= J \\ \nabla \times E + \mu \frac{\partial H}{\partial t} &= 0 \\ \mu \nabla \cdot H &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

ในการหาผลเฉลยของปัญหาจะดัดแปลงสมการแมกซ์เวลล์ให้สอดคล้องกับงานโดยจะใช้สมการนี้ในกรณีที่เป็นสมการสนามไฟฟ้าแบบ Quasi-static potential โดยจะเน้นเฉพาะการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าเมื่อ

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (2)$$

โดย V เป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งนอกจากจะขึ้นอยู่กับ q แล้วยังขึ้นอยู่กับระยะทาง R ความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุด P_2 และ P_1 ที่ระยะทาง R_2 และ R_1 ซึ่งห่างจาก q คือ

$$V_{21} = V_{P_2} - V_{P_1} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (3)$$

ศักย์ไฟฟ้าในระยะ R อันเนื่องมาจากจำนวนประจุไม่ต่อเนื่อง (Discrete charges) q_1, q_2, \dots, q_n ที่ตำแหน่ง R, R_+, R_- โดยอาศัยกฎการทับซ้อน (superposition) จะได้ผลบวกของศักย์อันเนื่องมาจากแต่ละประจุ [5], [6] คือ

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{|R - R_k|} \quad (4)$$

ค่าประจุไฟฟ้า (Q) ที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 33 kV วงจรเดียวสามารถหาได้จากสมการที่ (5)

$$[Q] = [P]^{-1} \cdot [V] \quad (5)$$

เมื่อเมตริกซ์ P เป็นค่าสัมประสิทธิ์ Maxwell potential coefficient ซึ่งมีสมาชิกในเมตริกซ์เท่ากับจำนวนของตัวนำทั้งหมดที่พิจารณา โดยมีค่า $\epsilon = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ และค่าเอลิเมนต์ภายในเมตริกซ์ P สามารถหาได้ ดังนี้

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{4y_a}{D_{eq}} \quad (6)$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \left[\frac{(x_a - x_b)^2 + (y_a + y_b)^2}{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

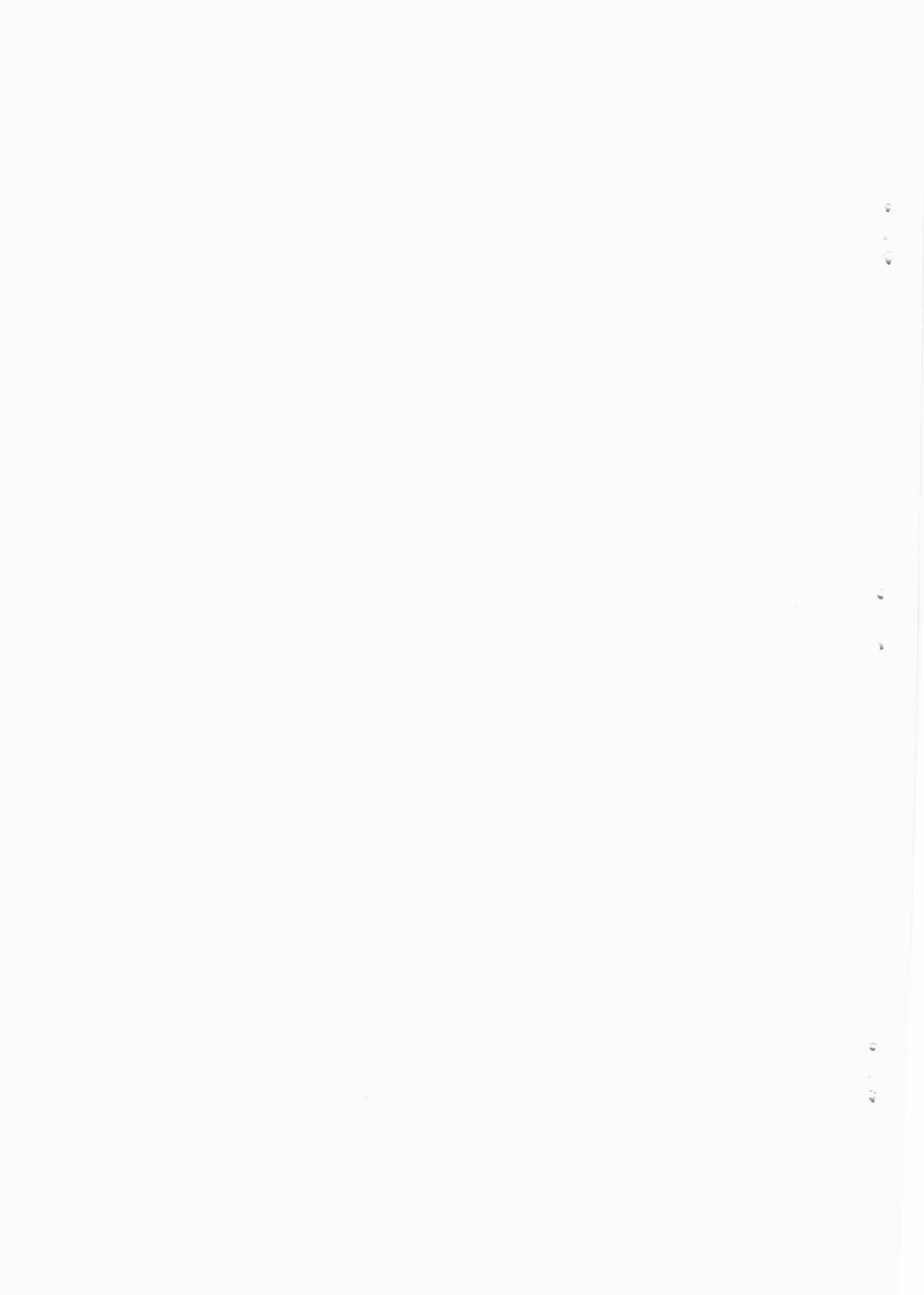
เมื่อ y_a, y_b = ความสูงจากพื้นดินของสายไฟฟ้าเฟส a, b (m)

x_a, x_b = ระยะห่างจากแนวสายส่งของสายไฟฟ้าเฟส a, b (m)

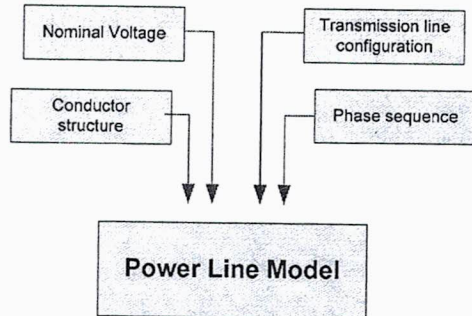
ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากสายไฟฟ้าเฟสใดๆ ณ จุด x_n, y_n ในแนวแกน x และ y จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อพิจารณาต่อไป

3. ขั้นตอนการทดสอบ

โครงสร้างการสร้างโมเดลการทดสอบในภาพที่ 2 ประกอบด้วยโครงสร้างข้อมูลการทดสอบที่ใช้ในการ



ประมวลผลศักย์ไฟฟ้าใกล้แนวสายส่ง เพื่อกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่เป็นตัวแปรอินพุต

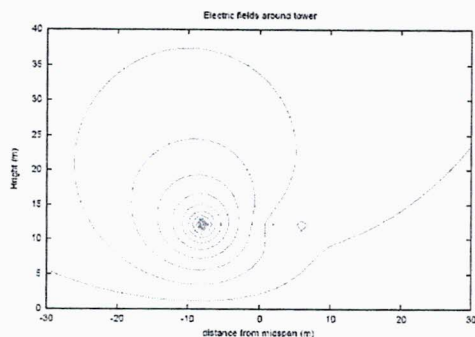


ภาพที่ 2 รายละเอียดการสร้างโมเดลสายส่ง

การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาค่าสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ต้องกำหนดข้อมูลการสร้างให้ใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการเลือกพิกัดแรงดันที่สนใจ (Nominal voltage) โครงสร้างสาย (Conductor structure) การจัดวางสาย (Transmission line configuration) และลำดับเฟส (Phase sequence)

4. ผลการทดลอง

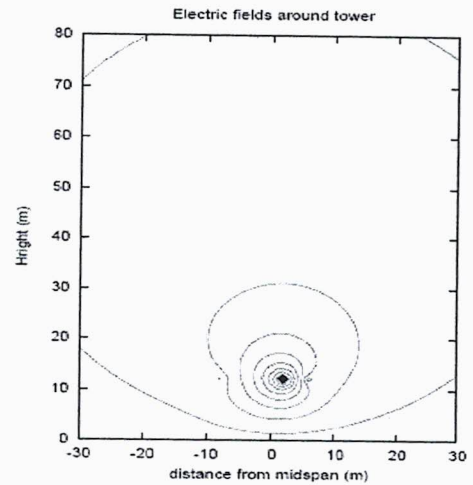
จากการสร้างโมเดลเพื่อวิเคราะห์พิกัดสนามไฟฟ้ารอบสายส่งได้พิจารณาในระนาบคาร์ทีเซียนสองมิติ พล็อตค่าภายในระยะ Right of Way (R.O.W) 30 เมตร โดยกำหนดค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับเฟส R, S และ T ตามลำดับดังภาพที่ 3, 4, 5 ตามลำดับ



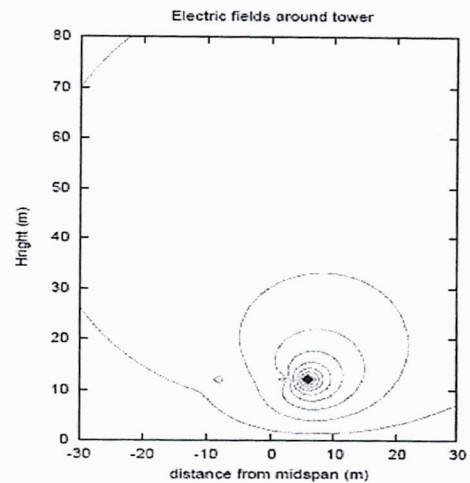
ภาพที่ 3 ศักย์ไฟฟ้ารอบสายส่ง กรณีแรงดันสูงสุดที่เฟส R

ภาพที่ 3, 4, 5 แสดงเส้นสมศักย์การกระจายสนามไฟฟ้าตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามการจัดเรียงเฟส ความเข้ม

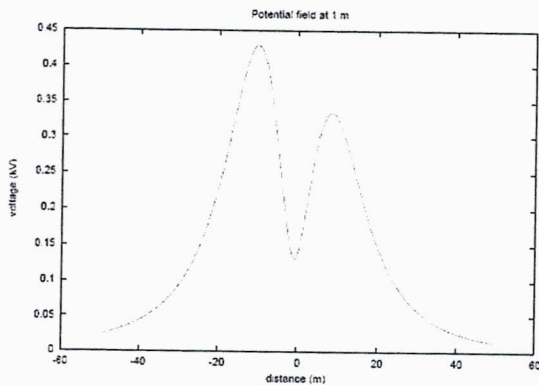
สนามไฟฟ้าจะมากที่สุดบริเวณที่สายส่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเฟส เมื่อนำค่าสนามไฟฟ้าในแต่ละเฟสมาคำนวณค่าเฉลี่ยทำให้ได้ผลลัพธ์ค่าสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 4 ศักย์ไฟฟ้ารอบสายส่ง กรณีแรงดันสูงสุดที่เฟส S



ภาพที่ 5 ศักย์ไฟฟ้ารอบสายส่ง กรณีแรงดันสูงสุดที่เฟส T



ภาพที่ 6 ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ความสูง 1 เมตร
เหนือพื้นดิน

ค่าเฉลี่ยสนามไฟฟ้าได้สายส่งที่คำนวณได้จากการสร้าง
โมเดลทดสอบกรณีการวางสายแบบ horizontal แบบ 1 วงจร
ดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่ามีค่าไม่สมมาตรในแนวแกน y ที่ความ
สูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า คือ 0.43
kV/m อยู่ที่ระยะ 8 เมตรทางด้านซ้ายของเสาส่งและมีค่าลดลง
ตามระยะทางที่ห่างออกไป

5. สรุป

การพัฒนาทางด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้าทำให้เกิด
สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์ทุกคนพบได้
ในชีวิตประจำวัน การสัมผัส ELF-EMF ซึ่งเป็นคลื่น
แม่เหล็กไฟฟ้าแบบ non-ionizing radiation ชนิดหนึ่งนั้นอาจจะ
ก่อให้เกิดผลกระทบข้างเคียงต่อผู้ที่ได้สัมผัสมากน้อยแตกต่าง
กันไป จากการศึกษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบส่ง
จ่ายพิกัด 33 kV ค่าสนามไฟฟ้าที่ทดสอบได้ในระดับความสูง
จากพื้นดิน 1 เมตร ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับขีดจำกัดสูงสุดของ
สนามไฟฟ้าในพื้นที่สาธารณะตามที่ ICNIRP ประกาศไว้
พบว่าค่าที่ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดในพื้นที่สาธารณะ (ต่ำกว่า 5 เควี
ต่อเมตร (kV/m)) โดยค่าสูงสุดที่คำนวณได้อยู่ที่ 0.43 kV/m
และยังมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้ของมาตรฐานด้านความปลอดภัย
จากระบบสายส่งและระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วน
ภูมิภาคโดยค่าสูงสุดที่วัดได้อยู่ที่ 1.13 kV/m [9]

ผลของความเข้มสนามไฟฟ้าจะเห็นว่าไม่เกิดผลกระทบ
ใดๆแน่นอนต่อสิ่งมีชีวิตโดยรอบสายส่ง เพราะค่าที่ได้มีค่าต่ำ

กว่าเกณฑ์ความปลอดภัยและต่ำกว่าค่าแรงดันกำหนดที่ยอมรับ
ได้ มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 4.3 V/m ที่ได้สายส่ง ทั้งนี้จาก
ผลการทดสอบอาจสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยต่อผู้
อาศัยใกล้แนวสายส่งได้

อ้างอิง

- [1] วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. Health Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) ศูนย์อำนวยการ
ศาสตร์และเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม รพ.นพรัตนราชธานี
;www.thaiocmed.org
- [2] กมลทิพย์ ไหมวงศ์ธำรง และคณะ. การประเมินผลกระทบทาง
สิ่งแวดล้อมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงใน
ประเทศไทย. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา
เขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 หน้า 640-647, 2554.
- [3] Guidelines for limiting Exposure to Time-Varying
Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields (Up to 300
GHz), ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing
Radiation Protection, Health Physics, Vol 74, 1998.
- [4] ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสาย
ส่งไฟฟ้า. การไฟฟ้านครหลวง จัดพิมพ์โดย บริษัท วิสมา เอเชีย
จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 2 ฝ่ายวิจัยและพัฒนา, 2551.
- [5] S. Nilboworn, K. Tuntrarungroj, A. Seagar. "Reduction
of Fields Nearby High Tension Power Lines using
Grounded Shields " 30th Electrical Engineering
Conference (EECON 30), Khanchanaburi, 25-26 October
2007, p201-204.
- [6] Seagar A.D., R.J-M Grogard "Simulation of Current
Flow in Piecewise Constant Media." Australian
Physical & Engineering Science in Medicine. Vol. 14
No.4
- [7] สุรัตน์ นันตะสุคนธ์. ระบบไฟฟ้ากำลัง เล่ม 1. สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 3, 2541.
- [8] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. คู่มือ
ความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูง. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 1, 2553.
- [9] ระบบสายส่ง และสายจำหน่ายของ กฟภ. รายงานความก้าวหน้า
งานวิจัยเพื่อศึกษาค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากระบบส่ง
และระบบจำหน่ายแรงสูง. 2553.

ภาคผนวก ก



ข้อมูลการตรวจวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ กฟภ.

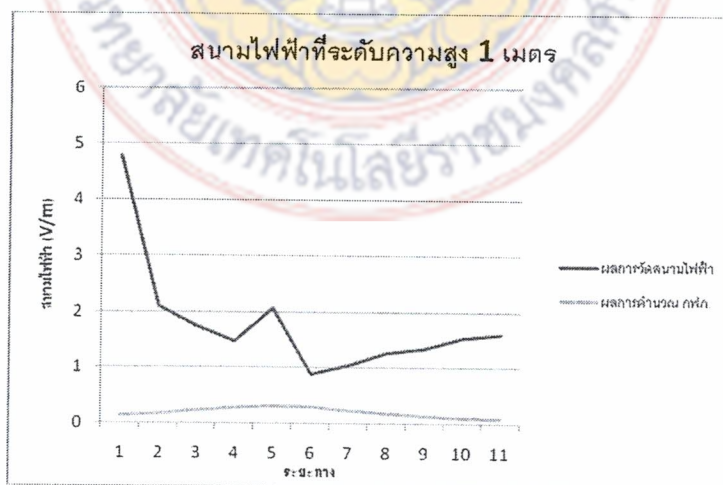
1. การทดสอบสถานที่แรก

30 พ.ย. 53 14.30 น. 33 kV

Cable Spacer 1 วงจร

Ia	86.8	A
Ib	89.6	A
Ic	87.3	A

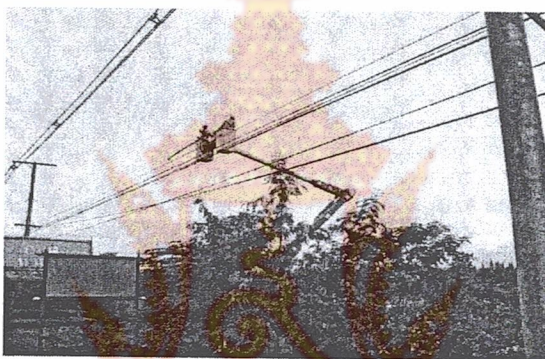
ระยะ	สูงระดับสายเฟส		1 ม.จากพื้น		คำนวณ 1 m
	B (nT)	E (V/m)	B (nT)	E (V/m)	E (V/m)
0	0	0	100	4.775	0.1331
2	1890	124.4	98.5	2.104	0.1733
4	404.8	31.73	89	1.76	0.2293
6	181.9	15.5	75	1.479	0.2854
8	112	8.65	65	2.072	0.3110
10	66.9	3.9	55.5	0.891	0.2886
12	42.5	2.7	50	1.056	0.2346
14	19.7	2.3	40	1.27	0.1787
16	14.9	1.89	35.5	1.35	0.1370
18	21	1.3	30.3	1.548	0.1092
20	21	1.1	30	1.609	0.0900



รูปที่ ก.1 เปรียบเทียบผลการวัดและการคำนวณของ กฟภ.



รูปที่ ก.2 การตรวจวัด ณ สถานที่จริง



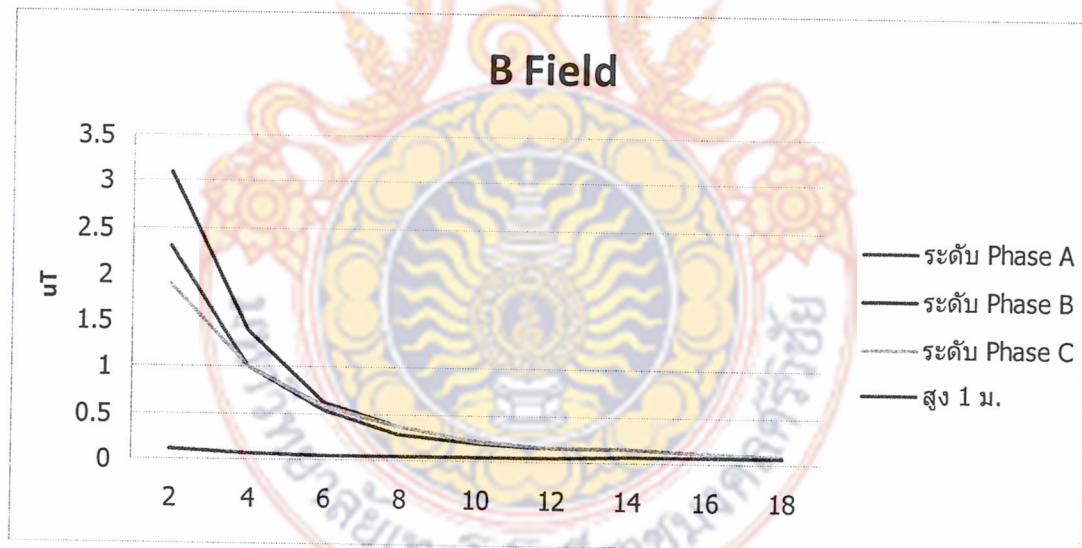
รูปที่ ก.3 การขึ้นปฏิบัติการวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า



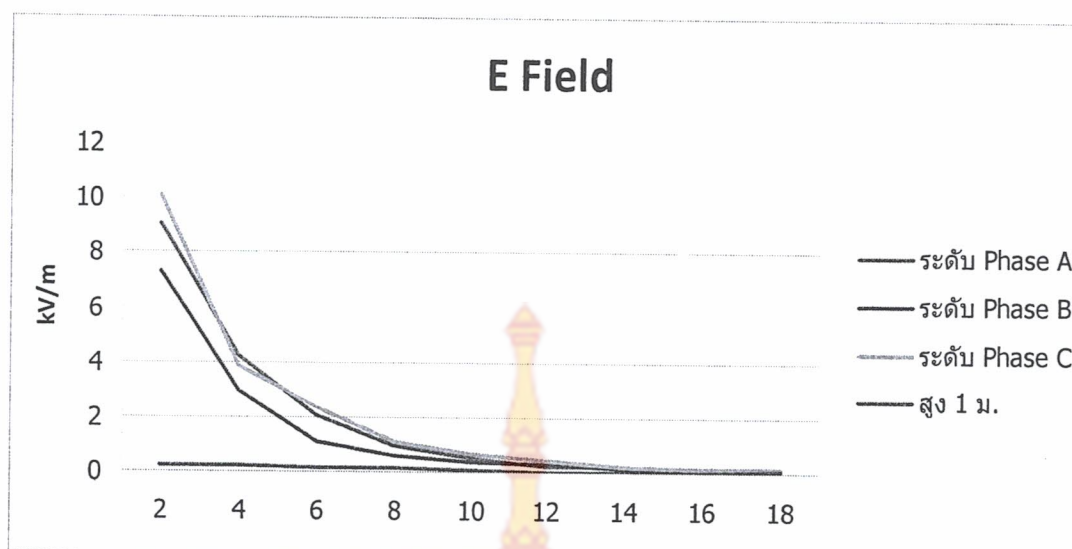
รูปที่ ก.4 ลักษณะแนวสาย ณ สถานที่จริง

2.2 การตรวจวัดสนามไฟฟ้า

Distance	E field (kV/m)	E field (kV/m)	E field (kV/m)	สูง 1 ม.
	ระดับ Phase A	ระดับ Phase B	ระดับ Phase C	
	18.3	15.8	13.3	
2	9.069	7.297	10.1	0.187
4	4.227	2.964	3.831	0.213
6	2.031	1.137	2.376	0.174
8	0.9432	0.576	1.126	0.12
10	0.523	0.388	0.6505	0.067
12	0.2437	0.2589	0.4526	0.03
14	0.242	0.1666	0.2111	0.015
16	0.165	0.1495	0.1807	0.032
18	0.175	0.1322	0.1638	0.047



รูปที่ ก.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส



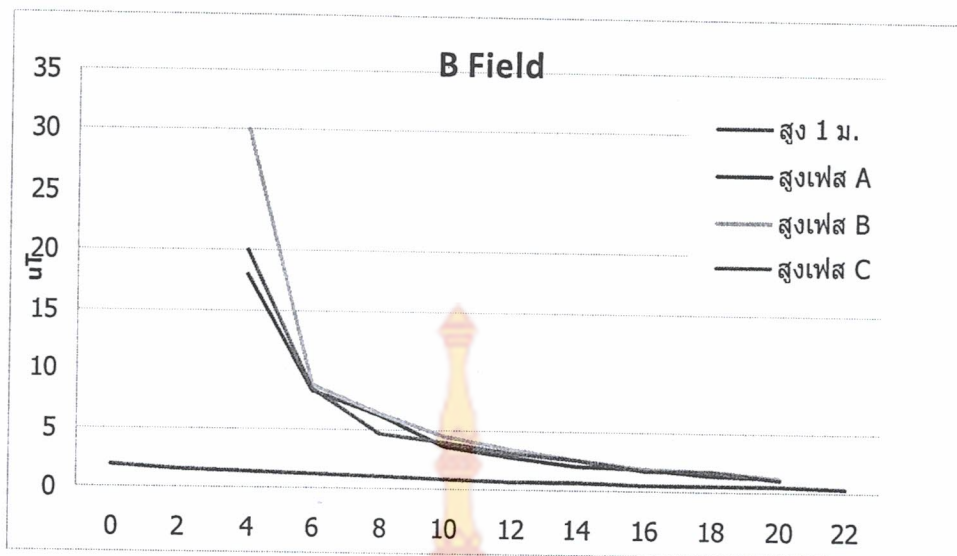
รูปที่ ก.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส

3. การทดสอบที่พุทธมณฑลสาย 5 ฝั่งศาลายา

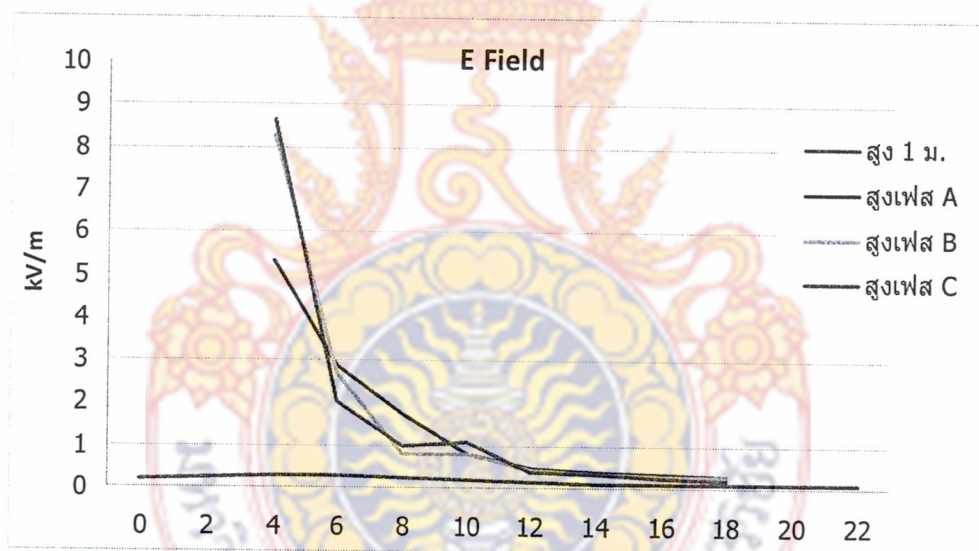
115kV 2 วงจร

22 kV 2 วงจร PIC+SAC

	Case 1	Case2	หน่วย	
NCA 5YB-01	470	810	A	115 ดันทาง
PMB 5YB-01	350	683	A	115 ปลายทาง
PMB 3YB-01	0	302	A	115
PMB 6YB-01	254	263	A	สายเปลือย
PMB 1YB-01	90	108	A	สาย SAC



รูปที่ ก.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส
ที่พุทธมณฑลสาย 5 ฟังศาลาชา



รูปที่ ก.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟส
ที่พุทธมณฑลสาย 5 ฟังศาลาชา

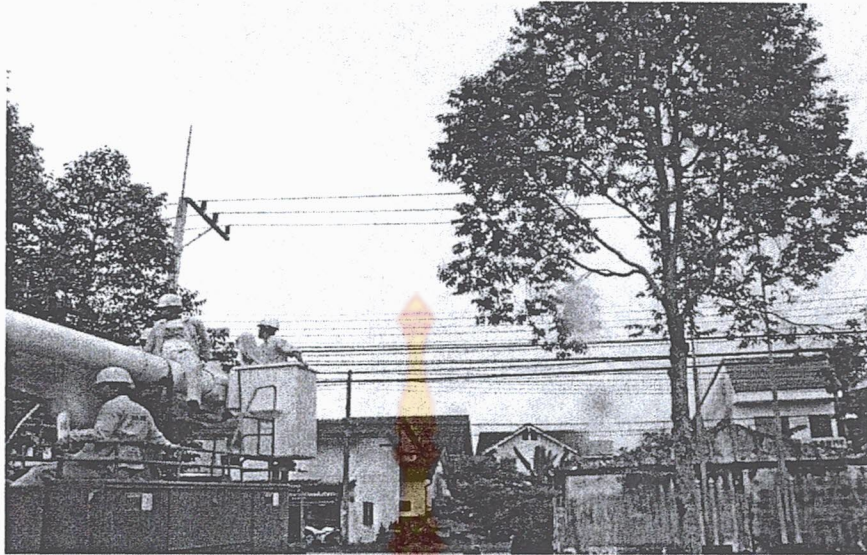
4. การทดสอบที่วัดชลเนี่ยน (วัดชายคลอง)

วันที่ 30 พ.ย. 53 15.30 น.

สายPIC Allay Arm

Ia	46.7	A
Ib	51	A
Ic	49.8	A

ระยะ	สูงระดับสายเฟส		1 ม.จากพื้น	
	B (nT)	E (V/m)	B (nT)	E (V/m)
0			207	49.81
2	1789	299.2	179.4	10.99
4	643	81.85	148.3	12.92
6	288.1	33.31	117.6	8.57
8	186.4	15.1	95.7	4.477
10	138.4	8.5	77.5	3.275
12	96.8	1.95	65.6	3.343
14	62.2	1.6	53.4	3.416
16	49.5	1.45	44.9	3.199
18	43.31	1.4	38.81	2.857
20	35.32	1.26	33.7	2.529
22			29.24	2.256



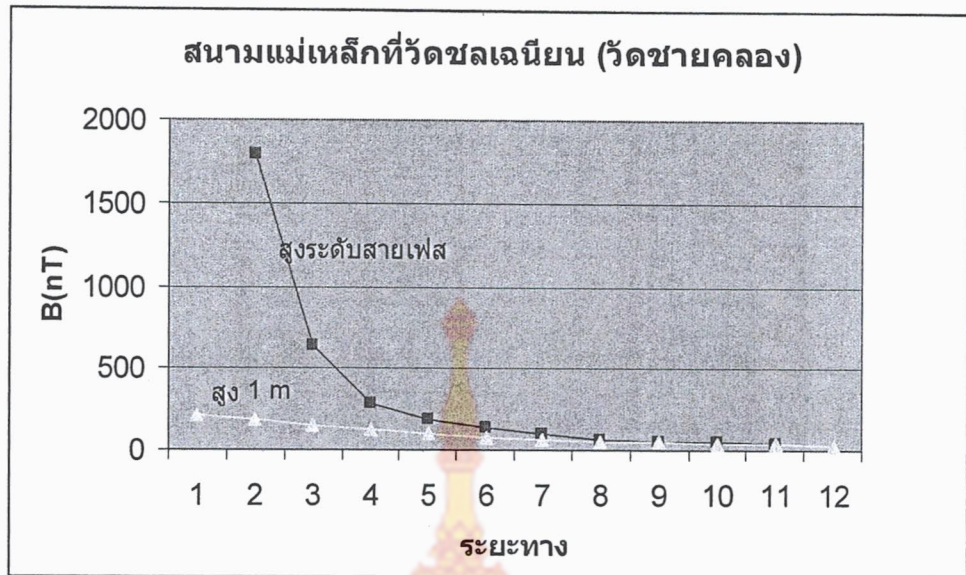
รูปที่ ก.11 การตรวจวัด ณ สถานที่จริง



รูปที่ ก.12 การตรวจวัดทั้งสองด้าน





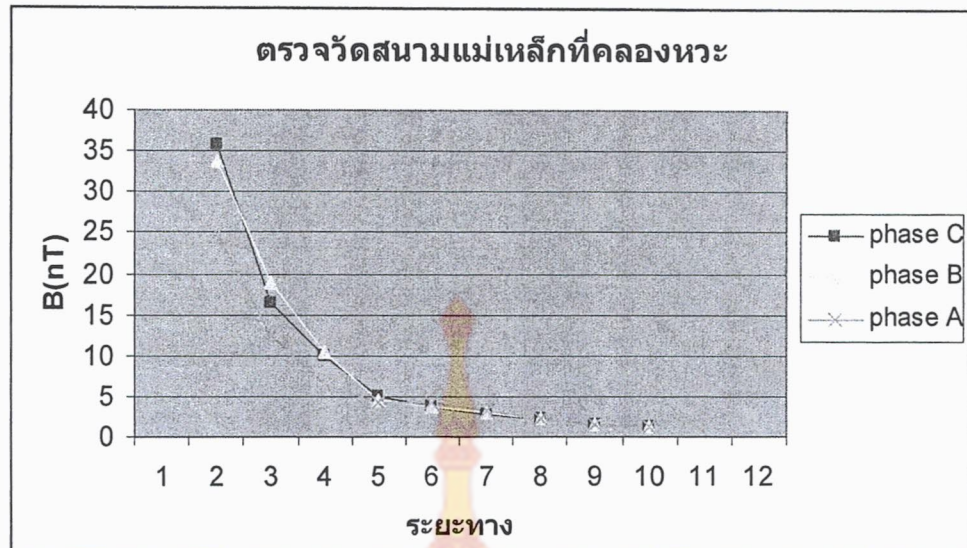


รูปที่ ก.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงที่วัดชลเจนียน (วัดชายคลอง)



รูปที่ ก.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่วัดชลเจนียน (วัดชายคลอง)



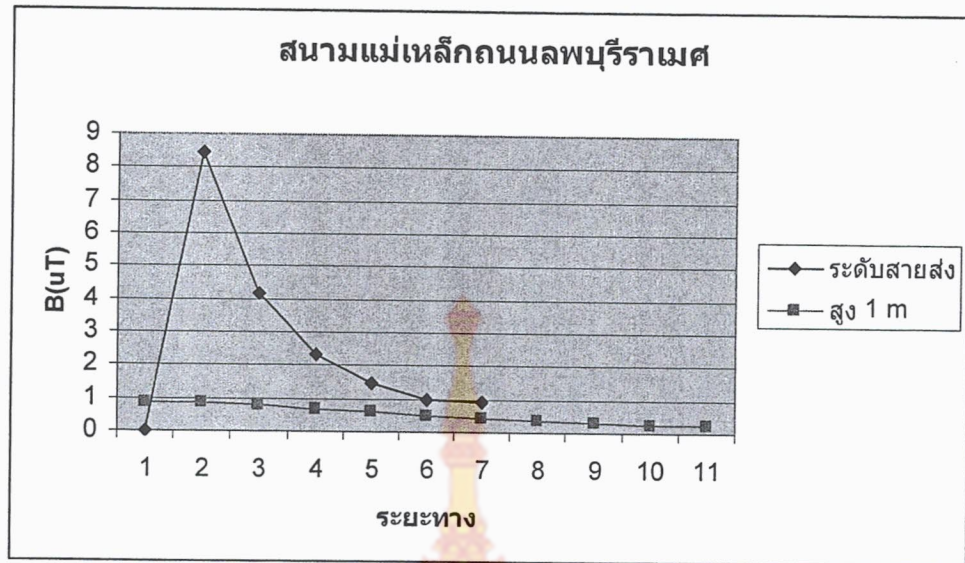


รูปที่ ก.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงที่คลองหะ



รูปที่ ก.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงที่คลองหะ





รูปที่ ก.18 กราฟสนามแม่เหล็กเฉลี่ยที่ถนนลพบุรีราเมศ



รูปที่ ก.19 กราฟสนามแม่ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ถนนลพบุรีราเมศ





รูปที่ ก.20 การตรวจวัด ณ ถนนลพบุรีราเมศ





7. การทดสอบที่หน้ากรมพัฒนาที่ดิน อ.จะนะ

Confiqure 115 kV Single Circuit Single conductor

วันที่ 15 ธ.ค. 2553

เวลา 9.57 น.

กระแส

115	Ia	276 A
115	Ib	276 A
115	Ic	276 A

ระยะ	ระดับเฟส C (115 kV)		ระดับเฟส B (115 kV)	
	B Field (uT)	E Field (V/m)	B Field (uT)	E Field (V/m)
0				
2	16.04	2647	18.34	4347
4	8.239	1179	7.869	1327
6	4.254	576	5.068	847
8	2.847	346.6	2.879	440.5
10	1.934	228.8	2.048	288.9
12	1.303	131.4	1.295	175.2
14	0.968	95.46	0.908	119.1
16	0.723	75.8	0.747	96.7
18	0.617	74.1	0.6	91.3
20	0.517	67	0.495	72.7
22				

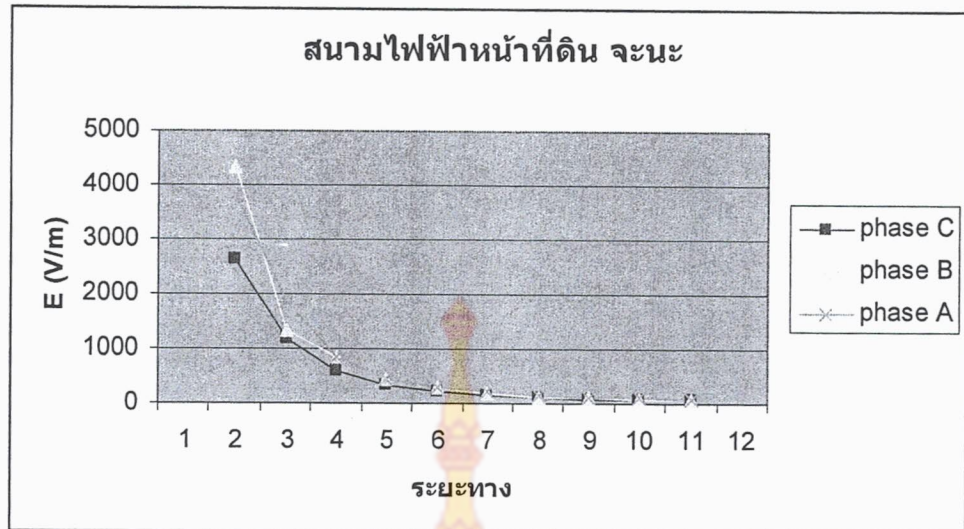


ระดับเฟส A (115 kV)		1 ม. จากพื้น	
B Field (uT)	E Field (V/m)	B Field (uT)	E Field (V/m)
		1.895	365.8
13.79	3799	1.662	303.3
7.957	1845	1.364	259.4
4.223	869	1.112	199.1
2.493	455.8	0.902	136.5
1.806	306.9	0.732	82.63
1.269	211.6	0.593	41.58
0.883	134.9	0.488	14.32
0.764	120.3	0.417	6.36
0.559	96.5	0.351	13.03
0.491	77.7	0.315	17.4



รูปที่ ก.21 กราฟสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟสหน้าสำนักงานที่ดิน อ.จะนะ





รูปที่ ก.22 กราฟสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามแรงดันเฟสหน้าสำนักงานที่ดิน อ.จะนะ



รูปที่ ก.23 กราฟสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่ความสูง 1 เมตร
ตรวจวัดหน้าสำนักงานที่ดิน อ.จะนะ



รูปที่ ก.24 การตรวจวัด ณ หน้ากรมพัฒนาที่ดิน อ.จะนะ



รูปที่ ก.25 แนวเสาส่งและการขึ้นปฏิบัติงานหน้ากรมพัฒนาที่ดิน อ.จะนะ



ภาคผนวก ข

การศึกษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยจากผลกระทบของสนามไฟฟ้าโดยรอบสายส่ง
A Study and Safety Analysis from Electric Fields Effect
near the Electric Tower

¹สลักจิตร์ นิลบวร ¹สมคิด ลีลาชนะชัยพงษ์ ²กัณตภณ มะหะหมัด

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ด.บ่ออย่าง อ.เมือง จ.สงขลา

N.salakchit@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การเกิดสนามไฟฟ้าแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน หรือ Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF) ในสายส่งระดับแรงดันปานกลาง 33 kV หนึ่งวงจร การวางสายแบบ flat ในสายส่งเหนือหัว เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณ โดยรอบ โดยการสร้าง โมเดลเสมือนสำหรับการทดสอบค่าแรงดันไฟฟ้าภายในระยะปลอดภัย (Right of Way) ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงระดับแรงดันสูงสุดและระดับแรงดันที่ลดลงตามระยะทางที่ห่างออกมาจากเสาส่ง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานและข้อกำหนดของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

คำสำคัญ: สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน การวางสายแบบ flat ระยะปลอดภัย

Abstract

This paper presents a study and analysis Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF). A case study related to overhead transmission line 33 kilovolts, single circuit for flat configuration. Consideration of effect that exposure to environment nearby the tower. A computational model was computed to calculate electric fields existing in Right of way (R.O.W) Results of simulation of electric fields have shown the peak field and voltage reduction along the distance from tower . Finally, analysis the field intensity at height 1 meter above ground for compare the results with standardization of Electricity Generating Authority of Thailand.

Keyword:. Extremely low frequency Electromagnetic field, flat configuration, Right of way

1. บทนำ

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าออกสู่ชุมชนเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดคลื่นที่เป็นรังสีแบบไม่ก่อประจุ (Non-ionizing radiation) ออกมาซึ่งจัดเป็นประเภทสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังอ่อน หรือ Extremely low frequency Electromagnetic field (ELF-EMF) รังสีเหล่านี้มีความถี่คลื่นในช่วง 3-3,000 Hz ซึ่งเป็นความถี่ในระดับต่ำมาก โดยความถี่ที่ได้รับมีความสนใจว่าจะมีผลต่อสุขภาพมากที่สุดก็คือความถี่ที่ 50-60 Hz [1] ซึ่งเป็นความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ตามบ้านเรือนนั่นเอง รังสีเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้มากมายแต่เมื่อมาตกกระทบกับร่างกายมนุษย์อาจก่อให้เกิดผลต่อสุขภาพซึ่งเป็นที่พึงประสงค์และโทษ มีการศึกษาวิจัยหลายฉบับพบว่าการสัมผัสสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ELF-EMF โดยตรงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลต่อโรคมะเร็ง [1], [2] และผลกระทบทางด้านต่างๆ ต่อสุขภาพจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แม้ว่าปัจจุบันจะยังไม่สามารถสรุปได้แน่นอนแต่ก็เป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยมีหน่วยงานต่างๆ มากมายที่ทำการวิจัยและพัฒนาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น หน่วยงาน International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [3] องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ที่กำหนดมาตรฐานและควบคุมค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีความปลอดภัย เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อทดสอบระดับของสนามไฟฟ้าที่กระจายอยู่โดยรอบสายส่งภายในระยะปลอดภัย 1 เฟส 3 สายระดับแรงดันปานกลาง 33 kV และวิเคราะห์ถึงความปลอดภัยของสิ่งแวดล้อมบริเวณสายส่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานข้อกำหนดต่างๆ

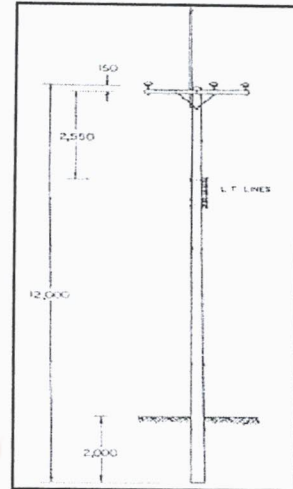
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รายละเอียดสายส่งไฟฟ้า

รายละเอียดของเสาเป็นข้อมูลเริ่มต้นการทดสอบ ดังภาพที่ 1 สายส่งไฟฟ้าที่ระดับแรงดัน 33 kV แบบวงจรเดี่ยว ประกอบด้วยสายตัวนำไฟฟ้าวางตามลำดับไฟฟ้า 3 เฟส เสาสูงขนาด 12 เมตร

2.2 ชีตอันตรายจากไฟฟ้า

อันตรายจากไฟฟ้าอาจเกิดจากแรงดันหรือกระแส แต่อันตรายที่เกิดขึ้นแก่ร่างกายมนุษย์และสัตว์จะมากน้อยเพียงใดนั้นกำหนดด้วยกระแสและแรงดันที่ไหลผ่านร่างกาย ในแต่ละประเทศได้กำหนดแรงดันอันตรายไว้ ดังตัวอย่างในบางประเทศต่อไปนี้



ภาพที่ 1 : ระบบส่งไฟฟ้าแรงดันปานกลางขนาด 33 กิโลโวลต์
ข้อมูลโครงสร้างจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ตารางที่ 1 ค่าระดับแรงดันอันตราย

มาตรฐานหรือข้อกำหนด	ระดับแรงดันอันตรายที่กำหนด (โวลต์)
SEV สวิตเซอร์แลนด์	50
VDE เยอรมนี	65
IEC นานาประเทศ	42
NEC Code USA	50

2.3 ระยะปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Approach Distance)

ตารางที่ 2 แสดงระยะปลอดภัยต่ำสุดในหน่วยเมตรและนิ้วสำหรับแรงดันเฟส-เฟส ทั่วไปที่ใช้งานในระบบของ Bonneville Power Administration (BPA) ระยะปลอดภัยต่ำสุดกำหนดจากค่าแรงดันทรานเซียนต์สูงสุดที่การติดต่อวงจรแบบอัตโนมัติสามารถสร้างได้ และเป็นระยะปลอดภัยต่ำสุดตาม



ข้อกำหนดของ Occupational Safety and Health Administration (OSHA) และ Electrical Safety Code (NESC)

ตารางที่ 2 ระยะปลอดภัยต่ำสุด [7]

ระดับแรงดันไฟฟ้า (เฟส-เฟส)		
	เมตร	นิ้ว
แรงดันไฟฟ้า < 15 kV	0.67	26
แรงดันไฟฟ้า 34.5 kV	0.72	28

2.4 การประมาณเชิงตัวเลข

สมการแมกซ์เวลเป็นสมการที่อธิบายหลักการทั่วไปเกี่ยวกับค่าของสนามไฟฟ้า E และสนามแม่เหล็ก H ความสัมพันธ์ของ Maxwell's Equation เป็นดังนี้ [4]

$$\begin{aligned} \epsilon \nabla \cdot E &= \rho \\ \nabla \times H - \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} &= J \\ \nabla \times E + \mu \frac{\partial H}{\partial t} &= 0 \\ \mu \nabla \cdot H &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

ในการหาผลเฉลยของปัญหาจะดัดแปลงสมการแมกซ์เวลให้สอดคล้องกับงานโดยจะใช้สมการนี้ในกรณีที่เป็นสมการสนามไฟฟ้าแบบ Quasi-static potential โดยจะเน้นเฉพาะการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าเมื่อ

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R} \quad (2)$$

โดย V เป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งนอกจากจะขึ้นอยู่กับ q แล้วยังขึ้นอยู่กับระยะทาง R ความต่างศักย์ระหว่างจุดสองจุด P_2 และ P_1 ที่ระยะทาง R_2 และ R_1 ซึ่งห่างจาก q คือ

$$V_{21} = V_{P_2} - V_{P_1} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) \quad (3)$$

ศักย์ไฟฟ้าในระยะ R อันเนื่องมาจากจำนวนประจุไม่ต่อเนื่อง (Discrete charges) q_1, q_2, \dots, q_n ที่ตำแหน่ง R, R_+, R_- โดยอาศัยกฎการทับซ้อน (superposition) จะได้ผลบวกของศักย์อันเนื่องมาจากแต่ละประจุ [5], [6] คือ

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{q_k}{|R - R_k|} \quad (4)$$

ค่าประจุไฟฟ้า (Q) ที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 33 kV วงจรเดียวสามารถหาได้จากสมการที่ (5)

$$[Q] = [P]^{-1} \cdot [V] \quad (5)$$

เมื่อเมตริกซ์ P เป็นค่าสัมประสิทธิ์ Maxwell potential coefficient ซึ่งมีสมาชิกในเมตริกซ์เท่ากับจำนวนของตัวนำทั้งหมดที่พิจารณา โดยมีค่า $\epsilon = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ และค่าเอลิเมนต์ภายในเมตริกซ์ P สามารถหาได้ดังนี้

$$P_{aa} = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{4y_a}{D_{eq}} \quad (6)$$

$$P_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon} \ln \left[\frac{(x_a - x_b)^2 + (y_a + y_b)^2}{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

เมื่อ y_a, y_b = ความสูงจากพื้นดินของสายไฟฟ้าเฟส a, b (m)

x_a, x_b = ระยะห่างจากแนวสายส่งของสายไฟฟ้าเฟส a, b (m)

ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากสายไฟฟ้าเฟสใดๆ ณ จุด x_n, y_n ในแนวแกน x และ y จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อพิจารณาต่อไป

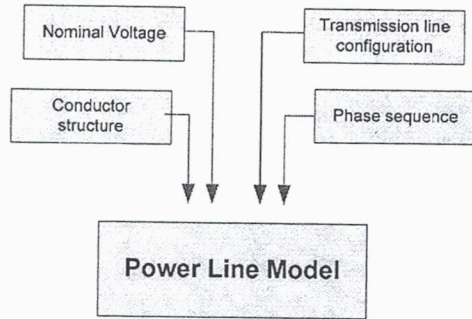
3. ขั้นตอนการทดสอบ

โครงสร้างการสร้างโมเดลการทดสอบในภาพที่ 2 ประกอบด้วยโครงสร้างข้อมูลการทดสอบที่ใช้ในการ



ประมวลผลศักย์ไฟฟ้าใกล้แนวสายส่ง เพื่อกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่เป็นตัวแปรอินพุต

สนามไฟฟ้าจะมากที่สุดบริเวณที่สายส่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเฟส เมื่อนำค่าสนามไฟฟ้าในแต่ละเฟสมาคำนวณค่าเฉลี่ยทำให้ได้ผลลัพธ์ค่าสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน ดังภาพที่ 6

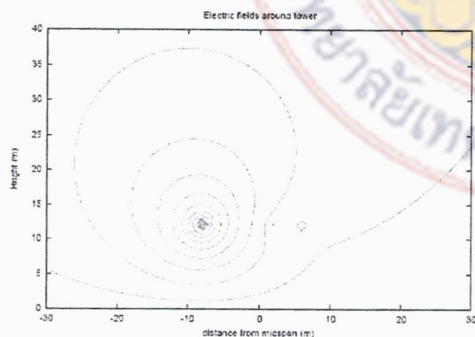


ภาพที่ 2 รายละเอียดการสร้างโมเดลสายส่ง

การสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาค่าสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ต้องกำหนดข้อมูลการสร้างให้ใกล้เคียงกับสภาวะจริงมากที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การเลือกพิกัดแรงดันที่สนใจ (Nominal voltage) โครงสร้างสาย (Conductor structure) การจัดวางสาย (Transmission line configuration) และลำดับเฟส (Phase sequence)

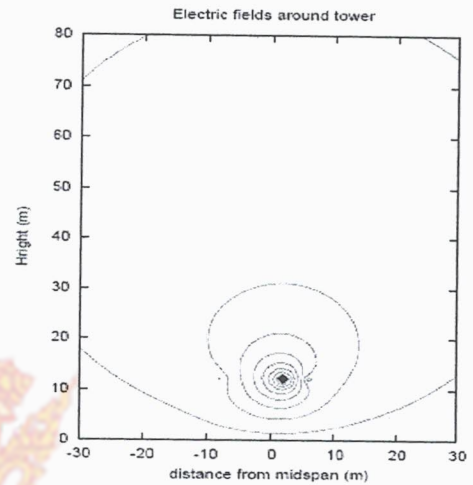
4. ผลการทดลอง

จากการสร้างโมเดลเพื่อวิเคราะห์พิกัดสนามไฟฟ้ารอบสายส่งได้พิจารณาในระนาบคาร์ทีเซียนสองมิติ พล็อตค่าภายในระยะ Right of Way (R.O.W) 30 เมตร โดยกำหนดค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงไปตามลำดับเฟส R, S และ T ตามลำดับดังภาพที่ 3, 4, 5 ตามลำดับ

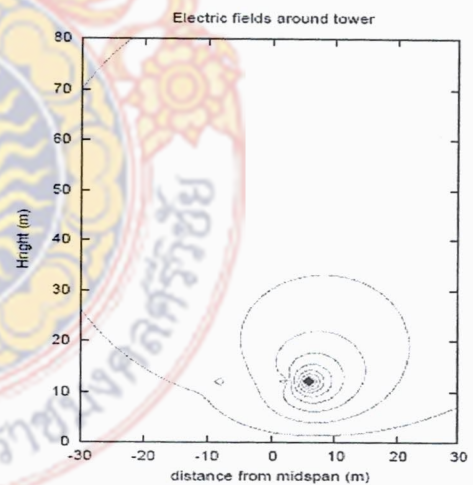


ภาพที่ 3 ศักย์ไฟฟ้ารอบสายส่ง กรณีแรงดันสูงสุดที่เฟส R

ภาพที่ 3, 4, 5 แสดงเส้นสมศักย์การกระจายสนามไฟฟ้าตามระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปตามการจัดเรียงเฟส ความเข้ม

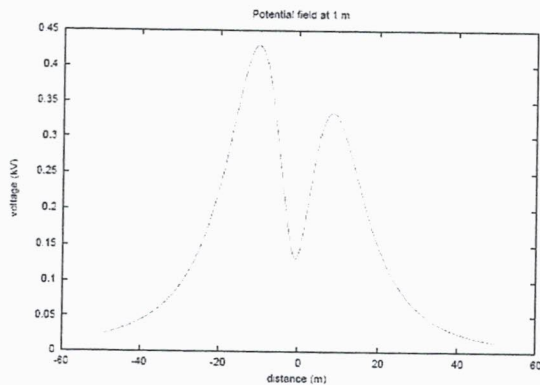


ภาพที่ 4 ศักย์ไฟฟ้ารอบสายส่ง กรณีแรงดันสูงสุดที่เฟส S



ภาพที่ 5 ศักย์ไฟฟ้ารอบสายส่ง กรณีแรงดันสูงสุดที่เฟส T





ภาพที่ 6 ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน

ค่าเฉลี่ยสนามไฟฟ้าได้สายส่งที่คำนวณได้จากการสร้างโมเดลทดสอบกรณีการวางสายแบบ horizontal แบบ 1 วงจร ดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่ามีค่าไม่สมมาตรในแนวแกน y ที่ความสูง 1 เมตรเหนือพื้นดิน ค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า คือ 0.43 kV/m อยู่ที่ระยะ 8 เมตรทางด้านซ้ายของเสาส่งและมีค่าลดลงตามระยะทางที่ห่างออกไป

5. สรุป

การพัฒนาทางด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้าทำให้เกิดสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นสิ่งที่มนุษย์ทุกคนพบได้ในชีวิตประจำวัน การสัมผัส ELF-EMF ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแบบ non-ionizing radiation ชนิดหนึ่งนั้นอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบข้างเคียงต่อผู้ที่สัมผัสสัมผัสเล็กน้อยแตกต่างกันไป จากการศึกษาและวิเคราะห์ความปลอดภัยของระบบส่งจ่ายพิกัด 33 kV ค่าสนามไฟฟ้าที่ทดสอบได้ในระดับความสูงจากพื้นดิน 1 เมตร ซึ่งใช้เปรียบเทียบกับขีดจำกัดสูงสุดของสนามไฟฟ้าในพื้นที่สาธารณะตามที่ ICNIRP ประกาศไว้พบว่าค่าที่ได้ต่ำกว่าขีดจำกัดในพื้นที่สาธารณะ (ต่ำกว่า 5 กิโลวัตต์ต่อเมตร (kV/m)) โดยค่าสูงสุดที่คำนวณได้อยู่ที่ 0.43 kV/m และยังมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้ของมาตรฐานด้านความปลอดภัยจากระบบสายส่งและระบบจำหน่ายแรงสูงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยค่าสูงสุดที่วัดได้อยู่ที่ 1.13 kV/m [9]

ผลของความเข้มสนามไฟฟ้าจะเห็นว่าไม่เกิดผลกระทบใดๆแน่นอนต่อสิ่งมีชีวิตโดยรอบสายส่ง เพราะค่าที่ได้มีค่าต่ำ

กว่าเกณฑ์ความปลอดภัยและต่ำกว่าค่าแรงดันกำหนดที่ยอมรับได้ มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 4.3 V/m ที่ได้สายส่ง ทั้งนี้จากผลการทดสอบอาจสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยต่อผู้อยู่อาศัยใกล้แนวสายส่งได้

อ้างอิง

- [1] วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. Health Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) ศูนย์อำนวยการสาธารณสุขและเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม รพ.นพรัตนราชธานี ;www.thaiocmed.org
- [2] กมลทิพย์ ไหมวงศ์ธำรง และคณะ. การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทย. การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7 หน้า 640-647, 2554.
- [3] Guidelines for limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic fields (Up to 300 GHz), ICNIRP-International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Health Physics, Vol 74, 1998.
- [4] ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากสายส่งไฟฟ้า. การไฟฟ้านครหลวง จัดพิมพ์โดย บริษัท วิสมา เอเชีย จำกัด พิมพ์ครั้งที่ 2 ฝ่ายวิจัยและพัฒนา, 2551.
- [5] S. Nilboworn, K. Tuntrarungroj, A. Seagar. "Reduction of Fields Nearby High Tension Power Lines using Grounded Shields " 30th Electrical Engineering Conference (EECON 30), Khanchanaburi, 25-26 October 2007, p201-204.
- [6] Seagar A.D., R.J-M Grognaud "Simulation of Current Flow in Piecewise Constant Media." Australian Physical & Engineering Science in Medicine. Vol. 14 No.4
- [7] สุรัตน์ นันตะสุคนธ์. ระบบไฟฟ้ากำลัง เล่ม 1. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) พิมพ์ครั้งที่ 3, 2541.
- [8] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. คู่มือความปลอดภัยด้านไฟฟ้าแรงสูง. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พิมพ์ครั้งที่ 1, 2553.
- [9] ระบบสายส่ง และสายจำหน่ายของ กฟภ. รายงานความก้าวหน้างานวิจัยเพื่อศึกษาค่าสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจากระบบส่งและระบบจำหน่ายแรงสูง. 2553.

