บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 2 แบบ คือ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงถูกนำมาใช้ในกรณีที่สายส่งมีระยะทางไกลมาก ๆ หรือถูกใช้เป็นสายส่งเชื่อมโยงเมื่อระบบทั้งสองมีความถี่ที่แตกต่างกัน ส่วนการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับจะผ่านหม้อแปลงเพื่อลดทอนระดับแรงดันกลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแรงต่ำ เพื่อนำไปใช้โดยทั่วไปตามบ้านเรือน และเนื่องจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับส่วนใหญ่มักจะมีการติดตั้งสายส่งไฟฟ้าแรงสูงใกล้บริเวณแหล่งชุมชน ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้า ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ประชาชนที่อาศัยในแหล่งชุมชนนั้น ๆ ได้ สำหรับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ สนามไฟฟ้าเกิดขึ้นจากแรงดันไฟฟ้าในตัวนำสายส่งทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ กระจายอยู่ทั่วบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูงตามลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 50 Hz การที่มนุษย์ในแหล่งชุมชนที่มีสายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดผ่านได้รับอันตรายจากการอยู่ใกล้สายส่งแรงสูงสามารถแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ กรณีสนามไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า 1 เฟส กรณีสนามไฟฟ้า 3 เฟสไม่สมดุล และกรณีสนามไฟฟ้า 3 เฟสสมดุล ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าที่มีผลกระทบต่อมนุษย์สามารถเกิดขึ้นได้จากค่าสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นดินกับสายส่ง ตำแหน่งของมนุษย์ที่อยู่ใกล้สายส่ง เมื่อเทียบกับพื้นดินซึ่งสามารถทำให้เกิดความไม่สมดุลของสายส่งได้ และความไม่สมดุลของแรงดันภายในสายส่งแต่ละเส้น ก่อให้เกิดอันตรายจากสายส่งแรงสูงที่มีผลต่อมนุษย์ได้ในที่สุด นอกจากนี้การใช้อุปกรณ์สื่อสาร เช่น โทรศัพท์มือถือใกล้บริเวณสายส่งแรงสูงอาจทำให้ผู้ใช้โทรศัพท์มือถือได้รับอันตรายเช่นกัน เนื่องจากหลักการทำงานของโทรศัพท์มือถือ คือ การเปลี่ยนแปลงอากาศบริเวณรอบ ๆ โทรศัพท์มือถือจากที่มีสภาพเป็นฉนวน (dielectric) ให้มีสภาพกลายเป็นตัวนำเพื่อให้สามารถรับข้อมูลการติดต่อสื่อสารจากดาวเทียมหรือสถานีส่งสัญญาณได้ โดยอาศัยหลักการการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้า ถ้าการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นบริเวณใกล้ ๆ สายส่งไฟฟ้าแรงสูงอาจทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้ากันเองระหว่างโทรศัพท์มือถือกับสาย

ส่งไฟฟ้าแรงสูง เพราะโดยปกติแล้วอากาบริเวณรอบ ๆ เสาไฟฟ้าแรงสูงมีการก่อตัวของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากความเครียดสนามไฟฟ้า (electric field stress) หรืออาจเรียกว่าความคงทนของฉนวนต่อแรงดันไฟฟ้า (dielectric strength) ส่งผลให้ประจุไฟฟ้ากระจายตัวอยู่ทั่วบริเวณสายไฟฟ้าแรงสูง ถ้าการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าระหว่างโทรศัพท์มือถือกับสายไฟฟ้าแรงสูงมีค่าสูงเกินกว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าวิกฤตของอากาศโดยรอบ ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สามารถไหลผ่านอากาศทำให้อากาศเปลี่ยนสถานะจากการเป็นฉนวนไฟฟ้ามาเป็นตัวนำได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำอันตรายต่อโทรศัพท์มือถือและส่งผลให้เกิดอันตรายถึงชีวิตแก่ผู้ใช้งานได้ในที่สุด อย่างไรก็ตาม ณ ปัจจุบันสำหรับประเทศไทย ปัญหาเรื่องอันตรายจากสายส่งแรงสูงที่มีผลต่อมนุษย์ อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบ ๆ สายส่ง ขาดการละเลยเนื่องจากเหตุการณ์นี้ไม่ได้เกิดขึ้นบ่อยนัก แต่ทุกครั้งที่เกิดจะนำมาซึ่งการสูญเสียถึงแก่ชีวิตของผู้ประสบอุบัติเหตุ ปัญหาสนามไฟฟ้าในทางวิศวกรรม โดยปกติสามารถอธิบายได้ในรูปของสมการอนุพันธ์ (differentialequation) หรือสมการปริพันธ์ (integral equation) อาจจะมีลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) ปรากฏอยู่ จึงเป็นไปได้ยากที่จะหาผลเฉลยแม่นตรง (exact solution) ได้ ดังนั้นจึงเป็นต้องใช้วิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ (approximate solution) อีกทั้งสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ที่สูงขึ้น ทำให้การคำนวณเชิงตัวเลขสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว สำหรับวิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ ได้แก่ ระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ (finite difference method : FDM) และระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ (finite element method : FEM) การหาผลเฉลยดังกล่าวได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย เนื่องจากง่ายต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งถูกพัฒนาขึ้น (Thoun, 1920) โดยใช้ชื่อ ระเบียบวิธีสี่เหลี่ยม (method of squares) จนถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงปัจจุบัน เนื่องจากระเบียบวิธีนี้จะจัดแบ่งพื้นที่ของปัญหาเป็นโนด (vertices) ย่อยต่าง ๆ ตามรูปสี่เหลี่ยม และเชื่อมโยงโนดด้วยเส้นต่อกันด้วยกริด (grid) เป็นชิ้นส่วนย่อย (element) ทำให้บางครั้งไม่สะดวกในการแก้ผลเฉลยของระบบที่มีรูปร่างซับซ้อน แต่สำหรับการศึกษาสนามไฟฟ้ารอบ ๆ สายส่งไฟฟ้าแรงสูงจะเป็นระบบที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน เนื่องจากเป็นการศึกษาในพื้นที่โล่งจึงสามารถกำหนดขอบเขตพื้นที่ในการพิจารณาได้อย่างอิสระและสอดคล้องตามงานนั้น ๆ ดังนั้นการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าจึงสามารถคำนวณได้ง่าย ส่วนระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ได้ถูกพัฒนา (Courant, 1943) และเริ่มนำมาประยุกต์กับปัญหาสนามไฟฟ้าในปี 1968 ซึ่งระเบียบวิธีนี้จะจัดแบ่งพื้นที่ของปัญหาเป็นชิ้นส่วนย่อยที่ประกอบขึ้นจากโนด โดยเชื่อมต่อกันด้วยกริด ซึ่งจะไม่จำกัดอยู่ในเฉพาะรูปร่างของชิ้นส่วนย่อยที่เป็นสี่เหลี่ยมสำหรับปัญหา 2 มิตินิยมใช้ชิ้นส่วนย่อยที่เป็นรูป

สามเหลี่ยม ในการประมาณโดเมนของปัญหาได้ ซึ่งข้อดีของระเบียบวิธีนี้ คือ สามารถหาผลเฉลยของระบบที่มีรูปร่างซับซ้อน ทั้งยัง

เหมาะกับปัญหาที่มีการแปรเปลี่ยนตามเวลา (time-varying) ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งปัญหาทางสนามไฟฟ้ามักจะมีผลเฉลยที่ไม่เป็นเชิงเส้นจึงเหมาะสมกับการใช้ระเบียบวิธีดังกล่าวในการหาค่าผลเฉลย นอกจากนี้ยังง่ายต่อการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่อาจมีหลายลักษณะผสมกันอยู่ในระบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนำระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ และระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์มาใช้ในการดำเนินการ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาโปรแกรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ และระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าในระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 1 เฟส 3 เฟสสมดุล และ 3 เฟสไม่สมดุล

2. คำนวณการกระจายตัวของค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างมนุษย์กับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

3. วิเคราะห์เชิงตัวเลขด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ และระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์เพื่อคำนวณหาระยะห่างที่เหมาะสมของมนุษย์ที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณที่มีเสาไฟฟ้าแรงสูงพาดผ่าน

4. ศึกษาการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์สื่อสารกับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

5. วิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อคำนวณระยะห่างที่เหมาะสมของอุปกรณ์สื่อสารที่อยู่ใกล้บริเวณที่มีเสาไฟฟ้าแรงสูงพาดผ่าน

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1. พื้นที่ในการจำลองระบบเป็นพื้นที่โล่ง ปราศจากการกีดขวางของอาคาร และสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ

2. พิจารณาการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าระหว่างสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจำนวน 1 ต้นกับมนุษย์หรืออุปกรณ์สื่อสารที่สามารถก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นได้

3. สำหรับในระบบที่พิจารณาจะกำหนดให้ค่าสภาพยอม (permittivity) ของอากาศมีค่าคงที่ตลอดพื้นที่ที่ใช้ในการพิจารณา

4. กำหนดให้แรงดันในสายส่งแต่ละเส้นมีค่าแรงดันคงที่สม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น

5. กำหนดให้สภาพพื้นดินในระบบที่พิจารณาเป็นพื้นดินในสภาพทั่วไปปราศจากน้ำขังหรือความชื้นบนหน้าดินสูง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าเพื่อจำลองผลการทำงานของอุปกรณ์สื่อสารที่ถูกนำมาใช้งานใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง

2. ใช้ MATLAB™ เพื่อเขียนโปรแกรมระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ และระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ ทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ สำหรับวิเคราะห์ปัญหาสนามไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาดต่าง ๆ

3. พิจารณาระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 2 ประเภท คือ ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 1 เฟสขนาด 220 V 22 kV และ 69 kV กับระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 3 เฟสขนาด 69 kV 115 kV 230 kV และ 500 kV

4. ดำเนินการหาระยะห่างที่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นได้จากบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดผ่านตามค่าระยะห่างมาตรฐานสากล IRPA (international radiation protection association)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบจำลองของอุปกรณ์สื่อสารและสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถใช้ได้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 kV และ 115 kV ของการไฟฟ้าภูมิภาคและระบบ 230 kV ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

2. ได้โปรแกรมจำลองผลที่เกิดจากการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ และระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าในบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

3. ช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับมนุษย์ในแหล่งชุมชนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณที่มีสายส่งไฟฟ้าแรงสูงพาดผ่าน

4. ได้ลิขสิทธิ์จากการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าจากการใช้งานโทรศัพท์มือถือบริเวณใกล้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง

ภาคผนวกประกอบด้วยเนื้อหา 3 ส่วน ได้แก่ ภาคผนวก ก. การพิสูจน์สมการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าภายใต้ระบบสายส่งที่ใช้สำหรับประยุกต์เงื่อนไขค่าขอบเขต ภาคผนวก ข. กล่าวถึงการรวบรวมผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ในขณะดำเนินการศึกษา และภาคผนวก ค. เป็นการกำหนดเงื่อนไขค่าขอบเขต โดยยกตัวอย่างการประยุกต์เงื่อนไขขอบเขต