บทที่ 1
บทนำ

ปัญหาและปรากฏการณ์ทางด้านไฟฟ้าแรงสูง เช่น การเสียสภาพฉับพลัน(Breakdown) หรือ การปล่อยประจุบางส่วน(Partial Discharge) ในฉนวน มีสาเหตุสำคัญมาจากสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงกว่าที่ฉนวนทนได้. ดังนั้นการทราบค่าสนามไฟฟ้าในบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวจะช่วยให้เราสามารถแก้ปัญหาและอธิบายปรากฏการณ์นั้นได้. การคำนวณหาค่าศักย์และสนามไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์และการคำนวณด้วยวิธีเชิงเลข. การคำนวณด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์กระทำได้โดยการหาสมการคณิตศาสตร์ที่เป็นผลเฉลยแม่นตรงและใช้ได้กับเฉพาะปัญหาที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนนัก, แต่สำหรับการคำนวณด้วยวิธีเชิงเลขซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับรูปทรงที่ซับซ้อนได้นั้น ผลเฉลยที่ได้จะเป็นผลเฉลยโดยประมาณ. ทั้งนี้ความถูกต้องของผลเฉลยโดยประมาณจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ เช่น การใช้รูปร่างของขอบเขตย่อยที่แตกต่างกัน เป็นต้น.

การคำนวณหาค่าศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงเลขมีวิธีการคำนวณอยู่หลายวิธี เช่น วิธีการจำลองประจุ(Charge Simulation Method: CSM), วิธีประจุพื้นผิว(Surface Charge Method: SCM), วิธีผลต่างสืบเนื่อง(Finite Difference Method: FDM), วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite Element Method: FEM) และวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์(Boundary Element Method: BEM).

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการจำลองรูปร่างของขอบเขตด้วยฟังก์ชันรูปร่างชนิดต่างๆ สำหรับการคำนวณหาค่าศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์. การคำนวณด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์มีข้อดีหลายประการ เช่น

1) มีความแม่นยำในการคำนวณค่าสนามไฟฟ้า เนื่องจากสามารถคำนวณค่าสนามไฟฟ้าออกมาโดยตรง,
2) สามารถประยุกต์ใช้กับบริเวณที่มีวัสดุมากกว่า 1 ชนิดได้ง่าย,
3) เหมาะสำหรับการคำนวณบนบริเวณเปิด และ
4) มีจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีผลต่างสืบเนื่องหรือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากในการคำนวณจะจำลองเฉพาะขอบเขตเท่านั้น ไม่ใช่บริเวณทั้งหมด.

1.1 ที่มาของปัญหา

การคำนวณหาค่าศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์จะแบ่งขอบเขตทั้งหมดออกเป็นขอบเขตย่อยหรือเอลิเมนต์(Element) แล้วใช้ฟังก์ชันการประมาณซึ่งเรียกว่า ฟังก์ชันรูปร่าง(Shape Function) จำลองขอบเขตย่อยนั้น. โดยปกติแล้ว ฟังก์ชันรูปร่างที่ใช้เป็นฟังก์ชันในตระกูล

เซเรนดิพิตี(Serendipity)หรือลากรานจ์(Lagrange) ซึ่งมีความต่อเนื่องของขอบเขตย่อยในระดับ C^0 (C^0 คือระดับความต่อเนื่องของพิกัด และ C^1 คือระดับความต่อเนื่องของพิกัดและเวกเตอร์สัมผัส) [1]. ความต่อเนื่องในระดับดังกล่าวจะทำให้ผลการคำนวณคลาดเคลื่อน ตัวอย่างเช่น

1) เนื่องจากสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอย่างมากตามรูปร่างของอิเล็กโทรด ดังนั้นความไม่สม่ำเสมอของขอบเขตจึงมีผลต่อความแม่นยำของคำตอบ และ
2) ในการวิเคราะห์ผลของมุมสัมผัสหรือในการศึกษาผลของความนำไฟฟ้าที่ผิวฉนวน ลักษณะของพื้นผิวจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อผลการกระจายสนามไฟฟ้าภายใน.

นอกเหนือจากปัญหาของการจำลองพื้นผิวให้มีความคลาดเคลื่อนต่ำแล้ว ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนและต้องการจำลองพื้นผิวโดยละเอียด จะใช้เวลาในการหาค่าพิกัดของขอบเขตย่อยมากและเกิดความผิดพลาดได้ง่าย.

1.2 ผลการศึกษาวิจัยในอดีต

ในอดีตที่ผ่านมามีการศึกษาการจำลองรูปร่างสำหรับคำนวณหาค่าศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเชิงเลขและใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบต่างๆ ดังนี้.

- Tsuboi, H. et al. [2] เสนอวิธีการสร้างพื้นผิวโค้งรูปสามเหลี่ยมจากการใช้เวกเตอร์พิกัดและเวกเตอร์สัมผัสที่มุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมสำหรับการคำนวณด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์. พื้นผิวที่ได้มีความต่อเนื่องอยู่ในระดับ C^0 ที่ด้านทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมและมีความต่อเนื่องระดับ C^1 ที่มุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยม แต่ไม่ได้ระบุผลของการนำพื้นผิวที่สร้างขึ้นไปใช้ในการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้า.
- Vetter, C. et al. [3] ได้คำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าด้วยวิธีประจุพื้นผิวโดยใช้พื้นผิวที่สร้างจากฟังก์ชันเสมือนพหุนามกำลังสามสองตัวแปร(Bi-Cubic Spline Function)บนแบบจำลองสวิตซ์ตัดตอนไฟฟ้าแรงสูง. ผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยวิธีการจำลองประจุแล้วปรากฏว่ามีความผิดพลาดสูงสุดที่ 2.1%.
- Hamada, S. et al. [4] นำพื้นผิวโค้งรูปสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นจากฟังก์ชันเบทซิเอ (Bezier Function)มาใช้คำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าด้วยวิธีประจุพื้นผิว. ตัวอย่างแบบจำลองที่นำมาแสดงคือ ทรงกลมฉนวนที่อยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ. ผลการคำนวณที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงปรากฏว่า ความผิดพลาดของศักย์และสนามไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่า 0.0422% และ 2.89% ตามลำดับ.

จะเห็นได้ว่า งานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ได้มีการเปรียบเทียบผลของการประยุกต์ใช้เอลิเมนต์ชนิดที่มีความต่อเนื่องระดับ C^1 กับวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์ให้เห็นอย่างชัดเจน.

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณค่าศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์โดยใช้เอลิเมนต์พื้นผิวโค้งแทนเอลิเมนต์เชิงเส้น และพัฒนาวิธีการจำลองขอบเขตสำหรับการคำนวณที่มีประสิทธิภาพ.

1.4 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

1) ศึกษาความเหมาะสมของฟังก์ชันรูปร่างชนิดต่างๆ ได้แก่ ฟังก์ชันพื้นผิวโค้งแบบเก้าระดับชั้นความเสรีและสิบสองระดับชั้นความเสรี ฟังก์ชันเสมือนพหุนามกำลังสามสองตัวแปรรูปแบบแอร์มีต และฟังก์ชันเบทซิเอกำลังสาม เพื่อใช้จำลองรูปร่างของขอบเขตในการคำนวณหาค่าศักย์และสนามไฟฟ้าโดยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์.
2) ศึกษาและเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณที่ได้เมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างในหัวข้อที่ 1).
3) พัฒนาวิธีการและสร้างโมดูลเพื่อช่วยให้สามารถจำลองรูปร่างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปและนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปมาแปลงเป็นขอบเขตสำหรับการคำนวณที่มีฟังก์ชันรูปร่างตามต้องการได้.

1.5 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทมีดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง การคำนวณค่าศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์ในระบบสามมิติ. โดยเริ่มตั้งแต่ สมการเบานด์ดารีเอลิเมนต์ การจำลองรูปร่างของขอบเขต ไปจนถึงเทคนิกการอินทิเกรตเชิงเลข ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณด้วยวิธีเบานด์ดารีเอลิเมนต์.

บทที่ 3 กล่าวถึง ฟังก์ชันรูปร่างแบบต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองรูปร่างของขอบเขต. ฟังก์ชันรูปร่างแบบต่างๆ ในบทนี้มีลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเอลิเมนต์แตกต่างกัน เช่น จุดกึ่งกลางด้าน เวกเตอร์สัมผัส เป็นต้น. ข้อมูลที่แตกต่างกันนี้ยังมีผลต่อความต่อเนื่องระหว่างเอลิเมนต์ด้วย.

บทที่ 4 กล่าวถึง การคำนวณองค์ประกอบบนพื้นผิว ซึ่งถูกนำไปใช้ในการสร้างเอลิเมนต์จากฟังก์ชันรูปร่างในบทที่ 3.

บทที่ 5 กล่าวถึง ผลการจำลองพื้นผิวและผลการคำนวณค่าศักย์และสนามไฟฟ้าในปัญหาตัวอย่างเมื่อใช้ฟังก์ชันรูปร่างแบบต่างๆ. ตั วอย่างปัญหาที่นำมาแสดงคือ ทรงกลมฉนวนหรือทรงรีฉนวนที่อยู่ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ.

บทที่ 6 กล่าวถึง การประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปกับตัวอย่างปัญหาในวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง เพื่อลดเวลาและความผิดพลาดในการสร้างขอบเขตย่อยของแบบจำลอง. ตัวอย่างปัญหาที่นำมาแสดงคือ การจำลองสเปซเซอร์แบบแท่งทรงกระบอกในสวิตซ์เกียร์ไฟฟ้าแรงสูงที่ฉนวนด้วยก๊าซ(Gas Insulated Switchgears).

บทที่ 7 กล่าวถึง ข้อสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์นี้.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย