บทที่ 1

บทนำ

เพื่อเป็นการตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้ผลิตกระแสไฟฟ้าจึงจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งผลิตพลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นให้เพียงพอ แต่แหล่งกำเนิดพลังงานมักอยู่ห่างไกลศูนย์กลางผู้ใช้ไฟฟ้า การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากๆเป็นระยะทางไกลจึงต้องใช้ระดับแรงดันที่สูงมากขึ้น ดังเช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องนำเอาระบบ 500 kV มาใช้เพื่อให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น

แต่เนื่องจากขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไม่สามารถเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนเดียวกับระดับแรงดันได้ ความเครียดสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวนจึงเพิ่มสูงขึ้น วิศวกรผู้ออกแบบจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของฉนวนที่ใช้ ลักษณะการกระจายความเครียดสนามไฟฟ้าในเนื้อฉนวน และวิธีการควบคุมความเครียดสนามไฟฟ้าเป็นอย่างดี วิศวกรจึงต้องคิดค้นวิธีคำนวณสนามไฟฟ้าแบบใหม่ๆอยู่ตลอดเวลาเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการฉนวนให้สามารถทนต่อแรงดันได้ทุกรูปแบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 การหาสนามไฟฟ้า

การหาสนามไฟฟ้าที่ใช้กันอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท [1,2] คือ วิธีอะนาลอก (Analoque Method) วิธีคณิตศาสตร์วิเคราะห์ (Analytical Method) และวิธีเชิงเลข (Numerical Method)

ก. วิธีอะนาลอก เป็นวิธีหาสนามไฟฟ้าโดยการจำลองที่มีความคล้ายคลึงกับสนามไฟฟ้าจริง เช่น ทดลองในสนามไฟฟ้าที่อธิบายได้ด้วยสมการ

เดียวกัน และมีเงื่อนไขขอบเขตอันเดียวกัน นิยมใช้ทั่วไปในการแก้ไขปัญหาที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการลาปลาซสองมิติหรือสามมิติ ซึ่งในทางปฏิบัติจริงๆ เราไม่สามารถจำลองแบบฉนวนไม่เชิงเส้น (Non-linear) และอเนกพันธุ์ (Inhomogeneous) ให้เหมือนจริงได้ นอกจากนั้นค่าใช้จ่ายในการคำนวณหาสนามไฟฟ้าสามมิติด้วยถังอิเล็กโตรลิติก (Electrolytic tank) หรือเนตเวิร์กความต้านทาน(Resistance network) ก็สูงและได้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนมาก เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายจึงนิยมหาสนามไฟฟ้าบนกระดาษฉาบสารกึ่งตัวนำ แต่ก็ใช้ได้ดีกับสนามไฟฟ้าสองมิติเท่านั้น

ข. <u>วิธีคณิตศาสตร์วิเคราะห์</u> เป็นการหาสนามไฟฟ้าด้วยสมการคณิตศาสตร์วิเคราะห์ คอนฟอร์มอลแมปปิง หรือสมการอินทิกรัล ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสูง แต่สามารถใช้ได้กับสนามไฟฟ้าที่มีรูปร่างง่ายๆเท่านั้น

ค. <u>วิธีเชิงเลข</u> เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ค่าใช้จ่ายต่ำ สะดวกและรวดเร็วเนื่องจากความสามารถที่เพิ่มขึ้นของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับงานทางด้านวิศวกรรม สามารถแยกออกได้เป็น 3 วิธี คือ

1. วิธีจำลองประจุ (Charge Simulation Method)
2. วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ (Finite Difference Method)
3. วิธีไฟไนต์อิเล็มเมนต์ (Finite Element Method)

1.2 <u>ประวัติความเป็นมาของไฟไนต์อิเล็มเมนต์ในงานวิศวกรรมไฟฟ้า</u>

ประวัติความเป็นมาของไฟไนต์อิเล็มเมนต์ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ได้นำมาจากการรวบรวมของ A.L. Frisiana [1] กล่าวคือ

Clough ได้ใช้คำว่า "ไฟไนต์อิเล็มเมนต์" ในบทความทางด้านวิศวกรรมโยธาเป็นคนแรกเมื่อปี ค.ศ.1960 จนกระทั่งปี ค.ศ.1965 Winslow จึงนำวิธีนี้มาใช้ในงานวิศวกรรมไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์การอิ่มตัวของ Accelerator magnets เป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ.1970 Silvester และ

Chari ได้เสนอสมการทั่วไปเพื่อใช้คำนวณการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เชิงเส้นของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในเครื่องกลไฟฟ้าจากนั้นก็มีการใช้ไฟไนต์อิเล็มเมนต์กันอย่างกว้างขวางในงานวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

- หม้อแปลงไฟฟ้า โดย Silvester, Chari, และ Anderson
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเทอร์โบ โดย Sivester, Chari, Brandl, Reichert, และ Vogt
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วยื่นเด่น โดย GlowinskiและMarrocco
- กระแสวนใน Magneto-Telluric โดย SilvesterและHaslam
- กระแสวนในโครงสร้างแม่เหล็ก โดย Chari
- กระแสวนในมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดย Foggia, Sabonnadiere, และ Silvester
- สนามไฟฟ้าสถิต โดย Anderson

เหตุผลที่นิยมใช้ไฟไนต์อิเล็มเมนต์ก็เนื่องมาจาก

ก. <u>ความยืดหยุ่น</u> เนื่องจากไฟไนต์อิเล็มเมนต์ใช้เงื่อนไขขอบเขตและรูปร่างของสนามไฟฟ้าเท่านั้นในการแก้ปัญหา ไฟไนต์อิเล็มเมนต์จึงสามารถแก้ปัญหาสนามไฟฟ้าหลายๆแบบได้ดีโดยไม่ต้องแก้ไขระบบสมการใหม่

ข. <u>ระบบสมการ</u> ไฟไนต์อิเล็มเมนต์มีระบบสมการพีชคณิตที่ไม่ซับซ้อนจึงสะดวกในการแก้สมการ

ค. <u>การโปรแกรม</u> เนื่องจากไฟไนต์อิเล็มเมนต์ใช้เงื่อนไขขอบเขตที่ไม่ซับซ้อนในการแก้ปัญหา การเขียนโปรแกรมจึงกระทำได้โดยสะดวก

1.3 <u>แรงดันเริ่มต้น</u> (Threshold voltage)

แรงดันเริ่มต้นหมายถึงค่าแรงดันที่ทำให้เกิดดีสชาร์จเบรกดาวน์โดยตรง (Direct breakdown) ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอหรือในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย แต่ในสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง แรงดันเริ่มต้นจะหมายถึงค่าแรงดัน

ที่ทำให้เริ่มเกิดโคโรนาดีสชาร์จ (Corona discharge)

ในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง การเกิดดีสชาร์จอาจทำให้เกิดความเสียหายได้หลายประการ เช่น ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบสายส่งแรงสูงเพิ่มขึ้น ทำให้ฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเสื่อมสภาพ หรือทำให้เกิดคลื่นรบกวนต่อระบบสื่อสาร เป็นต้น ดังนั้นการทราบค่าแรงดันเริ่มต้นจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการออกแบบระบบส่งจ่ายไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

1.4 ขอบข่ายการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาค่าสนามไฟฟ้าเพื่อเป็นแนวทางในการนำไฟไนต์อิเล็มเมนต์ไปประยุกต์ใช้กับงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้า โดยเฉพาะวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งสนามไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการลาปลาซสองมิติ สนามไฟฟ้าที่เลือกใช้ในการวิจัยก็คือ สนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม และอิเล็กโทรดทรงกลมซ้อนศูนย์กลางร่วม เนื่องจาก

ก. อิเล็กโทรดทั้งสองแบบมีแกนสมมาตร สนามไฟฟ้าจึงสามารถแทนได้ด้วยสมการลาปลาซสองมิติ

ข. ศักย์ไฟฟ้าของสนามไฟฟ้าทั้งสองแบบสามารถคำนวณได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จึงสะดวกในการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อิเล็มเมนต์

อนึ่งเพื่อเป็นการแสดงให้เห็นว่าไฟไนต์อิเล็มเมนต์สามารถนำไปใช้คำนวณสนามไฟฟ้าที่คลาสสิกมากขึ้นได้ จึงได้ทดลองคำนวณศักย์ในสนามไฟฟ้าของปัญหาเงื่อนไขขอบเขตแบบภาคตัดขวางสี่เหลี่ยมผืนผ้าอีกแบบหนึ่งด้วย

ตัวกลางเชิงเส้นและเอกพันธุ์ที่เลือกใช้เพื่อเปรียบเทียบการคำนวณแรงดันเริ่มต้น (Theshold voltage) มีสองชนิด คือ

ก. <u>ก๊าซ SF_6</u> เนื่องจากแรงดันเริ่มต้นของก๊าซ SF_6 สามารถคำนวณได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ประกอบกับเคยมีผู้ทดลองหาแรงดันเริ่มต้นในอิเล็กโทรดทั้งสองแบบมาแล้ว [3] จึงสะดวกในการเปรียบเทียบผล

ข. <u>อากาศ</u> เนื่องจากอากาศเป็นฉนวนที่ถูกที่สุดในโลกและใช้เป็นฉนวนไฟฟ้ากันอย่างกว้างขวาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย