บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไป

ระบบไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีคุณภาพ มีความเชื่อมั่นได้สูง มีไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเพียงพอและตลอดเวลา ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำงานได้อย่างมั่นคง ไม่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดผิดพร่องในระบบ

ระบบสายส่งแบบขึงสายในอากาศ (Overhead Line) จะใช้ลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลนหรือลูกถ้วยแก้วเป็นตัวยึดหรือรองรับสายไฟ ฉะนั้น ลูกถ้วยฉนวนจึงจัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งต่อเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า

ลูกถ้วยฉนวนเป็นตัวยึดหรือรองรับสายไฟฟ้าแรงสูงจะได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าจากแรงดันระบบอยู่ตลอดเวลา และยังมีโอกาสจะได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูงมากจากแรงดันเกินอันเนื่องมาจากแรงดันเสิร์จสวิตชิง (Swithching Surge) และจากแรงดันเสิร์จฟ้าผ่า (Lightning Surge)[1, 2] อันเป็นต้นเหตุทำให้เกิดวาบไฟตามผิวและนำไปสู่การเกิดผิดพร่องในระบบ ซึ่งแรงดันเสิร์จเหล่านี้เป็นแรงดันเกิน(Overvoltage)จะถูกจำกัดด้วยอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเรียกว่ากับดักแรงดันเกินหรือกับดักแรงดันเสิร์จ (Surge Arrester) แต่อย่างไรก็ตามลูกถ้วยฉนวนจะต้องทนต่อแรงดันเกินได้ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนลูกถ้วยฉนวนยังทำให้เกิดโคโรนาขึ้นและส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนต่อระบบสื่อสาร ในการออกแบบการฉนวนของระบบส่งจ่ายด้วยลูกถ้วยฉนวน วิศวกรผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะวาบไฟตามผิวและแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุของลูกถ้วยฉนวน ในด้านอุตสาหกรรมการออกแบบรูปลักษณะ(Configuration)ของลูกถ้วยฉนวน ก็ต้องพยายามให้มีขนาดที่พอเหมาะทนแรงดันวาบไฟตามผิวได้สูงสุด และมีแรงดันไฟฟ้ารบกวนคลื่นวิทยุต่ำ การจะออกแบบรูปลักษณะของลูกถ้วยฉนวนในเชิงไฟฟ้าได้ถูกต้องเหมาะสมนั้น จำเป็นจะต้องทราบลักษณะของความเครียดสนามไฟฟ้าบนผิวและในเนื้อฉนวน โดยเหตุที่รูปลักษณะของลูกถ้วยฉนวนที่ออกแบบใช้งานอยู่นั้น จะต้องคำนึงถึงสภาวะดินฟ้าอากาศ สภาพแวดล้อม สิ่งเปรอะเปื้อนที่ทำให้เกิด

วาบไฟตามผิวได้ง่าย จึงทำให้ต้องออกแบบลูกถ้วยฉนวนให้มีรูปลักษณะซับซ้อน เพื่อป้องกันการเปรอะเปื้อนจากสภาพแวดล้อม และให้มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้สูง

ลูกถ้วยก้านตรงเป็นลูกถ้วยฉนวนยึดสายไฟฟ้าในระบบจำหน่าย รูปลักษณะของลูกถ้วยก้านตรงจะทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงที่สายรัดรอบคอลูกถ้วย(Tie Wire) ซึ่งจะก่อให้เกิดโคโรนาขึ้นและส่งคลื่นรบกวนแก่ระบบสื่อสาร มาตรฐานจึงกำหนดให้ลูกถ้วยก้านตรงที่จะใช้ในย่านชุมชนต้องเคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำในบริเวณด้านบนของลูกถ้วย เพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้า ป้องกันมิให้เกิดโคโรนาขึ้นในขณะที่ใช้งาน

การคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าผิวของลูกถ้วยฉนวนไม่สามารถใช้ฟังก์ชันเชิงวิเคราะห์(Analytic Function) ง่าย ๆ ได้ วิธีหนึ่งที่จะคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าได้คือวิธีเชิงเลข (Numerical Method) เช่น วิธีไฟไนต์อีลีเมนต์นั่นเอง

1.2 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันมีโรงงานที่ผลิตลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแรงสูงชนิดพอร์ซเลนได้ภายในประเทศแล้วหลายโรงงาน แต่การผลิตดังกล่าวส่วนใหญ่จะใช้วิธีเลียนแบบของต่างประเทศ ยังขาดการริเริ่มที่จะออกแบบรูปลักษณะของลูกถ้วยฉนวนให้เหมาะสม และสอดคล้องกับภูมิประเทศ สภาพแวดล้อมของประเทศไทย ทั้งนี้เพราะยังขาดเทคโนโลยีที่จะนำมาพัฒนาออกแบบขึ้นเอง โดยในการพัฒนาออกแบบจำเป็นต้องทราบค่าความเครียดสนามไฟฟ้าบนผิวลูกถ้วยฉนวน ดังนั้นเพื่อให้สามารถพัฒนาออกแบบรูปลักษณะของลูกถ้วยพอร์ซเลนได้เหมาะสม เพิ่มสมรรถนะและคุณภาพการใช้งานของลูกถ้วยฉนวน ลดต้นทุนการผลิตให้สามารถแข่งขันในเชิงพาณิชย์กับต่างประเทศได้ จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการออกแบบ ทางหนึ่งที่ทำได้ก็คือการคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าบนผิวฉนวน เพื่อช่วยในการพัฒนาออกแบบรูปลักษณะของลูกถ้วยฉนวน

ในกรณีของลูกถ้วยก้านตรงต้องมีการเคลือบสารกึ่งตัวนำที่ส่วนหัวบริเวณสายรัดรอบคอ เพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้า ป้องกันมิให้เกิดโคโรนา แต่การเคลือบสารกึ่งตัวนำบนลูกถ้วยฉนวนย่อมมีผลต่อแรงดันกระจายของลูกถ้วย ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่าง ๆ ของลูกถ้วยเช่น ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวความถี่ต่ำ แรงดันวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตและแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดเปลี่ยนไป ถ้าความกว้างของสารเคลือบกึ่งตัวนำมากขึ้น ค่าแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดจะสูงขึ้น แต่ค่าแรงดันวาบไฟตามผิวกลับต่ำลง ในการใช้งานลูกถ้วยฉนวนนั้น ลูกถ้วยจะต้องมีทั้งค่าแรงดันวาบ

ไฟตามผิวแห้งความถี่พลังงานและแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดสูงได้ตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ ฉะนั้น การเคลือบสารกึ่งตัวนำจะต้องเคลือบให้ได้ความกว้างที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ทั้งแรงดันวาบไฟตามผิวความถี่พลังงานและแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดมีค่าสูงพอ

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้ทำการคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าและแรงดันเริ่มต้นของลูกถ้วยฉนวนก้านตรงที่มีความกว้างของสารเคลือบกึ่งตัวนำต่าง ๆ กัน หาค่าแรงดันวาบไฟตามผิวแห้งความถี่ต่ำ แรงดันวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตและแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดของลูกถ้วยก้านตรงที่มีสารเคลือบกึ่งตัวนำความกว้างต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาความกว้างในการเคลือบสารกึ่งตัวนำที่พอเหมาะ และเปรียบเทียบค่าได้จากการคำนวณกับผลการทดลอง

1.3 ผลงานการศึกษาในอดีต

ที่ผ่านมาได้มีการคำนวณหาสนามไฟฟ้าบนระบบฉนวนในงานวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงอย่างกว้างขวาง ในปัญหาของลูกถ้วยฉนวนนั้น พอจะกล่าวโดยรวมได้ดังนี้

Kato, Kokai, Nakajima และ Kouno[3] ทำการคำนวณหาสนามไฟฟ้าบนผิวลูกถ้วยฉนวนที่มีการเคลือบสารกึ่งตัวนำอยู่ โดยพิจารณาสารกึ่งตัวนำเป็นพื้นผิว และทำการทดลองหาศักย์ไฟฟ้าบนผิวลูกถ้วยฉนวนด้วยอิเล็กโทรไลติกแทงก์(Electrolytic Tank) ได้ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี

Haznadar, Milojkovic และ Kamenica[4] คำนวณหาสนามไฟฟ้าบนพวงลูกถ้วยฉนวนซึ่งประกอบด้วยลูกถ้วยแขวน 13 ลูก โดยอาศัยวิธีจำลองแบบประจุและวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ และได้แสดงให้เห็นว่าลูกถ้วยหน่วยที่อยู่ถัดจากตัวนำไฟฟ้าจะได้รับความเครียดสนามไฟฟ้าสูงกว่าลูกถ้วยหน่วยอื่น ๆ

Haznadar และ Sadovic[5] ได้เสนอการใช้มาโครอีลีเมนต์ในการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์กับปัญหาลูกถ้วยฉนวนที่มีองค์ประกอบย่อย ๆ เหมือนกัน ซึ่งจะทำให้สามารถลดจำนวนของตัวแปรในการคำนวณ ลดขนาดของเมตริกซ์ในการคำนวณ และยังทำการคำนวณหาผลของสิ่งเปรอะเปื้อนที่มีต่อลักษณะสนามไฟฟ้าอีกด้วย

การคำนวณคำนวณบนปัญหาบริเวณเปิดนั้น Steinbigler[6], Okubo, Ikeda, Honda[7] แสดงการคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์และวิธีจำลองแบบประจุร่วมกัน ในขณะที่ Imhoff, Meunier และ Abonnadiere[8] , Stochniol[9] คำนวณบนปัญหาบริเวณเปิดโดยใช้การแปลงทาง

คณิตศาสตร์เข้าช่วย ทำให้บริเวณของปัญหากลายเป็นบริเวณปิดแทน และสามารถคำนวณด้วยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ได้โดยตรง

การหาแรงดันเริ่มต้นของอิเล็กโทรดแรงสูงในรูปแบบต่าง ๆ นั้น คมสัน เพ็ชรรักษ์[10] ได้ทำการคำนวณหาและทดลองหาแรงดันเริ่มต้นในอากาศและก๊าซ SF_6 โดยคำนวณหาแรงดันเริ่มต้นบนอิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนแกนร่วมและทรงกลมซ้อนศูนย์กลางร่วมด้วยวิธีการไฟไนต์อีลีเมนต์ในการคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้า

1.4 ขอบข่ายงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าบนผิวของลูกถ้วยฉนวนพอร์ซเลน ซึ่งเป็นปัญหาเงื่อนไขขอบเขตบนบริเวณเปิดที่ประกอบด้วยตัวกลางมากกว่า 1 ตัวกลาง และมีตัวกลางที่เป็นสารเคลือบกึ่งตัวนำประกอบอยู่ โดยใช้วิธีการไฟไนต์อีลีเมนต์ในการคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้า ทำการทดลองหาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนเพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ และหาความกว้างของสารเคลือบกึ่งตัวนำที่พอเหมาะโดยใช้ลูกถ้วยก้านตรงเป็นตัวอย่างทดสอบ

การทดสอบหาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของลูกถ้วยฉนวนนั้น จะทำการทดสอบหา

ก. แรงดันวาบไฟตามผิวความถี่ต่ำ 50 Hz

ข. แรงดันวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤต

ค. แรงดันโคโรนาเริ่มเกิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย