บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำทั่วไปและที่มาของปัญหา

ในช่วงระยะ 10 ปีที่แล้วมาการพัฒนาอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้เจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว การพัฒนาอุตสาหกรรมต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งสังเกตได้จากความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยอัตราสูง จึงเป็นหน้าที่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่จะต้องทำการผลิตและส่งให้ถึงผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อนึ่งรัฐบาลมีนโยบายที่จะจัดให้มีไฟฟ้าใช้ได้ทั่วถึงทุกตำบลซึ่งกระจายไปสู่ชนบทในบริเวณกว้าง ในการส่งพลังงานไฟฟ้าดังกล่าว จำเป็นต้องใช้ระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแรงสูง แม้แต่ในโรงงานอุตสาหกรรมความต้องการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงก็มีจำนวนมาก อุปกรณ์แรงสูงเหล่านี้ยังต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันรัฐบาลได้ให้ความสนใจและสนับสนุนในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ขึ้นใช้เองและรวมไปถึงการส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ขณะนี้ประเทศไทยสามารถผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขั้นต้นได้แล้วหลายชนิด เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า ลูกถ้วยฉนวน เคเบิล สวิตช์ตัดตอน เป็นต้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถแข่งขันกับสินค้าต่างประเทศได้จำเป็นจะต้องได้รับการพัฒนาหาทางลดต้นทุนการผลิตและมีคุณภาพได้มาตรฐานซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีการฉนวนให้มีประสิทธิภาพ การจะทำเช่นนั้นได้จำเป็นจะต้องทราบลักษณะของสนามไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ผลิต

ในทางปฏิบัติโครงสร้างหรืออิเล็กโทรดของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงมักจะมีรูปลักษณะที่มีความยุ่งยากเกินกว่าจะคำนวณหาศักย์และสนามไฟฟ้าด้วยวิธีคณิตศาสตร์วิเคราะห์โดยตรง แต่อาจคำนวณได้ด้วยวิธีคณิตศาสตร์เชิงเลข (Numerical method) เช่น วิธีจำลองแบบประจุ [1] วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ [2] จากการที่ได้ศึกษาถึงความเจริญก้าวหน้าในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในประเทศอุตสาหกรรม ได้มีการใช้วิธีการจำลองแบบประจุคำนวณ

สนามไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และพบว่ามีความถูกต้องแม่นยำ แต่การพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทยยังไม่มีการนำเอาเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ จึงทำให้การพัฒนาอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างล่าช้า เพื่อให้การพัฒนาอุตสาหกรรมด้านนี้เจริญก้าวหน้าทันกับต่างประเทศ จึงได้ทำการศึกษาวิธีการคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมไฟฟ้าแรงสูงของประเทศต่อไป

1.2 ประวัติความเป็นมาของวิธีจำลองแบบประจุในการคำนวณสนามไฟฟ้า

ในปี 1950 Dodd [3, 4] ได้เสนอบทความเกี่ยวกับการใช้วิธีจำลองแบบประจุเพื่อวิเคราะห์สนามไฟฟ้าโดยการตั้งสมการหลายสมการขึ้นพร้อมกัน หลังจากนั้นก็มีวิศวกรหลายคนได้พยายามพัฒนาการคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุ ขณะเดียวกันก็มีการพัฒนาเครื่องคอมพิวเตอร์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เป็นเหตุให้มีการคิดค้นวิธีจำลองแบบประจุโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ วิศวกรสำคัญที่มีผลงานการวิจัยทางด้านนี้ เช่น ในปี 1969-1973 Abou-Seada และ Nasser [5, 6, 7] ได้ทำการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าและเกรเดียนต์และแรงดันเริ่มต้นของสายควบ (Bundle conductor) แบบสายควบ 2 เส้นและสายควบ 4 เส้น ในปี 1974 Singer, Steinbigler, Weiss [1] ได้เสนอบทความเรื่องการคำนวณหาสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุโดยเสนอวิธีคำนวณทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งได้กล่าวถึงวิธีหาสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดที่มีแกนสมมาตรแบบ 2 มิติ และที่มีแกนไม่สมมาตรแบบ 3 มิติ ในปีเดียวกัน Parekh และ Nasser [8] ได้เสนองานวิจัยเรื่องการคำนวณหาศักย์ไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าของสายควบสปลิต (Split-bundle) ปีถัดมาคือ 1975 Khaled [9] ก็ได้ศึกษาวิจัยเรื่องการคำนวณแรงดันโคโรนาเริ่มเกิดโดยใช้วิธีการสมมติประจุเป็นวงแหวน การคำนวณด้วยวิธีจำลองแบบประจุได้รับการพัฒนาเทคนิคการคำนวณเพื่อให้ได้ผลถูกต้องแม่นยำและรวดเร็ว การจำลองแบบประจุของอิเล็กโทรดที่ซับซ้อนด้วยวิธีจำลองง่าย ๆ เช่น ในปี 1979 Takuma, Kawamoto [10] ได้คิดวิธีคำนวณด้วยวิธีจำลองแบบประจุและความต้านทานตามผิวเข้าด้วยกัน เพื่อใช้คำนวณสนามไฟฟ้าของแรงดันกระแสสลับ ในปีเดียวกัน Sato [11] ได้คิดค้นวิธีแก้ปัญหาเวลาที่ใช้การคำนวณและจำนวนหน่วยความจำให้น้อยลงด้วยการสมมติประจุใหม่ เรียกว่า Axi-spheroidol charges ส่วน Singer [12] ได้พัฒนาการคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุเพื่อหาขนาดของอิเล็กโทรดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดโดยใช้วิธีผสมระหว่างวิธีจำลองแบบประจุกับการหาค่าที่ดีที่สุดทางคณิตศาสตร์ (Optimized

technic)

การคำนวณด้วยวิธีการจำลองแบบประจุเพื่อคำนวณหาสนามไฟฟ้าได้นำมาใช้เพื่อพัฒนาสร้างอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงไม่น้อยกว่าสิบห้าปีแล้ว ตัวอย่างประวัติความเป็นมาที่กล่าวแล้วข้างต้นเป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น ในด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงได้มีการประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงนานาชาติ (International symposium on high voltage engineering) ทุก ๆ 4 ปี ได้มีการแสดงผลงานวิจัยด้วยวิธีการจำลองแบบประจุเพื่อคำนวณสนามไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นอย่างยิ่ง นับวันการคำนวณด้วยวิธีดังกล่าวจะเพิ่มเทคนิคเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำรวดเร็วและง่ายต่อการใช้งาน

1.3 <u>ขอบข่ายของการวิจัย</u>

ปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการนำเอาวิธีจำลองแบบประจุมาคำนวณหาสนามไฟฟ้าเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมแต่อย่างใด โดยเหตุที่การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมให้ได้ผลแข่งขันได้กับสินค้าต่างประเทศจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีมาช่วย นั่นก็คือ การคำนวณสนามไฟฟ้าที่ถูกต้องเพื่อให้ใช้ฉนวนได้ถูกต้องและเหมาะสม ฉะนั้นเทคนิคการคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองแบบประจุจึงสมควรได้รับการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ด้วยเหตุผลเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและทำความเข้าใจอันเป็นพื้นฐานของการคำนวณหาสนามไฟฟ้าด้วยวิธีนี้ จึงได้เลือกลักษณะของสนามไฟฟ้าที่ได้จากอิเล็กโทรดแบบแท่งกลมปลายมนกับระนาบสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้สนใจวิธีการคำนวณด้วยวิธีจำลองแบบประจุเข้าใจหลักการและแนวความคิดเบื้องต้นและนำไปสู่การค้นคว้าวิจัยที่ซับซ้อนและเทคนิคขั้นสูงต่อไปในอนาคต นอกจากนี้อิเล็กโทรดลักษณะนี้ยังง่ายต่อการเปลี่ยนค่าแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า[1] โดยที่ระยะแก๊ปคงที่ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนขนาดของอิเล็กโทรดเท่านั้น หรือรักษาแฟกเตอร์สนามไฟฟ้าให้คงที่ที่ระยะแก๊ปต่าง ๆ ก็ทำได้ง่าย

---

(1) แฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field utilization factor) เป็นค่าที่ชี้บอกให้ทราบถึงความสม่ำเสมอของสนามไฟฟ้ามากหรือน้อย ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยของสนามไฟฟ้าต่อค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดของอิเล็กโทรดนั้น

ถึงแม้ว่า เทคนิคการฉนวนภายในที่ใช้ในปัจจุบันจะมีทั้งชนิดของเหลวและของแข็งที่มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงก็ตาม แต่การฉนวนภายนอกนั้นจะเห็นได้ว่ายังมีความจำเป็นที่จะต้องใช้อากาศเป็นฉนวนอยู่ เช่น อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในสถานีจ่ายไฟย่อยกลางแจ้ง สายส่งกำลังขึงในอากาศ (Over head line) ซึ่งใช้อากาศเป็นฉนวนส่วนที่เป็นลูกถ้วยฉนวนนั้นแท้จริงทำหน้าที่รับแรงกลหรือรับน้ำหนักเป็นประการสำคัญ การออกแบบใช้อากาศเป็นฉนวนที่จะให้ได้ผลดี ประหยัด ปราศจากโคโรนา จำเป็นต้องทราบค่าความเครียดสนามไฟฟ้าของลักษณะอุปกรณ์นั้น ๆ เพื่อที่จะให้เกิดความมั่นใจได้ว่า ฉนวนอากาศสามารถทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้านั้นได้ เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตกำลังติดตั้งระบบสายส่ง 500 kV ซึ่งต้องใช้สายควบ 4 เส้น จึงจะเหมาะสมที่สุด ยิ่งกว่านั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงประเภทฉนวนก๊าซอัดความดัน เช่น GIS (Gas Insulated Switchgear) ซึ่งใช้ก๊าซเป็นฉนวนหลักโดยการเพิ่มความดันให้สูงขึ้นเพื่อให้สามารถทนแรงดันได้สูงขึ้น ความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของก๊าซอัดความดันต่าง ๆ จะมีความแตกต่างจากความคงทนของก๊าซที่ความดันบรรยากาศ ดังนั้นเพื่อให้มีความเข้าใจถึงลักษณะความคงทนต่อแรงดันของก๊าซฉนวนอัดความดัน เพื่อประโยชน์ในการออกแบบให้เหมาะสมได้ถูกต้องที่ความดันต่าง ๆ สำหรับอิเล็กโทรดที่แฟกเตอร์สนามไฟฟ้าต่าง ๆ จึงสมควรที่จะได้ศึกษาที่ความดันสูงและต่ำกว่าบรรยากาศ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการวิจัยที่ความดันก๊าซตั้งแต่ 0.2 บาร์ ถึง 5.0 บาร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย