

การออกแบบและสร้างหัวต่อสายเคเบิลใต้ดิน XLPE แรงดันสูงพิกัด 24 kV
เพื่อทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนโดยประยุกต์ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นสารฉนวน

The Design and Construction of High Voltage Underground Cable Terminator XLPE 24 kV
for testing the Partial Discharge Measurement by the Application of SF₆ gas Insulation

ทง ลานธารทอง สมชัย หิรัญวโรดม พร้อมศักดิ์ อภิรติกุล

Thong lantantong Somchai hiranvarodom Promsak apiratikool

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างหัวต่อสายเคเบิลใต้ดิน XLPE แรงดันสูงพิกัด 24 kV เพื่อทำการทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนโดยประยุกต์ใช้สารฉนวนก๊าซ SF₆ โดยมีการคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าและออกแบบโดยนำระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อจำลองการกระจายของความเครียดสนามไฟฟ้า (E_{max}) ที่เกิดขึ้นในหัวต่อสายเคเบิลในสถานะที่ยังไม่มีสารฉนวน เพื่อให้ทราบค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด และนำมาสู่การออกแบบรวมถึงประยุกต์ใช้สารฉนวนโดยสารฉนวนที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือฉนวนก๊าซ SF₆ ซึ่งมีคุณลักษณะสมบัติเป็นฉนวนที่ดีในทางไฟฟ้า และเพื่อคำนวณหามิติที่เหมาะสมของหัวต่อสายซึ่งใช้ฉนวนก๊าซเป็นตัวควบคุมสนามไฟฟ้าบริเวณปลายสายเคเบิล หัวต่อสายเคเบิลที่ได้จากการออกแบบสามารถใช้ในการทดสอบหาค่าดิสชาร์จบางส่วนได้ตามมาตรฐาน IEC 60270 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์และพัฒนาการออกแบบหัวต่อสายชนิดใช้สารฉนวนประเภทน้ำมันหม้อแปลงมาเป็นฉนวนก๊าซ SF₆ ทั้งนี้เพื่อศึกษาวิจัยหาผลที่ได้จากการสร้างหัวต่อสายชนิดใช้สารฉนวนประเภทก๊าซ รวมทั้งเป็นการพัฒนาแนวทางและวิธีการที่เหมาะสมในการทดสอบวัดหาค่าดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลแรงดันสูงต่อไปได้ในอนาคต

คำสำคัญในงานวิจัย : หัวต่อสายเคเบิลใต้ดิน, ดิสชาร์จบางส่วน, ความเครียดสนามไฟฟ้า, สารฉนวน, สนามไฟฟ้า, สายเคเบิลสายเคเบิลแรงดันสูง

ABSTRACT

This research aimed to design and construct the XLPE 24 kV high voltage cable terminator in order to find out the partial discharge with the application of SF₆ gas insulation Then , it was calculated to find out the electric field parameter and designed to simulate the distribution of electric field stress at the cable terminator in non-insulation condition by the application of finite elements method. Moreover , the experiment after aimed to find out the optimum parameter of Electric field Stress and the application of insulation called SF gas insulation which is a good insulator. In addition , the appropriate dimension of cable terminator with gas insulation to control the electric field at the end of underground cable was calculated. This designed cable terminator can be used to examine the partial discharge according to IEC 60270 Standard. In this research , the researcher applied the SF gas insulation with the cable terminator instead of transformer oil. The researcher also studied the output of the cable terminator with gas insulation for developing appropriate method to test the partial discharge of high voltage in the future.

Keyword : Cable Terminator , Partial Discharge ,Electric Field Stress, Insulation, Electric Field

Underground Cable , High Voltage Underground Cable

E-mail address : thong2499@hotmail.com

1. คำนำ

จากปัญหาอุปกรณ์การทดสอบทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงมีราคาสูงเมื่อนำเข้ามาในประเทศ ประกอบกับในประเทศไทยสามารถผลิตสายเคเบิลแรงดันสูงได้ดินแบบ XLPE หรือเดินสายใต้น้ำ ดังนั้นการตรวจสอบฉนวนที่หุ้มสายเคเบิลที่ผลิตออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรมสายเคเบิลมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดสอบสายตามค่ามาตรฐานการทดสอบกำหนด สำหรับในงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอวิธีการและการออกแบบเพื่อทำการทดสอบการหาค่าดิสชาร์จบางส่วนตามค่ามาตรฐาน IEC 60270 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบสร้างชุดขั้วต่อสายเพื่อทำการทดสอบสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE ขนาดพิกัด 24 กิโลโวลต์ ขนาดของสายที่ทำการทดสอบ 240 ตารางมิลลิเมตร เป็นชุดทดสอบการวัดหาค่าดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) และเป็นการทดสอบค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของไดอิเล็กตริกของฉนวนแข็ง (Solid Dielectric Insulation) ที่เป็นฉนวนประเภท XLPE ของสายเคเบิลแรงสูง โดยในชุดขั้วต่อสายจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดค่าความเครียดสนามไฟฟ้าภายในชุดขั้วต่อสายเพื่อให้ค่าดิสชาร์จบางส่วนในส่วนของขั้วต่อสายมีค่าที่น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยเพื่อให้ได้ค่าดิสชาร์จบางส่วนที่ทำการวัดภายในสายเป็นค่าดิสชาร์จบางส่วนของสายอย่างแท้จริง โดยปัจจัยสำคัญในการตรวจสอบความผิดปกติและสิ่งบกพร่องเนื่องจากขบวนการผลิตจากโรงงานซึ่งเป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย และสามารถทำนายถึงอายุการใช้งานในลักษณะของการเสื่อมสภาพทางกายภาพของสายเคเบิล ทั้งนี้ในการออกแบบขั้วต่อสายในลักษณะที่ผ่านมานั้นจะออกแบบใช้น้ำมันหม้อแปลงเป็นสารฉนวนแต่ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบสร้างและพัฒนาสารฉนวนเพื่อศึกษาผลที่ได้จากการใช้ฉนวนก๊าซเป็นฉนวนที่ช่วยลดค่าความเครียดสนามไฟฟ้าภายในขั้วต่อสายเพื่อให้ได้ค่าการวัดดิสชาร์จบางส่วนเป็นค่าที่ถูกต้องและแม่นยำที่สุด โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโดยใช้หลักการใช้ทฤษฎีของไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในการวิเคราะห์หาค่าของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก่อน ทั้งนี้เพื่อศึกษาดูพฤติกรรมในการเกิดค่าความเครียดสนามไฟฟ้า (Electric Field Stress) ของชุดขั้วต่อสายในขณะป้อนแรงดันสูงเข้าที่ขั้วอิเล็กโตรด เพื่อนำไปสู่การออกแบบขนาดและรูปแบบของขั้วต่อสาย รวมถึงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

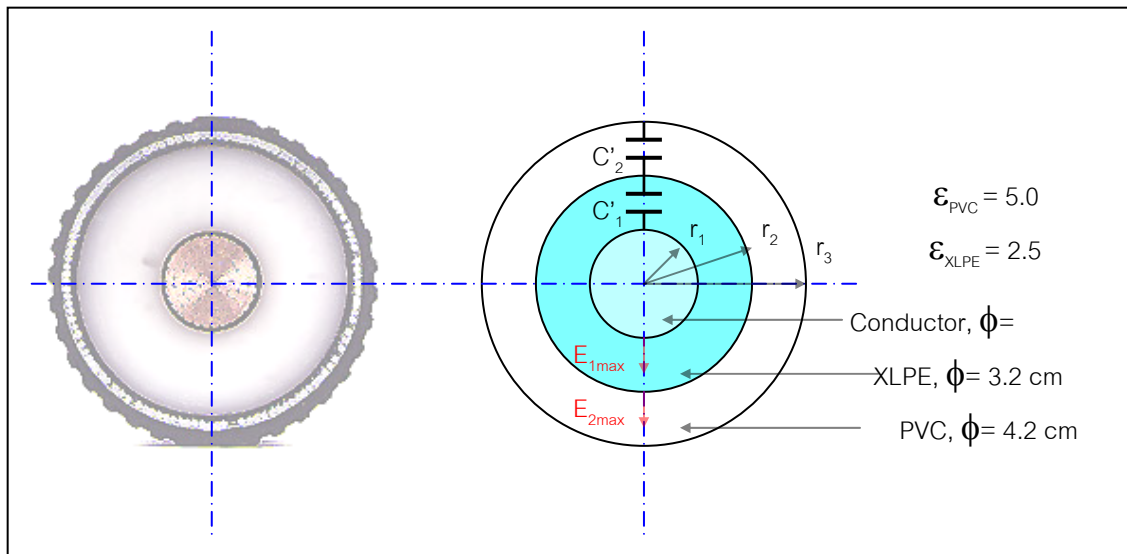
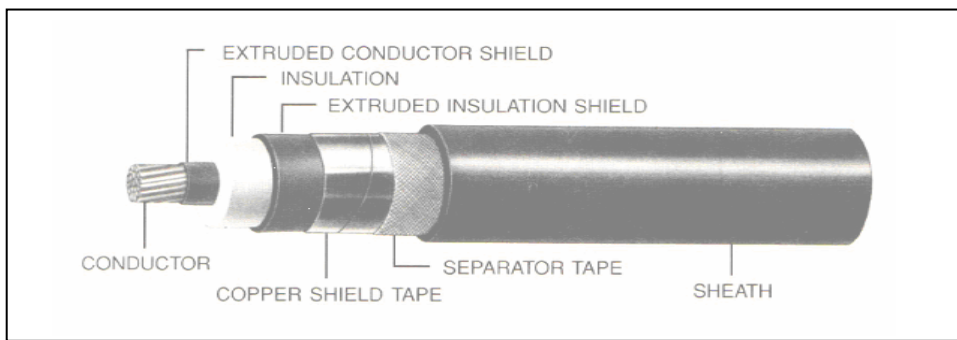
อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. คำนคว้าและศึกษาข้อมูลจากบทความ วารสาร และตำรา ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างขั้วต่อสายเคเบิลใต้ดิน XLPE แรงดันสูงพิกัด 24 KV
2. จำลองวงจรขั้วต่อสายแรงดันสูงพิกัด 24 KV 240 Sq mm. ด้วยโปรแกรม MathLab และ FemLab
3. ออกแบบส่วนประกอบและโครงสร้างต่างๆ ของขั้วต่อสายและแรงดันสูง
4. ทำการทดสอบหาคุณลักษณะการทำงานของขั้วต่อสาย
5. เก็บผลที่ได้จากการจำลอง และการทดลองมาเปรียบเทียบกัน
6. สรุปผลการวิจัยและการทดลอง

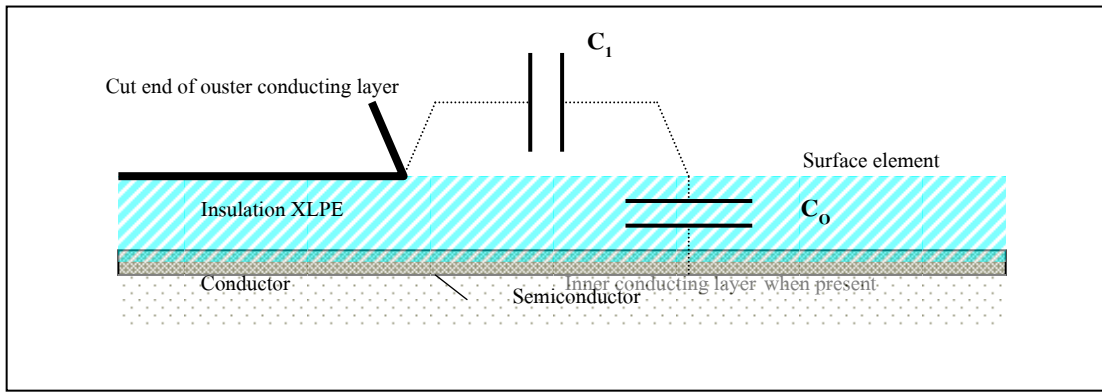
การวัดดิซชาร์จบางส่วน (PD)

ในสมัยเริ่มแรกที่มีการทดสอบวัสดุฉนวนและอุปกรณ์ไฟฟ้ามักจะใช้วิธีวัดความต้านทาน แฟคเตอร์พลังงานสูญเสีย $\tan \delta$ และทดสอบหาค่าแรงดันเบรกดาวน พบว่าค่า $\tan \delta$ นั้นขึ้นอยู่กับขนาดแรงดัน จึงใช้เป็นเงื่อนไขในการกำหนดคุณภาพของการฉนวน การค้นคว้าวิจัยต่อมาพบว่า โฟรงรอยร้าว รอยแตก หรือการฉนวนที่ไม่สมบูรณ์ภายในจะทำให้เกิดการดิซชาร์จบางส่วนขึ้น (PD)

ดิซชาร์จบางส่วนอาจทำให้เกิดผลได้หลายอย่าง เช่น แสง เสียง รั้งสี ปฏิริยาเคมี และผลทางไฟฟ้า เป็นต้น ผลของดิซชาร์จทำให้เกิดพลังงานสูญเสียและยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบการฉนวน ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพเร็ว อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง และนำไปสู่การเบรกดาวนในที่สุด ฉะนั้นวิศวกรผู้ออกแบบการออกแบบฉนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง จึงถือเอา PD เป็นแฟคเตอร์สำคัญที่บอกถึงคุณภาพของอุปกรณ์ จึงพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิด PD ขึ้น โดยออกแบบลักษณะอิลคโตรดที่ปราศจากความเครียดสนามไฟฟ้าสูงเกินกว่าขีดความคงทนของฉนวน อย่างไรก็ตามการฉนวนอุปกรณ์แรงสูงหลายๆ มีความยุ่งยากซับซ้อน PD อาจเกิดขึ้นโดยมิได้ตั้งใจ หรืออาจมีความบกพร่องในกระบวนการผลิต หรือคุณภาพของฉนวนไม่ได้ตามที่กำหนด จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัด การเกิด PD อาจมีสาเหตุได้หลายรูปแบบ การทราบสาเหตุและตำแหน่งที่เกิดขึ้นแน่นอนจะช่วยให้แก้ไขปรับปรุงการฉนวนได้ถูกต้องรวดเร็ว



รูปที่ 1 องค์ประกอบการคำนวณสนามไฟฟ้าที่สายเคเบิลในลักษณะทรงกระบอกแกนร่วม



รูปที่ 2 แสดงค่าคาปาซิแตนซ์ของสายเคเบิลแรงดันสูง

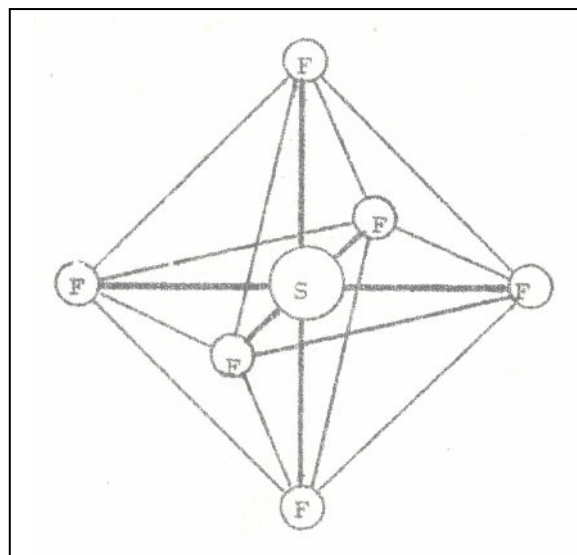
ฉนวนก๊าซใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน

ปัจจุบันก๊าซ SF₆ (Sulphur Hexafluoride) ได้รับความสนใจและมีบทบาทสำคัญต่อเทคโนโลยีแห่งการฉนวนใหม่ในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เพราะก๊าซ SF₆ มีคุณสมบัติการฉนวนทางไฟฟ้าที่ดี มีความมั่นคงต่อแรงดันไฟฟ้าที่สูงที่ความดันค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับการฉนวนด้วยก๊าซชนิดอื่น ๆ มีเสถียรภาพมั่นคงต่อความร้อนและปฏิกิริยาเคมี

การเลือกใช้ก๊าซเป็นฉนวนในอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์ต่างๆ หลายประการที่สำคัญ คือ ต้องมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ความดันไม่สูงมากนัก กลั่นตัวเป็นของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และถ่ายเทความร้อนได้ดี จากลักษณะสมบัติดังกล่าวจะเห็นว่า ก๊าซ SF₆ มีคุณสมบัติแห่งการฉนวนครบถ้วน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของก๊าซ SF₆

ก๊าซ SF₆ เป็นสารประกอบของปอลิอะตอมมิคโมเลกุลของกำมะถัน ดังรูปที่ 3.1 เป็นก๊าซไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ช่วยให้ไฟติด เป็นก๊าซที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น และจะคงสภาพเดิมแม้ว่าจะถูกทำให้ร้อนถึง 500 °C ภายในถึงที่มีขีดขีดปราศจากออกซิเจนและความชื้น คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซ SF₆ สรุปได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 โมเลกุลของ SF₆

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซ SF₆

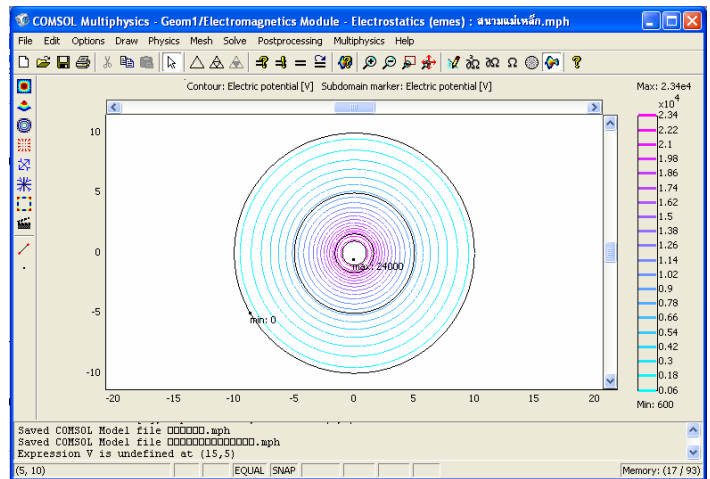
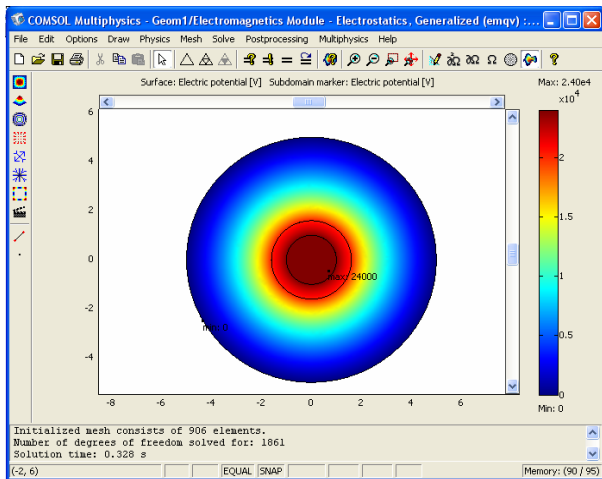
| คุณสมบัติของก๊าซ SF ₆ | |
|---|--|
| น้ำหนักโมเลกุล | 146.06 |
| จุดหลอม | -50.8 °C |
| อุณหภูมิของจุด | -63.6 °C |
| อุณหภูมิวิกฤต | -54 °C |
| ความดันวิกฤต | 36.75 atm |
| ความหนาแน่นวิกฤต | 0.73 กิโลกรัมต่อลิตร |
| ความหนาแน่นไอ | 6.16 กรัมต่อลิตร |
| ความหนาแน่นของเหลว | 1.56 กิโลกรัมต่อลิตร |
| ความดันไอที่ 20 °C | 20.74 atm |
| สภาพนำความร้อนที่ | 7.1×10^{-5} cal/cm ³ /°C/sec |
| เปอร์มิตติวิตี ϵ_r | 1.00191 |
| ปริมาตรการละลายในน้ำคิดเทียบกับที่ °C และ 1 atm ที่ 20 °C ที่ 50 °C | 6.31 cm ³ SF ₆ 3.52 cm ³ SF ₆ |
| ปริมาตรการละลายในน้ำมันคิดเทียบกับที่ °C และ 1 atm ที่ 20 °C ที่ 50 °C | 0.408 cm ³ SF ₆ / cm ³ oil 0.302 cm ³ SF ₆ / cm ³ oil |

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของก๊าซ SF₆

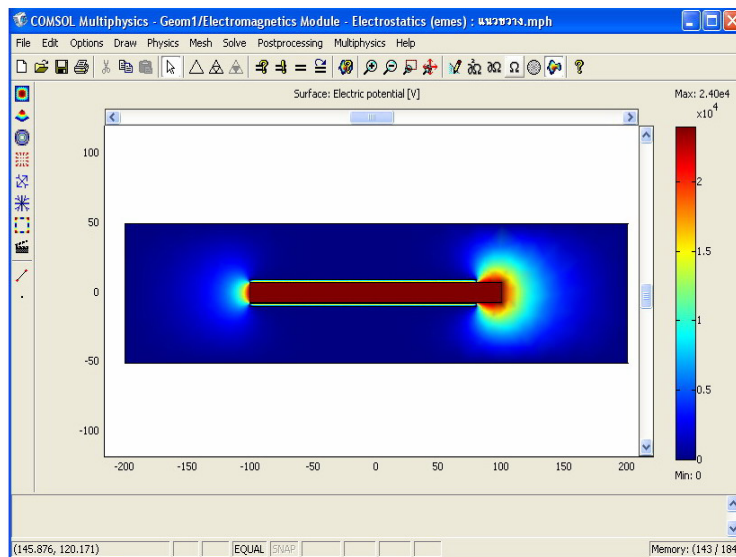
ก๊าซ SF₆ มีความหนาแน่นประมาณ 5 เท่าของอากาศ ซึ่งนับว่าเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักมาก จึงทำให้มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าก๊าซอื่นๆ ที่ใช้เป็นฉนวน ก๊าซ SF₆ จะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ความดันบรรยากาศประมาณ 2.5 เท่าของอากาศ และจะมีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าได้เท่าๆ กับน้ำมันหม้อแปลงเมื่อ SF₆ มีความดันอัดประมาณ 3 bar

คุณสมบัติของก๊าซ SF₆ ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ก๊าซ SF₆ มีสัมประสิทธิ์ไอออไนเซชัน(ionization coefficient) ต่ำมากเมื่อเทียบกับอากาศ ก๊าซที่มีสัมประสิทธิ์ไอออไนเซชันต่ำย่อมหมายถึงอัตราการเพิ่มที่วุ่นของอิเล็กตรอนในก๊าซนั้นต่ำ นั่นคือค่าแรงดันเบรกดาวน์จะมีค่าสูง ทั้งนี้เพราะว่าโมเลกุลของก๊าซ SF₆ มีคุณสมบัติจับตัวอิเล็กตรอนอิสระที่เคลื่อนที่อยู่ในสนามไฟฟ้าได้ กล่าวคืออิเล็กตรอนอิสระที่เกิดจากการไอออไนเซชันจะไปเกาะอยู่โมเลกุลที่เป็นกลางทำให้โมเลกุลของก๊าซกลายเป็นไอออนลบจึงเรียกว่า SF₆ เป็นก๊าซไฟฟ้าลบ (electronegative gas)

ผลการวิเคราะห์ค่าการเกิดความเครียดสนามไฟฟ้าแรงสูงที่ป้อนภายในขั้วต่อสายเพื่อทำการออกแบบ



รูปที่ 4 แสดงค่าศักย์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขั้วต่อสายจากการใช้โปรแกรม FEMLAB วิเคราะห์



รูปที่ 5 แสดงค่าเส้นศักย์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูงจากการใช้โปรแกรม FEMLAB วิเคราะห์

แนวความคิดทฤษฎีที่ใช้

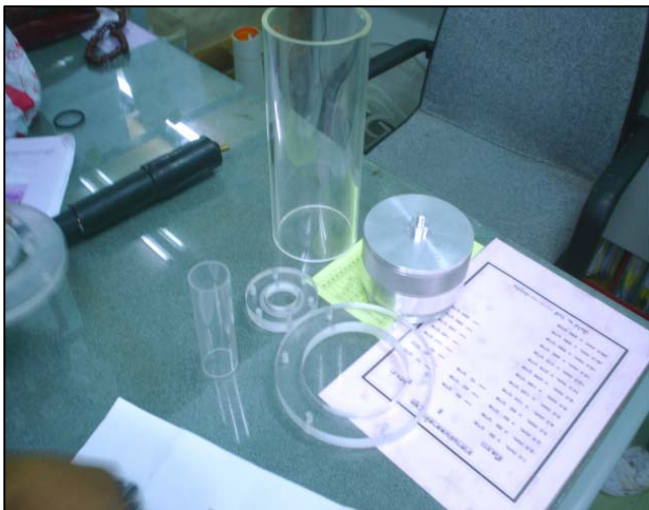
งานวิจัยนี้ได้มีการตรวจสอบข้อมูลในเชิงพาณิชย์ในเรื่องของการค้าทดสอบสายเคเบิลแรงดันสูงหรือขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูงที่ใช้สำหรับการทดสอบแล้วพอสมควร จะใช้โครงสร้างการควบคุมการหักเหของสนามไฟฟ้าที่เกิดปลายสายเคเบิลแรงดันสูงด้วยฉนวนเหลวคือ น้ำมันหม้อแปลงและในระดับแรงดันสูงที่มีมากกว่า 75 กิโลโวลต์ จะใช้ฉนวนเหลว คือ น้ำมันวิสุทธิ ยังไม่มีการออกแบบและพัฒนางานวิจัยในส่วนนี้เลยที่ใช้ฉนวนเหลวที่ทำจากก๊าซ SF_6 และในส่วนที่เป็นทฤษฎีและหลักการใหม่ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูงแบบใหม่คือการควบคุมสนามไฟฟ้าที่ปลายสายเคเบิลด้วยฉนวนก๊าซ คือ ก๊าซ SF_6 โดยการอัดก๊าซ SF_6 เข้าไปบริเวณขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูงให้เป็นฉนวนที่ใช้ควบคุมการหักเหของสนามไฟฟ้าแทนฉนวนเหลวและยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการทำสุณาคาศในบริเวณดังกล่าวเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการหักเหของสนามไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนากำหนดนำฉนวนก๊าซมาใช้งาน

ลักษณะงานที่ดำเนินการออกแบบสร้าง

รูปที่ 6 ก แสดงการนำอะลูมิเนียมก้อนมาถึง ขึ้นรูปเป็นหัวต่อสายเคเบิลแรงสูงทรงกระบอกขึ้นด้านขวามือเป็นลักษณะของหัวต่อสายมีขนาด 100 มิลลิเมตร ด้านหน้าของหัวต่อสายเคเบิลเป็นส่วนที่จะเอาหัวต่อสายเคเบิลสวมเข้าไป ด้านซ้ายมือของหัวต่อสายเป็นหัวต่อสายเคเบิลที่จะต่อให้สายเคเบิลแรงดันสูงกับหัวต่อสายทำการยึดติดกัน



รูปที่ 6 ก



รูปที่ 6 ข

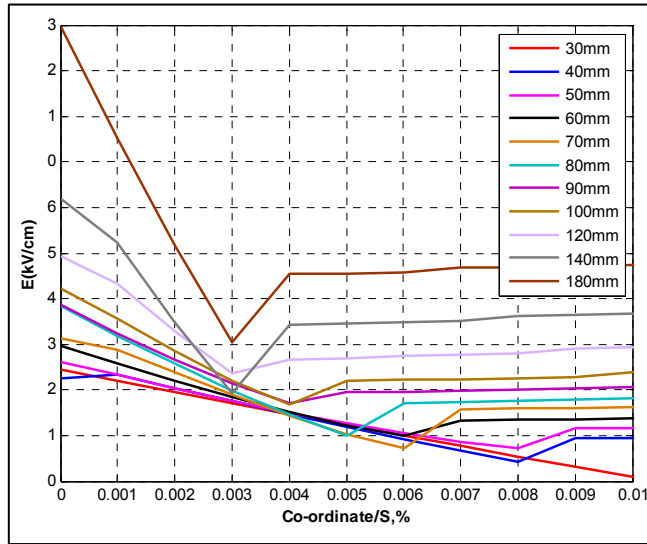


รูปที่ 6 ค

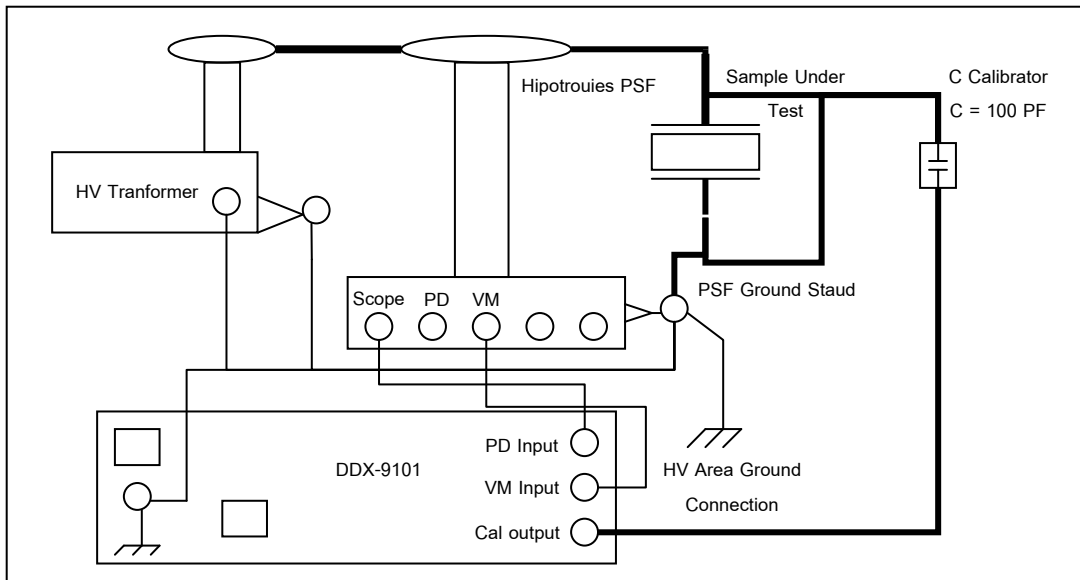
จากรูปที่ 6 ก.,ข.,ค. เป็นกระบอกอะคริลิกใสที่จะมาครอบปิดหัวต่อสายและป้องกัน ฉนวนก๊าซ SF_6 รั่วอีกด้วยโดยรัศมีของทรงกลมอะคริลิกใสจะมีขนาดซิมค่าสนามไฟฟ้าออกมาเพื่อออกแบบหาขนาดอะคริลิกใสให้มีขนาดที่เหมาะสม

การหาระยะในการปกสายเคเบิลแรงดันสูง

การหาระยะในการปกสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE แรงดันสูงพิกัด 24 kV ขนาดสาย 240 โดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics ทำการคำนวณโดยเปลี่ยนระยะปลายสาย จาก XLPE ถึง Semi ห่างกัน 40 mm, 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm, 100 mm, 120 mm, 140 mm, 180 mm ตามลำดับ นำผลที่ได้จากโปรแกรมมาเปรียบเทียบการเกิดการวาบไฟตามผิว จะได้ดังรูป 7 ระยะที่ปกคือ 90 mm



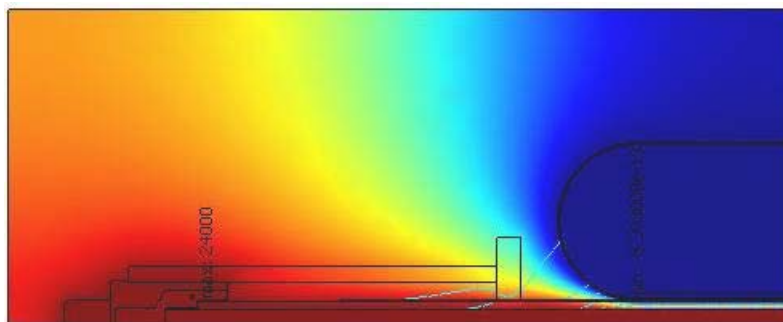
รูปที่ 7 ระยะเวลาในการปกสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE วงจรในการทดสอบ



รูปที่ 8 วงจรในการทดสอบ

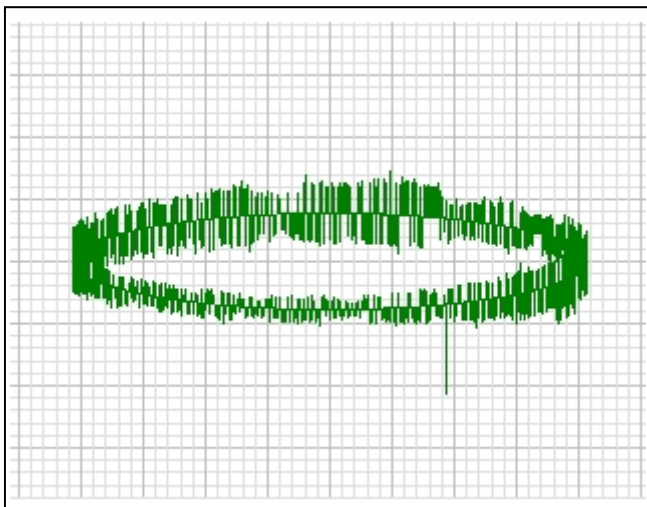
3. ผลการทดลอง

จากการกระจายสนามไฟฟ้าที่ขั้วต่อสายเคเบิลใต้ดิน โดยการจำลองใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics



รูปที่ 9 แสดงการจำลองโดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics

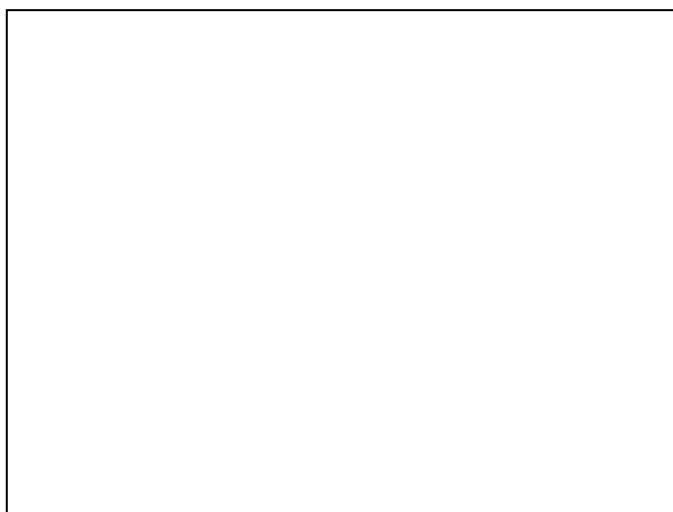
ในการทดสอบสายเคเบิลแรงดันสูงด้วยหัวต่อสายเคเบิลแรงดันสูงที่ออกแบบสร้างเลือกใช้จำนวนในการทำหน้าที่ลดความเครียด
สนามไฟฟ้าบริเวณปลายสายเคเบิลที่ปลอกหรือทำการควบคุมการหักเหของสนามไฟฟ้าเพื่อหาค่าดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดภายในสาย
เคเบิล ทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ HV ลาดกระบัง โดยการทดสอบซึ่งมีผลของการทดสอบดังนี้



PD Detector 1 - 6/08/2008 01:24:02 PM

Discharge =29.94 pC, Voltage =5.38 kV

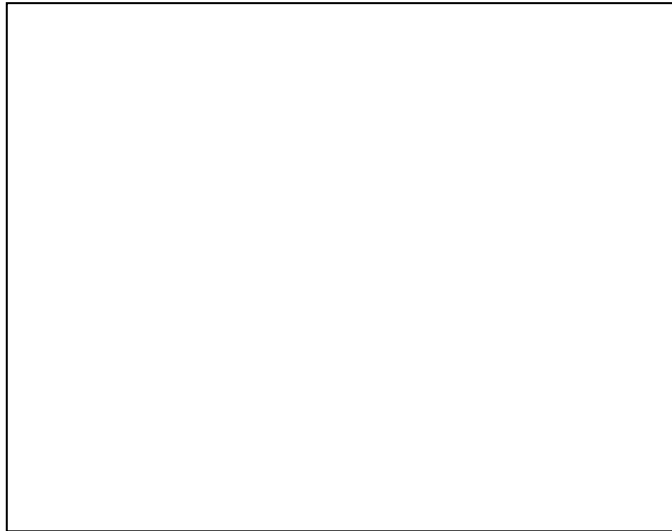
รูปที่ 10 จำนวนก๊าซ คือ อากาศ(Air) ที่แรงดันในกระบอก 1.8 bar



PD Detector 1 - 6/08/2008 02:54:22 PM

Discharge =25.11pC, Voltage =2.94 kV

รูปที่ 11 จำนวนก๊าซ คือ สูญญากาศ ที่แรงดันในกระบอก 1.8 bar



PD Detector 1 - 6/08/2008 02:54:22 PM

Discharge =4.12 pC, Voltage =22.00 kV

รูปที่ 12 ฉนวนก๊าซ คือ SF6 ที่แรงดันในระบบ 1.8 bar

4. สรุป

การทดสอบสายเคเบิลแรงดันสูงที่ใช้ขั้วต่อสายเคเบิลที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้ในการทดสอบที่แรงดันสูงกระแสสลับตามค่าพิกัดมาตรฐานและยังใช้ในการทดสอบวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับค่าของการทดสอบสายเคเบิลที่มีสภาพที่ดีจากโรงงานผลิตสายเคเบิลที่ได้มาตรฐาน มีผลการทดสอบอยู่ในระดับมาตรฐาน $PD \leq 5$ pC ในการทดสอบสายเคเบิลแรงดันสูงโดยใช้ขั้วต่อสายเคเบิลที่มีการฉนวนด้วยก๊าซ คือ FS 6 สามารถสรุปได้ว่าก๊าซมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวน การอัดก๊าซ FS 6 หรือการเพิ่มความดันเข้าไปที่ขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูงสามารถเพิ่มค่าความเป็นฉนวนให้กับพื้นผิวบริเวณที่ทำการปลอกสายเพื่อการทดสอบได้

5. วิจารณ์

ขั้วต่อสายเป็นอุปกรณ์ประกอบการทดลองนี้ สามารถใช้งานได้ดีตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่ในการทดสอบสายเคเบิลก็ยังมีข้อบกพร่องอยู่เช่นกัน เนื่องจากเมื่อมีการอัดก๊าซ FS 6 หรืออากาศเข้าไปภายในท่อของขั้วต่อสายที่ความดันสูงๆ จะมีก๊าซซีมออกมาเล็กน้อยการทดลองจะต้องทำการวัดหลายครั้ง จำเป็นที่จะต้องอัดก๊าซใหม่ เมื่อก๊าซมีความดันไม่เป็นไปตามที่กำหนด การประกอบฝาครอบของขั้วต่อสายจะต้องใช้เวลามาก เพราะจะต้องตรวจเช็คการซีมของก๊าซหรือไม่ทุกครั้งประกอบ

6. เอกสารอ้างอิง

1. IEC Standard Publication No. 270, Second edition, "Partial Discharge Measurements
2. IEC Standard Publication No.885-3, First edition, "Electrical test methods for electric cables. Part3 :Test methods for partial discharge measurement lengths of extruded power cable"1988.
3. IEC Standard Publication No.885-3, First edition, "Power cable with extruded insulation and their accessories for rated

voltage from 1kV up to 30kV”1998

4. สำรวย สังข์สะอาด. “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มกราคม 2528, กรุงเทพฯ
5. จงรักษ์ บุญเลี้ยง, “การวัดค่าดิสชาร์จบางส่วนในสายเคเบิลแรงสูง”บทความทางวิชาการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2534
6. พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล จงรักษ์ บุญเลี้ยง และกนกพล นาคะวิวัฒน์” ขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE สำหรับการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ตอนที่ 1:การออกแบบและสร้างขั้วต่อสายเคเบิล” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, 22-23 พฤศจิกายน 2544, หน้า77-82.
7. พร้อมศักดิ์ อภิตติกุล จงรักษ์ บุญเลี้ยง และกนกพล นาคะวิวัฒน์” ขั้วต่อสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE สำหรับการทดสอบดิสชาร์จบางส่วน ตอนที่ 1:การออกแบบและสร้างขั้วต่อสายเคเบิล” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 24, 22-23 พฤศจิกายน 2544, หน้า83-88.