รหัสโครงงาน 55EE103

การศึกษาและวิเคราะห์การระเบิดของหัวต่อสายเคเบิล ขนาดแรงดัน 115 เควี

To Study and Analysis of 115 kV Cable Termination Failure

บทคัดย่อ (Abstract)

ในโครงงานนี้ได้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การระเบิดของหัวต่อสายเคเบิลในระบบส่งแรงสูงขนาดแรงดัน 115 เควี ที่เกิดความเสียหายทำให้ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมปิโตรเคมีขนาดใหญ่ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของประเทศ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดแรงดันเกินชั่วครู่ในระบบส่งภายใน เกิดการลัดวงจรจากระบบส่งภายนอก ข้อผิดพลาดระหว่างขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง และเกิดดิสชาร์จบางส่วนในอุปกรณ์หรือสายเคเบิล ซึ่งจากสาเหตุและข้อมูลดังกล่าว เราจึงนำมาศึกษาและวิเคราะห์โดยการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics 3.5a เพื่อทำการวิเคราะห์หาความเครียดและข้อบกพร่องของสนามไฟฟ้าภายในหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง บริเวณจุดเชื่อมต่อสายอากาศกับสายเคเบิลใต้ดิน โดยเราได้ทำการออกแบบโมเดลจำลองของฉนวนสายเคเบิลใต้ดินให้มีความหนา/บางไม่เท่ากัน แล้วป้อนค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลที่ได้ทำการศึกษา เราพบว่าเมื่อเราทดลอง Simulation Program โดยทำการปรับค่า Q_j : Current Source เท่ากับ 11.36 kA ให้เพิ่ม/ลด ±5% จากค่าเดิม จะทำให้เราสามารถจะสังเกตเห็นการเกิดการเปลี่ยนแปลงของทิศทางสนามไฟฟ้าได้ชัดเจน และทำให้เกิดจุดวิกฤติขึ้นภายในเนื้อฉนวนห่างจากตำแหน่งฉนวนที่บางที่สุดประมาณ 90 องศา เป็นผลทำให้ค่าสนามไฟฟ้าบริเวณฉนวนสายเคเบิลมีค่าสูงขึ้น และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเบรกดาวน์ของฉนวนสายเคเบิล

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็เนื่องมาจากความร่วมมือหลายฝ่ายด้วยกัน ทั้งได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับทฤษฎีและแนวทางการศึกษาจาก ผศ.ดร. สำเริง ฮินท่าไม้ ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย สิ่งใดที่โครงงานนี้มีความผิดพลาดผู้จัดทำจะขอรับแต่เพียงผู้เดียว คุณงามความดีทั้งหลายที่อาจจะเกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแก่บิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอนและอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยสอนให้ความรู้ ซึ่งจะได้นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์และพัฒนาการศึกษาในอนาคตต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก
กิตติกรรมประกาศ ข
สารบัญ ค
สารบัญตาราง จ
สารบัญภาพ ฉ

บทที่ 1. บทนำ 1
1.1 ความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 5
1.3 โครงสร้างของโครงงาน 6
1.4 การตรวจสอบเอกสารงานโครงงาน 6
1.5 ขอบเขตของโครงงาน 6
1.6 ประโยชน์ของโครงงาน 7

บทที่ 2. ทฤษฎีที่จะใช้สำหรับการศึกษาและวิเคราะห์ 8
2.1 ทฤษฎีการวิเคราะห์หาค่าแรงดันเกินชั่วครู่และการต่อระบบกราวด์ลงดิน 8
2.2 สายเคเบิลใต้ดิน 14
2.3 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง 19
2.4 วิธีการประสานเปลือกโลหะของสายเคเบิล 21
2.5 รูปแบบของวงจร 22
2.6 ทฤษฎีแนวเส้นแรงของสนามไฟฟ้าในฉนวนเคเบิลแรงสูง 25
2.7 เบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริกเหลวและไดอิเล็กตริกแข็ง 28
2.8 ทฤษฎีเบื้องต้นของการเกิดดีสชาร์จบางส่วน 33
2.9 ปรากฏการณ์ Water treeing 35

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3. การศึกษาและการออกแบบ 37

3.1 การศึกษาและออกแบบการทดลองหัวต่อสายไฟฟ้าและสายเคเบิลแรงสูง 37

3.2 ศึกษาขั้นตอนการตอนการติดตั้งหัวต่อสายไฟฟ้า 38

3.3 ศึกษาและวิเคราะห์รายละเอียดของหัวต่อสายไฟฟ้าที่เกิดระเบิดจากภาพถ่าย 43

3.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบสายเคเบิลที่เกิดเบรกดาวน์ด้วยวิธีการเอ็กซ์เรย์ 45

3.5 หาค่าสนามไฟฟ้าสูงสุด สำหรับบริเวณตัวนำและฉนวนสายเคเบิล 48

3.6 ออกแบบและจำลองการป้อนแรงดันไฟฟ้าในสายเคเบิล 52

บทที่ 4. ผลการทดลองและแนวทางแก้ไข 61

4.1 ผลการศึกษาและทดลอง 61

4.2 แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข 67

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 71

เอกสารอ้างอิง 72

ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลทางเทคนิคของสายไฟฟ้า 73

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิการเปลี่ยนสภาพของวัสดุพอลิเมอร์ 18
ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสำหรับใช้เป็นฉนวนของสายเคเบิลใต้ดิน 18
ตารางที่ 3.1 หมายเลขของ Stress Cone and Insulator Serial Numbers 40
ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบผลทดสอบตามมาตรฐาน IEC 41
ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสำหรับแบบจำลองของสายเคเบิล 2 มิติ 52

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง 1
ภาพที่ 1.2 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงในลานไก 3
ภาพที่ 1.3 แสดงกรณีศึกษาการวิเคราะห์ฉนวนสายเคเบิล 3
ภาพที่ 1.4 กราฟแสดงข้อบกพร่องหรือผิดพลาดกับอุปกรณ์ส่วนประกอบและสายเคเบิล 4
ภาพที่ 1.5 กราฟแสดงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ประกอบและสายเคเบิล หลังการติดตั้ง 4
ภาพที่ 1.6 กราฟแสดงข้อบกพร่องและผิดพลาดที่เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหาย 5
ภาพที่ 2.1 การทดสอบการเกิดแรงดันเกินชั่วครู่ 8
ภาพที่ 2.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน 9
ภาพที่ 2.3 ทรงกระบอกแกนซ้อนร่วม 10
ภาพที่ 2.4 รูปด้านตัดของสายเคเบิลทรงกระบอกแกนซ้อนร่วม 12
ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของสายเคเบิลแรงดันสูง 15
ภาพที่ 2.6 ผลของความไม่บริสุทธิ์ที่มีต่อความนำไฟฟ้าของทองแดง 16
ภาพที่ 2.7 ฉนวนสายเคเบิลแรงสูง 17
ภาพที่ 2.8 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง ชนิดพอร์ชสเลน 20
ภาพที่ 2.9 การสลับตำแหน่งของตัวนำขนานเพื่อลดแรงดันเหนี่ยวนำ 23
โดยการวางแบบ Trefoil
ภาพที่ 2.10 การประสานเคเบิลที่มีความยาวเพียงช่วงเดียว 23
ภาพที่ 2.11 แผนภาพแสดงการประสานแบบจุดเดียวสำหรับวงจรที่มี 3 ช่วงความยาว 24
ภาพที่ 2.12 การประสานเคเบิลแบบไขว้ 25
ภาพที่ 2.13 Potential Field และสนามไฟฟ้า 25
ภาพที่ 2.14 ผลของสนามไฟฟ้าเบี่ยงเบนจะมีจุดซึ่งมี 26
สนามไฟฟ้าหนาแน่นที่ปลายสาย Shield
ภาพที่ 2.15 เส้นแรงไฟฟ้าที่มีการกระจายสนามไฟฟ้า 27
โดย Stress Relief Control/Stress Cone
ภาพที่ 2.16 การกระจายสนามไฟฟ้าโดย High Permittivity Material 27
ภาพที่ 2.17 การเกิดปรากฏการณ์ Water treeing ในสายเคเบิลไฟฟ้าแรงสูง 35
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการติดตั้งหัวต่อและสายเคเบิลแรงสูง 38

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.2 การติดตั้งและวัดระยะของอุปกรณ์ควบคุมความเครียดสนามไฟฟ้า (Stress Cone) 39
ภาพที่ 3.3 การตรวจสอบสภาพหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง (Cable Housing) 39
ภาพที่ 3.4 การติดตั้งหัวต่อสายไฟฟ้ากับสายเคเบิลใต้ดิน 40
ภาพที่ 3.5 Check Sheet บันทึกข้อมูลระหว่างการติดตั้งหัวต่อสายไฟฟ้า 42
ภาพที่ 3.6 สายเคเบิลใต้ดิน 43
ภาพที่ 3.7 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงที่เกิดระเบิด 43
ภาพที่ 3.8 อุปกรณ์ควบคุมความเครียดสนามไฟฟ้า (Stress cone) ที่เกิดเบรกดาวน์ 44
ภาพที่ 3.9 ตัวนำและฉนวนของสายเคเบิลแรงสูงที่เกิดเบรกดาวน์ 45
ภาพที่ 3.10 การเอ็กซ์เรย์รูปด้านตัดของตัวนำและฉนวนของสายเคเบิลที่เกิดเบรกดาวน์ที่เกิดเบรกดาวน์ 45
ภาพที่ 3.11 การเอ็กซ์เรย์ฉนวนสายเคเบิล 46
ภาพที่ 3.12 การเทียบเคียงกับไม้บรรทัดเหล็ก โดยที่ฉนวนสายเคเบิลไม่เป็นเส้นตรง 47
ภาพที่ 3.13 การต้มฉนวนสายเคเบิลที่เกิดเบรกดาวน์ด้วยกลีเซอรีน (Glycerin) ที่อุณหภูมิ 120 ^{o}C 48
ภาพที่ 3.14 รูปหน้าตัดของตัวนำ,ฉนวนสายเคเบิลแรงสูงและภายนอก Cable Housing 48
ภาพที่ 3.15 ทิศทางสนามไฟฟ้าบริเวณสายและภายนอกหัวต่อสายเคเบิล 49
ภาพที่ 3.16 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์แสดง Subdomain Setting ของโปรแกรม 53
ภาพที่ 3.17 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์แสดงการจำลองป้อนแรงดันขนาด 66,397 โวลต์ 53
ภาพที่ 3.18 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์แสดงโครงสร้างของสนามไฟฟ้าภายในสายเคเบิล 54
ภาพที่ 3.19 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าภายในสายเคเบิล 54
ภาพที่ 3.20 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์แสดงสนามไฟฟ้าบริเวณชั้นฉนวนของสายเคเบิล 55

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 3.21 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์ แสดงระดับความเครียดของสนามไฟฟ้าบริเวณชั้นฉนวนของสายเคเบิล 55

ภาพที่ 3.22 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูงแบบสมบูรณ์แสดงค่าเครียด ของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในของตัวนำและฉนวนสายเคเบิล 56

ภาพที่ 3.23 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติ แสดง Subdomain Setting ของโปรแกรม 56

ภาพที่ 3.24 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติแสดงการจำลองป้อนแรงดันขนาด 66,397 โวลต์ 57

ภาพที่ 3.25 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติแสดงโครงสร้างของสนามไฟฟ้าภายในสายเคเบิล ที่เกิดข้อผิดพร่องบริเวณชั้นฉนวน 57

ภาพที่ 3.26 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าภายในฉนวนสายเคเบิล 58

ภาพที่ 3.27 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติแสดงลักษณะของสนามไฟฟ้า ภายในฉนวนสายเคเบิลที่เกิดการเปลี่ยนแปลง 58

ภาพที่ 3.28 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติแสดงระดับความเครียดของสนามไฟฟ้า บริเวณชั้นฉนวนสายเคเบิล 59

ภาพที่ 3.29 แบบจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบไม่สมบูรณ์โดยที่ชั้นฉนวน มีความหนาผิดปกติแสดงสนามไฟฟ้าภายในที่เกิดขึ้นของสายเคเบิล 59

ภาพที่ 3.30 แสดงกราฟการปรับเปลี่ยน Q_j : Current source แบบ Standard Cable Insulation 60

ภาพที่ 3.31 แสดงกราฟการปรับเปลี่ยน Q_j : Current source แบบ Non Standard Cable Insulation 60

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1 ลักษณะขั้นตอนการเตรียมสายเคเบิลที่ถูกต้องก่อนการติดตั้ง 62
ภาพที่ 4.2 Single Line Diagram of the RY1 – Substation 63
ภาพที่ 4.3 ลักษณะกราวด์ของสายเคเบิลแรงสูง 64
ภาพที่ 4.4 ภาพหม้อแปลงวัดกระแส 65
ภาพที่ 4.5 ภาพสวิตซ์ปลดวงจรไฟฟ้าแรงสูง 65
ภาพที่ 4.6 ภาพตู้อุปกรณ์ป้องกัน 66
ภาพที่ 4.7 ป้ายสัญลักษณ์ห้ามใช้งาน (Red Tag) 66
ภาพที่ 4.8 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงชนิดยางหรือซิลิโคน 68
ภาพที่ 4.9 แสดงสภาพภายในของ Cable Housing 68
ภาพที่ 4.10 ด้านตัดของสายเคเบิล 69
ภาพที่ 4.11 การปิดกั้นพื้นที่สำหรับการทำงาน 69
ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างเวอร์เนียร์ดิจิตอล 70