บทที่ 4
ผลการทดลองและแนวทางแก้ไข

4.1 ผลการศึกษาและทดลอง

4.1.1 ผลการวิเคราะห์รายละเอียดของหัวต่อสายไฟฟ้า, สายเคเบิลใต้ดินที่เกิดระเบิดจากภาพถ่ายที่บันทึก

- หัวต่อสายสายไฟฟ้าแรงสูง มีลักษณะร่องรอยของการไหม้บริเวณส่วนบนและเกิดแตกหักชำรุดในส่วน Cable Housing ของหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง ชนิดพอต์ทสเลน และอุปกรณ์ส่วนประกอบอื่น เนื่องจากการเกิดเบรกดาวน์และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit) ในเฟสนั้น

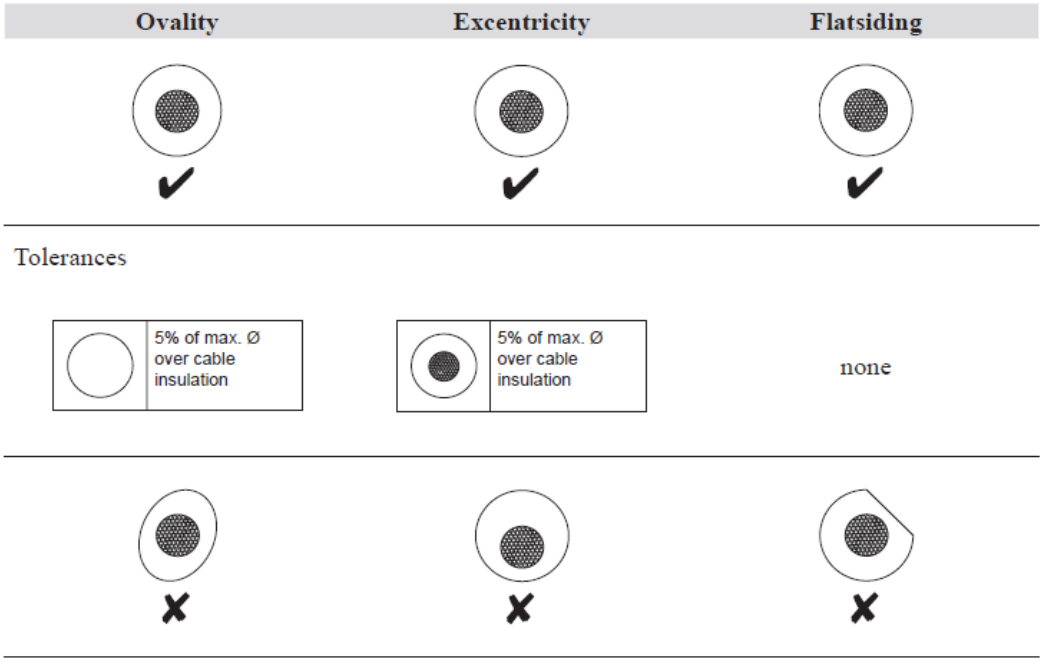
- กับดักฟ้าผ่า (108 kV Serge Arrester) เกิดความเสียหายแตกหักชำรุด เนื่องเศษวัสดุที่จากเกิดการระเบิดของหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงกระเด็นมากระทบ

- อุปกรณ์ควบคุมความเครียดสนามไฟฟ้า (Stress Cone) พบว่ามีลักษณะแยกออกเป็น 2 ชิ้น เนื่องจากการเกิดเบรกดาวน์ภายในหัวต่อสายเคเบิล

- สายเคเบิล เกิดการหลอมละลายของตัวนำ (Copper) และฉนวน (Insulation) โดยฉนวนสายเคเบิลมีลักษณะเป็นรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร เนื่องจากอุณหภูมิที่สะสมที่ค่อยๆ สูงขึ้นก่อนการเบรกดาวน์

4.1.2 วิเคราะห์ฉนวนสายเคเบิลที่เกิดเบรกดาวน์ด้วยวิธีการเอ็กซ์เรย์

เราจะเห็นได้ว่าสายเคเบิลที่เกิดเบรกดาวน์นั้น เราจะเห็นได้ว่าฉนวนสายเคเบิลมีลักษณะรูปทรงกลมด้านตัดที่ไม่เป็นทรงกลมแบบสมบูรณ์ (Asymmetrical) เราจึงสันนิฐานว่าอาจจะเกิดจากขั้นตอนการปลอกเปลือกชั้นนอก (Cable Jacket) และทำความสะอาดฉนวนสายเคเบิลในขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ก่อนการประกอบหัวสายไฟฟ้าแรงสูง เกิดข้อผิดพลาดที่ชั้นฉนวน ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือคู่มือคำแนะนำ (Instruction Manual) จากโรงงานผู้ผลิต (ภาพที่ 4.1)



ภาพที่ 4.1 ลักษณะและขั้นตอนการเตรียมสายเคเบิลที่ถูกต้องก่อนการติดตั้ง

4.1.3 การวิเคราะห์ฉนวนสายเคเบิลโดยการต้มที่อุณหภูมิ 120 °C ด้วยกลีเซอรีน

เมื่อทำการต้มด้วยกลีเซอรีน ที่อุณหภูมิ 120°C เราสามารถมองเห็นภายในของชั้นเนื้อฉนวนสายเคเบิลได้ โดยมีลักษณะเป็นโพรงอากาศในเนื้อฉนวน อยู่ 2 จุดและเกิดการหลอมละลายของทองแดงทะลุผ่านชั้น (Conductor Screen) ออกมา ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเกิน 250 °C

4.1.4 การนำทฤษฎีการเกิดสนามไฟฟ้าที่ผิวทรงกระบอกแกนซ้อนร่วม จากกฎของเกาส์หาสมการความเครียดสนามไฟฟ้าสายเคเบิลแรงสูงภายในหัวต่อสายไฟฟ้า

จากการคำนวณความเครียดของสนามไฟฟ้าที่ชั้นฉนวนสายเคเบิล เราจะได้ค่าประมาณ 0.576 kV/mm ตามสเปคของสายเคเบิล (Cable Specification) และความเครียดสนามไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น เมื่อชั้นฉนวนมีความหนาลดลงจากเดิม โดยเราได้ทำการคำนวณความหนาของฉนวนสายเคเบิลบางที่สุด แล้วเปรียบเทียบกันพบว่ามีค่าสนามไฟฟ้าสูงถึง 11.886 kV/mm

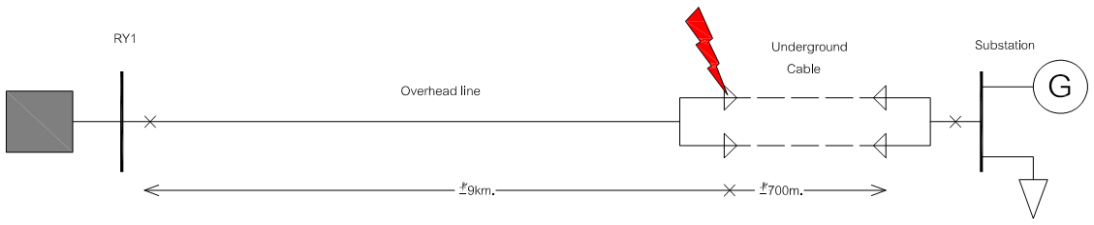
4.1.5 ออกแบบและจำลองการเกิดสนามไฟฟ้าบริเวณฉนวนสายเคเบิลที่มีความหนาและบางไม่เท่ากันด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics 3.5a

เราจะเห็นได้ว่าค่าของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นจะมีอยู่บริเวณโดยรอบผิวของตัวนำ โดยผลจากการทำ Simulation Program โมเดลจำลองรูปแบบสายเคเบิลแรงสูง แบบสมบูรณ์ (Symmetrical) หลังจากการป้อนค่าพารามิเตอร์ (ในตารางที่ 3.3) จะมีค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ไม่เกิน 5 kV/mm ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่สายเคเบิลยังสามารถใช้งานได้เป็นปกติ แต่เมื่อเราเปลี่ยนรูปแบบของสายเคเบิลเป็นไม่แบบสมบูรณ์ (Asymmetrical) ซึ่งมีลักษณะชั้นเนื้อฉนวนไม่เท่ากันทุกด้าน และทำการ Simulation ผลปรากฏว่ามีลักษณะของสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม โดยมีจุดที่เริ่มเกิดการเบี่ยงเบนของสนามไฟฟ้าบริเวณฉนวนสายเคเบิล 2 จุด (ตามรูปที่ 3.27) จึงเป็นสาเหตุให้ค่าความคงทนของฉนวนสายเคเบิลลดลง

จากผลทดลองในบทที่ 3 เราจะนำข้อมูลของการคำนวณค่าสนามไฟฟ้าภายในสายเคเบิลแรงสูง และผลการทดสอบ Cable Simulation มาพิจารณาประกอบการวิเคราะห์ถึงสาเหตุการเกิดเบรกดาวน์ของหัวต่อสายไฟฟ้า ขนาดแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยเราจะนำข้อมูลของอุปกรณ์และระบบส่วนอื่นมาศึกษาและวิเคราะห์ให้สามารถอธิบายถึงสาเหตุที่เกิดเบรกดาวน์ของหัวต่อสายเคเบิลได้อย่างถูกต้อง โดยเราจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ

4.1.6 ระบบสายส่ง (Transmission Line)

จากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้น เราพบว่าระบบไฟ 115 เควีที่จ่ายไฟมาเป็น Feeder RY 1 ของ กฟผ-กฟภ แบบสายอากาศ ซึ่งการเกิดระเบิดของหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง ในกรณีที่เราศึกษานั้นพบว่ามีสภาพอากาศปกติ ไม่มีพายุฝนฟ้าคะนอง และไม่สภาพลมกระโชก ซึ่งอาจก่อให้เกิดฟอลต์มาจาก ณ บริเวณจุดเชื่อมต่อของสายอากาศกับเคเบิลใต้ดิน ระบบสายส่งภายนอก (External Fault) ได้



ภาพที่ 4.2 Single Line Diagram of the RY1 – Substation

4.1.7 สายเคเบิลใต้ดิน (Underground Cable)

เราได้นำข้อมูลของสายเคเบิล ขนาดแรงดัน 115 เควี (HXLP/CWS/PE/1x800 SQ.MM) มาศึกษาข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับอุณหภูมิและระบบกราวด์ของสายเคเบิล และจากการวิเคราะห์ข้อมูลเราพบว่าสายเคเบิลสามารถทนอุณหภูมิขณะจ่ายไฟได้ถึง 90 °C (จ่ายโหลดปกติ) โดยกรณีความยาวของสายเคเบิลใต้ดินที่มีระยะไม่เกิน 750 เมตร ตามข้อกำหนดของ กฟภ. ไม่มีความจำเป็นต้องทำการประสานกราวด์แบบไขว้สาย (Cross Bonding) เพื่อจะทำให้ผลรวมของแรงดันเหนี่ยวในสายเคเบิลมีค่าเป็นศูนย์ตามทฤษฎี เนื่องจากสายเคเบิลมีความยาวไม่เกิน 950 เมตร ค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในสายเคเบิลไม่เกิน 66 โวลต์ จึงไม่มีผลกระทบที่จะทำให้สายเคเบิลเกิดเบรกดาวน์ได้

ภาพที่ 4.3 ลักษณะกราวด์ของสายเคเบิลแรงสูง

4.1.8 อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Equipment)

การศึกษาและวิเคราะห์อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น หม้อแปลงวัดกระแสและแรงดัน (Current & Voltage Transformer) สวิตซ์ปลดวงจรแรงสูง (Disconnecting Switch) โดยกรณีศึกษานี้อุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิดสามารถแสดงค่ากระแสและแรงดัน ผ่านระบบ PMS ขณะจ่ายโหลดปกติได้ จึงไม่ได้เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการระเบิดของหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง

ภาพที่ 4.4 ภาพหม้อแปลงวัดกระแส

ภาพที่ 4.5 ภาพสวิตซ์ปลดวงจรไฟฟ้าแรงสูง

4.1.9 ระบบป้องกัน (Relay Protection System)

โครงการของโรงงานอุตสาหกรรมที่เราทำการศึกษานี้ ได้มีการพัฒนาระบบ PMS (Project Management System) โดยได้มีการสร้างระบบป้องกันให้มีศักยภาพที่กว่าระบบเดิม เพื่อทำให้ระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากขึ้น แต่ระหว่างเกิดเหตุหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงระเบิดนั้น ระบบป้องกันยังไม่สมบูรณ์ จึงยังไม่สามารถป้องกันการเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงและแรงดันเกินชั่วขณะได้อย่างสมบูรณ์

ภาพที่ 4.6 ภาพตู้อุปกรณ์ป้องกัน

ภาพที่ 4.7 ป้ายสัญลักษณ์ห้ามใช้งาน (Red Tag)

จากการศึกษาวิเคราะห์และทดลองตามขั้นตอนที่กำหนด เราได้นำข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง ประเภทอื่นมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เกิดขึ้น โดยการค้นคว้าหาข้อมูลทางเทคนิคมาวิเคราะห์ทีละส่วน โดยใช้เหตุผลตามหลักวิศวกรรม จึงสรุปได้ว่าข้อเท็จจริงของการเกิดระเบิดของหัวต่อสายเคเบิล เกิดสาเหตุมาจากฉนวนของสายเคเบิลมีความหนาไม่เท่ากันทุกด้าน เป็นรูปแบบของฉนวนสายเคเบิลแบบไม่สมบูรณ์ (Asymmetrical) ซึ่งมีสาเหตุมาจากขั้นตอนการเตรียมสายเคเบิลก่อนการติดตั้ง โดยฉนวนบริเวณด้านที่ทำมุมประมาณ 90 องศา กับด้านที่มีความบางที่สุด

เมื่อเราทำการทดลอง Cable Simulation ฉนวนสายเคเบิลจะมีความเครียดของสนามไฟฟ้าสูงกว่าปกติ และสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าได้ชัดเจน จนส่งผลทำให้ค่าความคงทนของฉนวนสายเคเบิล (Dielectric Strength) ลดลง ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนหรือหักเหของสนามไฟฟ้าและมีผลกระทบทำให้อุณหภูมิบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงขึ้น จนทำให้เกิดความร้อนและดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) สะสมที่บริเวณเนื้อฉนวน โดยดีสชาร์จบางส่วนที่เกิดขึ้นในเนื้อฉนวน เป็นผลมาจากการที่ประจุไหลผ่านช่องว่างเล็กๆ ในเนื้อฉนวนและค่อยๆ สร้างความเสียหายให้กับฉนวนสายเคเบิล โดยที่ช่องว่างนี้จะทนแรงดันไฟฟ้าได้น้อยกว่าฉนวนที่อยู่รอบตัวมัน และจะค่อยๆสะสมไปจนเกิดการเบรกดาวน์จากแรงดันไฟฟ้าที่เฟสนั้นลงสู่ระบบกราวด์

4.2 แนวทางการปรับปรุงและแก้ไข

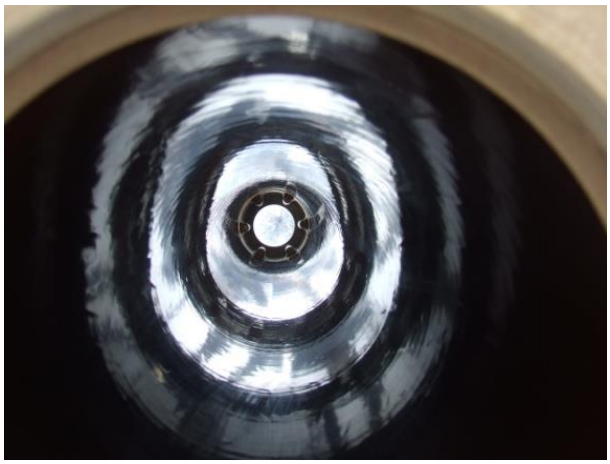
การศึกษาโครงงานนี้ทำให้เราสามารถเรียนรู้สาเหตุของการเกิดระเบิดของหัวต่อสายไฟฟ้าและเบรกดาวน์ของฉนวนสายเคเบิลแรงสูงได้อย่างถูกต้อง จากปัญหาที่สำคัญและสาเหตุดังกล่าวเราจำเป็นต้องหาทางปรับปรุง,แก้ไข และป้องกัน เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระบบเคเบิลใต้ดินตามโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่, กฟผ และกฟภ ซึ่งจะมีผลกระทบในเชิงพานิช ดังนั้นกรณีศึกษานี้จึงมีประโยชน์ต่อการศึกษาด้านไฟฟ้ากำลัง สำหรับผู้ที่สนใจอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นอย่างมาก

4.2.1 วิธีการปรับปรุงและแก้ไข

หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงชนิด พอร์ชสเลน ถ้าเกิดระเบิดขึ้นจะเป็นอันตรายผู้คนและต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นมาก เนื่องจากลักษณะการระเบิดของหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงนั้น จะมีเศษวัสดุจะกระเด็นไปทั่วทุกทิศทาง ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง เป็นวัสดุชนิดยางหรือซิลิโคน โดยมีคุณสมบัติที่ดีกว่าชนิดพอร์ชสเลนและถ้าเกิดเหตุระเบิดขึ้นหัวต่อสายชนิดนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อบุคคลหรือสภาพแวดล้อมโดยรอบ

ภาพที่ 4.8 หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงชนิดยางหรือซิลิโคน

ตรวจสอบอุปกรณ์หัวต่อสายไฟฟ้าและเคเบิลแรงสูง โดยการตรวจสอบแบบ Visual Check ก่อนการติดตั้งว่า Cable Housing และสายเคเบิลแรงสูง เกิดรอยขีดข่วนทั้งภายนอกและในหรือไม่ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเบรกดาวน์ได้



ภาพที่ 4.9 สภาพภายในของ Cable Housing

ภาพที่ 4.10 ด้านตัดของสายเคเบิล

ศึกษาขั้นตอนการติดตั้งตามคำแนะนำของโรงงานผู้ผลิตโดยละเอียด และช่างผู้ปฏิบัติงานต้องผ่านการอบรม (Training Course) และได้รับการรับรองจากโรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์หัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูงก่อน จึงสามารถดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ได้

โดยทั่วไปแล้วการเข้าหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง ต้องทำการปลอกสายเคเบิล (Cable Jacket) และเติมน้ำมันในหัวสายในบริเวณที่ไม่มีผงฝุ่นมาก และกรณีถ้ามีฝุ่นละอองมากจนเกินไป อาจจะทำให้ผงฝุ่นปนในฉนวนน้ำมัน (Compound) ซึ่งจะส่งผลทำให้มีสิ่งเจือปนในน้ำมัน เมื่อจ่ายไฟไปแล้วอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ได้ ดังนั้นทางแก้ไข เราสามารถทำได้โดยการสร้างห้องสำหรับการติดตั้งชั่วคราว เพื่อป้องกันน้ำ, ความชื้นและฝุ่นละอองและเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกเจือปน

ภาพที่ 4.11 การปิดกั้นพื้นที่สำหรับการทำงาน

ในระหว่างการติดตั้งหัวต่อสายไฟฟ้าแรงสูง ต้องทำการตรวจสอบระยะของฉนวนสายเคเบิล ว่ามีความหนาของชั้นฉนวน (Insulation) เป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงานผู้ผลิตหรือไม่ และกรณีที่สำคัญต้องตรวจสอบความหนาฉนวนสายเคเบิลว่าทุกด้านเท่ากันหรือไม่ ด้วยเวอร์เนียร์ดิจิตอล

ภาพที่ 4.12 ตัวอย่างเวอร์เนียร์ดิจิตอล