บทที่ 7

สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

จากการศึกษาแรงดันเกินจากการสับปลดสวิตช์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถสรุปเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ตามลำดับดังนี้

7.1.1 สาเหตุของแรงดันเกิน

ความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การระเบิดของ กับดักฟ้าผ่า หรือการชำรุดของหม้อแปลงจำหน่าย ล้วนเกิดขึ้นในวงจรที่ใช้สวิตช์ชนิดสับ-ปลดไม่พร้อมกันทั้งสามเฟส เช่น สวิตช์ใบมีด ฟิวส์ชนิดขาดตก เป็นอุปกรณ์ตัดต่อวงจรสายเคเบิลใต้ดินที่มีหม้อแปลงจำหน่ายต่ออยู่ด้วยบริเวณปลายสาย การสับ-ปลดสวิตช์ดังกล่าวอาจก่อให้เกิดแรงดันเกินชั่วคราวจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ระหว่างความจุไฟฟ้าของสายเคเบิลใต้ดินกับความเหนี่ยวนำไม่เป็นเชิงเส้นของขดลวดหม้อแปลง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้กับดักฟ้าผ่า และหม้อแปลงชำรุดเสียหาย โดยผลการศึกษาด้วยการจำลองในโปรแกรม ATP/EMTP หรือการทดสอบภาคสนามของกรณีศึกษาต่างๆ สามารถสรุปลักษณะการเกิดแรงดันจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ได้ดังนี้

1) การสับ-ปลดสวิตช์ใบมีดในลักษณะที่เป็นการจ่ายไฟหรือตัดไฟสายเคเบิลใต้ดินในสายป้อนที่มีหม้อแปลง station service ของสถานีไฟฟ้าย่อยต่ออยู่ โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางสายป้อนอยู่ในตำแหน่งเปิดวงจร อาจก่อให้เกิดแรงดันเกินชั่วคราวขึ้นในเฟสที่เปิดวงจรอยู่จากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับหม้อแปลง station service

2) การสับ-ปลดฟิวส์ชนิดขาดตกเพื่อจ่ายไฟหรือดับไฟ หรือการขาดตกของฟิวส์ในลักษณะไม่ครบทั้งสามเฟส ขณะเกิดการผิดพร่องลงดิน ของระบบจำหน่ายของผู้ใช้ไฟที่รับไฟด้านแรงสูงผ่านวงจรสายเคเบิลใต้ดินซึ่งต่อไปยังหม้อแปลงจำหน่ายภายในอาคาร อาจก่อให้เกิดแรงดันเกินชั่วคราวขึ้นในเฟสที่กำลังเปิดวงจร หรือฟิวส์ขาดตกจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับหม้อแปลงจำหน่ายของผู้ใช้ไฟ

7.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแรงดันเกินและคุณลักษณะของแรงดันเกิน

ลักษณะรูปคลื่นของแรงดันเกินจากปรากฏเฟอร์โรเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นอาจมีรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยมีพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในวงจรเป็นตัวกำหนด เช่น ระดับแรงดันของระบบ ความยาวของสายเคเบิลใต้ดิน คุณลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นของตัวเหนี่ยวนำ เป็นต้น ดังผลที่ได้จากกรณีศึกษาต่างๆ จะเห็นว่ารูปคลื่นของแรงดันที่เกิดขึ้นอาจมีรูปแบบ chaotic, sub-harmonic หรือ fundamental และมีขนาดของแรงดันเกินและลักษณะรูปคลื่นแตกต่างกันในแต่ละกรณี

สำหรับปัจจัยหรือสภาวะเริ่มต้น เช่น ฟลักซ์แม่เหล็กและประจุคงค้าง มุมเฟสหรือค่าของแรงดันระบบขณะสับ-ปลดสวิตช์ จะมีผลต่อการเกิด หรือกำหนดจุดทำงานของปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ ซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในช่วงเริ่มต้นของปรากฏการณ์ หรือในช่วงพลวัตชั่วครู่ (transient dynamic) ดังเห็นได้จากผลการจำลองกรณีศึกษาแรงดันเกินจากการสับ-ปลดสวิตช์ใบมีดในสายป้อน พบว่าแรงดันเกินไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกมุมที่สับ-ปลดสวิตช์ใบมีด

7.1.3 การเสียหายของกับดักฟ้าผ่า

การระเบิด หรือการเสียหายของกับดักฟ้าผ่าไม่ได้เกิดจากความรุนแรงของแรงดันเกินที่มีค่าสูงจนทำให้กับดักฟ้าผ่านำกระแสขนาดสูงด้วย เนื่องจากเฟอร์โรเรโซแนนซ์เป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่มีอิมพีแดนซ์สูง จึงไม่สามารถจ่ายกระแสได้มาก ดังผลที่ได้จากการสับ-ปลดสวิตช์ใบมีดในสายป้อนจะเห็นว่ากรณีที่ไม่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าอาจมีขนาดแรงดันเกินสูงสุดเกินกว่า 4.0 p.u. แต่เมื่อติดตั้งกับดักฟ้าผ่าเข้าไปในระบบแล้วพบว่าแรงดันเกินสูงสุดจะมีค่าเพียง 1.55 p.u. หรือทำงานอยู่บริเวณจุดหักงอของคุณลักษณะแรงดันและกระแส ซึ่งมีขนาดกระแสต่ำ ความเสียหายหรือการระเบิดของกับดักฟ้าผ่าทันทีจึงเกิดขึ้นได้ยาก แต่การนำกระแสก็ทำให้เกิดความร้อนขึ้นและมีพลังงานสะสมอยู่ภายใน เป็นผลให้กับดักฟ้าผ่ามีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระบายความร้อน อุณหภูมิภายนอก และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ถ้ากับดักฟ้าผ่าได้รับแรงดันเกินเป็นระยะเวลานาน ความร้อนที่สะสมจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนอาจทำให้กับดักฟ้าผ่าเสียสภาพได้ในเวลาต่อมา แต่กับดักฟ้าผ่าจะไม่เกิดการระเบิดจนกว่าจะสับสวิตช์ทำให้กับดักฟ้าผ่ารับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟโดยตรงซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำและสามารถจ่ายกระแสได้มาก อุณหภูมิและความร้อนสูงที่เกิดขึ้นประกอบกับความเสียหายที่ได้รับก่อนหน้า ทำให้กับดักฟ้าผ่านำกระแสและมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ แม้จะได้รับแรงดันปกติ จนเกิดการสูญเสียเสถียรภาพทางความร้อน และระเบิดขึ้นในที่สุด

7.1.4 การแก้ไขปัญหา

การแก้ไข และลดทอนปัญหาแรงดันเกินจากปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ที่เกิดขึ้นขณะสับ-ปลดสวิตช์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำได้โดยหลีกเลี่ยงโครงสร้างของวงจรเฟอร์โรเรโซแนนซ์ หรือหน่วงวงจรด้วยตัวต้านทาน ซึ่งสามารถสรุปเป็นวิธีการต่างๆ ที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและมีความสามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติที่แตกต่างกันดังนี้

1) ปรับเปลี่ยนลำดับขั้นตอนการสับ-ปลดสวิตช์ เป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ วิธีนี้สามารถนำไปใช้ได้กับกรณีการสับ-ปลดสวิตช์ใบมีดในสายป้อนที่มีหม้อแปลง station service ต่ออยู่ต้นทางของสายเคเบิลใต้ดิน โดยสลับขั้นตอนการสับปลดสวิตช์ให้ขณะสับ-ปลดสวิตช์ใบมีดนั้นเซอร์กิตเบรกเกอร์ต้นทางสายป้อนต้องอยู่ในตำแหน่งปิดวงจรเสมอ เพื่อตรึงแรงดันของหม้อแปลงและสายเคเบิลใต้ดินให้มีค่าเท่ากับแรงดันระบบ

2) เปลี่ยนมาใช้สวิตช์ชนิดสับ-ปลดพร้อมกันทั้งสามเฟสแทนสวิตช์ใบมีดหรือฟิวส์ชนิดขาดตก ในวงจรที่มีปัญหาการเกิดเฟอร์โรเรโซแนนซ์

3) ติดตั้งเซอร์กิตเบรกเกอร์ระหว่างสายเคเบิลใต้ดินกับหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อใช้ปลดและแยกทั้งสองส่วนออกจากกัน ก่อนการสับ-ปลดสวิตช์ หรือภายหลังการขาดตกไม่ครบเฟสของฟิวส์แรงสูง ในวงจรที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์

4) ปรับเปลี่ยนโครงสร้างของระบบไฟฟ้า เช่น ย้ายตำแหน่งติดตั้งหม้อแปลง station service ไปยังจุดที่ไม่เกิดปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์ขณะสับ-ปลดสวิตช์ใบมีดในสายป้อน

5) ต่อโหลดความต้านทานด้านแรงต่ำของหม้อแปลงขนาดประมาณ 10% ของพิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง ก่อนการปฏิบัติงานสับ-ปลดสวิตช์ หรือภายหลังการขาดตกไม่ครบเฟสของฟิวส์แรงสูง ในวงจรที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์

7.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการทดสอบคุณลักษณะแรงดัน-กระแส (V-I curve) และพารามิเตอร์ลำดับศูนย์ของหม้อแปลงที่ใช้ในการศึกษา เนื่องจากมีความสำคัญต่อการเกิด และคุณลักษณะของปรากฏการณ์เฟอร์โรเรโซแนนซ์
2) การนำวิธีการแก้ไขไปใช้งานควรพิจารณาบนพื้นฐานของความปลอดภัย ความเหมาะสมกับระบบ และค่าใช้จ่ายในการลงทุน