# บทที่ 7
# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

## 7.1 ข้อสรุป

การประเมินสมรรถนะการทำงานของรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด คือ A, B และ C ซึ่งมีขั้นตอนวิธีตรวจจับการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่แตกต่างกัน แต่โดยพื้นฐานการทำงานของรีเลย์ทั้ง 3 ชนิดจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากอาร์กในช่วงลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง แนวทางการประเมินสามารถทำได้โดย ศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย โดยการจำลองด้วยโปรแกรม ATP และทดลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ซึ่งมีการทดลอง 2 รูปแบบ คือ สายตัวนำไฟฟ้าสัมผัสพื้นด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลด รวมทั้งมีการปรับเปลี่ยนชนิดพื้นผิวที่สัมผัสสายตัวนำไฟฟ้าที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ในเขตพื้นที่จำหน่ายของ กฟน. จากนั้นนำสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ทำการบันทึกที่สถานีย่อยมาใช้ทดสอบรีเลย์ หลักเกณฑ์ในการพิจารณาการทำงานของรีเลย์ใช้วิธีสังเกตการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่กรองความถี่มูลฐานออก กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่ กลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่และกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัว ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- ผลการจำลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงด้วยโปรแกรม ATP โดยจำลองทั้งลัดวงจรด้านแหล่งจ่ายและด้านโหลด พบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยช่วงที่สายขาดสัมผัสพื้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่ต่างจากระดับกระแสโหลด ทำให้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินไม่สามารถตรวจจับได้

- ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อสายตัวนำไฟฟ้าขาดตกสัมผัสพื้นทางด้านแหล่งจ่าย โดยที่พื้นดังกล่าวเป็นยางมะตอยและกรวด ในสภาพการทดลองที่พื้นผิวแห้ง เหตุการณ์ดังกล่าวไม่ทำให้เกิดอาร์ก ณ ตำแหน่งที่สายสัมผัส จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย ดังนั้นรีเลย์ทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถตรวจจับเหตุการณ์ดังกล่าวได้

- ผลการทดลองพบว่าเมื่อสายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสต้นไม้ทางด้านแหล่งจ่าย ถึงแม้จะมีอาร์กเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่สายสัมผัส แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้า ที่สถานีย่อยแล้วพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพียงช่วงระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นรีเลย์ทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถตรวจจับเหตุการณ์ดังกล่าวได้

- ผลการทดลองพบว่าเมื่อสายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นทางด้านโหลด สังเกตได้ว่าปริมาณของโหลดที่ต่อกับหม้อแปลงจำหน่ายทางด้านทุติยภูมิ มีผลกับการเกิดอาร์กทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ณ ตำแหน่งที่สายสัมผัสพื้น คือ เมื่อหม้อแปลงจำหน่ายไม่ได้ทำการจ่ายโหลดทำ

ให้ไม่มีอาร์กเกิดขึ้น แต่เมื่อทำการจ่ายโหลดจะมีอาร์กเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการเกิดลัดวงจรทางด้านโหลดถึงแม้จะมีอาร์กเกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าไม่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย ดังนั้นรีเลย์ทั้ง 3 ชนิดไม่สามารถตรวจจับเหตุการณ์ดังกล่าวได้

- ผลการทดลองพบว่าเมื่อสายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นทางด้านแหล่งจ่าย โดยพื้นดังกล่าวเป็นคอนกรีต มีผลทำให้เกิดอาร์กค่อนข้างรุนแรง ณ ตำแหน่งที่สายสัมผัสพื้น และบางครั้งมีแนวโน้มที่จะพัฒนาไปสู่การลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ การเกิดอาร์กในกรณีนี้มีผลให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อยเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ทำให้รีเลย์สามารถตรวจจับได้

- การเกิดลัดวงจรแบบเฟสลงดินที่มีอิมพีแดนซ์ค่าสูง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าของกลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคี่ที่สามหารลงตัวมากกว่ากลุ่มฮาร์มอนิกอันดับคู่และคี่ เป็นผลเนื่องจากมีกระแสไฟฟ้าลำดับศูนย์ (zero sequence current) ไหลในระบบ

- รีเลย์ชนิด A จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าในช่วงความถี่ทั้ง 4 กลุ่ม พบว่าการเกิดอาร์กจากเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่มีผลทำให้สัญญาณกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 เปลี่ยนแปลง รีเลย์จะสามารถตรวจจับได้และผลจากการทดลองการตอบสนองของรีเลย์ต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ฮาร์มอนิกอันดับต่างๆ โดยการป้อนกระแสฮาร์มอนิกอันดับที่ 2 – 10 ผลการทดลองปรากฏว่ารีเลย์มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าฮาร์มอนิกอันดับที่ 5 อย่างมีนัยสำคัญ

- รีเลย์ชนิด B จะทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าทั้ง 4 กลุ่ม จึงใช้เวลาในการทำงานนานกว่ารีเลย์ชนิด A แต่มีความสามารถในการตรวจจับได้ดีกว่ารีเลย์ชนิด A และในกรณีการทดลองที่สัญญาณการเกิดอาร์กไม่นานพอ เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณโดยการต่อรูปคลื่นสัญญาณอาร์กเพื่อขยายช่วงเวลาของอาร์กให้นานขึ้น ผลการทดลองปรากฏว่ารีเลย์สามารถตรวจจับได้

- รีเลย์ชนิด C จะทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่กรองความถี่มูลฐานออก โดยตรวจจับความแตกต่างของสัญญาณในแต่ละลูกคลื่น จากข้อมูลสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองพบว่ารีเลย์ชนิด C มีความสามารถในการตรวจจับจำนวนเหตุการณ์ได้เท่ากับรีเลย์ชนิด B แต่ในการทดลองกรณีที่สัญญาณการเกิดอาร์กไม่นานพอจะไม่สามารถใช้วิธีการขยายช่วงเวลาการเกิดอาร์กให้นานขึ้นเพื่อประเมินรีเลย์ชนิดนี้ได้ เพราะผลจากการขยายเวลาของอาร์กทำให้เกิดลักษณะแบบซ้ำคาบ เมื่อรีเลย์ชนิดนี้นำสัญญาณไปพิจารณาจึงไม่พบความแตกต่างของสัญญาณในแต่ละลูกคลื่น ดังนั้นการปรับปรุงแก้ไขสัญญาณกระแสไฟฟ้าด้วยวิธีการดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมกับรีเลย์ชนิด C

## 7.2 ปัญหาและอุปสรรค

- การทดลองเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงในระบบจำหน่ายของ กฟน. เพื่อบันทึกสัญญาณรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย มีอุปสรรคในการควบคุมสภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่ทดสอบ เพื่อต้องการให้ได้สัญญาณการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงนานเพียงพอ โดยไม่พัฒนาเปลี่ยนไปสู่การลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ

- ความสามารถของเครื่องบันทึกสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่สถานีย่อย เนื่องจากการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงจะเกี่ยวข้องกับการเกิดอาร์ก เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งรีเลย์ทั้ง 3 ชนิดจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ช่วงความถี่สูง ดังนั้นจึงต้องตั้งค่าความละเอียดในการบันทึกสัญญาณไว้ที่ค่าสูงสุด ในการทดลองนี้ได้ตั้งค่าการบันทึกไว้ที่ 20 กิโลเฮิรตซ์ ทำให้มีความสามารถในการบันทึกสัญญาณได้นาน 1 นาที 40 วินาที ซึ่งบางครั้งรีเลย์จะใช้เวลาในการตัดสินใจนานกว่าเวลาดังกล่าว

## 7.3 ข้อเสนอแนะ

- รีเลย์ควรมีความสามารถในการแยกแยะรูปแบบของเหตุการณ์ลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง เช่น หากเหตุการณ์ดังกล่าวมีรูปแบบที่สายตัวนำไฟฟ้าสัมผัสกับวัตถุข้างเคียงแล้วทำให้เกิดอาร์กระหว่างสายตัวนำกับวัตถุนั้น โดยที่สายตัวนำยังคงจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อยู่ กรณีดังกล่าวนี้ควรให้รีเลย์ทำการส่งสัญญาณเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ เพื่อใช้เครื่องมืออื่นๆ ในการออกสำรวจระบบจำหน่าย เช่น เครื่องตรวจจับการเกิดโคโรน่าหรือเครื่องตรวจจับสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอาร์ก เป็นต้น ส่วนรูปแบบเหตุการณ์ที่สายตัวนำไฟฟ้าขาดตกสัมผัสพื้น กรณีดังกล่าวนี้รีเลย์จะต้องส่งสัญญาณให้เซอร์คิตเบรกเกอร์ทำการปลดวงจรออกทันที รวมทั้งตัดการทำงานในส่วนของการสับเบรกเกอร์โดยอัตโนมัติด้วย (autoreclose)

- จากการทดลองติดตั้งหม้อแปลงกระแสที่ตำแหน่งไรเซอร์หน้าสถานีย่อย โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้ารวมสามเฟส พบว่าช่วงที่เกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะปกติ ดังนั้นหากนำสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดด้วยวิธีการดังกล่าวไปใช้ออกแบบอุปกรณ์ประมวลผลและตัดสินใจ อาจจะสามารถตรวจจับการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงได้