บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อถ่ายโอนโหลดในรูปแบบต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ที่บัสเสริมให้ไปอยู่ที่บัสข้างเคียงทำให้ขนาดของระบบไฟฟ้ากำลังไม่เปลี่ยนแปลง แบบจำลองโหลดที่นิยมใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังมี 3 แบบ คือ โหลดกระแสไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ และกำลังไฟฟ้า เทคนิคการถ่ายโอนโหลดเริ่มต้นพัฒนาจากการถ่ายโอนโหลดกระแสไฟฟ้าเป็นลำดับแรก จากนั้นจึงพัฒนาเทคนิคการถ่ายโอนโหลดอิมพีแดนซ์โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 3 ตัวแปรคือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และโหลดอิมพีแดนซ์ สำหรับการพัฒนาเทคนิคการถ่ายโอนโหลดกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 3 ตัวแปรเช่นเดียวกัน คือ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และโหลดกำลังไฟฟ้า การคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเรื่องอื่น ๆ เช่น การคำนวณกำลังงานสูญเสีย การพิจารณาแรงดันตก รวมถึงการวางแผนการจ่ายโหลดไปยังผู้ใช้ไฟตามสถานีต่าง ๆ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด และการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลดเพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการจำลองผลในกรณีต่าง ๆ ภายใต้สภาวะการจ่ายโหลดอย่างสมดุล สำหรับการหาตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อลดตัวแปรที่ต้องค้นหาในระหว่างการหาค่าเหมาะที่สุด การเลือกตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าอาจเลือกจากดัชนี *LSF* หรือดัชนี *PLI* ขนาดของตัวเก็บประจุหาโดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึม งานวิจัยนี้นำเสนอการหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดของตัวเก็บประจุในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด จำลองผลโดยใช้โปรแกรม MATLAB จากการดำเนินงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

1) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการถ่ายโอนโหลดรูปแบบต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยนำเสนอแบบจำลองการถ่ายโอนโหลด 3 แบบ คือ โหลดกระแสไฟฟ้า โหลดอิมพีแดนซ์ และโหลดกำลังไฟฟ้า เพื่อใช้สำหรับคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า โดยการถ่ายโอนโหลดที่บัสเสริมใด ๆ ไปยังบัสข้างเคียง เริ่มจากการถ่ายโอนโหลดกระแสไฟฟ้าเป็นลำดับแรก ผลจากการย้ายโหลดกระแสไฟฟ้าไปยังบัสข้างเคียง พบว่ากระแสไฟฟ้าที่ถูกถ่ายโอนไปยังบัสข้างเคียงขึ้นกับตำแหน่งของบัสเสริมในสายส่งเส้นนั้น ๆ ถ้าสมมติให้การกระจายตัวของความต้านทานในสายส่งมีความ

สม่ำเสมออาจกล่าวได้ว่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการถ่ายโอนโหลดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรค่าหนึ่ง ในงานวิจัยนี้แทนด้วยตัวแปร α มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ขึ้นกับตำแหน่งติดตั้งของโหลด จากนั้นเป็นการพัฒนาเทคนิคการถ่ายโอนโหลดอิมพีแดนซ์และโหลดกำลังไฟฟ้า ลำดับต่อมาเป็นการพัฒนาโปรแกรมคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลและวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด ประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคที่นำเสนอโดยทดสอบกับระบบทดสอบ 4 ระบบทดสอบ ได้แก่ ระบบทดสอบ 15 บัส 34 บัส 69 บัส และ 85 บัส โดยระบบทดสอบทั้งหมดเป็นระบบทดสอบแบบสมดุล จากผลการทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีเกาส์-ไซเดลร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด จำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลง ตำแหน่งการเพิ่มโหลดมีผลน้อยมากต่ออัตราการลู่เข้าของผลเฉลย เมื่อเพิ่มโหลดเข้าในระบบให้มากขึ้นในตำแหน่งที่ทำให้เกิดบัสเสริมพบว่าจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลงเมื่อเทียบกับวิธีเกาส์-ไซเดล มาตรฐาน เทคนิคที่นำเสนอช่วยแก้ปัญหาสภาวะเลว (ill-condition) ได้เป็นอย่างดี สำหรับการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน นำเสนอการนำโหลดที่ได้จากการถ่ายโอนไปยังบัสข้างเคียงรวมกับสมการกำลังไฟฟ้าไม่สอดคล้องในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดที่บัส (S_{sch}) แทนการรวมกับสมการกำลังไฟฟ้าไม่สอดคล้องในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณ (S_{cal}) ทำให้ขนาดของเมตริกซ์จาโคเบียนไม่เปลี่ยนแปลงช่วยลดความซับซ้อนของโปรแกรมการคำนวณ จากผลการทดสอบการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลดพบว่า ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธีนิวตัน-ราฟสันมาตรฐาน และเห็นผลชัดเจนมากขึ้นเมื่อจำนวนบัสเสริมในระบบมากขึ้น

2) นำเสนอการหาตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยใช้ตัวประกอบความไวการสูญเสีย (*LSF*) และดัชนีกำลังงานสูญเสีย (*PLI*) โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุบัสที่มีแรงดันต่ำและมีค่าดัชนี *LSF* สูง หรือเลือกติดตั้งตัวเก็บประจุบัสที่มีค่าดัชนี *PLI* สูง สำหรับขนาดตัวเก็บประจุที่เหมาะสมหาได้จากเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดโดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึม และนำเสนอการค้นหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดตัวเก็บประจุ โดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลด (LTT) ซึ่งช่วยกำจัดข้อจำกัดของตำแหน่งในการติดตั้งของวิธีการค้นหาในปัจจุบันที่จำกัดอยู่ที่บัสเท่านั้น ทำให้ตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุในระหว่างการจำลองผลอยู่ที่ตำแหน่งใดก็ได้ในระบบ โปรแกรมการจำลองผลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น จากผลการทดสอบโดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ กำลังงานสูญเสียน้อยที่สุด การติดตั้งตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้าทำให้แรงดันมีค่าสูงขึ้นและกำลังงานสูญเสียมีค่าลดลง ตำแหน่งติดตั้งและขนาดของตัวเก็บประจุที่ได้จากเทคนิค LTT ทำให้กำลังงานสูญเสียลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งและขนาดของตัวเก็บประจุที่ได้จากดัชนี *LSF* และดัชนี *PLI*

3) นำเสนอการหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดที่เหมาะสมของ D-STATCOM และ SVC ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า กรณีจ่ายโหลดปกติและกรณีโหลดหนัก โดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลดประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ชดเชย SVC และ D-STATCOM ในสภาวะคงตัว ช่วยแก้ปัญหาเรื่องการค้นหาตำแหน่งติดตั้งในระหว่างการจำลองผล ทำให้ตำแหน่งติดตั้งสามารถเป็นได้ทุกตำแหน่งไม่จำกัดอยู่ที่บัสอีกต่อไป จากผลการทดสอบ ตำแหน่งติดตั้งและขนาดที่ได้จากการหาค่าเหมาะที่สุด ทำให้แรงดันไฟฟ้าของระบบมีค่าสูงขึ้น และกำลังงานสูญเสียของระบบมีค่าลดลง

4) นำเสนอการหาตำแหน่งติดตั้งและขนาดตัวเก็บประจุที่เหมาะสมในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนครราชสีมา 2 โดยเลือกวงจร 10 เพื่อเป็นกรณีศึกษา วงจร 10 มีบัสทั้งหมด 131 บัส โหลดรวม 3479.592 kW และ 1925.211 kVar แรงดันไฟฟ้าที่ส่งจากสถานีต้นทางมีค่า 1.02 p.u. ทำให้ทุกบัสมีแรงดันค่อนข้างสูง กำลังงานสูญเสียมีค่า 43.83 kW การเลือกติดตั้งตัวเก็บประจุทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุบัสที่มีค่า *LSF* สูงและค่านอร์มของ V[i] ต่ำกว่า 1.055 หรือเลือกติดตั้งตัวเก็บประจุบัสที่ดัชนี *PLI* มีค่าสูง หรือใช้เทคนิค LTT ร่วมกับจีนเนติกอัลกอริทึม จากผลการทดสอบ ตำแหน่งติดตั้งและขนาดตัวเก็บประจุที่ได้จากเทคนิค LTT สามารถลดกำลังงานสูญเสียได้มากที่สุด จากนั้นจำลองสถานการณ์เมื่อความต้องการโหลดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าของสภาวะปกติ พบว่ากำลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 181.996 kW ตำแหน่งติดตั้งและขนาดตัวเก็บประจุที่ได้จากเทคนิค LTT สามารถลดกำลังงานสูญเสียให้เหลือเพียง 135 kW คิดเป็นร้อยละ 25.82 ของกำลังงานสูญเสียที่ลดได้ทั้งหมด

7.2 ข้อเสนอแนะ

1) การกำหนดขนาดตัวเก็บประจุในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นการสวิตช์แบบอุดมคติ ทำให้ขนาดตัวเก็บประจุที่ได้จากการจำลองผลมีค่าละเอียดมากเกินไปซึ่งอาจต่างจากความเป็นจริงที่การสวิตช์ตัวเก็บประจุเป็นแบบขั้นบันไดและเป็นไปไม่ได้ทุกค่า ดังนั้นเพื่อให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงอาจกำหนดการสวิตช์เป็นแบบขั้นบันไดแทนการสวิตช์แบบอุดมคติ

2) ตำแหน่งติดตั้งตัวเก็บประจุ D-STATCOM และ SVC ที่ได้จากการใช้เทคนิคการถ่ายโอนโหลดร่วมกับจีนเนติกอัลกอริทึมสามารถเป็นได้ทุกตำแหน่งในระบบ ซึ่งในบางกรณีตำแหน่งที่ค้นหาได้สำหรับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าอาจไม่มีเสาให้ติดตั้ง ดังนั้น การนำไปใช้งานจริงอาจเลือกตำแหน่งติดตั้งโดยใช้บัสที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ค้นหาได้มากที่สุดก็ได้ สำหรับการกำหนดขอบเขตของตำแหน่งติดตั้งในระหว่างการหาค่าเหมาะที่สุด อาจใช้การแบ่งโซนติดตั้งเข้ามาช่วยในการเลือกตำแหน่งติดตั้งแทนการสุ่มทุกตำแหน่งเพื่อช่วยลดตัวแปรที่ต้องค้นหา

3) การหาค่าเหมาะที่สุดของตำแหน่งติดตั้งและขนาดของตัวเก็บประจุ D-STATCOM และ SVC โดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึมร่วมกับเทคนิคการถ่ายโอนโหลดต้องใช้เวลาในการคำนวณมากเมื่อระบบทดสอบมีขนาดใหญ่ ทำให้การหาค่าเหมาะที่สุดโดยใช้จีนเนติกอัลกอริทึมไม่เหมาะกับระบบที่ต้องการความเร็วในการค้นหา ทั้งนี้อาจเลือกวิธีการค้นหาอื่นที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันแต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่ามาประยุกต์ใช้ เช่น การโปรแกรมวิวัฒนาการหรือการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค เป็นต้น