บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้การทำศึกษาการคำนวณค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการขนส่งกำลังไฟฟ้าโดยผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง โดยได้ใช้ระบบทดสอบขนาด 6 บัส เป็นตัวแทนของระบบไฟฟ้าคนกลาง และให้มีการขนส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าเข้ามายังระบบไฟฟ้าคนกลางที่บัส 3 และผู้ซื้อดึงกำลังไฟฟ้าออกจากระบบไฟฟ้าคนกลางที่บัส 6 ในกรณี forward flow และ ให้มีการขนส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าเข้ามายังระบบไฟฟ้าคนกลางที่บัส 6 และผู้ซื้อดึงกำลังไฟฟ้าออกจากระบบไฟฟ้าคนกลางที่บัส 3 ในกรณี backward flow ทั้งนี้บัส 3 เป็นบัสผลิต และ บัส 6 เป็นโหลดบัส โดยการทดสอบได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบแต่ละกรณีคือ กรณีพื้นฐาน กรณีการทำ forward flow และ กรณีการทำ backward flow ทั้งโดยการรวมเงื่อนไขบังคับขีดจำกัดสายส่งและไม่รวมเงื่อนไขบังคับขีดจำกัดสายส่ง โดยมีข้อมูลเพิ่มเติมดังนี้คือ กำลังไฟฟ้าที่ทำการขนส่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 50 MW และ ระดับโหลดของระบบไฟฟ้าคนกลางได้แปรเปลี่ยนตั้งแต่ระดับโหลด 160 MW จนถึง 220 MW ซึ่งผลที่ทำการทดสอบและบทวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบได้แสดงไว้ชัดแจ้งแล้วในบทที่ 5

สำหรับบทสรุปต่อจากนี้ไป จะได้กล่าวถึงต้นเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อการกำหนดค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการขนส่งกำลังไฟฟ้าโดยผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็นหัวข้อหลักใหญ่ๆ ดังนี้

ผลกระทบที่มีต่อการกำหนดค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการขนส่งกำลังไฟฟ้าโดยผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง คือ

6.1.1 การจัดสรรกำลังการผลิตภายในระบบ

จากการศึกษาวิจัยและทดสอบระบบทดสอบดังกล่าวผลที่ได้แสดงในบทที่ 5 พบว่าในกรณีที่ทำการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางทั้งในกรณีพื้นฐาน กรณี forward flow และ กรณี backward flow และโดยที่แต่ละกรณีอาจพิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดสายส่ง หรือ ไม่พิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดสายส่ง

ข้อสรุปที่ได้คือ หากการขนส่งกำลังไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดการ overload ในสายส่ง ระบบไฟฟ้าคนกลางก็จะทำการจัดสรรกำลังการผลิตเป็นไปตามหลักการเท่ากันของแลมดา และค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายที่

เหมาะสมในการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง ก็จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อเนื่อง แบบไม่ก้าวกระโดดรุนแรง ครั้นการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง ก่อให้เกิดการ overload ในสายส่ง สิ่งที่สังเกตพบอย่างชัดเจนก็คือ การจัดสรรกำลังการผลิตภายในระบบไฟฟ้าคนกลางได้เปลี่ยนไป และไม่เป็นไปตามหลักการเท่ากันของแลมดา ดังนั้นค่า incremental cost ที่บัสผลิตจึงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับในกรณีที่ไม่เกิดการ overload ของสายส่ง ทำให้การคำนวณอัตราค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมซึ่งต้องอ้างถึงค่า incremental cost เปลี่ยนไปอย่างรุนแรงด้วยเช่นกัน

แต่ทั้งนี้ในกรณีของการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง เมื่อสายส่งเกิดการ overload และระบบไฟฟ้าคนกลางสามารถจัดสรรกำลังการผลิตโดยยอมให้ไม่เป็นไปตามหลักการเท่ากันของแลมดา แต่ระบบยังคงทำงานต่อไปได้ เท่ากับเป็นการบรรเทาการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่บังคับให้ไหลภายใต้ขีดจำกัดที่กำหนด ณ จุดทำงานจากนี้ไปค่า incremental cost จะมีแนวโน้มเป็นของตนเองช่วงหนึ่ง จนท้ายสุดระบบไฟฟ้าคนกลางไม่สามารถบรรเทาการไหลในสายส่งเส้นที่บังคับได้ต่อไป ก็ยังผลให้ไม่สามารถจัดสรรกำลังผลิตภายในระบบของตนต่อไปได้ ดังจะเห็นได้จากกรณีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่งกำลังไฟฟ้าในทิศทาง forward flow แบบพิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดของสายส่ง

6.1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงกำลังสูญเสียภายในระบบไฟฟ้าคนกลาง

กรณีศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผลของกำลังสูญเสียก็มีผลต่อการกำหนดอัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางเช่นเดียวกัน ดังจะสังเกตได้จากเมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง ในกรณีการทำ forward flow เปรียบเทียบกับกรณีพื้นฐาน พบว่า ค่ากำลังสูญเสียโดยรวมของระบบไฟฟ้าคนกลางเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเป็นการไหลซ้ำทางการไหลของกำลังไฟฟ้าเดิมภายในระบบของระบบไฟฟ้าคนกลาง เป็นผลให้อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

ในทางตรงกันข้ามกรณีการทำ backward flow เปรียบเทียบกับกรณีพื้นฐาน พบว่า ค่ากำลังสูญเสียโดยรวมภายในระบบไฟฟ้าคนกลางได้ลดลง เพราะเป็นการไหลย้อนทางการของกำลังไฟฟ้าเดิมภายในระบบไฟฟ้าคนกลาง ดังนั้นเมื่อพิจารณาอัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง จึงมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

สำหรับผู้บริหาร หรือ ผู้มีหน้าที่ต้องตัดสินใจในการอนุญาตว่า เมื่อมีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าของตนเอง แล้วจะมีความเหมาะสมหรือไม่ เพียงไร ผู้บริหาร หรือ ผู้มีหน้าที่ตัดสินใจสามารถพิจารณาได้จากปัจจัยต่อไปนี้คือ

1. ระดับโหลดภายในระบบไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าคนกลาง
2. ทิศทางการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง
3. เงื่อนไขขีดจำกัดของสายส่งภายในระบบไฟฟ้าคนกลาง
4. ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ทำการขนส่ง

กล่าวคือ หากการขนส่งกำลังไฟฟ้ามีทิศทาง forward flow ควรพิจารณาจากระดับโหลดภายในระบบไฟฟ้าของตนเองว่ามีค่ามากอยู่หรือไม่ และพิกัดของสายส่งเพียงพอที่จะให้บริการหรือไม่ หากระดับโหลดภายในระบบไฟฟ้าคนกลางมีค่ามากอยู่แล้ว และพิกัดสายส่งใกล้จะเต็ม ก็ไม่ควรให้มีการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบของตนเพราะจะทำให้ระบบของตนเกิดความไม่มั่นคงในการทำงาน และ การจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดภายในระบบของตนเองไม่สามารถทำได้

ในทางกลับกันหากทำการขนส่งกำลังไฟฟ้าในทิศทาง backward flow แม้ว่าระดับโหลดภายในระบบของตนเองจะสูง และ พิกัดสายส่งใกล้เต็มก็ตาม แต่การทำ backward flow จะช่วยบรรเทากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งให้ลดลง และเป็นการทำงานที่ถอยห่างจากค่าพิกัดสายส่งมากขึ้น ระบบจึงมีความปลอดภัยมากขึ้น และ ผลของการทำ backward flow ยังช่วยให้ระบบไฟฟ้าคนกลางสามารถรองรับระดับโหลดภายในระบบของตนเองได้สูงขึ้นอีกด้วย

ในการดำเนินการศึกษาวิจัยที่ผ่านมามิได้ศึกษาราคาที่จะต้องทำการซื้อขายกันระหว่างผู้ขายกำลังไฟฟ้ากับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า แต่หากเป็นการพิจารณาค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายในการให้บริการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระหว่างคู่สัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าคนกลางเท่านั้น ทั้งนี้เพราะการกำหนดราคาซื้อขายกันระหว่างผู้ซื้อกำลังไฟฟ้ากับผู้ขายกำลังไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ในหลายด้านๆ อาทิเช่น ต้นทุนสายส่งที่ระบบไฟฟ้าคนกลางได้ลงทุนไปแล้วในอดีต ต้นทุนในการติดตั้งอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถทำการขนส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลางได้ เป็นต้น ประกอบการพิจารณาและตัดสินใจซึ่งนอกเหนือจากขอบเขตการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา

6.2 ข้อเสนอแนะ

การทำการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง และสามารถคำนวณทางคณิตศาสตร์ในรูปปริมาณเชิงซ้อนได้โดยตรง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณทางไฟฟ้า คือ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้ยังมี Toolbox ซึ่งเป็นเครื่องมือในการช่วยแก้ปัญหา routine บางอย่างซึ่งผู้ศึกษาด้านกำลังไฟฟ้า ไม่จำเป็นจะต้องลงไปทำการศึกษาอย่างลึกซึ้งในคณิตศาตร์เหล่านั้น ตัวอย่างเช่น การแก้ปัญหา quadratic programming การทำออปติไมซ์ การทำเมตริกซ์ผกผัน เป็นต้น ทั้งนี้เพราะการเขียนโปรแกรมเองในงานที่เป็นงาน routine เพื่อเอามาใช้เฉพาะกับงานวิจัยของตน ผู้ศึกษาอาจ

ยังขาดประสบการณ์ที่ทำให้ไม่ทราบว่าจะเกิดกรณีแย่ที่สุด (worst case) สำหรับโปรแกรมที่ตนเองเขียนเมื่อใด และเมื่อนำสิ่งที่ตนเองเขียนได้มาใช้ อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณ ซึ่งแท้จริงปัญหาอาจจะเกิดจากส่วนโปรแกรม routine เหล่านั้นก็เป็นได้ ดังนั้นจึงมีความสะดวกที่จะใช้โปรแกรม MATLAB และ/หรือ โปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า ในการทำการศึกษาวิจัยทางด้านไฟฟ้ากำลังต่อไป

ปัญหาที่พบเนื่องจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา คือ การศึกษาจากตำราอ้างอิงต่างประเทศหลายเล่มซึ่งมีการกำหนดเครื่องหมายแตกต่างกัน อาทิเช่นค่าบวก ลบ ของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่ง เป็นต้น ดังนั้นผู้ทำการศึกษาต่อไปควรจะได้เรียนรู้ศึกษาและทำการพิสูจน์ค่าต่างๆ ดังกล่าวด้วยตนเอง เพื่อเป็นการเตรียมความรู้และเป็นแนวทางในการวิจัยของตนเองอย่างมีหลักการต่อไป

นอกจากนี้ตำราต่างประเทศโดยมากมักจะมีการอ้างถึงการคำนวณทาง power flow โดยวิธีการ Newton Raphson เป็นจำนวนมาก แต่มิได้บอกถึงที่มาของการทำ Newton Raphson ว่ามีที่มาอย่างไร ขอบเขตเป็นเช่นไร ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าการทำ Newton Raphson ก็คือ การแก้สมการเพื่อหาค่าคำตอบของฟังก์ชันศูนย์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นใดๆ โดยทำการประมาณเชิงเส้นด้วยวิธีการกระจายอนุกรมเทย์เลอร์รอบจุดที่คาดว่าจะเป็นคำตอบ จากนั้นจึงทำ iterative เพื่อหาคำตอบ ดังนั้นการทำ power flow โดยแท้แล้วก็คือ การหารากคำตอบของฟังก์ชันศูนย์นั่นเอง แต่ฟังก์ชันศูนย์สำหรับการศึกษา power flow ในที่นี้ก็คือ สมการความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่แต่ละบัสนั่นเอง การกำหนดจุดเริ่มต้นในการทำ power flow ที่กล่าวว่าต้องใช้ engineering sense ที่เหมาะสมนั้น ก็เพราะว่าการทำ Newton Raphson เป็นการแก้ปัญหาใกล้ๆ จุดคำตอบตามหลักการกระจายอนุกรมของเทย์เลอร์ นั่นเอง

นอกจากนี้ตำราต่างประเทศหลายเล่มมักจะมีการกล่าวถึงการแก้ปัญหา economic dispatch โดยวิธีหลักการเท่ากันของแลมดา และ การทำ Lagrangian function เป็นต้น โดยต้องทำการคำนวณค่า penalty loss ผ่านทาง B-loss coefficient matrix หรือ การแก้ปัญหาโดยตรงดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 แต่หากศึกษาอย่างจริงจังและลึกซึ้งต่อไปแล้วจะพบว่า การศึกษา economic dispatch ก็เป็นส่วนหนึ่งในหัวข้อวิจัยทางด้านการทำ OPF นั่นเอง ดังนั้นหากผู้ทำการศึกษาวิจัยสามารถสร้างระบบสมการ Economic dispatch ขึ้นมาได้แล้ว และพิจารณาว่าระบบสมการที่ตนเองสร้างขึ้นมานั้นเป็นปัญหาหนึ่งที่ต้องการการทำออปติไมซ์แล้ว ดังนั้นผู้ทำการศึกษาก็สามารถที่จะหยิบยกวิธีในการทำออปติไมซ์ ซึ่งมีอยู่มากมายหลากหลายวิธี เข้ามาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา economic dispatch ต่อไปได้โดยมิต้องคำนึงถึงการทำ power flow ต่างหากออกไป ทั้งนี้เพราะ การทำ power flow จะถูกกำหนดให้เป็นเงื่อนไขบังคับสมการของปัญหา OPF ไปในตัว ดังนั้นการคำนวณ OPF จึงไม่จำเป็นจะต้องแยกบัสอ้างอิงออกมาคำนวณในตอนท้ายสุดเพื่อชดเชยกำลังสูญเสีย แต่สามารถที่จะรวมสมการความคลาดเคลื่อนของบัสอ้างอิง โดยกำหนดให้สมการความคลาดเคลื่อนของบัสอ้างอิง เป็นหนึ่งในเงื่อนไขบังคับสมการของปัญหา OPF ได้โดยตรง แต่สำหรับการกำหนดชนิด

ของตัวแปรเช่น ขนาดของแรงดัน มุมเฟสของแรงดัน ค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ที่แต่ละบัสยังคงยึดตามแนวทางเดิมในการแก้ปัญหา power flow อยู่

นอกจากนี้ การแก้ปัญหา power flow หากรวมอยู่ในปัญหา OPF แล้ว การแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับ PV bus จะไม่มีความจำเป็นจะต้องเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาเพื่อเป็น PV bus หรือ PQ bus เมื่อค่า Q limit ในการแก้ปัญหาเกิดการเต็มแต่อย่างใด หากแต่การแก้ปัญหา power flow ดังกล่าวจะรวมอยู่ในการแก้ปัญหา OPF โดยวิธีการออปติไมซ์เซชันแบบมีเงื่อนไข วิธีการใดวิธีการหนึ่งที่เลือกมาแก้ปัญหา OPF นี้อยู่แล้ว

นอกจากนี้การศึกษาด้านการทำ OPF สำหรับผู้ที่สนใจต่อไป ควรจะต้องมีพื้นฐานทางออปติไมซ์ รวมถึงข้อดี ข้อด้อย ขีดจำกัดของการแก้ปัญหา และ สมมติฐานเริ่มต้นของแต่ละวิธีในการทำออปติไมซ์ เป็นอย่างดี จึงจะช่วยให้การศึกษาในหัวข้ออื่นที่สนใจสามารถกระทำได้ง่ายและสะดวกต่อไป

ลำดับสุดท้าย สำหรับการขยายผลทางการศึกษาจากงานวิจัยที่ได้นำเสนอผ่านไปแล้วนั้น สามารถกระทำได้ดังนี้ เช่น การศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งกำลังไฟฟ้า แบบหลายๆ จุด หลายๆ ระดับกำลังไฟฟ้าพร้อมเพรียงกัน ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากมากเนื่องจาก มีปัญหาเกี่ยวข้องกับการเกิด loop flow ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ทำให้ไม่สามารถกำหนดได้ว่ากำลังไฟฟ้าจากผู้ขายรายใดไหลไปในทิศทางใดเท่าไร และผู้ซื้อไฟฟ้าดึงกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายรายใดกันแน่ และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าคนกลางเนื่องจากการขนส่งกำลังไฟฟ้าของคู่สัญญาซื้อขายคู่ใด และมีปริมาณเท่าไร เป็นต้น สำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าวจะต้องมีการกำหนดสมมติฐานที่เหมาะสมสอดคล้องและเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย จึงจะทำให้การคำนวณค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งกำลังไฟฟ้าสามารถกระทำได้อย่างเหมาะสมต่อไป เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย