บทที่ 2

การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า โดยจะเริ่มจากการกล่าวถึงปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า จากนั้นจะกล่าวถึงประเภทของการวางแผนขยายระบบส่ง และวิธีในการแก้ไขปัญหาการวางแผนระบบส่งไฟฟ้า

2.1 ปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า

จากความต้องการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มมากขึ้น สิ่งหนึ่งที่การไฟฟ้าฯ จะต้องพิจารณาคือการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีความเพียงพอและความมั่นคง ซึ่งสามารถทำได้โดยการดำเนินการวางแผนก่อสร้างโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ หรือการเพิ่มกำลังการผลิต ทั้งนี้การดำเนินการดังกล่าวจะต้องทำควบคู่ไปกับการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าด้วย เนื่องมาจากการแบกรับภาระของสายส่งที่เพิ่มตามมาด้วย

โดยการวางแผนขยายระบบส่งเป็นแผนการพิจารณาการเลือกงานก่อสร้างสายส่งไฟฟ้า รวมไปถึงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เพื่อรองรับความต้องการปริมาณไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่พิจารณา (Planning horizon) [1] นอกจากนั้นแผนที่จะดำเนินการต้องมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และการปฏิบัติการน้อยที่สุด โดยทั่วไปการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลังต้องมีการพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ เช่น ขีดจำกัดทางความร้อนของสายส่ง และขีดจำกัดเรื่องแรงดันในแต่ละบัส การแก้ไขปัญหาขีดจำกัดทางความร้อนนั้นในทางปฏิบัติสามารถแก้ไขปัญหานี้ด้วยการก่อสร้างเพิ่มสายส่งเส้นใหม่ ส่วนการแก้ไขปัญหาขีดจำกัดเรื่องแรงดันสามารถแก้ไขได้โดยติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยแรงดัน หรือปรับแท็ปของหม้อแปลง การสร้างสมการของปัญหาดังกล่าวมีความซับซ้อน และเป็นลักษณะไม่เชิงเส้น จึงมีความซับซ้อนยุ่งยาก และใช้เวลานานในการพิจารณาแก้ไขปัญหา จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหา

แบบจำลองการไหลของกำลังไฟฟ้าในการประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลังสามารถพิจารณาได้หลายแบบ [2, 3 และ 4] ได้แก่ แบบจำลองกระแสตรง แบบจำลองกระแสสลับ แบบจำลอง transportation แบบจำลอง disjunctive และ แบบจำลอง hybrid เป็นต้น ซึ่งข้อดี และข้อเสียของแต่ละวิธีมีแตกต่างออกไป เช่น เรื่องของเวลาในการคำนวณซึ่งขัดแย้งกับเรื่องของความแม่นยำในการคำนวณ

2.2 ประเภทของการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า

ในการพิจารณาประเภทของการวางแผนขยายระบบส่งสามารถแบ่งตามชั้นของช่วงเวลาการพิจารณาในการวางแผน (Planning horizon) ได้ 2 ประเภท [1, 5 และ 6] คือ

1. การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว (Single-stage planning)
2. การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น (Multistage planning)

1. การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว

การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว หรือเรียกอีกแบบว่า Static transmission expansion planning (STEP) มีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบว่า *ตำแหน่งก่อสร้างที่ใด* และ *สายส่งชนิดใด ที่ควรติดตั้งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับข้อมูลของ* generation และ load ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด โดยที่ช่วงเวลาของการวางแผนทั้งหมดจะถูกพิจารณารวมกัน โดยไม่มีการแบ่งออกเป็นชั้นย่อย นั่น คือไม่มีการพิจารณาลำดับก่อนหลังของสายส่งที่ถูกเลือกให้ก่อสร้าง

ตัวอย่าง การวางแผนที่มีช่วงเวลาการวางแผน 10 ปี คำตอบที่ได้จากการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว คือ สายส่งที่ได้รับเลือกก่อสร้างเพื่อรองรับกับความต้องการใช้ไฟฟ้าอีก 10 ปีข้างหน้า โดยไม่มีการบ่งบอกว่าสายส่งแต่ละเส้น ควรจะดำเนินการก่อสร้างในปีใด เนื่องจากความเป็นจริงเราอาจไม่จำเป็นที่ต้องก่อสร้างสายส่งทุกเส้นให้เสร็จพร้อมกันตั้งแต่แรก แต่อาจจะสร้างเพิ่มขึ้นตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นใน 10 ปี

ดังนั้น การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้กับการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าที่มีช่วงเวลาการวางแผนที่ยาวเกินไป ซึ่งวิธีการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น จะมีความเหมาะสมกว่า อย่างไรก็ดี ในงานวิจัยด้านการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าส่วนใหญ่มักจะเลือกใช้การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว เนื่องจากเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้นเช่นกัน

2. การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น

การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น หรือเรียกอีกแบบว่า Dynamic transmission expansion planning (DTEP) มีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่เพิ่มจากการวางแผนแบบชั้นเดียวตรงที่ว่า *เมื่อไหร่* ที่สายส่งควรจะดำเนินการก่อสร้างเพิ่มภายใต้ช่วงเวลาที่กำหนด [7]

การวางแผนแบบนี้ถึงแม้จะสามารถให้รายละเอียดได้มากกว่าการวางแผนแบบชั้นเดียว แต่โดยส่วนมากมึงถูกละเลย เนื่องจากการวางแผนแบบนี้มีความยุ่งยาก และซับซ้อนมากจึงถูกละเลยในการวางแผนแบบระยะยาว โดยช่วงเวลาของการวางแผนจะแบ่งออกเป็นชั้นย่อย [8]

ตัวอย่าง การวางแผนที่มีช่วงเวลาการวางแผน 12 ปี เราอาจแบ่งช่วงเวลาการวางแผนออกเป็นชั้นย่อย 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีระยะเวลา 4 ปี

ดังนั้นในปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น จึงเปรียบเสมือนมีปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียวอยู่ภายใน ซึ่งแต่ละปัญหามีความเชื่อมโยงกัน กล่าวคือ ผลตอบของชั้นย่อยก่อนหน้ามีผลต่อผลตอบของชั้นย่อยปัจจุบัน มูลค่าเงินลงทุนของแผนงานที่ได้จากการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น จะคำนวณจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิของแผนงานย่อย ตลอดช่วงเวลาการวางแผนโดยมีการคิดมูลค่าของเงินตามเวลาด้วย (Time value of money)

วิธีการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบหลายชั้น วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันก็คือ pseudodynamic procedures [1] โดยวิธีการดังกล่าวมีพื้นฐานอยู่บนการแก้ปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าแบบชั้นเดียว

2.3 วิธีการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลัง

วิธีในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลังทั้งแบบชั้นเดียว และแบบหลายชั้นมีมากมายหลายวิธีโดยที่สามารถแบ่งแยกได้เป็น 3 แบบ ดังนี้

1. วิธีออปติไมเซชันทางคณิตศาสตร์ (Mathematical optimization)
2. วิธีการฮิวริสติก (Heuristic method)
3. วิธีการกึ่งฮิวริสติก (Meta-heuristic method)

1. วิธีออปติไมเซชันทางคณิตศาสตร์

โดยทั่วไปการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลัง มีจุดประสงค์เพื่อที่จะส่งกำลังให้เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าที่ได้มีการพยากรณ์ขึ้น ภายใต้เงื่อนไขบังคับเรื่องความน่าเชื่อถือต่างๆ การสร้างสมการออปติไมเซชันโดยพิจารณาหาค่าราคาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดจึงถูกพิจารณาเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ภายใต้เงื่อนไขบังคับต่างๆ (Constraint functions) เช่น เงื่อนไขทางเทคนิค, เงื่อนไขทางเศรษฐศาสตร์ และเงื่อนไขทางความน่าเชื่อถือ [9] เป็นต้น

การแก้ไขปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่กล่าวมาโดยวิธีที่เคยปฏิบัติ (Classical programming techniques) มีหลายวิธี เช่น linear programming (LP) [10 และ 11], nonlinear programming (NLP) [12] และ mixed integer programming (MIP) [13] หลังจากนั้นมีการปรับปรุงประยุกต์ใช้ decomposition technique เช่น Benders decomposition [14 และ 15] เพื่อให้ได้โมเดลที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

นอกจากวิธีที่กล่าวมา ยังมีวิธีที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ได้นิยมนำมาการประยุกต์ใช้ เช่น branch and bound และ interior point method (IPM) [16]

ถึงแม้ว่าจะมีการประยุกต์ใช้วิธีต่างๆ มากมายในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลังโดยวิธีออปติไมเซชันทางคณิตศาสตร์ แต่ปัญหาที่พบคือในการพิจารณาแก้ไขปัญหาระบบที่มีขนาดใหญ่ เนื่องมาจากการได้คำตอบส่วนใหญ่มักไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ข้อจำกัดในกระบวนการแก้ไขปัญหาที่ไม่มีความยืดหยุ่น [17]

2. **วิธีการฮิวริสติก**

วิธีการฮิวริสติกเป็นการแก้ไขปัญหาโดยวิธีนี้มีที่มาจากพื้นฐานของประสบการณ์ของวิศวกร [7] เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการคำนวณ และเวลาในการหาคำตอบ วิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพที่ได้กว่าวิธีการออปติไมเซชันทางคณิตศาสตร์ โดยการการไขปัญหาโดยวิธีนี้เป็นการพิจารณาเพิ่มสายส่งเข้าไปทีละหนึ่งวงจรจากชุดสายส่งที่ใช้เป็นทางเลือก

ในการศึกษาได้มีการนำเสนอการแก้ปัญหาโดยวิธีดังกล่าวไว้ 2 วิธี ดังนี้ วิธีแรกใช้การคำนวณดัชนีความไว (Sensitivity index) เช่นดัชนีที่เกี่ยวกับการปลดโหลด [18] ดัชนีวัดการกระแจการไหลของระบบไฟฟ้ากำลัง [19] วิธีที่สองเป็นวิธีที่ใช้หลักการการคำนวณ OPF [18 และ 19] สายส่งที่มีคำตอบของตัวแปรที่ถูกผ่อนปรนเป็นตัวแปรจำนวนเต็มมากที่สุด จะถูกพิจารณาเลือกก่อสร้างก่อน

โดยทั่วไปการแก้ไขปัญหาโดยวิธีฮิวริสติกแต่คำตอบที่ได้ส่วนใหญ่จะไม่เป็น global optimum และมักได้คำตอบไม่ดีรวมทั้งใช้เวลาในการคำนวณที่มากเมื่อระบบที่พิจารณาเป็นระบบขนาดใหญ่

3. **วิธีการกึ่งฮิวริสติก**

วิธีการกึ่งฮิวริสติก เป็นวิธีการที่ผสมผสานระหว่างวิธีออปติไมเซชันทางคณิตศาสตร์ และวิธีการฮิวริสติก [7] ซึ่งวิธีนี้จะได้คำตอบที่ดี และมีความรวดเร็วในการคำนวณมากกว่าทั้งสองวิธี กระบวนวิธีการค้นหาผลตอบของวิธีกึ่งฮิวริสติกนี้จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปหลายวิธี โดยที่

แต่ละวิธีจะมีกระบวนการโดยเฉพาะนั้นเพื่อเลี่ยงคำตอบที่เป็น local optimum ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการ เช่น วิธี genetic algorithms (GAs) [20, 21, 22, 23 และ 24] simulated annealing (SA) [25 และ 26] และ tabu search (TS) [27, 28 และ 29] ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลัง ข้อแตกต่างระหว่างวิธีเหล่านี้ คือ GAs เริ่มการพิจารณาจากเซตคำตอบหลายๆจุดในขณะที่ SA และTS เริ่มการพิจารณาจากคำตอบเพียงจุดเดียว จากเหตุผลนี้ GAs สามารถที่จะแก้ไขปัญหาที่มีหลายฟังก์ชันเป้าหมาย (Multi-objective problem) [24] ส่วนวิธีอื่นได้แก่ expert systems และ greedy randomized [30] เป็นต้น

ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้วิธีการกึ่งฮิวริสติก โดยเลือกวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม หรือ genetic algorithms ในการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลัง ร่วมกับการพิจารณาการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจร เนื่องจากการศึกษาที่กล่าวมาการแก้ไขปัญหาในกรณีนี้ซึ่งเป็นปัญหาแบบหลายฟังก์ชันเป้าหมาย จึงพิจารณาเลือกวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด