บทที่ 2

การคำนวณค่ายูนิตคอมมิตเมนต์แบบต่าง ๆ

ในระบบกำลังไฟฟ้านั้น ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดแผนการเดินเครื่องว่า จะให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องในแต่ละคาบเวลา จึงจะสอดคล้องกับความต้องการของระบบกำลังไฟฟ้ารวมทั้งขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด การจัดแผนการดังกล่าวคือ การทำยูนิตคอมมิตเมนต์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบมีหลายประเภท ซึ่งแตกต่างกันทั้งในด้านต้นทุนการผลิตและข้อจำกัดการเดินเครื่อง อีกทั้งการที่ต้องนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าจ่ายให้แก่ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงความจำเป็นในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบเพื่อการบำรุงรักษาตามกำหนดการ หรือเพื่อการซ่อมแซมบำรุงรักษา สาเหตุดังกล่าวเป็นผลให้การคำนวณยูนิตคอมมิตเมนต์ เป็นวิธีการที่จำเป็นและมีความสำคัญ ในการปฏิบัติงานของระบบกำลังไฟฟ้า เพื่อให้สามารถผลิตและจ่ายไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องโดยมีต้นทุนการผลิตต่ำสุด และระบบมีความเชื่อถือได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

การหาผลลัพธ์ของ ปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ ได้มีการพัฒนาเทคนิควิธีการมาโดยตลอดเป็นระยะเวลานาน [12] วิธีการหลักต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ พอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) Priority List Scheme
2) Dynamic Programming
3) Mixed Integer Programming
4) Benders Decomposition
5) รีแล็กเซชันแบบลากรองจ์ (Lagrangian Relaxation)

แต่ละวิธีการมีขั้นตอนการหาผลลัพธ์และข้อดีข้อเสีย สรุปได้ดังนี้

3.1 Priority List Scheme [12,16]

ขั้นตอนการหาผลลัพธ์ ของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ โดยใช้วิธี Priority List สรุปวิธีการได้ดังนี้

1) สร้างบัญชีรายชื่อลำดับ (Priority List) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เรียงลำดับตามต้นทุนในการผลิตเฉลี่ยของแต่ละเครื่อง
2) ในแต่ละชั่วโมงของช่วงเวลาที่กำหนด
   - พิจารณาปริมาณโหลด และกำลังผลิตสำรองที่เดินเครื่องอยู่ในระบบ จากข้อมูลการพยากรณ์โหลด
   - เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาใช้งาน ตามลำดับภายในบัญชีรายชื่อลำดับก่อนหลังจนกระทั่งมีกำลังผลิตรวมเพียงพอ
   - ตรวจสอบเงื่อนไขของ เวลาเดินเครื่องอย่างน้อยที่สุด (minimum up time) และเวลาหยุดเดินเครื่องอย่างน้อยที่สุด (minimum down time) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เลือกมาใช้งาน
3) เมื่อได้กำหนดการเดินเครื่องที่เป็นไปได้แล้ว ก็พิจารณาว่า สามารถนำบางเครื่องที่เดินเครื่องไม่เต็มที่ ออกจากกำหนดการได้อีกหรือไม่ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกครั้งหนึ่ง

ข้อดีของวิธี Priority List ก็คือ เป็นวิธีการหาผลลัพธ์ ของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ที่ง่าย สามารถคำนวณได้ในเวลาอันรวดเร็ว ส่วนข้อเสียของวิธี Priority List ก็คือ ไม่มีการคำนวณยูนิตคอมมิตเมนต์ และการจ่ายโหลดอย่างประหยัดร่วมกัน อีกทั้งวิธีการนี้ เพียงแต่พิจารณาบางส่วนของกำหนดการที่เป็นไปได้เท่านั้น ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี Priority List ตามปกติจะมีค่าแตกต่างจากค่าที่เหมาะสม ข้อเสียอีกประการคือวิธี Priority List ไม่สามารถใช้กับระบบที่ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีเชื้อเพลิงจำกัด (fuel constrained units) และ/หรือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ (hydro units) ได้โดยตรง [12]

2.2 Dynamic Programming [1,7,12,16,18]

การหาผลลัพธ์ของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์โดยใช้วิธี Dynamic Programming สรุปวิธีการได้ดังนี้ จากช่วงเวลาที่กำหนดจะพิจารณาทีละคาบเวลาหรือชั่วโมง โดยจะรวมสถานะการเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องที่จะเป็นไปได้สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ในคาบเวลาใดๆ แล้วทำการคำนวณสถานะที่เกิดจากจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับการเลือกให้จ่ายโหลดชุดหนึ่งๆ ในคาบเวลานั้น ไปยังสถานะต่างๆที่เป็นไปได้ในคาบเวลาต่อไป สมการที่ใช้สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายในคาบเวลา T ด้วยการรวมสถานะที่ I เป็นดังนี้

$$F(T,I) = \min_{L} [P(T,I) + S(T-1,L:T,I) + F(T-1,L)]$$

โดยที่ $F(T,I)$: ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด จนกระทั่งถึง สเตต (T,I)

$P(T,I)$: ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง สำหรับสเตต (T,I)

$S(T-1,L:T,I)$: ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง (Start up) จากสเตต $(T-1,L)$ ไปยังสเตต (T,I)

ทั้งนี้สเตต (T,I) เป็นการรวมสถานะลำดับที่ I ในคาบเวลา T และสเตต $(T-1,L)$ เป็นการรวมสถานะลำดับที่ L ในคาบเวลา (T-1) วิธีการคำนวณแบบนี้จะพิจารณาช่วงเวลาทั้งหมดโดยเริ่มจาก คาบเวลาแรกถึงคาบเวลาสุดท้ายเรียงตามลำดับหรือกลับกัน ส่วนข้อจำกัด เช่นเวลาเดินเครื่องอย่างน้อยที่สุด (minimum up time) และเวลาหยุดเดินเครื่องอย่างน้อยที่สุด (minimum down time) สามารถรวมเข้ากับวิธีนี้ สำหรับทุกสถานะการแบ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้า ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เข้าร่วมผลิต สามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีออปติไมเซชันเชิงเส้นหรือ วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

วิธี Dynamic Programming ใช้คำนวณค่ายูนิตคอมมิตเมนต์ได้ดี สำหรับระบบขนาดเล็กและขนาดปานกลาง [16] ส่วนข้อเสียของวิธี Dynamic Programming ก็คือ เมื่อจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะใช้เวลาและหน่วยความจำในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างมาก [12] เป็นแบบเอกซ์โปเนนเชียล [18] อย่างไรก็ตาม มีการเพิ่มประสิทธิภาพ ให้กับวิธี Dynamic Programming โดยการใช้เทคนิคต่างๆ เพิ่มเติม เช่น Truncated Dynamic Programming [1] และ Sequential Dynamic Programming ซึ่งมีการลดจำนวนสถานะของการเดินเครื่องที่เป็นไปได้โดยการกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่อง และ/หรือมีการสร้างบัญชีรายชื่อลำดับ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามวิธี priority list สำหรับ การเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามลำดับที่กำหนด ดังนั้นการรวมสถานะที่เป็นไปได้ ในการคำนวณจึงมีจำนวนลดลง ทำให้สามารถลดภาระในการคำนวณค่ายูนิตคอมมิตเมนต์ได้

อีกแนวทางหนึ่งที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวิธี Dynamic Programming คือการใช้เทคนิค Heuristic [12,16] ร่วมด้วย แนวความคิด Heuristic ที่ประยุกต์ใช้คือจำกัดช่วงการค้นหา (search range) และจำกัดจำนวนเส้นทาง (path) ที่ต้องเก็บไว้เพื่อใช้ค้นหา ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วในการคำนวณได้ แต่สำหรับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่แล้ว ช่วงการค้นหาต้องกว้างพอเพียง และจำนวนเส้นทางที่ต้องเก็บไว้เพื่อใช้ค้นหาจำเป็นต้องมากพอด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้ค่าที่เหมาะสมพอที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นวิธี Dynamic Programming จึงยังไม่สามารถใช้กับระบบที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างเหมาะสม [12,18]

2.3 Mixed Integer Programming [2,7,12]

การประยุกต์ของ เทคนิค Mixed Integer Programming สำหรับการคำนวณค่ายูนิตคอมมิตเมนต์ โดยอาศัยวิธี Branch and Bound [2] เป็นอีกวิธีการหนึ่ง ซึ่งสำหรับวิธี Branch and Bound เพียงแต่ถูกแสดง (demonstrate) กับปัญหาซึ่งมีจำนวนยูนิตน้อยมาก ในช่วงคาบเวลาที่ศึกษาสั้นๆ [7] อย่างไรก็ตามวิธีการของ Mixed Integer Programming ซึ่งได้มีการเสนอกันนั้น ขณะที่ขนาดของระบบเพิ่มขึ้น วิธีการนี้จะใช้ทรัพยากรของคอมพิวเตอร์ (Computer resource) หมดลงอย่างรวดเร็ว [12] ดังนั้นเทคนิคนี้ จึงไม่เหมาะสมสำหรับระบบขนาดใหญ่

2.4 Benders Decomposition [7,12,18]

การหาผลลัพธ์ของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ โดยใช้วิธี Benders Decomposition สรุปวิธีการได้ดังนี้ ปัญหาถูกแยกเป็น ปัญหาหลัก (master problem) 1 ปัญหา และปัญหาย่อย (Subproblem) 1 ปัญหา โดยปัญหาหลักเกี่ยวข้องกับสถานะการเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นั่นคือเป็นปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ ส่วนปัญหาย่อยเกี่ยวข้องกับปริมาณการจ่ายโหลดของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า นั่นคือเป็นปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (economic dispatch) เมื่อหาคำตอบของปัญหาหลักจะได้สถานะการเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วค่าสถานะที่ได้จะนำไปใช้คำนวณกับปัญหาย่อยสำหรับการคำนวณการจ่ายโหลดอย่างประหยัด หลังจากหาคำตอบของปัญหาย่อยจะได้ชุดของค่าดูอัล (dual) ซึ่งจะกลับไปปัญหาหลัก แล้ว Benders Cut จะได้รับจากค่าดูอัลเหล่านี้ ซึ่งจะใช้ในการหาผลลัพธ์ของปัญหาหลัก การหาผลลัพธ์ของปัญหาหลักและปัญหาย่อยจะเป็นขบวนการซ้ำๆ จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม

ข้อดีของวิธี Benders Decomposition คือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณไม่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้น นั้นคือ วิธี Bender Decomposition มีความสามารถเพียงพอสำหรับประยุกต์ใช้กับระบบขนาดใหญ่ แต่ข้อเสียคือ ความยุ่งยากในการหาผลลัพธ์ของปัญหาหลักซึ่งยังคงเป็นปัญหาการออปติไมเซชันขนาดใหญ่ และความยุ่งยากนี้ยังเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีเชื้อเพลิงจำกัด (Fuel constrained units) ในการคำนวณด้วย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของ จำนวนข้อจำกัดในปัญหาหลัก และจำนวนของตัวแปรดูอัล ดังนั้น วิธี Benders Decomposition ยังไม่อาจนำไปใช้อย่างประสบผลสำเร็จในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีเชื้อเพลิงจำกัดในระบบ [12]

2.5 วิธีรีแล็กเซชันแบบลากรองจ์ [3-15]

การหาผลลัพธ์ ของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ โดยใช้วิธีรีแล็กเซชันแบบลากรองจ์ สรุปวิธีการได้ดังนี้ กำหนดปัญหาดูอัลแบบลากรองจ์ (Langrangian dual problem) โดยรวมข้อจำกัดของการสมดุลย์กำลังไฟฟ้า (power balance) และข้อจำกัดของกำลังผลิตสำรองที่เดินเครื่องอยู่ในระบบ (spinning reserve) เข้ากับฟังก์ชันค่าใช้จ่ายในการผลิตผ่านตัวคูณแบบลากรองจ์ (Lagrangian multiplier) 2 ชุด เมื่อได้ปัญหาดูอัลแบบลากรองจ์แล้ว จะคำนวณหาค่าสูงสุดของปัญหาดูอัลเมื่อเทียบกับตัวคูณแบบลากรองจ์ ในการคำนวณหาค่านั้นปัญหาดูอัลสามารถแยกออกเป็นปัญหาย่อย (subproblem) โดยแต่ละปัญหาย่อยเกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งเครื่อง หาผลลัพธ์ของแต่ละปัญหาย่อยโดยมีข้อจำกัดเฉพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะแทนลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ เมื่อรวมผลลัพธ์ของปัญหาย่อยเพื่อหาค่าสูงสุดของปัญหาดูอัล ถ้าหากว่ายังไม่ได้ค่าสูงสุดหรือค่าใกล้เคียง จะต้องปรับค่าตัวคูณแบบลากรองจ์แล้วทำการคำนวณแต่ละปัญหาย่อยซ้ำอีกเรื่อยไป จนกระทั่งได้ค่าที่เหมาะสมของปัญหาดูอัล

จากคุณสมบัติของปัญหาดูอัล ค่าที่เหมาะสมของปัญหาดูอัลจะเป็นขอบเขตล่าง (lower bound) ของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์หรือปัญหาพรีมัล การเบี่ยงเบนของค่าที่เหมาะสมของปัญหาดูอัลจากผลลัพธ์ของปัญหาพรีมัล เรียกว่าช่องว่างของดูอัล (duality gap) ซึ่งจะมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้น โดยทั่วไป ช่องว่างของดูอัลจะมีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซนต์ [5] และสำหรับระบบขนาดใหญ่จะมีค่าน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซนต์ [6] ซึ่งดีเพียงพอสำหรับการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ

จากการศึกษา เทคนิคการคำนวณค่ายูนิตคอมมิตเมนต์แบบต่างๆ [12] พบว่า มีเฉพาะเทคนิควิธี Bender Decomposition และวิธีรีแล็กเซชันแบบลากรองจ์เท่านั้น ที่มีความสามารถในการหาผลลัพธ์สำหรับระบบขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่วิธีรีแล็กเซชันแบบลากรองจ์มีข้อดีเพิ่มเติมที่เหนือกว่า วิธี Bender Decomposition ก็คือ มีความคล่องตัวในการรับข้อจำกัดชนิดต่างๆเพิ่มได้ดีกว่า [12] และสามารถเพิ่มข้อจำกัดของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ง่าย [7] จากการศึกษาและแนวเหตุผลดังกล่าวมาข้างต้น ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกใช้วิธีรีแล็กเซชันแบบลากรองจ์สำหรับการคำนวณค่ายูนิตคอมมิตเมนต์ในระบบขนาดใหญ่