

บทที่ 3

ทฤษฎีและบทวิเคราะห์ไดแนมิกโปรแกรมมิ่ง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีของไดแนมิกโปรแกรมมิ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมและการนำทฤษฎีของไดแนมิกโปรแกรมมิ่งมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการปรับปรุงพัฒนาอัลกอริทึมของไดแนมิกโปรแกรมมิ่งเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการหาคำตอบ และในด้านการประหยัดหน่วยความจำที่ใช้สำหรับการคำนวณ โดยเทคนิคการซุม

3.1 วิธีไดแนมิก โปรแกรมมิ่งสำหรับการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า

วิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งมีความแตกต่างจากวิธีการคำนวณเดิมที่มีพื้นฐานจากสมการลากรางซ์ ซึ่งมีข้อจำกัดในการคำนวณเฉพาะหน่วยผลิตไฟฟ้าที่มีกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่สำหรับวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนั้นไม่มีข้อจำกัดใดๆ จากลักษณะกราฟอัตราต้นทุนดังกล่าว ทำให้สามารถใช้กราฟรูปแบบต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการทดสอบจากการผลิตไฟฟ้าจริง เพื่อสะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริงจากลักษณะเฉพาะทางกายภาพของหน่วยผลิตนั้นๆ

วิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งจะช่วยลดขั้นตอนการปรับเปลี่ยนลักษณะกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงให้ตรงตามข้อกำหนดจากการใช้วิธีการคำนวณเดิม เช่น การปรับกราฟให้มีลักษณะแบน หรือการปรับส่วนของกราฟที่มีอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่มีค่าสูงขึ้นอย่างไม่ต่อเนื่อง เช่น ตำแหน่งการปิด/เปิดลิ้นไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งขบวนการในการปรับเปลี่ยนดังกล่าวทำให้ไม่ได้ผลการจัดการผลิตไฟฟ้าที่ถูกต้อง

เนื่องจากความยืดหยุ่นจากการคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนี้ สามารถนำไปพัฒนา ร่วมกับระบบการตรวจสอบและปรับค่าต้นทุนการผลิตอัตโนมัติได้ ทำให้การจัดการผลิตไฟฟ้ามีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ข้อดีของการประยุกต์ใช้วิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ คือความสามารถในการคำนวณหาคำตอบที่ถูกต้องได้โดยไม่คำนึงถึงลักษณะของกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิง อีกทั้งการคำนวณโดยใช้วิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนั้น สามารถพิจารณาการจัดกำลังการผลิตร่วมกับผลการทำนายความต้องการโหลดระยะสั้น และอัตราากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ ทำให้การจัดกำลังการผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.1.1 เมื่อไม่คำนึงถึงความเสี่ยงในระบบส่ง

สามารถพิจารณาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$C_n(D) = \min \{C_{n-1} * (D - P_{g,i}) + C_i(P_{g,i})\} \quad (3.1)$$

โดยที่ $C_n(D)$ คือค่าผลรวมต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดสำหรับการผลิตไฟฟ้าปริมาณ D เมกกะวัตต์ ด้วยหน่วยผลิตลำดับ $n, n-1, n-2, \dots, 1$

ถ้ากำหนดให้ขนาดลำดับช่วง (Δ) ของกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตเท่ากับขนาดลำดับช่วงปริมาณความต้องการโหลด ในช่วงเวลาหนึ่ง ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\min} \leq P_D \leq \sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\max} \quad (3.2)$$

เทคนิคการคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนั้น จะพิจารณาแยกการคำนวณออกเป็นขั้นๆ โดยที่แต่ละขั้นของการคำนวณจะเทียบได้กับกำลังการผลิตไฟฟ้าของแต่ละหน่วยผลิต ที่ไม่ต้องเรียงตามลำดับหน่วยผลิตไฟฟ้า และขั้นการคำนวณแรก ($n=1$) จะใช้หน่วยผลิตที่ 1 ในการคำนวณ โดยจะพิจารณาถึงต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในแต่ละหน่วยผลิตที่แปรเปลี่ยนไปตามกำลังการผลิตในช่วงต่างๆ ซึ่งถ้ากำลังการผลิตที่คำนวณได้มีค่าเกินกว่ากำลังการผลิตที่ผลิตได้จริงของแต่ละหน่วยผลิต จะกำหนดให้มีค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงสูงเป็นอนันต์

ในขั้นการคำนวณที่ 2 จะใช้หน่วยผลิตที่ 1 และ 2 ในการคำนวณ และจากสมการที่ 1 จะกำหนดให้ค่า $n=2$ ซึ่งแสดงอยู่ในรูปเมตริกซ์ 2 มิติ โดยที่มีค่าตามสมการที่ 1 จากการคำนวณค่าความต้องการโหลดและกำลังการผลิตในหน่วยการผลิตที่ 2 สำหรับช่วงการผลิตที่แบ่งไว้โดยขนาดลำดับช่วง (Δ) วิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งจะค้นหาตำแหน่งการผลิตในขั้นการคำนวณที่ 2 ที่มีต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม $C_2(P_D)$ ที่ถูกที่สุด

สำหรับการคำนวณในขั้นการคำนวณที่ n นั้น จะใช้หน่วยผลิตที่ $1, 2, \dots, n$ ตามลำดับ และแสดงอยู่ในรูปเมตริกซ์ 2 มิติ โดยที่ค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตนั้นคำนวณได้จากสมการที่ 1 และเมื่อขั้นการคำนวณสุดท้ายสิ้นสุดลง จะใช้ตำแหน่งของเมตริกซ์ที่ชี้ไปยังค่าความต้องการโหลด เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการค้นหาค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ย้อนกลับไปยังเมตริกซ์ที่ได้จากขั้นการคำนวณแรก ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหานี้จะทำให้ทราบถึงค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด $C_n(P_D)$ ในการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการโหลด P_D และค่ากำลังการผลิตในแต่ละหน่วยผลิต $P_{g,i}$

3.1.2 เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง

เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง จะใช้วิธีการหาค่าความสูญเสียในระบบจากค่าแฟกเตอร์การปรับโทษโดยในรอบคำนวณแรกนั้น จะเริ่มจากการคำนวณจากวิธีข้างต้น โดยเมื่อได้ค่ากำลังการผลิตเริ่มต้นในแต่ละหน่วยผลิตแล้ว จะคำนวณหาความสูญเสียในระบบส่งและค่าการปรับโทษจากสมการ

$$PF_n = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}} \quad (3.3)$$

ในรอบการคำนวณที่ 2 นั้น จะปรับเปลี่ยนฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต โดยการคูณค่าการปรับโทษ เพื่อชดเชยความสูญเสียในระบบส่งที่เกิดขึ้นจากค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตนั้น และคำนวณจากวิธีข้างต้น โดยปรับเปลี่ยนค่าความต้องการโหลดเป็น

$$C'_n = C_n * PF_{n,i-1} \quad (3.4)$$

$$P'_D = P_D + P_L \quad (3.5)$$

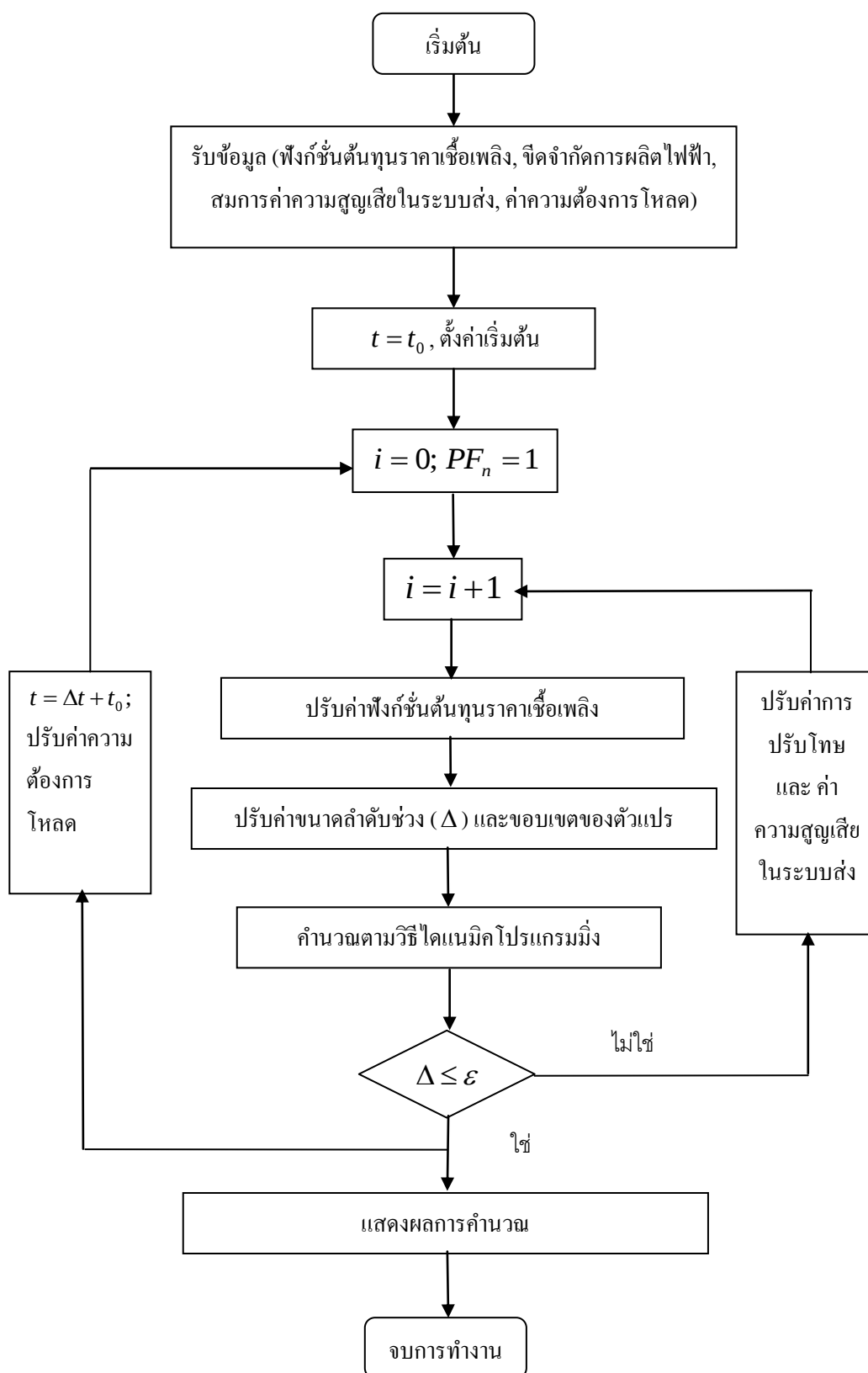
ในรอบการคำนวณต่อไปนั้น จะเปลี่ยนแปลงค่าความสูญเสียในระบบส่งและการปรับโทษอีกครั้ง จากค่ากำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตที่ได้จากรอบการคำนวณที่แล้ว โดยการคำนวณจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งค่าความผิดพลาดในการคำนวณน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดในการคำนวณที่กำหนดไว้ ขั้นตอนการคำนวณทั้งหมดสรุปได้ดังรูปที่ 3.1

3.2 เทคนิคการหาค่าสำหรับการคำนวณวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่ง

การแก้ไขปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนั้น มีจุดเด่นในเรื่องการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นกับชนิดหรือประเภทของลักษณะกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งไม่ใช้วิธีการหาอนุพันธ์เป็นแนวทางในการหาคำตอบของปัญหา อีกทั้งยังสามารถใช้การคำนวณวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งร่วมกับผลของการทำนายความต้องการโหลดระยะสั้น, ข้อจำกัดการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต หรือข้อจำกัดอื่นๆ ในการคำนวณหาแผนการเดินเครื่องที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

เนื่องจากพื้นฐานของการคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งที่ใช้การค้นหาคำตอบจากการแบ่งลำดับขั้นของตัวแปรออกเป็นส่วนย่อย ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับขนาดของการแบ่งส่วนดังกล่าว โดยถ้าทำการแบ่งลำดับขั้นตัวแปร (กำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้า) ให้ละเอียดมากขึ้นเท่าไร ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสูงมากยิ่งขึ้น แต่ก็จะต้องใช้เวลาและหน่วยความจำในการคำนวณสูงขึ้นไปด้วยลำดับ

เทคนิคการหาค่าจะช่วยลดเวลาและหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการคำนวณโดยใช้วิธีการขยายขอบเขตของลำดับขั้นตัวแปรในรอบการคำนวณใหม่ ให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละรอบการคำนวณเดิม จากการปรับค่าความละเอียดการแบ่งลำดับขั้นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการขยาย โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการคำนวณดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการคำนวณตามวิธีไดนามิก โปรแกรมมิ่งเมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง

ในรอบการคำนวณแรก (ไม่คิดความสูญเสียในระบบส่ง) และรอบการคำนวณที่สองนั้น จะใช้ค่าขนาดลำดับช่วง (Δ_t) ในการแบ่งช่วงค่าความต้องการโหลดและกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตออกเป็นค่าย่อย และทำการค้นหาตำแหน่งการผลิตที่เหมาะสมโดยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่ง จนกระทั่งหลังจากรอบการคำนวณที่สอง ค่าขนาดลำดับช่วงจะถูกปรับเปลี่ยนให้มีค่าน้อยลงตามสมการ

$$\Delta_t = \Delta_{t-1} / K_\Delta \quad (3.6)$$

โดยที่ K_Δ คือค่าแฟกเตอร์การปรับขนาดลำดับช่วง โดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่า 1

และช่วงของกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต จะถูกปรับเปลี่ยนตามสัดส่วนกับค่าขนาดลำดับช่วงที่ลดลงจากรอบการคำนวณเดิม โดยใช้ค่ากำลังการผลิตที่คำนวณได้จากรอบการคำนวณเดิม เป็นตำแหน่งศูนย์กลางในการลดช่วงกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตสำหรับการคำนวณในรอบต่อไป จากสมการ

$$P_{g,n,i-1} - \Delta_i * (N_p / 2) \leq P_{g,n,i} \leq P_{g,n,i-1} + \Delta_i * (N_p / 2) \quad (3.7)$$

โดยที่ N_p คือจำนวนค่ากำลังการผลิตที่แบ่งออกเป็นขั้น ตามขนาดลำดับช่วงที่กำหนดไว้

จากการปรับค่าขนาดลำดับช่วงให้มีค่าลดลงตามรอบการคำนวณ จะพบว่าผลของการแบ่งช่วงจะมีค่าที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นจากรอบการคำนวณเดิม ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความละเอียดสูงขึ้นไปด้วยตามลำดับ แต่ขนาดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณ จะไม่เพิ่มขึ้นตาม ทำให้สามารถลดการใช้หน่วยความจำลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งเดิมที่ใช้ค่าขนาดลำดับช่วงเล็กในรอบการคำนวณทั้งหมด

ตัวอย่างเช่นถ้าใช้ค่าขนาดลำดับช่วงเริ่มต้นเท่ากับ 100 เมกกะวัตต์ และค่าแฟกเตอร์การปรับขนาดลำดับช่วงเท่ากับ 5 ภายหลังจากเริ่มการคำนวณ ค่าขนาดลำดับช่วง จะลดลงเป็น 20, 4, 0.8, 0.16, ... ตามลำดับ

โดยถ้าตำแหน่งการผลิตของหน่วยผลิตใดที่อยู่ในช่วงขอบของช่วงการผลิต (ขีดจำกัดต่ำสุด/สูงสุดในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตนั้น) จะใช้ช่วงการผลิตที่อยู่นอกช่วงการผลิตของโรงไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ แต่ค่าต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต ณ ตำแหน่งดังกล่าวจะกำหนดให้มีค่าเป็นอนันต์

ข้อพึงระวังในการคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งคือ ลักษณะของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่เรียงติดกันนั้น จะต้องไม่เหมือนกันโดยสิ้นเชิง กล่าวคือช่วงการผลิตไฟฟ้าและฟังก์ชันต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่เรียงติดกัน เช่นในกรณี $P_{g,n-1}$ และ $P_{g,n}$ หรือในกรณี $P_{g,n}$ และ $P_{g,n+1}$ จะทำให้ในระหว่างแต่ละขั้นการคำนวณไม่สามารถหาคำตอบได้

3.2.1 หน่วยความจำที่ใช้ในเทคนิคการซุ่มสำหรับวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่ง

การคำนวณตามวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนั้น ส่วนใหญ่จะใช้หน่วยความจำในการจัดเก็บเมตริกซ์ค่าต้นทุนการผลิตในทุกขั้นการคำนวณ ซึ่งขนาดของเมตริกซ์ดังกล่าวจะแปรผันตามจำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า และค่าขนาดลำดับช่วงที่ใช้ในการแปลงค่ากำลังการผลิต โดยสำหรับขั้นการคำนวณสุดท้าย ขนาดของแถวเมตริกซ์ในแนวนอน แสดงได้เป็นสมการ

$$COLs = \max_i (P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^{\min}) / \Delta \quad (3.8)$$

และขนาดของแถวเมตริกซ์ในแนวตั้ง แสดงได้เป็นสมการ

$$ROWS = \left(\sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\max} - \sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\min} \right) / \Delta \quad (3.9)$$

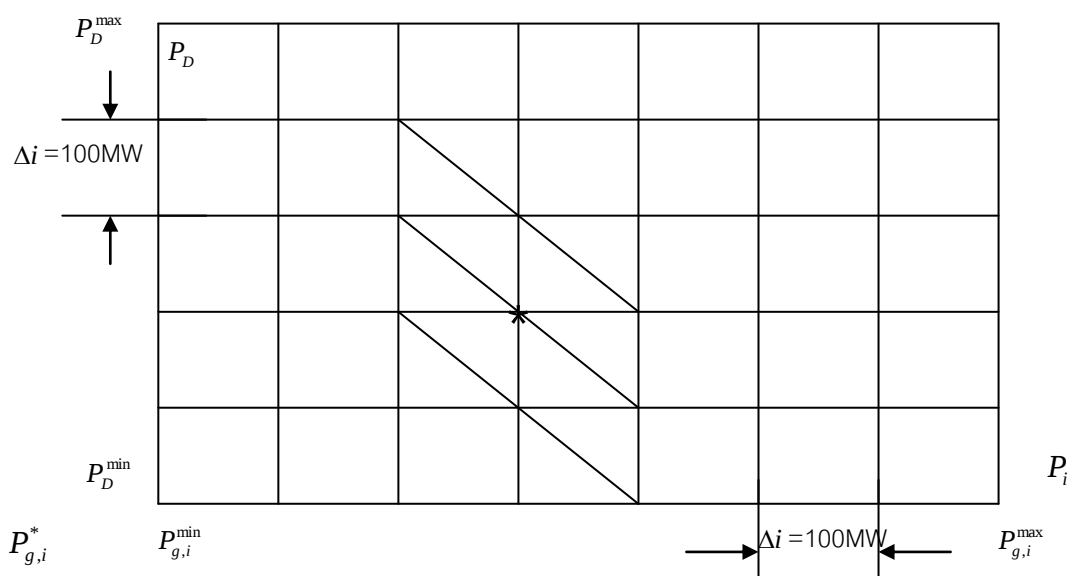
3.3 การคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งร่วมกับผลการทำนายความต้องการโหลดระยะสั้น

วิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งสามารถใช้คำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า ณ. เวลาปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ได้ โดยใช้ร่วมกับผลจากการทำนายโหลดระยะสั้น ในคาบเวลาประมาณ 2-5 นาที จนถึง 30-120 นาที ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนการผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การคำนวณจะเป็นไปตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 โดยปรับเปลี่ยนค่าความต้องการโหลดอัตโนมัติจากผลของการทำนาย และปรับปรุงการคำนวณซ้ำตามคาบการคำนวณ ข้อจำกัดในการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตจะสามารถรวมเข้าในการคำนวณได้โดยใช้วิธีการปรับช่วงกำลังการผลิตจากกำลังการผลิตเริ่มต้นของแต่ละหน่วยผลิต ดังสมการ

$$P_{g,i}(t) - DR_i \leq P_{g,i}(t+1) \leq P_{g,i}(t) + UR_i \quad (3.10)$$

ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับความต้องการโหลดล่วงหน้า ภายใต้ข้อจำกัดขีดความสามารถในการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตของทุกหน่วยผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 ลักษณะการหมุนในรอบการคำนวณที่ 1 และ 2