

## บทที่ 4

### การจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า

#### โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

#### 4.1 แนวคิดในการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า

เชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในระบบไฟฟ้ามีหลายประเภท เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถ่านหิน เป็นต้น เชื้อเพลิงที่นำมาใช้เหล่านี้บางส่วนถูกขนส่งผ่านมาทางท่อก๊าซ หรือขนส่งผ่านเรือเดินทะเลทำให้เสียเวลาในการเดินทางและปริมาณที่ขนส่งได้ในแต่ละครั้งก็มีจำนวนจำกัด หากไม่มีการวางแผนการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ เชื้อเพลิงเหล่านี้มีราคาถูกอาจมีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการและทำให้ต้องเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นซึ่งมีราคาแพงกว่าแทน นอกจากนี้ข้อจำกัดในการขนส่งแล้ว สัญญาการใช้เชื้อเพลิง (Fuel contract) ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงมีจำกัด สัญญาเหล่านี้เป็นข้อตกลงการซื้อขายเชื้อเพลิงระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้ากับผู้จำหน่ายเชื้อเพลิงโดยปริมาณเชื้อเพลิงที่ตกลงซื้อขายกันจะกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้า หากไม่มีการวางแผนที่ดีพอ ผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องรับซื้อปริมาณเชื้อเพลิงตามที่กำหนดแม้ในบางครั้งอาจจะไม่มีความจำเป็นต้องซื้อก็ตาม ในขณะที่เดียวกันผู้ขายก็ต้องจัดหาเชื้อเพลิงให้ครบถ้วนตามที่ตกลงกันไว้ด้วย

การวางแผนการใช้เชื้อเพลิง (Fuel scheduling) เป็นการวางแผนล่วงหน้าว่าจะใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิดเป็นปริมาณเท่าใดซึ่งโดยทั่วไปจะวางแผนล่วงหน้าเป็นสัปดาห์ การจัดสรรเชื้อเพลิงในระบบผลิตไฟฟ้าเป็นการหาจุดทำงานและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง หรือโรงไฟฟ้าแต่ละโรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เชื้อเพลิงที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุดและให้เป็นไปตามแผนการใช้เชื้อเพลิงที่วางไว้ โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ในขณะที่เดียวกันกำลังการผลิตที่ได้ก็ต้องเพียงพอต่อความต้องการและมีการทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

ประเด็นปัญหาในการจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3 คือ การกำหนดสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และการกำหนดค่ากำลังการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ซึ่งจะเห็นว่าคุณสมบัติปัญหาจะประกอบด้วยการทำยูนิตคอมมิทเมนต์ (Unit commitment) และการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) แต่เนื่องจากการวางแผนจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า จะให้ความสำคัญกับปัญหาและเงื่อนไขด้านเชื้อเพลิงเป็นหลัก ดังนั้น โดยทั่วไป เราจึงให้

ความสำคัญกับเงื่อนไขทางด้านเชื้อเพลิงมากกว่าการทำยูนิตคอมมิทเมนต์และการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยทั่วไป ในขณะที่เดียวกันก็จะละเลยเงื่อนไขบางอย่างที่ไม่จำเป็นออกไป ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของข้อแตกต่างระหว่างการจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กับการทำยูนิตคอมมิทเมนต์และการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบที่ทำกันโดยทั่วไป ได้ดังนี้

1. การจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพิจารณาโหลดเฉลี่ยทุกๆ 6 ชั่วโมง ในขณะที่การทำยูนิตคอมมิทเมนต์และการจ่ายโหลดอย่างประหยัด พิจารณาโหลดเป็นรายชั่วโมง
2. การจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพิจารณาโหลดทั้งสัปดาห์ ในขณะที่การทำยูนิต คอมมิทเมนต์และการจ่ายโหลดอย่างประหยัด พิจารณาโหลดอย่างมากแค่หนึ่งวัน
3. การจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเป็นการวางแผนระยะกลาง ในขณะที่การทำยูนิต คอมมิทเมนต์และการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเป็นการวางแผนระยะสั้น
4. การจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพิจารณาปริมาณเชื้อเพลิงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องใช้ ซึ่งอาจเป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียวหรือเชื้อเพลิงแบบผสมกันได้ ในขณะที่การทำยูนิตคอมมิทเมนต์และการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพิจารณาเฉพาะกำลังที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้น โดยไม่สนใจชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้
5. การจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพิจารณาเงื่อนไขขีดความสามารถในการส่งเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติของแต่ละแหล่งในแต่ละวันหรือในแต่ละโรงไฟฟ้า
6. การจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพิจารณาเงื่อนไขปริมาณการใช้เชื้อเพลิงบางชนิด สำหรับโรงไฟฟ้าบางโรง เช่น ชีดจำกัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาสำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนในแต่ละวันหรือสัปดาห์

## 4.2 การกำหนดปัญหา

### 4.2.1 นิยามตัวแปร

$Load(t)$	: โหลดของระบบ ณ เวลา $t$ (MW)
$Reserve(t)$	: กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่ระบบต้องการ ณ เวลา $t$ (MW)
$H_i(.)$	: อัตราความร้อนของเครื่องพลังงานความร้อน $i$ (Mbtu/Hr)
$N$	: จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
$T$	: จำนวนช่วงระยะเวลาในการจัดสรรเชื้อเพลิง (คาบ)
$i$	: ดัชนีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$t$	: ดัชนีช่วงระยะเวลา
$U_i(t)$	: สถานการณ์เดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ณ เวลา $t$
$P_i(t)$	: กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ณ เวลา $t$ (MW)
$FC_i$	: ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ( $\$/\text{Mbtu}$ )
$FSC_i$	: ค่าใช้จ่ายคงที่ในการเริ่มเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ( $\$$ )
$SFC_i$	: ค่าใช้จ่ายผันแปรในการเริ่มเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ( $\$$ )
$x_i(t)$	: สภาวะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ณ เวลา $t$ (ค่านี้เป็นระยะเวลาการเดินเครื่อง (+) หรือ หยุดเดินเครื่อง (-) ติดต่อกัน)
$\tau_i$	: ค่าคงตัวเวลาการปลดปล่อยความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ (Hr)
$MUP_i$	: ขีดจำกัดเวลาเดินเครื่องน้อยที่สุด (คาบ)
$MDN_i$	: ขีดจำกัดเวลาหยุดเดินเครื่องน้อยที่สุด (คาบ)
$P_i^{\min}, P_i^{\max}$	: กำลังผลิตต่ำสุด สูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ (MW)
$M_g$	: เซตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงแบบผสม
$N_g$	: เซตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงชนิดเดียว
$H_i(t)$	: ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ $i$ ณ เวลา $t$ (Mbtu)
$Q_k(j)$	: ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งเชื้อเพลิง $k$ ตลอดช่วงระยะเวลา $j$ (Fuel unit)
$Q_k^{\min}(j), Q_k^{\max}(j)$	: ขีดจำกัดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่ำสุด สูงสุดจากแหล่งเชื้อเพลิง $k$ ตลอดช่วงระยะเวลา $j$ (Fuel unit)
Fuel unit	: น้ำมัน (ลิตร), ถ่านหิน ลิกไนต์ (ตัน), ก๊าซธรรมชาติ (ลูกบาศก์ฟุต)
$\gamma_i(t)$	: สัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแบบผสม เครื่องที่ $i$ ณ เวลา $t$ โดย $0 \leq \gamma_i(t) \leq 1$
$\gamma_i^{\min}(t), \gamma_i^{\max}(t)$	: สัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงต่ำสุด สูงสุด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแบบผสม เครื่องที่ $i$ ณ เวลา $t$

#### 4.2.2 ฟังก์ชันเป้าหมาย

$$\text{Min} \sum_{i=1}^T \sum_{i=1}^N [F_i(P_i(t)) \cdot U_i(t) + StCost_i(t)] \quad (4.1)$$

$$\text{โดยที่ } F_i(P_i(t)) = H_i(P_i(t)) \cdot FC_i, \quad \text{เมื่อ } i \in N_g \quad (4.2)$$

$$F_i(P_i(t)) = H_i^{fuel_1}(P_i(t), \gamma_i(t)) \cdot FC_i^{fuel_1} + H_i^{fuel_2}(P_i(t), \gamma_i(t)) \cdot FC_i^{fuel_2} \text{ เมื่อ } i \in M_g \quad (4.3)$$

$$H_i^{fuel_1}(P_i(t), \gamma_i(t)) = \gamma_i(t) \cdot [\gamma_i(t) \cdot H_i^{fuel_1}(P_i(t)) + (1 - \gamma_i(t)) \cdot H_i^{fuel_1}(P_i(t))] \quad (4.4)$$

$$H_i^{fuel_2}(P_i(t), \gamma_i(t)) = (1 - \gamma_i(t)) \cdot [\gamma_i(t) \cdot H_i^{fuel_1}(P_i(t)) + (1 - \gamma_i(t)) \cdot H_i^{fuel_1}(P_i(t))] \quad (4.5)$$

หมายเหตุ : ที่มาของสมการที่ 4.4 และ 4.5 แสดงในหัวข้อที่ 4.5.1

$$StCost_i(t) = U_i(t) \cdot (1 - U_i(t-1)) \cdot [FST_i + SFC_i \cdot (1 - e^{-x_i(t-1)/\tau_i})] \quad (4.6)$$

โดย  $F_i(P_i(t)) \cdot U_i(t)$  คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องที่  $i$  ณ เวลา  $t$  (฿)

$StCost_i(t)$  คือ ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องของเครื่องที่  $i$  ณ เวลา  $t$  (฿)

#### 4.2.3 เงื่อนไขบังคับ

โหลด:

$$\sum_{i=1}^N P_i(t) \cdot U_i(t) = Load(t) \quad (4.7)$$

กำลังผลิตสำรอง:

$$\sum_{i=1}^N P_i^{max}(t) \cdot U_i(t) \geq Load(t) + Reserve(t) \quad (4.8)$$

ขีดจำกัดเวลาเดินเครื่อง, หยุดเดินเครื่องต่ำสุด (Minimum up time /down time):

$$U_i(t) = 1 \text{ ถ้า } 1 \leq x_i(t) \leq MUP_i \quad (4.9)$$

$$U_i(t) = 0 \text{ ถ้า } -MDN_i \leq x_i(t) \leq -1 \quad (4.10)$$

ขนาดกำลังผลิต:

$$P_{min_i} \cdot U_i(t) \leq P_i \cdot U_i(t) \leq P_{max_i} \cdot U_i(t) \quad (4.11)$$

ขีดจำกัดสัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิง:

$$\gamma_i^{min}(t) \leq \gamma_i(t) \leq \gamma_i^{max}(t) \text{ เมื่อ } i \in M_g \quad (4.12)$$

เงื่อนไขปริมาณเชื้อเพลิง:

$$Q_k^{min}(j) \leq Q_k(j) \leq Q_k^{max}(j) \quad (4.13)$$

#### 4.3 การแปลงปัญหา (Problem Transformation)

ในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าเหมาะสม (Optimization) เราจะต้องเขียนปัญหาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ทั่วไป ดังนี้

$$\text{Minimize} \quad F(x) \quad (4.14)$$

$$\text{Subject to} \quad g_i(x) \geq 0 \quad (4.15)$$

$$h_i(x) = 0 \quad (4.16)$$

โดย  $F(x)$  คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย (สมการที่ 4.1)

$g_i(x)$  คือ ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ (สมการที่ 4.8 – 4.13)

$h_i(x)$  คือ ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับแบบสมการ (สมการที่ 4.7)

จากปัญหาค่าเหมาะสมแบบมีเงื่อนไขบังคับข้างต้น สามารถแปลงให้เป็นปัญหาค่าเหมาะสมแบบไม่มีเงื่อนไขบังคับได้โดยการแปลงฟังก์ชันเป้าหมายใหม่ได้ดังสมการ

$$f(x) = F(x) + \varphi(x) \quad (4.17)$$

โดย  $\varphi(x)$  คือ ฟังก์ชันการปรับโทษ (Penalty function)

#### 4.4 ฟังก์ชันการปรับโทษ (Penalty Function) [13]

ฟังก์ชันการปรับโทษเป็นเทคนิคที่ใช้รวมผลของเงื่อนไขบังคับของตัวแปรเข้ากับฟังก์ชันเป้าหมายในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสม ฟังก์ชันการปรับโทษเป็นการทำให้ตัวแปรที่ใช้ในปัญหาค่าเหมาะสมมีค่าอยู่ในขอบเขตของตัวเองหรืออยู่นอกขอบเขตได้เล็กน้อยขึ้นกับขนาดของการปรับโทษ

หลักการของการปรับโทษ คือ จะอนุญาตให้ตัวแปร  $x_k$  ในการคำนวณแต่ละรอบออกนอกเขตคำตอบได้ แต่จะมีผลทำให้ฟังก์ชันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนในที่สุดเมื่อหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจะทำให้ตัวแปรเข้าสู่เขตคำตอบ (เขตคำตอบ หมายถึง เขตของตัวแปร  $x_k$  ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมดของปัญหา)

หลักการสำคัญของวิธีการนี้ คือ ต้องเปลี่ยนฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับแบบอสมการและฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับแบบสมการเป็นฟังก์ชัน  $\varphi(x)$  ซึ่งมีสมบัติ ดังนี้

$$\varphi(x) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \in \text{feasible set} \\ \infty & \text{for } x \notin \text{feasible set} \end{cases} \quad (4.18)$$

ฟังก์ชัน  $\varphi(x)$  มีหลายรูปแบบ สำหรับฟังก์ชันที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกใช้รูปแบบสมการ ดังนี้

$$\varphi(x) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m k_i^h |h_i(x)|^q \\ \sum_{i=1}^n k_i^g |\min(g_i(x), 0)|^r \end{cases} \quad (4.19)$$

โดยที่  $m$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับแบบสมการ  
 $n$  คือ จำนวนเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ  
 $k_i^h, k_i^g$  คือ สัมประสิทธิ์การปรับโทษ (Penalty factor) ซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดของการปรับโทษ  
 $q, r$  คือ เลขจำนวนเต็ม

จากสมการตั้งต้น 4.14 – 4.16 โดยอาศัยสมการที่ 4.17 และสมการที่ 4.19 เราเขียนเป็นสมการฟังก์ชันเป้าหมายใหม่เพื่อแก้ปัญหาค่าต่ำสุดได้ ดังนี้

$$f(x) = F(x) + \sum_{i=1}^m k_i^h |h_i(x)|^q + \sum_{i=1}^n k_i^g |\min(g_i(x), 0)|^r \quad (4.20)$$

การเลือกค่า  $k_i^h, k_i^g$  และ  $q, r$  มีหลักดังนี้

- 1) กรณีที่  $q, r < 1$  ขนาดของการปรับโทษจะน้อยเกินไปซึ่งทำให้คำตอบที่ได้ อาจจะไม่อยู่นอกขอบเขตของเงื่อนไขบังคับได้ ดังนั้นโดยทั่วไปนิยมใช้  $q, r \geq 1$
- 2) กรณีที่  $q, r = 1$  จะเรียกว่า Exact Penalty function  $\square$  ทั้งนี้เนื่องจากจะมีค่า  $k_i^h, k_i^g$  ที่มากพออยู่ค่าหนึ่งที่ทำให้คำตอบของฟังก์ชันที่ถูกปรับโทษแล้ว

เป็นคำตอบจริงของฟังก์ชันเป้าหมายเดิม แต่ว่าการปรับโทษด้วยวิธีนี้จะทำให้ฟังก์ชันที่จะแก้ปัญหาค่าเหมาะสมไม่ต่อเนื่องภายหลังการปรับโทษแล้ว

- 3) กรณีที่  $q, r > 1$  ในกรณีนี้ฟังก์ชันที่จะแก้ปัญหาค่าเหมาะสม จะเป็นฟังก์ชันต่อเนื่องภายหลังการปรับโทษ ดังนั้นจึงใช้ได้กับเทคนิคการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมทุกชนิด แต่ว่าการปรับโทษด้วยวิธีนี้ในทางทฤษฎีค่า  $k_i^h, k_i^g$  ต้องมีค่าอนันต์ (Infinity) เท่านั้น คำตอบของฟังก์ชันภายหลังการปรับโทษตามสมการที่ 4.17 จึงจะเป็นคำตอบจริงของปัญหาเดิม

สำหรับปัญหาค่าเหมาะสมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจำนวนเงื่อนไขบังคับทั้งแบบสมการและแบบอสมการค่อนข้างหลากหลายและมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการเลือกค่า  $k_i^h, k_i^g$  และ  $q, r$  จะต้องมีการพิจารณาอย่างละเอียดและทดสอบผลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมมาใช้ต่อไป

#### 4.5 ขั้นตอนการแก้ปัญหา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในการแก้ปัญหาค่าจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า มีขั้นตอนดังนี้

##### 4.5.1 การกำหนดตัวแปร

สำหรับตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในการแก้ปัญหาค่าจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ตัวแปรสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง  $U_i(t)$  ตัวแปรจุดทำงานหรือกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง  $P_i(t)$  และตัวแปรสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแบบผสม  $Y_i(t)$

- 1) ตัวแปรสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง  $U_i(t)$

$U_i(t)$  คือสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยจะมีค่าเป็น 1 เมื่อกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  มีสถานะ ON ในช่วงเวลา  $t$  และมีค่าเป็น 0 เมื่อกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  มีสถานะ OFF ในช่วงเวลา  $t$  ดังนั้นจำนวนตัวแปร  $U_i(t)$  ทั้งหมดในระบบ มีจำนวนทั้งสิ้น  $N \times T$  ตัวแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.1

	1	2	3	4	5	.....	T
Unit 1	0	0	1	1	1	.....	0
Unit 2	0	1	1	1	0	.....	1
Unit 3	1	1	0	0	0	.....	1
⋮	⋮				⋮		⋮
Unit N	1	0	0	1	1	.....	0

รูปที่ 4.1 ตัวแปร  $U_i(t)$ 

2) ตัวแปรจุดทำงานหรือกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง  $P_i(t)$

$P_i(t)$  เป็นตัวกำหนดจุดทำงานหรือกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  ในแต่ละช่วงเวลา  $t$  ดังนั้นจำนวนตัวแปร  $P_i(t)$  ทั้งหมดในระบบ มีจำนวนทั้งสิ้น  $N \times T$  ตัวแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.2

	1	2	3	4	5	.....	T
Unit 1	$P_1(1)$	$P_1(2)$	$P_1(3)$	$P_1(4)$	$P_1(5)$	.....	$P_1(T)$
Unit 2	$P_2(1)$	$P_2(2)$	$P_2(3)$	$P_2(4)$	$P_2(5)$	.....	$P_2(T)$
Unit 3	$P_3(1)$	$P_3(2)$	$P_3(3)$	$P_3(4)$	$P_3(5)$	.....	$P_3(T)$
⋮	⋮				⋮		⋮
Unit N	$P_N(1)$	$P_N(2)$	$P_N(3)$	$P_N(4)$	$P_N(5)$	.....	$P_N(T)$

รูปที่ 4.2 ตัวแปร  $P_i(t)$ 

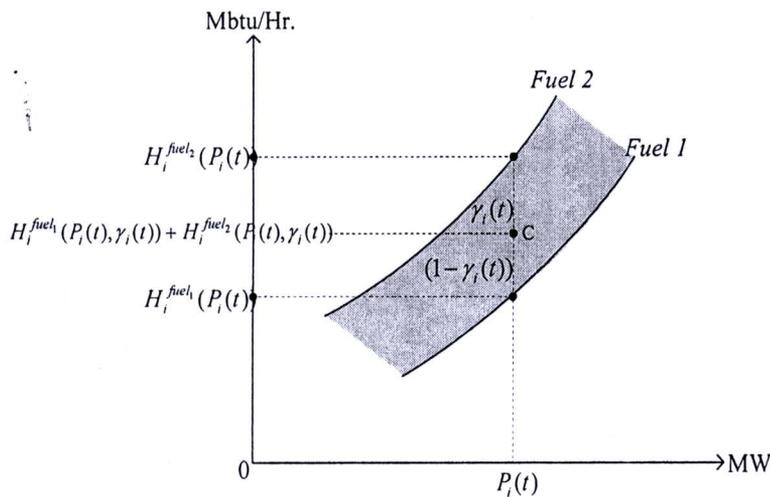
3) ตัวแปรสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $\gamma_i(t)$

$\gamma_i(t)$  เป็นตัวกำหนดสัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแบบผสม เครื่องที่  $i$  ณ เวลา  $t$  โดย  $0 \leq \gamma_i(t) \leq 1$ ,  $i \in M_G$  ดังนั้นจำนวนตัวแปร  $\gamma_i(t)$  ทั้งหมดในระบบ มีจำนวนทั้งสิ้น  $numM_G \times T$  ตัวแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.3

	1	2	3	4	5	.....	T
Unit 1	$\gamma_1(1)$	$\gamma_1(2)$	$\gamma_1(3)$	$\gamma_1(4)$	$\gamma_1(5)$	.....	$\gamma_1(T)$
Unit 2	$\gamma_2(1)$	$\gamma_2(2)$	$\gamma_2(3)$	$\gamma_2(4)$	$\gamma_2(5)$	.....	$\gamma_2(T)$
Unit 3	$\gamma_3(1)$	$\gamma_3(2)$	$\gamma_3(3)$	$\gamma_3(4)$	$\gamma_3(5)$	.....	$\gamma_3(T)$
⋮							
Unit M	$\gamma_M(1)$	$\gamma_M(2)$	$\gamma_M(3)$	$\gamma_M(4)$	$\gamma_M(5)$	.....	$\gamma_M(T)$

รูปที่ 4.3 ตัวแปร  $\gamma_i(t)$

ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $\gamma_i(t)$  กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด(Mbtu/Hr) แสดงดังในรูปที่ 4.4 และสมการที่ 4.21- 4.22



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $\gamma_i(t)$  กับปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแต่ละชนิด

เราสามารถหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (Mbtu/Hr) แต่ละชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแบบผสมเครื่องที่  $i$  ได้ดังสมการ

$$H_i^{fuel_1}(P_i(t), \gamma_i(t)) = \gamma_i(t) \cdot [\gamma_i(t) \cdot H_i^{fuel_1}(P_i(t)) + (1 - \gamma_i(t)) \cdot H_i^{fuel_2}(P_i(t))] \quad 4.21$$

$$H_i^{fuel_2}(P_i(t), \gamma_i(t)) = (1 - \gamma_i(t)) \cdot [\gamma_i(t) \cdot H_i^{fuel_1}(P_i(t)) + (1 - \gamma_i(t)) \cdot H_i^{fuel_2}(P_i(t))] \quad 4.22$$

โดย  $H_i^{fuel_1}(P_i(t), \gamma_i(t))$  คือ ปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดที่ 1 ที่กำลังผลิต  $P_i(t)$  และสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $\gamma_i(t)$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่  $i$

$H_i^{fuel_2}(P_i(t), \gamma_i(t))$  คือ ปริมาณความร้อนจากเชื้อเพลิงชนิดที่ 2 ที่กำลังผลิต  $P_i(t)$  และสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $\gamma_i(t)$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่  $i$

#### 4.5.2 การลงรหัส (Encoding)

หลังจากที่ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมแล้ว เราจะนำตัวแปรทั้งหมดมาทำการลงรหัสโดยอาศัยระบบเลขฐานสอง (0 และ 1) เป็นส่วนประกอบของโครโมโซมในการลงรหัส โดยจะอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.2

#### 4.5.3 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initialization)

เราจะแบ่งการกำหนดประชากรเริ่มต้นออกเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกันตามชนิดของตัวแปรดังนี้

(1) การกำหนดประชากรเริ่มต้นสำหรับตัวแปร  $U_i(t)$

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้หลักการเลือกเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเรียงตามลำดับ (Priority list) ในการกำหนดสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องหรือแนวโน้มการเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ  $U_i(t)$  โดยจะพิจารณาวิธีการเรียงลำดับการเดินเครื่อง 3 แบบด้วยกัน คือ

(ก) เรียงลำดับของต้นทุนการผลิตเฉลี่ยที่กำลังผลิตสูงสุด (Average full load cost)[8]

โดยวิธีนี้จะเรียงลำดับจากต้นทุนการผลิตต่ำไปหาต้นทุนการผลิตสูง โดยจะเริ่มจากเครื่องที่มีต้นทุนการผลิตต่ำก่อน แล้วค่อยๆ เพิ่มตามลำดับ จนได้กำลังผลิตรวมไม่น้อยกว่าความต้องการของระบบ การคำนวณหาต้นทุนการผลิตเฉลี่ยที่กำลังการผลิตสูงสุด (AFLC) สามารถกระทำได้โดยนำต้นทุนค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังผลิตสูงสุดหารด้วยกำลังผลิตสูงสุดดังสมการที่ 4.23

$$AFLC_i = \frac{F_i(P_{\max_i})}{P_{\max_i}} \quad (4.23)$$

โดย  $F_i(\cdot)$  คือ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่  $i$  (฿)

$P_{\max_i}$  คือ กำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่  $i$  (MW)

จากนั้นก็เลือกเดินเครื่องตามลำดับซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- คำนวณค่า AFLC ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่อง
- เรียงลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามค่า AFLC จากต่ำไปสูง
- ในแต่ละชั่วโมงของช่วงเวลาที่กำหนด พิจารณาโหลด และกำลังผลิตสำรองที่ระบบต้องการจากข้อมูลการพยากรณ์โหลด
- เลือกเดินเครื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามลำดับ AFLC จนกระทั่งผลรวมกำลังผลิตสูงสุดของทุกเครื่องที่ถูกเลือกมีค่าไม่น้อยกว่า ผลบวกของโหลดและกำลังผลิตสำรองของระบบ และ ผลรวมกำลังผลิตต่ำสุดของทุกเครื่องที่ถูกเลือกมีค่าไม่มากกว่าผลบวกของโหลดและกำลังผลิตสำรองของระบบ

(ข) เรียงลำดับตามค่าตัวประกอบโรงไฟฟ้า (Plant Factor) [12]

ค่าตัวประกอบโรงไฟฟ้าหมายถึงสัดส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจริงของโรงไฟฟ้าในช่วงเวลาที่สนใจ ต่อพลังงานที่ควรผลิตได้หากทำการผลิตที่ค่าพิกัด ตามสมการที่ 4.24

$$Plant\ Factor = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจริง}}{\text{ขนาดกำลังพิกัดของโรงไฟฟ้า} \times \text{ระยะเวลาเดินเครื่อง}} \quad (4.24)$$

เมื่อทราบค่าตัวประกอบกำลังของโรงไฟฟ้าทั้งหมดในระบบแล้วก็จะเลือกเดินเครื่องเช่นเดียวกับวิธี(ก) โดยจะเริ่มจากเครื่องที่มีค่าตัวประกอบโรงไฟฟ้าสูงสุดก่อนแล้วค่อยๆเพิ่มตามลำดับจนได้กำลังผลิตรวมไม่น้อยกว่าความต้องการของระบบ

(ค) เรียงลำดับตามชนิดของโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าที่นำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเท่านั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยโรงไฟฟ้าประเภทนี้จะใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ คือ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ (Steam Power Plant) โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ (Gas Turbine Power Plant) และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle Power Plant)

หลักการเลือกเดินเครื่องวิธีนี้ จะเลือกเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนรวมก่อนเป็นอันดับแรก หลังจากนั้นจะเลือกเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซ ตามลำดับจนได้กำลังผลิตรวมไม่น้อยกว่าความต้องการของระบบเช่นเดียวกับวิธีที่ (ก) และ (ข)

(2) การกำหนดประชากรเริ่มต้นสำหรับตัวแปร  $P_i(t)$ 

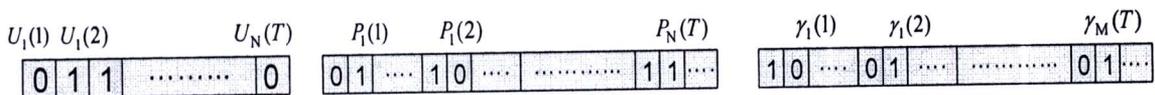
การกำหนดจุดทำงานหรือกำลังการผลิตเริ่มต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง  $P_i(t)$  ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กำหนดให้มีค่าที่ 70% - 90% ของค่าพิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

(3) การกำหนดประชากรเริ่มต้นสำหรับตัวแปร  $\gamma_i(t)$ 

สำหรับประชากรเริ่มต้นของตัวแปรสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $\gamma_i(t)$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ใช้เชื้อเพลิงแบบผสม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้เป็น 0 หรือ 1 นั่นคือเริ่มแรกเราจะกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้เลือกใช้เชื้อเพลิงชนิดใดชนิดหนึ่งก่อน

## 4.5.4 โครงสร้างของโครโมโซมที่ใช้ในกระบวนการทางพันธุกรรม

หลังจากที่ได้กำหนดประชากรเริ่มต้นให้กับตัวแปรทั้ง 3 ชนิดแล้ว เราสามารถนำตัวแปรดังกล่าวมารวมเป็นโครโมโซมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาโดยกระบวนการทางพันธุกรรมได้รูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของโครโมโซมที่ใช้ในกระบวนการทางพันธุกรรม

## 4.5.5 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

แต่ละค่าคำตอบที่ผ่านการถอดรหัสจากโครโมโซมในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะถูกประเมินความเหมาะสม ค่าความเหมาะสมนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ ต้องการให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าน้อยๆ โดยที่การทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับของระบบ ดังนั้นค่าความเหมาะสมจึงมีค่าเท่ากับส่วนกลับของสมการที่ 4.20 ดังนี้

$$Fit(x) = \frac{1}{F(x) + \sum_{i=1}^m k_i^h |h_i(x)|^q + \sum_{i=1}^n k_i^g |\min(g_i(x), 0)|^r} \quad (4.25)$$

เมื่อ  $Fit(x)$  คือ ค่าความเหมาะสมของตัวแปร  $x$   
 $F(x)$  คือ ค่าฟังก์ชันเป้าหมายตามสมการที่ 4.1

#### 4.5.6 การคัดเลือก (Selection)

สำหรับวิธีในการคัดเลือกประชากรที่ใช้ในวิธานิพนธ์ฉบับนี้คือ การสุ่มแบบวงล้อ (Roulette wheel) โดยอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.4

#### 4.5.7 การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator)

การดำเนินการทางพันธุกรรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมในวิธานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย การข้ามสายพันธุ์ การผ่าเหล่า การแลกเปลี่ยนบิตโดยวิธี Swap-window operator การกำหนดบิตโดยวิธี Window-mutation operator และ การผ่าเหล่าโดยวิธี Swap-mutation operator ดังนี้

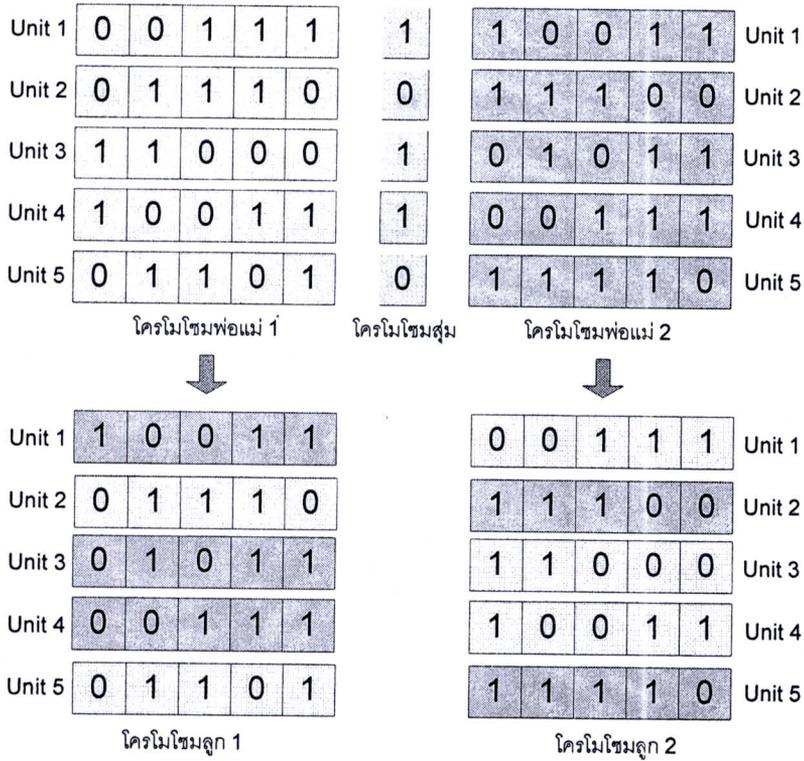
##### (1) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)

เป็นกระบวนการสร้างประชากรรุ่นใหม่โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ (Parents) จำนวน 2 โครโมโซม เพื่อกำเนิดโครโมโซมลูก (Offspring) จำนวน 2 โครโมโซม สำหรับการข้ามสายพันธุ์ที่ใช้ในปัญหานี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การข้ามสายพันธุ์สำหรับโครโมโซมตัวแปร  $U_i(t)$  และการข้ามสายพันธุ์สำหรับโครโมโซมตัวแปร  $P_i(t)$  และ  $\gamma_i(t)$  โดยสำหรับการข้ามสายพันธุ์ของตัวแปร  $P_i(t)$  และ  $\gamma_i(t)$  ใช้วิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (Uniform Crossover) โดยอาศัยหลักการตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.5(1)

สำหรับการข้ามสายพันธุ์ของตัวแปร  $U_i(t)$  มีขั้นตอนดังนี้ [31]

- 1) สุ่มบิตโครโมโซม 0 หรือ 1 ที่มีความยาวเท่ากับจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ (N)
- 2) ถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาเป็น 1 ก็จะทำให้การแลกเปลี่ยนบิตตำแหน่งนั้นระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ แต่ถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาเป็น 0 ก็จะไม่คบบิตตำแหน่งนั้นเหมือนเดิม ตัวอย่างการข้ามสายพันธุ์ของตัวแปร  $U_i(t)$  แสดงดังรูปที่ 4.6





รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการข้ามสายพันธุ์ของตัวแปร  $U_i(t)$

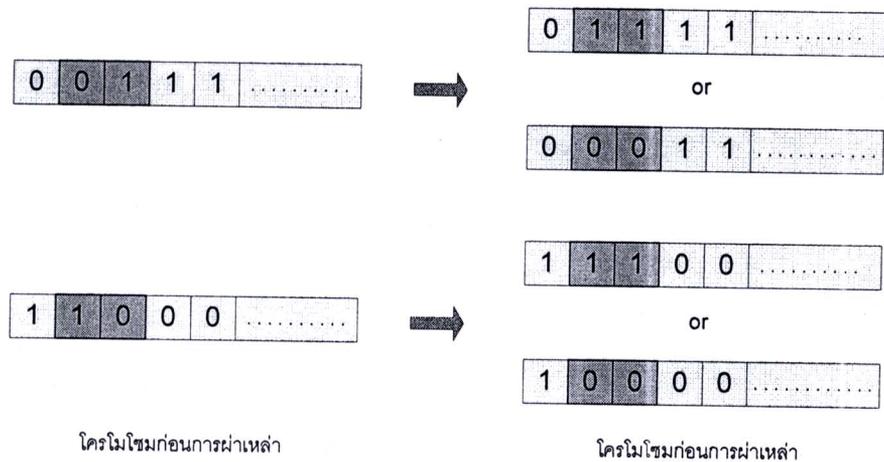
(2) การผ่าเหล่า (Mutation)

เป็นกระบวนการที่ป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนดและไม่ให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญบางอย่างไปในระหว่างกระบวนการถ่ายทอด สำหรับการผ่าเหล่าที่ใช้ในปัญหานี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การผ่าเหล่าสำหรับโครโมโซมตัวแปร  $U_i(t)$  และการผ่าเหล่าสำหรับโครโมโซมตัวแปร  $P_i(t)$  และ  $\gamma_i(t)$  โดยสำหรับการผ่าเหล่าของตัวแปร  $P_i(t)$  และ  $\gamma_i(t)$  อาศัยหลักการตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.6.2

สำหรับการผ่าเหล่าของตัวแปร  $U_i(t)$  มีขั้นตอนดังนี้ [31]

- 1) หาตำแหน่งของโครโมโซมที่มีบิต 0 1 หรือ 1 0
- 2) สุ่มเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาค่าหนึ่ง ( $P_r$ )
- 3) เปรียบเทียบเลขที่สุ่มกับความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า ( $P_m$ )
- 4) ถ้าเลขที่สุ่มมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าบิตตำแหน่งนั้นก็จะไม่ผ่าเหล่า แต่ถ้าเลขที่สุ่มในบิตตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าก็จะผ่าเหล่าที่บิตนั้น โดยเปลี่ยนบิตที่ตำแหน่งนั้นจาก 0 1 หรือ 1 0 เป็น 0 0 หรือ 1 1 อย่างไม่อย่างหนึ่ง

ตัวอย่างการผ่าเหล่าของตัวแปร  $U_i(t)$  แสดงดังรูปที่ 4.7



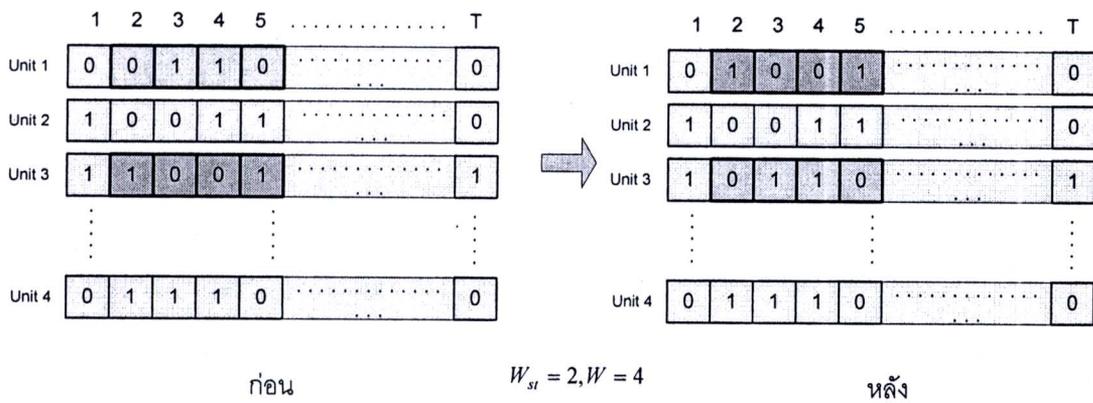
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการผ่าเหล่าของตัวแปร  $U_i(t)$

(3) Swap-window operator [14]

Swap-window operator เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนบิตซึ่งเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับตัวแปร  $U_i(t)$  โดยจะใช้กับประชากรทุกตัวในแต่ละรอบของกระบวนการทางพันธุกรรม มีขั้นตอนดังนี้

- 1) สุ่มเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาค่าหนึ่ง ( $P_r$ )
- 2) เปรียบเทียบเลขที่สุ่ม ( $P_r$ ) กับค่าความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนบิต ( $P_{sw}$ ) ถ้า  $P_r \leq P_{sw}$  ก็จะไม่แลกเปลี่ยนบิต แต่ถ้า  $P_r > P_{sw}$  ก็จะแลกเปลี่ยนบิตตามขั้นตอนข้อต่อไป
- 3) เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 2 ชุด (โครโมโซมแต่ละชุดประกอบด้วยตัวแปร  $U_i(1) - U_i(T)$ )
- 4) สุ่มขนาดความยาวบิต ( $W$ ) ในช่วง 1 ถึง  $T$  มาหนึ่งค่า
- 5) สุ่มตำแหน่งเริ่มต้น ( $W_{st}$ ) ในช่วง 1 ถึง  $T-W$
- 6) ทำการแลกเปลี่ยนบิตของโครโมโซมทั้งสองชุดโดยเริ่มแลกเปลี่ยนบิตตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้น ( $W_{st}$ ) ตลอดช่วงความยาวบิต ( $W$ )

ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนบิตโดยวิธี Swap-window operator แสดงดังรูปที่ 4.8



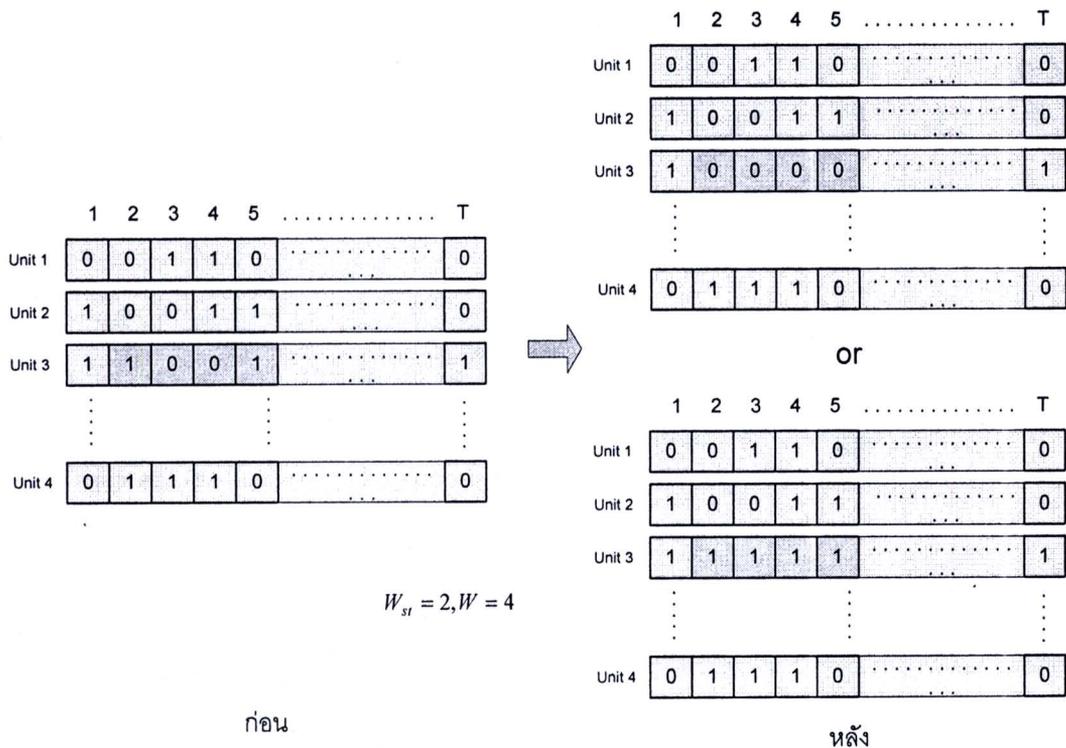
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนบิตโดยวิธี Swap-window operator

(4) Window-mutation operator [14]

Window-mutation operator เป็นวิธีการกำหนดบิตซึ่งเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับตัวแปร  $U_i(t)$  โดยจะให้กับประชากรทุกตัวในแต่ละรอบของกระบวนการทางพันธุกรรม มีขั้นตอนดังนี้

- 1) สุ่มเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาค่าหนึ่ง ( $P_r$ )
- 2) เปรียบเทียบเลขที่สุ่ม ( $P_r$ ) กับค่าความน่าจะเป็นของการกำหนดบิต ( $P_w$ ) ถ้า  $P_r \leq P_w$  ก็จะไม่กำหนดบิต แต่ถ้า  $P_r > P_w$  ก็จะทำการกำหนดบิตตามขั้นตอนข้อต่อไป
- 3) เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 1 ชุด (โครโมโซมประกอบด้วยตัวแปร  $U_i(1) - U_i(T)$ )
- 4) สุ่มขนาดความยาวบิต ( $W$ ) ในช่วง 1 ถึง  $T$  มาหนึ่งค่า
- 5) สุ่มตำแหน่งเริ่มต้น ( $W_{st}$ ) ในช่วง 1 ถึง  $T-W$
- 6) กำหนดบิตของโครโมโซมให้เป็น 0 หรือ 1 เหมือนกันทั้งหมดตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้น ( $W_{st}$ ) ตลอดช่วงความยาวบิต ( $W$ )

ตัวอย่างการกำหนดบิตโดยวิธี Window-mutation operator แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างการกำหนดบิตโดยวิธี Window-mutation operator

(5) Swap-mutation operator [14]

Swap-mutation operator เป็นวิธีการผ่าเหล่าซึ่งเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับตัวแปร  $U_i(t)$  โดยจะใช้กับประชากรตัวที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด โดยจะเลือกใช้วิธีการผ่าเหล่ารูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจากสองรูปแบบดังนี้

- 1) เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 2 ชุด (โครโมโซมแต่ละชุดประกอบด้วยตัวแปร  $U_i(1) - U_i(T)$  ) หลังจากนั้นทำการแลกเปลี่ยนบิตระหว่างโครโมโซมทั้งสองในทุกๆตำแหน่งบิต
- 2) เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 1 ชุด (ชุดโครโมโซมประกอบด้วยตัวแปร  $U_i(1) - U_i(T)$  ) หลังจากนั้นทำการสลับบิตจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ในทุกๆบิต

หลังจากทำการผ่าเหล่ารูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจากสองรูปแบบดังกล่าวแล้วนำประชากรที่ได้ไปประเมินค่าความเหมาะสม โดยอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.5 และอาศัยหลักการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.8 โดยถ้าประชากรที่ได้มีค่าความเหมาะสมดีกว่าประชากรตั้งต้นก็จะเก็บประชากรตัวนี้ไว้ในรอบถัดไป แต่ถ้าประชากรที่ได้มีค่าความเหมาะสมแยกว่าประชากรตั้งต้นก็จะเก็บประชากรตั้งต้นไว้ในรอบถัดไปแทน

เราสามารถนำหลักการผ่าเหล่าโดยวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้กับตัวแปร  $y_i(t)$  ได้โดยใช้กับประชากรตัวที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด ดังนี้

เลือกโครโมโซมสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิง  $y_i(t)$  ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 1 ตัว (ตัวอย่างเช่น  $y_1(2)$ ) หลังจากนั้นทำการกำหนดบิตของโครโมโซมให้เป็น 0 หรือ 1 เหมือนกันทุกบิต แล้วนำประชากรที่ได้ไปประเมินค่าความเหมาะสม โดยอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.5 และอาศัยหลักการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.5.8 โดยถ้าประชากรที่ได้มีค่าความเหมาะสมดีกว่าประชากรตั้งต้นก็จะเก็บประชากรตัวนี้ไว้ในรอบถัดไป แต่ถ้าประชากรที่ได้มีค่าความเหมาะสมแยกว่าประชากรตั้งต้นก็จะเก็บประชากรตั้งต้นไว้ในรอบถัดไปแทน

#### 4.5.8 การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป

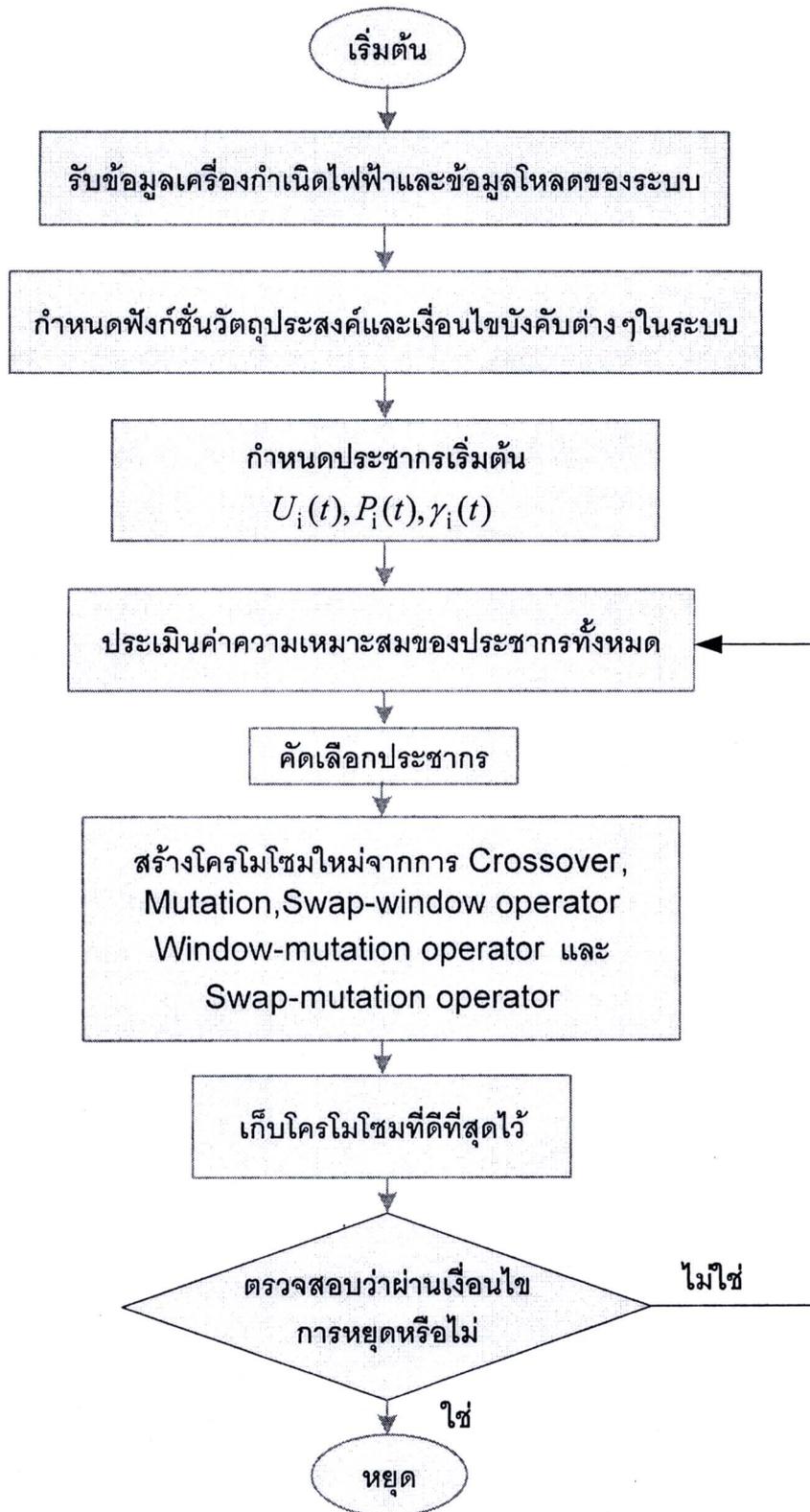
เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในรอบถัดไปจะดีกว่าในรอบก่อนหน้านั้นเสมอ เราจึงจำเป็นต้องเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอดเอาไว้เพื่อส่งต่อไปในรอบถัดไป หลักการนี้เรียกว่าอิลิติสซึม (Elitism) ซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.6

สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้หลักการเลือกเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจากประชากรทั้งหมด ตามสมการที่ (4.25) ตัวที่ถูกคัดเลือกให้เก็บไว้ในรอบถัดไป คือตัวที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุด และต้องไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบ ส่วนในกรณีที่มีทั้งประชากรที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับและประชากรที่ละเมิดเงื่อนไขบังคับ จะพิจารณาตัวที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับก่อนเป็นอันดับแรก

#### 4.5.9 เงื่อนไขการหยุด

อาศัยเงื่อนไขการหยุดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2.7 คือหยุดหาคำตอบเมื่อครบจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดที่กำหนดเอาไว้ หรือค่าฟังก์ชันเป้าหมายในแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

ขั้นตอนการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม สรุปได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการจัดสรรเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้า  
โดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

#### 4.6 การปรับปรุงวิธีหาคำตอบ

เนื่องจากคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาคำตอบที่ได้อาจไม่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา ในบางครั้งอาจมีการละเมิดเงื่อนไขข้อบังคับบางข้อได้ ตัวอย่างเช่น เงื่อนไขข้อบังคับในสมการที่ 4.7 อีกทั้งจำนวนตัวแปรที่ใช้แก้ปัญหามีจำนวนมาก ส่งผลให้การคำนวณมีความล่าช้า ดังนั้นเราจึงทำการปรับปรุงวิธีการหาคำตอบเพิ่มเติมโดยใช้คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหามาเป็นจุดเริ่มต้นในการแก้ปัญหานั้น โดยจะลดจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขข้อบังคับของระบบออกไป การปรับปรุงวิธีหาคำตอบดังกล่าวมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) จากกระบวนการหาคำตอบตามหลักการในหัวข้อที่ผ่านมา เราจะได้แผนการเดินทางหรือสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ( $U_i(t)$ ) ดังนั้นเราจะใช้แผนที่ได้นี้เป็นแผนที่ใช้สำหรับการจัดสรรเชื้อเพลิงสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าได้เลย ส่งผลให้การแก้ปัญหานั้น ไม่ต้องพิจารณาตัวแปร  $U_i(t)$
- 2) ผลจากการไม่คิดสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ( $U_i(t)$ ) ทำให้กำจัดเงื่อนไขข้อบังคับบางข้อออกไป คือ เงื่อนไขข้อบังคับในสมการที่ 4.8 – 4.10
- 3) ส่วนการคำนวณหาจุดทำงานหรือขนาดกำลังผลิต ( $P_i(t)$ ) และ สัดส่วนการผสมของเชื้อเพลิง ( $\gamma_i(t)$ ) ก็จะคิดเฉพาะเครื่องที่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องในแต่ละเวลานั้นๆ เท่านั้น ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4.11
- 4) เนื่องจากการแก้ปัญหามาโดยวิธีทางพันธุกรรมสำหรับปัญหาที่มีเงื่อนไขข้อบังคับแบบสมการ สามารถทำได้ยาก ดังนั้นถ้าเราสามารถหลีกเลี่ยงได้ก็จะทำให้การหาคำตอบง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น ในขั้นตอนนี้จึงได้กำจัดเงื่อนไขข้อบังคับแบบสมการ (สมการที่ 4.7) ออกโดยพิจารณา ดังนี้
  - กำลังผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องต้องมีค่าเท่ากับโหลดในแต่ละช่วงเวลา ตามสมการที่ 4.26

$$\sum_{i=1}^{N_{on}} P_i(t) = Load(t) \quad (4.26)$$

- ในแต่ละช่วงเวลา เราสามารถกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดเครื่องหนึ่งจ่ายโหลดที่ค่ากำลังผลิตตามสมการที่ 4.27

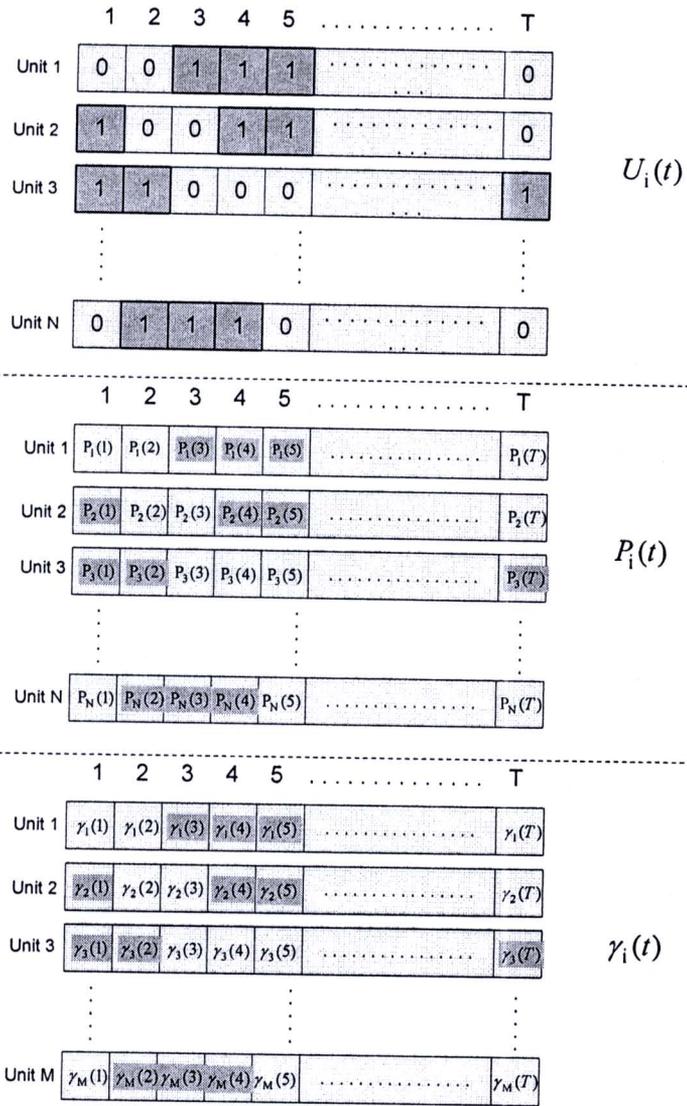
$$P_{select}(t) = Load(t) - \sum_{i=1}^{N_{on}-1} P_i(t) \quad (4.27)$$

- โดยกำลังผลิตของเครื่องที่ถูกเลือกดังกล่าวต้องเป็นไปตามเงื่อนไขขีดจำกัดกำลังผลิตตามสมการที่ 4.28 – 4.29

$$P_{select}^{min} \leq P_{select}(t) \leq P_{select}^{max} \quad \text{หรือ} \quad (4.28)$$

$$P_{select}^{min} \leq Load(t) - \sum_{i=1}^{N_{on}-1} P_i(t) \leq P_{select}^{max} \quad (4.29)$$

- 5) จากขั้นตอนในข้อที่ 4 เราสามารถกำจัดเงื่อนไขข้อบังคับแบบสมการ (สมการที่ 4.7) ออกไปได้ โดยเพิ่มเงื่อนไขข้อบังคับแบบอสมการ (สมการที่ 4.28 หรือ 4.29) ขึ้นมาแทน และยังสามารถลดจำนวนตัวแปร  $P_i(t)$  ออกไปได้  $T$  ตัวแปร (แต่ละช่วงเวลาลดจำนวนตัวแปรไปได้ 1 ตัว)



รูปที่ 4.11 ตัวแปรที่ใช้ในการแก้ปัญหา