บทที่ 5

การออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิตระยะสั้น ในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้า

5.1 คำนำ

ในการกำหนดการผลิตระยะสั้นในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้านี้ ได้กำหนดวัตถุประสงค์หลัก คือ ให้มีกำไรจากการส่งออกมากที่สุด ซึ่งหมายถึง มีรายรับจากการส่งออกมากและในขณะเดียวกันให้เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด โดยขณะที่ดำเนินการผลิต ต้องรักษาข้อจำกัดและเงื่อนไขต่าง ๆของระบบผลิตและรักษาความสมดุลระหว่างปริมาณกำลังผลิตและปริมาณความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

ด้วยวัตถุประสงค์ดังกล่าว ทำให้การกำหนดการผลิตระยะสั้นในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้ากลายเป็นปัญหาการออปติไมซ์(Optimization) โดยมีฟังค์ชั่นเป้าหมาย (Objective function) คือ การทำให้มีกำไรจากการส่งออกมากที่สุด และเป็นไปตามสมการเงื่อนไข (Constraints) คือ ข้อจำกัดและเงื่อนไขของระบบไฟฟ้าทั้งหมด

ในบทนี้จะกล่าวถึงการกำหนดปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดการผลิตระยะสั้นในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้า โดยได้เน้นใช้แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าดังได้กล่าวแล้วในบทที่ผ่านมา ในการแก้ปัญหาจะใช้เทคนิคการดีคอมโพสและการโคออดิเนท (Decomposition-coordination technique) โดยจะแยกปัญหาหลักออกเป็น 3 ปัญหาย่อยซึ่งเป็นอิสระ ได้แก่ปัญหาของการส่งออกกำลังไฟฟ้า ปัญหาของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ และปัญหาของระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน ปัญหาของการส่งออกกำลังไฟฟ้าจะทำการออปติไมซ์ด้วยเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นตรง และปัญหาของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำจะออปติไมซ์โดยอาศัยไดนามิกโปรแกรมมิ่ง (Dynamic programming) ส่วนปัญหาระบบผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนจะอาศัยวิธีการยูนิตคอมมิตเมนท์ (Unit commitment) ซึ่งใช้ไดนามิกโปรแกรมมิ่งและการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic load dispatch) เป็นส่วนช่วยในการแก้ปัญหา ปัญหาทั้งสามจะนำมาพิจารณาร่วมกันด้วยตัวคูณลากรังช์จหรือโคออดิเนเตอร์ (Coordinator) เพื่อให้ได้เงื่อนไขของปัญหาหลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2 รูปแบบแทนปัญหาการออปติไมซ์การกำหนดการผลิต

ในการออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิตระยะสั้นในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้า จะต้องมีการจัดรูปแบบโครงสร้างปัญหาให้เหมาะสมกับการใช้เทคนิคการออปติไมซ์ ซึ่งประกอบด้วยฟังค์ชั่นเป้าหมาย สมการเงื่อนไข และตัวแปรตัดสิน (Decision variables) ดังต่อไปนี้

5.2.1 ฟังค์ชั่นเป้าหมาย f(X)

เนื่องจากเราต้องการทำให้กำไรจากการส่งออกมีค่ามากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้น ฟังค์ชั่นเป้าหมายที่จะทำการออปติไมซ์ ก็คือ กำไรจากการส่งออก ซึ่งสามารถเขียนด้วยสมการดังนี้

$$f(X) = \text{Profit} \tag{5.1}$$

เมื่อ Profit = กำไรจากการส่งออกในระยะเวลา T (T=1 วัน หรือ 1สัปดาห์เป็นต้น)

X = เวกเตอร์ตัวแปรตัดสิน

. กำไรจากการส่งออกในระยะเวลาที่พิจารณา(Profit) คือ ผลต่างระหว่างรายรับจากการส่งออกพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดกับค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งสามารถเขียนด้วยสมการดังนี้

$$\text{Profit} = \text{Rev} - \text{OC} \tag{5.2}$$

เมื่อ Rev = รายรับจากการส่งออกพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในระยะเวลา T

OC = ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Operating cost) ในระยะเวลา T

. รายรับจากการส่งออกพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (Rev) คือ ผลรวมของรายรับจากการส่งออกพลังงานไฟฟ้าให้แต่ละการไฟฟ้า ในระยะเวลา T

$$\text{Rev} = \sum_{m=1}^{NI} rev_m \tag{5.3}$$

เมื่อ rev_m = รายรับจากการส่งออกพลังงานไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้าที่ m ในระยะเวลา T

จากสมการ (4.7) ได้

$$\text{Rev} = \sum_{t=1}^{T} \sum_{m=1}^{NI} r_{mt} \cdot l_t \cdot P_{mt} \tag{5.4}$$

. ค่าใช้จ่ายในการผลิต(OC) โดยปกติควรเป็นค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งในระบบพลังน้ำและพลังความร้อน ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจะขึ้นกับค่าเชื้อเพลิง ส่วนโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ใช้น้ำจากธรรมชาติเพื่อการผลิตไฟฟ้าจะไม่มีการคิดราคา ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการผลิตของระบบรวมจึงได้แก่ค่าใช้จ่ายของระบบพลังความร้อนเพียงส่วนเดียว ซึ่งสามารถเขียนด้วยสมการดังนี้

$$OC = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\left[l_t . FC_{it}\left(P_{it}\right) + s_{it}\left(T_{it}\right)\right] \tag{5.5}$$

และเมื่อแทนสมการ (5.4)และ(5.5)ในสมการ(5.2) ได้สมการกำไรจากการส่งออกดังนี้

$$\text{Profit} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{NI} r_{mt} \cdot l_t \cdot P_{mt} - \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\left[l_t . FC_{it}\left(P_{it}\right) + s_{it}\left(T_{it}\right)\right] \tag{5.6}$$

5.2.2 ตัวแปรตัดสิน (X)

เนื่องจากกำไรจากการส่งออกมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามการปรับค่ากำลังไฟฟ้าส่งออก และค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตในระบบ ดังนั้นตัวแปรตัดสินของปัญหาจึงมีดังนี้

1. ค่ากำลังไฟฟ้าส่งออกให้แต่ละการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

   P_{mt} โดย m=1,2,3,...,NI t=1,2,3,...,T

2. ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของระบบพลังน้ำ

   P_{jt} โดย j=1,2,3,...,NH t=1,2,3,...,T

3. ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของระบบพลังความร้อน

   P_{it} โดย i=1,2,3,...,NT t=1,2,3,...,T

5.2.3 สมการเงื่อนไข

ข้อบังคับในการออปติไมซ์ คือ ข้อจำกัดและเงื่อนไขของระบบผลิตทั้งหมดที่ได้กำหนดอยู่ในแบบจำลองในบทผ่านมา ซึ่งมีดังนี้

. ข้อจำกัดในการส่งออกไฟฟ้า

ได้แก่ สมการ (4.1) จำนวน NI สมการ

สมการ (4.3) และ (4.5) จำนวน NI x T สมการ

. ข้อจำกัดของระบบผลิตพลังน้ำ

ได้แก่ สมการ (4.12) (4.13) และ (4.16)-(4.18) จำนวน NH x T สมการ

. ข้อจำกัดของระบบผลิตพลังความร้อน

ได้แก่ สมการ (4.19)- (4.21) จำนวน NT x T สมการ

. เงื่อนไขการผลิต คือ ปริมาณกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งได้แก่สมการ (4.31) ต้องมีความสมดุลกัน

โดยสรุป ปัญหาที่ต้องทำการพิจารณา คือ

$$\text{Max. } \textbf{Profit} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{NI} r_{mt} \cdot I_t \cdot P_{mt} - \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\left[I_t \cdot FC_{it}\left(P_{it}\right) + S_{it}\left(T_{it}\right)\right] \qquad (5.7)$$

หรือ

$$\text{Min. } g = -\textbf{Profit} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\left[I_t \cdot FC_{it}\left(P_{it}\right) + S_{it}\left(T_{it}\right)\right] - \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{NI} r_{mt} \cdot I_t \cdot P_{mt} \qquad (5.8)$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. การส่งออกกำลังไฟฟ้า

สมการ (4.1) จำนวน NI สมการ

สมการ (4.3) และ (4.5) จำนวน NI x T สมการ

. ระบบไฟฟ้าพลังน้ำ

สมการ (4.12) (4.13) และ (4.16)-(4.18) จำนวน NH x T สมการ

. ระบบบไฟฟ้าพลังความร้อน

สมการ (4.19)- (4.21) จำนวน NT x T สมการ

. เงื่อนไขการผลิต

สมการ (4.31)

ในการแก้ปัญหาในขั้นตอนต่อไป จะใช้สมการ (5.8)

สังเกตได้ว่า ฟังค์ชั่นเป้าหมายในสมการ (5.8) และสมการเงื่อนไขในระบบพลังน้ำเป็นลักษณะไม่เชิงเส้น(Nonlinear)และไม่ต่อเนื่อง ปัญหาการกำหนดการผลิตในสมการ(5.8) จึงเป็นปัญหาการโปรแกรมไม่เชิงเส้น(Nonlinear programming) อนึ่ง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตมีค่าขึ้นกับค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย จึงทำให้ฟังค์ชั่นเป้าหมายอาจมีลักษณะไม่เว้าเข้า(Nonconvex)ได้

ในการออปติไมซ์ปัญหาที่ประกอบด้วยฟังค์ชั่นเป้าหมายที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น ไม่ต่อเนื่อง และไม่เว้าเข้า พร้อมทั้งมีข้อบังคับมากมายที่ต้องได้พิจารณาเช่นนี้ ถ้าออปติไมซ์ด้วยวิธีการทั่วไปนั้นจะพบความยุ่งยากมาก ฉะนั้นในที่นี่เพื่อสะดวกในการออปติไมซ์ปัญหาจึงได้ใช้เทคนิคการดีคอมโพสและการโคออดิเนท(Decomposition-coordination technique)เข้าช่วย โดยได้แยกปัญหาหลักออกเป็น 3 กลุ่มปัญหาอิสระ คือ กลุ่มปัญหาในการส่งออกกำลังไฟฟ้า กลุ่มปัญหาของระบบพลังน้ำ และกลุ่มปัญหาของระบบพลังความร้อน ซึ่งวิธีการมีกล่าวต่อไปนี้

5.3 การออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิต

เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นต่าง ๆที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 จะถูกประยุกต์ใช้ในการออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิตระยะสั้นในระบบพลังน้ำ-พลังความร้อนที่พิจารณาถึงการส่งออกกำลังไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.3.1 การกำหนดปัญหาควบคู่

ในการพิจารณาปัญหาของการโปรแกรมไม่เชิงเส้น เราสามารถพิจารณาปัญหาเดิมได้โดยทางอ้อมด้วยการพิจารณาปัญหาลากรังซ์จควบคู่แทน ซึ่งทฤษฎีปัญหาควบคู่นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออปติไมซ์ปัญหาในสมการ(5.8)นี้ได้ ดังนี้

. กำหนดให้ปัญหาในสมการ (5.8) เป็นปัญหาเดิม (Primal problem)

. จากทฤษฎีปัญหาควบคู่บางส่วน (Partial duality) [17] กำหนดฟังค์ชั่นลากรังซ์จโดยใช้ตัวคูณลากรังซ์จกับเงื่อนไขความสมดุลปริมาณกำลังผลิต(สมการ 4.31) ให้เป็นปัญหาลากรังซ์จควบคู่

จะได้รูปแบบแทนปัญหาการออปติไมซ์การกำหนดการผลิตใหม่ดังนี้

<u>ปัญหาลากรังซ์จควบคู่ (Lagrangian dual problem)</u>

$$\text{Min. } L(\lambda) = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\Big[l_t . FC_{it}(P_{it}) + S_{it}(T_{it}) \Big] - \sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{NI} r_{mt} . l_t . P_{mt} \qquad (5.9)$$

$$+ \sum_{t=1}^{T} \lambda_t . [L_t + \sum_{m=1}^{NI} P_{mt} - \sum_{j=1}^{NH} P_{jt} - \sum_{i=1}^{NT} P_{it}]$$

เมื่อ $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \ldots, \lambda_T]^t$

โดย $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \ldots, \lambda_T$ คือ ค่าโคออดิเนเตอร์ของระบบในช่วงเวลา 1,2,...,T

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. การส่งออกกำลังไฟฟ้า

สมการ (4.1) จำนวน NI สมการ

สมการ (4.3) และ (4.5) จำนวน NI x T สมการ

. ระบบไฟฟ้าพลังน้ำ

สมการ (4.12) (4.13) และ (4.16)-(4.18) จำนวน NH x T สมการ

. ระบบไฟฟ้าพลังความร้อน

สมการ (4.19)- (4.21) จำนวน NT x T สมการ

5.3.2 การแบ่งกลุ่มและแยกปัญหา

ในสมการปัญหาลากรังซ์จควบคู่(5.9) หลังจากใช้ตัวคูณลากรังซ์จกับสมการเงื่อนไขความสมดุลปริมาณกำลังผลิตแล้ว สังเกตได้ว่า บรรดาตัวแปรตัดสินหรือค่ากำลังไฟฟ้าในสมการฟังค์ชั่นเป้าหมายและสมการเงื่อนไขดังสมการที่ 4.31 นั้นถูกรวมเข้ากับสมการเป้าหมายเรียบร้อย ด้วยลักษณะโครงสร้างของปัญหาเช่นนี้ จึงสามารถแบ่งกลุ่มและแยกปัญหาออกได้ดังนี้

จากสมการ(5.9) เมื่อจัดกลุ่มปัญหา จะได้

$$\text{Min } L(\lambda) = \sum_{t=1}^{T} \sum_{m=1}^{NI} [(\lambda_t - r_{mt} \cdot I_t) . P_{mt}] + \sum_{t=1}^{T} \sum_{j=1}^{NH} - \lambda_t . P_{jt} \qquad (5.10)$$

$$+ \sum_{t=1}^{T} \sum_{i=1}^{NT} \left[I_t . FC_{it}(P_{it}) + S_{it}(T_{it}) - \lambda_t . P_{it} \right] + \sum_{t=1}^{T} \lambda_t . L_t$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. การส่งออกกำลังไฟฟ้า

สมการ (4.1) จำนวน NI สมการ

สมการ (4.3) และ (4.5) จำนวน NI x T สมการ

. ระบบไฟฟ้าพลังน้ำ

สมการ (4.12) (4.13) และ (4.16)-(4.18) จำนวน NH x T สมการ

. ระบบไฟฟ้าพลังความร้อน

สมการ (4.19)- (4.21) จำนวน NT x T สมการ

เมื่อแยกพจน์ต่าง ๆของสมการ(5.10) จะได้กลุ่มคือ

. กลุ่มปัญหาของการส่งออกไฟฟ้ากำลัง

. กลุ่มปัญหาของระบบพลังน้ำ

. กลุ่มปัญหาของระบบพลังความร้อน

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก) กลุ่มปัญหาของการส่งออกไฟฟ้ากำลัง

$$\text{Min } LE(\lambda) = \sum_{t=1}^{T} \sum_{m=1}^{NI} [(\lambda_t - r_{mt} \cdot I_t) . P_{mt}] \qquad (5.11)$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. การส่งออกกำลังไฟฟ้า

สมการ (4.1) จำนวน NI สมการ

สมการ (4.3) และ (4.5) จำนวน NI x T สมการ

และเนื่องจากแต่ละสัญญาซื้อขายไฟฟ้าไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถแยกกลุ่มปัญหา(5.11)ออกเป็นปัญหาย่อยอิสระได้อีก จำนวน NI ปัญหาดังนี้

$$\text{Min } LE_m(\lambda)=\sum_{t=1}^{T}\left(\lambda_t - r_{mt} \,.\, l_t\right) P_{mt} \qquad (5.12)$$

$$m=1,2,3,\ldots,NI$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

สมการ (4.1) จำนวน 1 สมการ

สมการ (4.3) และ (4.5) จำนวน T สมการ

ข) กลุ่มปัญหาของระบบพลังน้ำ

$$\text{Min } LH(\lambda)=\sum_{t=1}^{T}\sum_{j=1}^{NH} - \lambda_t \,.\, P_{jt} \qquad (5.13)$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. ระบบไฟฟ้าพลังน้ำ

สมการ (4.12) (4.13) และ (4.16)-(4.18) จำนวน NH x T สมการ

และเนื่องจากข้อสมมติฐานที่ว่า ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำแต่ละแห่งของโรงไฟฟ้าพลังน้ำไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถแยกกลุ่มปัญหา(5.13)ออกเป็นปัญหาย่อยอิสระได้อีกจำนวน NH ปัญหาดังนี้

$$\text{Min } LH_j(\lambda)=\sum_{t=1}^{T} -\lambda_t \,.\, P_{jt} \qquad (5.14)$$

$$j=1,2,3,\ldots,NH$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

สมการ (4.12) (4.13) และ (4.16)-(4.18) จำนวน T สมการ

<u>หมายเหตุ</u> ตัวคูณลากรังซ์จในสมการฟังค์ชั่นเป้าหมายของระบบพลังน้ำ นอกจากจะเป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างระบบพลังน้ำกับระบบอื่นแล้ว ในการออปติไมซ์ปัญหาระบบพลังน้ำยังถือว่าเป็นราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำด้วย เรียกว่า ราคาเชื้อเพลิงเทียม (Pseudo-fuel cost) ดังนั้นค่าของพจน์ (λ_t . P_{jt}) จึงถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ หรือเรียกว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่สมมติขึ้น(Generation cost of fictional thermal plant)แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำเครื่องที่ j ณ ช่วงเวลา t

ค) กลุ่มปัญหาของระบบพลังความร้อน

$$\text{Min } LT(\lambda) = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\left[I_t . FC_{it}(P_{it}) + S_{it}(T_{it}) - \lambda_t . P_{it}\right] \qquad (5.15)$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. ระบบไฟฟ้าพลังความร้อน

สมการ (4.19)- (4.21) จำนวน NT x T สมการ

เนื่องจากในระบบพลังความร้อน เรายังต้องคำนึงถึงสถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย การแยกกลุ่มปัญหา(5.15)จึงได้ทำเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u>

ในขั้นตอนนี้ เรายังไม่ทราบค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นจำเป็นต้องทำยูนิตคอมมิตเมนท์เสียก่อนเพื่อหาค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดปัญหายูนิตคอมมิตเมนท์ดังนี้

$$\text{Min } \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{NT}\left[I_t . FC_{it}(P_{it}) + S_{it}(T_{it})\right] \qquad (5.16)$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

. ระบบไฟฟ้าพลังความร้อน

สมการ (4.19)- (4.21) จำนวน NT x T สมการ

และ ข้อบังคับ $\sum_{i=1}^{NT} P_{it} = LT_t$

เมื่อ LT_t = โหลดของระบบพลังความร้อนในช่วงเวลา t

<u>ขั้นตอนที่ 2</u>

เมื่อทราบค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในขั้นตอนที่1 แล้ว ก็แยกกลุ่มปัญหา(5.15)ออกเป็น T ปัญหาย่อยอิสระเพื่อทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในแต่ละช่วงเวลา t หรือ จะแยกออกเป็น NTC_t ปัญหาย่อยอิสระเพื่อทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดทีละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็ได้ โดยพิจารณาเงื่อนไขเกี่ยวกับขีดจำกัดกำลังผลิต ดังนี้

เมื่อแยกเป็น T ปัญหาย่อย จะได้

$$\text{Min } LT_t(\lambda) = \sum_{i=1}^{NTC_t} [I_t . FC_{it}(P_{it}) + S_{it}(T_{it}) - \lambda_t . P_{it}] \qquad (5.17)$$

$$t = 1,2,3,\ldots,T$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

สมการ (4.21) จำนวน NTC_t สมการ

และ โดยให้ $\sum_{i=1}^{NTC_t} P_{it} = LT_t$

เมื่อ NTC_t= จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้คอมมิตท์เข้าในระบบในช่วงเวลา t

เมื่อแยกเป็น NTC_t ปัญหาย่อย จะได้

$$\text{Min } LT_i(\lambda) = \sum_{t=1}^{T} [I_t . FC_{it}(P_{it}) + S_{it}(T_{it}) - \lambda_t . P_{it}] \qquad (5.18)$$

$$i = 1,2,3,\ldots,NTC_t$$

โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับ

สมการ (4.21) จำนวน T สมการ

และ โดยให้ $\sum_{i=1}^{NTC_t} P_{it} = LT_t$

สำหรับพจน์ $\left(\sum_{t=1}^{T} \lambda_t . L_t\right)$ ที่เหลืออยู่ในสมการ(5.10) ไม่จำเป็นแยกออกมามินนิไมซ์เพราะไม่ได้ขึ้นกับตัวแปรตัดสิน

5.3.3 การออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออก

ในการออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออกกำลังไฟฟ้าในสมการ(5.11) จะออปติไมซ์ปัญหาย่อยในสมการ(5.12)ทีละปัญหาแทน จากนั้นก็นำผลลัพธ์ที่ได้จากการออปติไมซ์แต่ละปัญหาย่อยมารวมกันเป็นคำตอบของการออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออกในสมการ(5.11)

ปัญหาย่อยของการส่งออก(สมการ 5.12) ของสัญญาที่กระทำระหว่างการไฟฟ้า 2 แห่ง เมื่อกำหนดให้ตัวคูณลากรังซ์จมีค่าคงที่ในขั้นตอนการคำนวณซ้ำแต่ละรอบ(Iteration) จะสังเกตได้ว่า ทั้งฟังค์ชั่นเป้าหมายและสมการเงื่อนไขมีลักษณะเป็นเชิงเส้น ดังนั้นวิธีการออปติไมซ์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาในที่นี่จึงได้แก่ วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming)

การโปรแกรมเชิงเส้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาของการส่งออกได้ ในที่นี่ได้ประยุกต์ใช้วิธีซิมเพลกซ์ (Simplex method) โดยมีขั้นตอนดังนี้

5.3.3.1 การลดจำนวนสมการเงื่อนไข

โดยปกติแล้ว สมการเงื่อนไข (4.1) (4.3)และ(4.5) เมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของสมการเงื่อนไขของการโปรแกรมเชิงเส้นจะได้สมการดังนี้

จากสมการ (4.1) จะได้

$I_1.P_{m1} + I_2.P_{m2} + \ldots + I_T.P_{mT} \leq Emax_m$ จำนวน 1 สมการ (5.19)

$I_1.P_{m1} + I_2.P_{m2} + \ldots + I_T.P_{mT} \geq Emin_m$ จำนวน 1 สมการ (5.20)

จากสมการ(4.3) และเมื่อแทนค่าด้วยสมการ(4.4) จะได้

$I_t.P_{mt} \leq emax_{mt}$ จำนวน T สมการ โดย t= 1,2,...,T (5.21)

$I_t.P_{mt} \geq emin_{mt}$ จำนวน T สมการ โดย t= 1,2,...,T (5.22)

จากสมการ(4.5) จะได้

$P_{mt} \leq Pmax_{mt}$ จำนวน T สมการ โดย t= 1,2,...,T (5.23)

$P_{mt} \geq Pmin_{mt}$ จำนวน T สมการ โดย t= 1,2,...,T (5.24)

อนึ่ง เนื่องจากเป็นการส่งออกกำลังไฟฟ้า เราต้องการให้กำลังไฟฟ้าไหลจากระบบของการไฟฟ้าผู้ส่งออกไปหาระบบของการไฟฟ้าผู้นำเข้าเท่านั้น ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ส่งออกจึงต้องให้มีค่าเป็นบวกเสมอ ($P_{mt} \geq 0$ t= 1,2,...,T) แต่เราไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงเงื่อนไขนี้ เพราะในวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น เงื่อนไขนี้จะได้รับการพิจารณาโดยปริยาย เมื่อกำหนดให้ตัวแปรตัดสินมีค่าเป็นบวก สมการเงื่อนไขจึงมีจำนวนทั้งหมด (4T+2) สมการ

สังเกตได้ว่า จำนวนสมการเงื่อนไข(5.21)-(5.24) นั้นขึ้นกับจำนวนช่วงเวลาที่ใช้พิจารณา (T) ในกรณีที่ต้องการความละเอียดของการคำนวณมากขึ้น เราอาจเพิ่มจำนวนช่วงเวลา ซึ่งจะเป็นผลให้สมการเงื่อนไขเพิ่มขึ้นและจะทำให้การคำนวณในการโปรแกรมเชิงเส้นใช้เวลานานขึ้นด้วย ดังนั้นเพื่อให้การคำนวณใช้เวลาน้อยลง จึงได้หาวิธีลดจำนวนสมการเงื่อนไขลงจำนวนหนึ่ง ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการของการโปรแกรมเชิงเส้น ดังนี้

จากสมการ(5.21) เราสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$P_{mt} \leq emax_{mt} / l_t$$

และเมื่อพิจารณาร่วมกับสมการ(5.23) จะได้

$$P_{mt} \leq \min\left\{\frac{emax_{mt}}{l_t}, Pmax_{mt}\right\} \quad \text{จำนวน T สมการ} \qquad (5.25)$$

โดย t= 1,2,...,T

จากสมการ(5.22) เราสามารถจัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$P_{mt} \geq emin_{mt} / l_t$$

และเมื่อพิจารณาร่วมกับสมการ(5.24) จะได้

$$P_{mt} \geq \max\left\{\frac{emin_{mt}}{l_t}, Pmin_{mt}\right\} \quad \text{จำนวน T สมการ} \qquad (5.26)$$

โดย t= 1,2,...,T

<u>ข้อสังเกต</u> ในทางปฏิบัติ กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าต่ำสุดที่ส่งออกให้แก่การไฟฟ้าหนึ่ง ($Pmin_{mt}$ และ $emin_{mt}$) ในบางช่วงเวลา t อาจกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จากอมการ(5.26) จะทำให้เกิดมีอสมการ $P_{mt} \geq 0$ ซึ่งในวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น เงื่อนไขนี้ได้รับการพิจารณาแล้ว จึงสามารถตัดอสมการนี้ออกไปได้ในช่วงนี้ จำนวนอสมการทั้งหมดก็จะลดลงอีก

โดยสรุปแล้ว จำนวนสมการเงื่อนไขทั้งหมดได้ลดลงเหลือสูงสุด (2T+2) สมการ ซึ่งจำแนกออกเป็น

- อสมการชนิดน้อยกว่า มีจำนวน (T+1) อสมการ
  ได้แก่ อสมการ(5.19) 1 อสมการ และ อสมการ(5.25) T อสมการ
- อสมการชนิดมากกว่า มีจำนวน (T+1) อสมการ
  ได้แก่ อสมการ(5.20) 1 อสมการ และ อสมการ(5.26) T อสมการ

5.3.3.2 การปรับปรุงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น

เมื่อเพิ่มตัวแปรสแลค(Slack variables)ให้แก่อสมการน้อยกว่า(อสมการ 5.19 และ 5.25) และตัวแปรเซอร์พลัส(Surplus variables)ให้แก่อสมการชนิดมากกว่า (อสมการ 5.20 และ 5.26) ปัญหาย่อยของการส่งออกในสมการที่(5.12)สามารถปรับปรุงให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นได้ดังนี้

$$\text{minimize} \quad C^t X \tag{5.27}$$

โดยมีสมการเงื่อนไข $AX = B$

และ $X \geq 0$

เมื่อ

$$X_{(3T+2)x1} = \begin{bmatrix} X1_{Tx1} \\ X2_{(T+1)x1} \\ X3_{(T+1)x1} \end{bmatrix} \quad C_{(3T+2)x1} = \begin{bmatrix} C1_{Tx1} \\ O_{(T+1)x1} \\ O_{(T+1)x1} \end{bmatrix}$$

X1 คือ เมทริคซ์ของตัวแปรตัดสิน มีขนาด Tx1

X2 คือ เมทริคซ์ของตัวแปรสแลค มีขนาด (T+1)x1

X3 คือ เมทริคซ์ของตัวแปรเซอร์พลัส มีขนาด (T+1)x1

O คือ Null matrix มีขนาด (T+1)x1

C^t คือ transpose ของเมทริคซ์ C มีขนาด 1x(3T+2)

T คือ จำนวนช่วงเวลาที่ใช้พิจารณา

$$X1_{Tx1} = \begin{bmatrix} x1 \\ x2 \\ . \\ . \\ . \\ x_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{m1} \\ P_{m2} \\ . \\ . \\ . \\ P_{mT} \end{bmatrix}, \; X2_{(T+1)x1} = \begin{bmatrix} x_{(T+1)} \\ x_{(T+2)} \\ . \\ . \\ . \\ x_{(2T+1)} \end{bmatrix}, \; X3_{(T+1)x1} = \begin{bmatrix} x_{(2T+2)} \\ x_{(2T+3)} \\ . \\ . \\ . \\ x_{(3T+2)} \end{bmatrix}$$

$$C1_{Tx1} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ . \\ . \\ . \\ c_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\lambda_1 - r_{m1}.l_1) \\ (\lambda_2 - r_{m2}.l_2) \\ . \\ . \\ . \\ (\lambda_T - r_{mT}.l_T) \end{bmatrix}$$

$$A_{(2T+2)x(3T+2)} = \begin{bmatrix} A1_{(T+1)xT} & I_{(T+1)x(T+1)} & O_{(T+1)x(T+1)} \\ A1_{(T+1)xT} & O_{(T+1)x(T+1)} & -I_{(T+1)x(T+1)} \end{bmatrix}$$

เมื่อ I = Identity matrix มีขนาด $(T+1)x(T+1)$

O = Null matrix มีขนาด $(T+1)x(T+1)$

$$A1_{(T+1)xT} = \begin{bmatrix} l_1 & l_2 & \ldots & l_T \\ l_1 & o & \ldots & o \\ o & l_2 & \ldots & o \\ . & . & \ldots & . \\ . & . & \ldots & . \\ o & o & \ldots & l_T \end{bmatrix} , \quad B_{(2T+2)x1} = \begin{bmatrix} B1_{(T+1)x1} \\ B2_{(T+1)x1} \end{bmatrix}$$

$$B1_{(T+1)x1} = \begin{bmatrix} Emax_m \\ \min\left\{ \dfrac{emax_{m1}}{l_1}, Pmax_{m1} \right\} \\ \min\left\{ \dfrac{emax_{m2}}{l_2}, Pmax_{m2} \right\} \\ . \\ . \\ \min\left\{ \dfrac{emax_{mT}}{l_T}, Pmax_{mT} \right\} \end{bmatrix} , \quad B2_{(T+1)x1} = \begin{bmatrix} Emin_m \\ \max\left\{ \dfrac{emin_{m1}}{l_1}, Pmin_{m1} \right\} \\ \max\left\{ \dfrac{emin_{m2}}{l_2}, Pmin_{m2} \right\} \\ . \\ . \\ \max\left\{ \dfrac{emin_{mT}}{l_T}, Pmin_{mT} \right\} \end{bmatrix}$$

5.3.3.3 อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออก

อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออกได้แสดงในรูปที่ 5.1 โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

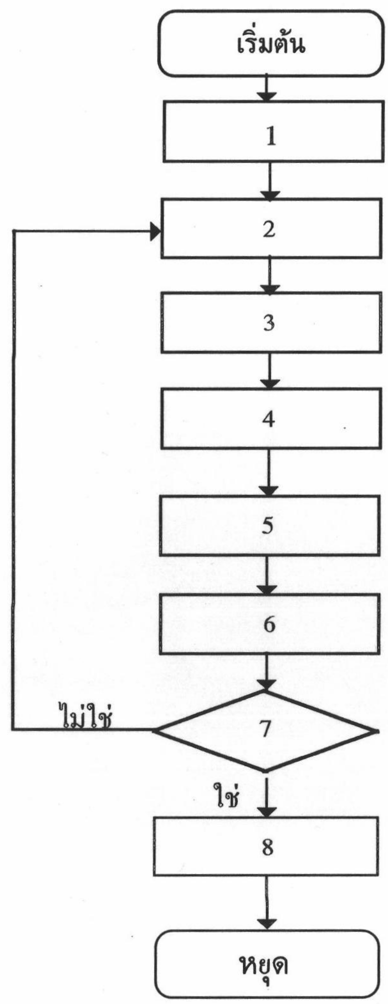
1. ตั้งค่าศูนย์ให้กับตัวแปรจำนวนหนึ่ง เช่น ตัวแปรที่เก็บผลลัพธ์รวมในแต่ละขั้นตอนการคำนวณซ้ำ และตัวแปรที่รับข้อมูลที่ส่งมาจากระบบรวม เช่น ค่าของตัวคูณลากรังช์จ จำนวนช่วงเวลาที่พิจารณา และระยะของแต่ละช่วงเวลา เป็นต้น

2. ตั้งหมายเลขที่ของปัญหาย่อย(สัญญาซื้อขาย) m = m+1 (โดย m=1,2,...,NI)

3. อ่านข้อมูลของสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ m

4. ลดจำนวนสมการเงื่อนไขและคำนวณสัมประสิทธิ์ต่าง ๆของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งได้แก่ สมาชิกของเมทริคซ์ A , B และ C ในสมการที่ (5.27)

5. ใช้วิธี Simplex ในการออปติไมซ์ปัญหาย่อยที่ m



รูปที่ 5.1 อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออกกำลังไฟฟ้า

6. บันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการออปติไมซ์ปัญหาย่อยที่ m
7. ตรวจสอบว่า การคำนวณถึงสัญญาซื้อขายที่สุดท้ายหรือยัง
ถ้า ยังไม่ใช่ ก็กลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 2-6 สำหรับสัญญาอื่นต่อไป
ถ้า ใช่ ก็ไปทำขั้นตอนที่ 8 ต่อไป
8. รวมผลลัพธ์ทั้งหมดเป็นคำตอบของการออปติไมซ์ปัญหาการส่งออกและส่งผลลัพธ์ทั้งหมดกลับระบบรวม

5.3.4 การออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำ

ในการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำในสมการ(5.13) จะออปติไมซ์ปัญหาย่อยในสมการ(5.14)ทีละปัญหาแทน จากนั้นก็นำผลลัพธ์ที่ได้จากการออปติไมซ์แต่ละปัญหาย่อยมารวมเป็นคำตอบของการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำในสมการ (5.13)

ในการออปติไมซ์ปัญหาย่อยในแต่ละขั้นตอนการคำนวณซ้ำ เมื่อกำหนดให้ตัวคูณลากรังซ์จมีค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลา ก็จะสามารถคำนวณหาค่ากำลังผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำในแต่ละช่วงเวลาได้

เนื่องจากกำลังผลิตไฟฟ้าเป็นฟังค์ชั่นของหัวน้ำและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ(สมการ 4.14) ส่วนหัวน้ำและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำต่างก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่คงเหลือในอ่างเก็บน้ำ(สมการ (4.9)-(4.11) และ (4.13)) ดังนั้นฟังค์ชั่นเป้าหมายในสมการ(5.14)จึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำด้วย

ในทางปฏิบัติ โดยทั่วไป เราได้ประเมินปริมาณน้ำที่คงเหลือในอ่างเก็บน้ำเป็นช่วงเวลา ช่วงละ 1 ชั่วโมงหรือมากกว่า การประเมินน้ำเป็นช่วงเวลานี้ทำให้ได้ปริมาณน้ำเป็นฟังค์ชั่นไม่ต่อเนื่องของเวลา ดังนั้นจึงทำให้ฟังค์ชั่นเป้าหมายเป็นฟังค์ชั่นไม่ต่อเนื่อง และเนื่องจากหัวน้ำเป็นฟังค์ชั่นของระดับน้ำเหนือเขื่อนซึ่งมีลักษณะไม่เชิงเส้น จึงทำให้ฟังค์ชั่นเป้าหมายมีลักษณะไม่เชิงเส้นด้วย เพราะฉะนั้นในการออปติไมซ์ปัญหาย่อยของระบบพลังน้ำที่มีฟังค์ชั่นเป้าหมายและสมการเงื่อนไขเป็นลักษณะไม่เชิงเส้นและไม่ต่อเนื่องเช่นนี้ วิธีการออปติไมซ์ที่เหมาะสมจึงได้แก่ วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง

อนึ่ง ในการออปติไมซ์ปัญหา เรายังต้องคำนึงถึงเงื่อนไขความสมดุลของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ(สมการ 4.13) ซึ่งมีความหมายว่า การที่จะกำหนดและควบคุมปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาใดหนึ่งนั้น จำเป็นต้องทราบและตัดสินใจตั้งแต่ตอนต้นช่วงเวลานั้นว่า จะปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลานั้นเป็นปริมาณเท่าไร การปฏิบัติดังกล่าว จำเป็นต้องทราบถึงปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาผ่านมาด้วย ในการแก้ปัญหาที่ต้องการข้อมูลในอดีตมาคิดร่วมด้วยเช่นนี้ วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งแบบไปข้างหน้า(Forward dynamic programming (FDP)) จะเป็นวิธีที่เหมาะสม

ดังนั้นในการออปติไมซ์ปัญหาย่อยของระบบพลังน้ำ จึงได้ใช้วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งแบบไปข้างหน้า (FDP) ซึ่งมีขั้นตอนต่อไปนี้

5.3.4.1 การจัดปัญหาให้อยู่ในรูปแบบของปัญหา FDP

เพื่อสะดวกในการประยุกต์ใช้วิธี FDP กับการออปติไมซ์ปัญหาย่อยของระบบพลังน้ำ จึงกำหนดและปรับปรุงปัญหาย่อยของระบบพลังน้ำให้สอดคล้องกับส่วนประกอบต่าง ๆของปัญหา FDP ดังนี้

1. แยกปัญหาออกเป็นหลายช่วงเวลา(Stages)

2. กำหนดให้แต่ละช่วงเวลาประกอบด้วยหลายสถานะ (States) โดยสถานะของช่วงเวลาหนึ่งมีความสัมพันธ์กับสถานะของช่วงเวลาถัดไป ในที่นี้สถานะ คือปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาหนึ่งที่ได้แบ่งออกเป็นค่าที่แตกต่างกันตั้งแต่ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดตามสมการ(4.12) จำนวนลำดับค่าที่แบ่งนี้ ถือเป็น จำนวนสถานะที่จะคำนวณในช่วงเวลานั้น (S_t)

3.กำหนดตัวแปรตัดสินด้วยค่ากำลังผลิตไฟฟ้าที่เป็นฟังค์ชั่นของหัวน้ำและปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละช่วงเวลา ดังนี้

$$x_{jt}(k)= P_{jt}(U_{jt}(V_{j,t-1}(i):V_{jt}(k)) \text{ , } h_{jt}(V_{j,t-1}(i):V_{jt}(k))) \qquad (5.28)$$

เมื่อ $x_{jt}(k)$ คือ ตัวแปรตัดสินของปัญหาที่ j ของสถานะ k ณ ช่วงเวลา t

$V_{j,t-1}(i)$ คือ ปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำที่ j ของสถานะ i ณ ท้ายช่วงเวลา t-1

$V_{jt}(k)$ คือ ปริมาณน้ำคงเหลือในอ่างเก็บน้ำที่ j ของสถานะ k ณ ท้ายช่วงเวลา t

$U_{jt}(V_{j,t-1}(i):V_{jt}(k))$ คือ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำที่ j ในช่วงเวลา t คิดจาก ปริมาณน้ำ $V_{j,t-1}(i)$ ถึง $V_{jt}(k)$ ด้วยสมการ(4.13)

$h_{jt}(V_{j,t-1}(i):V_{jt}(k))$ คือ หัวน้ำของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่ j ในช่วงเวลา t คิดจากปริมาณน้ำ $V_{j,t-1}(i)$ ถึง $V_{jt}(k)$ ด้วยสมการ(4.9)-(4.11)

4.ปรับปรุงปัญหาย่อยของระบบพลังน้ำให้อยู่ในรูปสมการรีเคอร์ซีพ (recursive equation) ดังนี้

สมการ (5.14) เปลี่ยนเป็น

$$F_j(k,t) = \min_{\{i\}} [-GC_j(i,t-1:k,t) + F_j(i,t-1)] \qquad (5.29)$$

และ $F_j(k,0) = 0 \quad i \in \{i\} \quad k \in \{k\} \quad t=1,2,...,T$

เมื่อ $GC_j(i,t-1:k,t) = \lambda_t \cdot x_{jt}(k)$

$GC_j(i,t-1:k,t)$ คือ ค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่ j ในช่วงเวลา t คิดจาก สถานะ i ณ ท้ายช่วงเวลา t-1 ถึง สถานะ k ณ ท้ายช่วงเวลา t

$F_j(k,t)$ คือ ค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j คิดจากจุดเริ่มต้น ถึง สถานะ k ณ ท้ายช่วงเวลา t

$F_j(i,t-1)$ คือ ค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ j คิดจากจุดเริ่มต้น ถึง สถานะ i ณ ท้ายช่วงเวลา t-1

{i} คือ ชุดสถานะที่เป็นไปได้ในช่วงเวลา t-1

{k} คือ ชุดสถานะที่จะคำนวณในช่วงเวลา t

S_t คือ จำนวนสถานะที่จะคำนวณในช่วงเวลา t มีค่าเท่ากับจำนวนสถานะของ {k}

N_t คือ จำนวนสถานะที่เก็บในช่วงเวลา t ซึ่งในวิธี FDP ค่าของ N_t จะกลายเป็นจำนวนสถานะของ {i} สำหรับการคำนวณในช่วงเวลาต่อไป

5.3.4.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ในการคำนวณ มีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u>

ในขั้นตอนนี้ จะปฏิบัติตามกระบวนการรีเคอร์ซีพ โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขในการผลิตทั้งหมดของระบบพลังน้ำ และหาค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาดังนี้

ในแต่ละช่วงเวลา จากสถานะที่ i ใน {i} ถึง สถานะที่ k ใน {k} คำนวณปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำ ค่าของหัวน้ำ และค่ากำลังผลิตไฟฟ้า พร้อมทั้งตรวจสอบเงื่อนไขในการผลิตทั้งหมด ในจำนวนสถานะที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด หาค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุด $F_j(k,t)$ และเก็บสถานะ k ที่มีค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดนี้ไว้ เมื่อคำนวณในทำนองเดียวกันสำหรับทุกๆสถานะ k ใน {k} จะเก็บสถานะที่มีค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดได้ทั้งหมด N_t สถานะ และกำหนดให้เป็นสถานะซึ่งเป็นไปได้ที่ i ของ {i} สำหรับการคำนวณในช่วงเวลาต่อไป (N_t จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ S_t)

ปฏิบัติไปในทำนองเดียวกันจนถึงช่วงเวลาสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 2

ปฏิบัติขบวนการย้อนกลับ (Retrace optimal schedule) กล่าวคือ ย้อนกลับหาสถานะที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมทั้งหมดต่ำสุด โดยเริ่มจากสถานะที่มีค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดในช่วงเวลาสุดท้ายถึงสถานะเริ่มต้น

5.3.4.3 อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำ

อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำได้แสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1. ตั้งค่าศูนย์ให้กับตัวแปรจำนวนหนึ่ง เช่น ตัวแปรที่เก็บผลลัพธ์รวมในแต่ละขั้นตอนการคำนวณซ้ำ และรับข้อมูลที่ส่งมาจากระบบรวม เช่น ค่าของตัวคูณลากรังซ์จ จำนวนช่วงเวลาพิจารณา และระยะของแต่ละช่วงเวลา เป็นต้น

2. ตั้งเลขที่ปัญหาย่อย(เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำ) j=j+1 (j=1,2,..,NH)

3. อ่านข้อมูลของอ่างเก็บน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำที่ j

4. กำหนดช่วงเวลาเริ่มต้น (t=1)

5. ใช้สมการรีเคอร์ซีพ (สมการ 5.29 ในกรณี $F_j(k,0) = 0$) คำนวณสถานะ k ในช่วงเวลา t (t=1) ในขั้นตอนนี้ จำนวนสถานะของ {i} = 1 คือ จุดเริ่มต้น

6. เก็บสถานะที่สอดคล้องกับเงื่อนไขในช่วงเวลา t=1 จำนวน N_t สถานะ (ในขั้นตอนนี้ N_t = จำนวนสถานะที่สอดคล้องกับเงื่อนไข ณ ช่วงเวลา t=1)

7. กำหนดช่วงเวลาถัดไป (t=t+1)

8. กำหนดสถานะที่เก็บในช่วงเวลา t-1 ให้เป็นสถานะที่เป็นไปได้ของ {i}

9. ใช้สมการรีเคอร์ซีพ(สมการ 5.29) คำนวณสถานะ k ในช่วงเวลา t ($t \geq 2$)

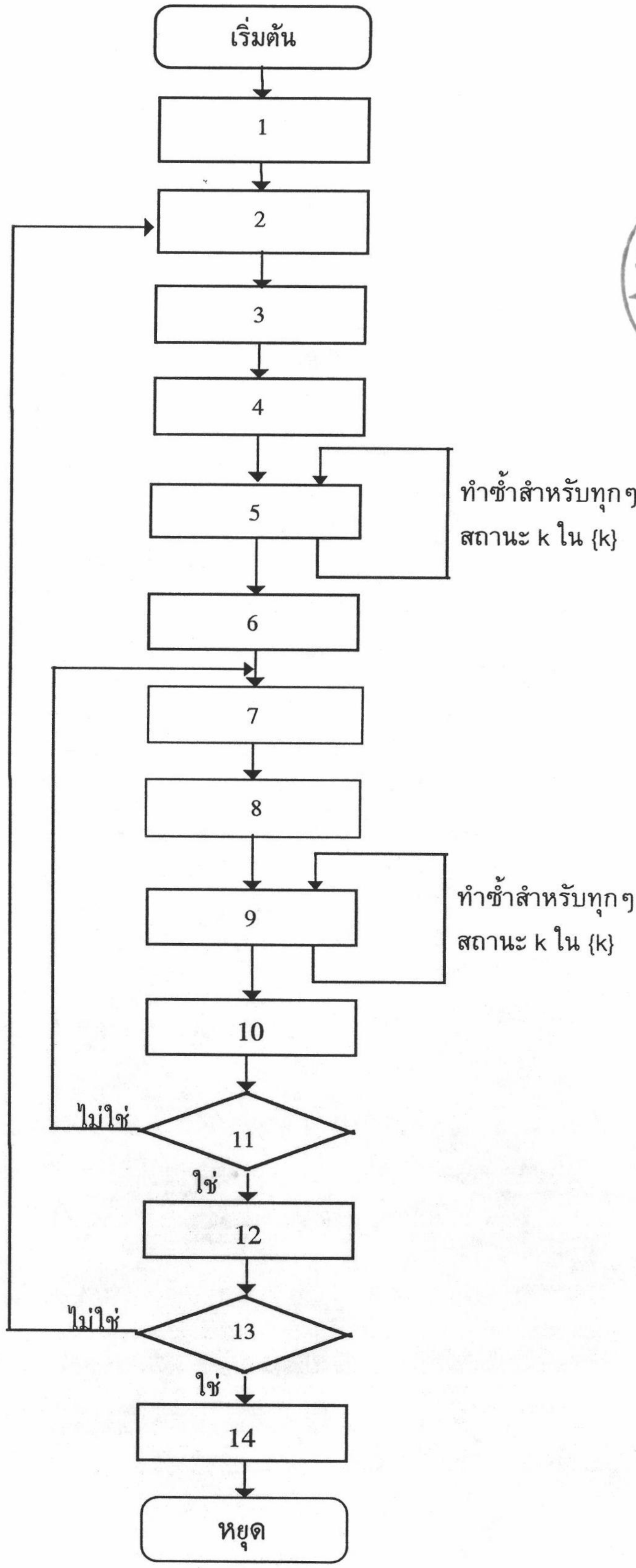
10.เก็บสถานะที่มีค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดในช่วงเวลา t จำนวน N_t สถานะ (ในขั้นตอนนี้ N_t= จำนวนสถานะที่มีค่าใช้จ่ายเทียมในการผลิตรวมต่ำสุดในช่วงเวลา t)

11. ตรวจสอบว่า การคำนวณถึงช่วงเวลาสุดท้ายหรือยัง

ถ้ายังไม่ใช่ ให้กลับไปทำซ้ำขั้นตอน 7-10

ถ้าใช่ ไปทำขั้นตอนที่ 12 ต่อไป

12. ทำขบวนการย้อนกลับ (Retrace optimal schedule) และบันทึกผลลัพธ์ของปัญหาย่อยที่ j



รูปที่ 5.2 อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำ

13. ตรวจสอบว่า การคำนวณถึงปัญหาย่อยสุดท้ายหรือยัง
ถ้ายังไม่ใช่ ให้กลับไปทำซ้ำขั้นตอน 2-12
ถ้าใช่ ไปทำขั้นตอนที่ 14 ต่อไป

14. รวมผลลัพธ์ทั้งหมดเป็นคำตอบของการออปติไมซ์ปัญหาระบบพลังน้ำและส่งผลลัพธ์ทั้งหมดกลับระบบรวม

5.3.5 การออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังความร้อน

การออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังความร้อน(สมการ 5.15)ในแต่ละขั้นตอนการคำนวณซ้ำ พิจารณาด้วยขั้นตอนและวิธีการต่อไปนี้

5.3.5.1 การกำหนดโหลดสำหรับระบบพลังความร้อน

ที่ผ่านมา เราได้ให้ระบบพลังน้ำผลิตไฟฟ้าเต็มกำลังการผลิตภายใต้เงื่อนไขการผลิตของระบบพลังน้ำเอง ซึ่งหมายความว่า โหลดของระบบรวมส่วนหนึ่งได้รับการตอบสนองด้วยระบบพลังน้ำไปแล้ว ดังนั้นโหลดของระบบรวมส่วนที่เหลือจึงต้องได้รับการจ่ายจากระบบพลังความร้อน ซึ่งสามารถคำนวณด้วยสมการดังนี้

$$LT_t = D_t - \sum_{j=1}^{NH} P_{jt} \qquad t=1,2,\ldots,T \tag{5.30}$$

และเมื่อแทนค่า D_t ด้วยสมการ(4.30) จะได้

$$LT_t = L_t + \sum_{m=1}^{NI} P_{mt} - \sum_{j=1}^{NH} P_{jt} \qquad t=1,2,\ldots,T \tag{5.31}$$

เมื่อ LT_t คือ โหลดสำหรับระบบพลังความร้อน ณ ช่วงเวลา t

5.3.5.2 การทำยูนิตคอมมิตเมนท์

เนื่องจากฟังค์ชั่นค่าใช้จ่ายและข้อจำกัดต่าง ๆในการผลิตของระบบพลังความร้อนมีความสัมพันธ์กับค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน ฟังค์ชั่นเป้าหมายและสมการเงื่อนไขในสมการ(5.16)จึงเป็นฟังค์ชั่นไม่ต่อเนื่อง อนึ่ง ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน นอกจากจะมีความสัมพันธ์กับค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องแล้ว ยังเป็นฟังค์ชั่นของเวลาที่เครื่องได้หยุดทำงานมาอย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาที่ผ่านมาอีกด้วย ซึ่งหมายความว่า ในการคำนวณในช่วงเวลาใดหนึ่งเราต้องใช้ข้อมูลใน

อดีตมาคิดร่วมด้วย ในการแก้ปัญหาเช่นนี้ วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งแบบไปข้างหน้า (FDP) จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.3.5.2.1 การปรับปรุงปัญหาให้อยู่ในรูปของปัญหา FDP

เพื่อสะดวกในการประยุกต์ใช้วิธี FDP ในการทำยูนิตคอมมิตเมนท์ จึงกำหนดและปรับปรุงปัญหาในสมการ(5.16)ให้สอดคล้องกับส่วนประกอบต่าง ๆของปัญหา FDP ดังนี้

1. แยกปัญหาออกเป็นหลายช่วงเวลา (Stages)

2. กำหนดให้แต่ละช่วงเวลาประกอบด้วยหลายสถานะ (States) โดยสถานะของช่วงเวลาหนึ่งมีความสัมพันธ์กับสถานะของช่วงเวลาถัดไป ในที่นี่ สถานะ คือ กลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน(Combination of thermal units) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องที่กำหนดให้ทำงานและเครื่องที่กำหนดให้หยุดทำงานในแต่ละช่วงเวลา สถานะหนึ่งจะสัมพันธ์อยู่กับสถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ร่วมกันจ่ายโหลดอยู่ในสถานะนั้น

3. กำหนดตัวแปรตัดสินด้วยค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่อง แต่เนื่องจากในขั้นตอนต่อไปเรายังจะพิจารณาปัญหาด้วยการทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดอีก ในขั้นตอนนี้ จึงให้ความสนใจกับค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่านั้น

4. ปรับปรุงปัญหา(5.16)ให้อยู่ในรูปสมการรีเคอร์ซีพดังนี้

$$F_{cost}(k,t) = \min_{\{l\}}[P_{cost}(k,t) + S_{cost}(l,t-1:k,t) + F_{cost}(l,t-1)] \qquad (5.32)$$

และ $F_{cost}(k,0) = 0 \quad l \in \{l\} \quad k \in \{k\} \quad t=1,2,\ldots,T$

เมื่อ $F_{cost}(k,t)$ คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุด คิดจาก จุดเริ่มต้น ถึงสถานะ k ณ ช่วงเวลา t

$F_{cost}(l,t-1)$ คือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุด คิดจาก จุดเริ่มต้น ถึงสถานะ l ณ ช่วงเวลา t-1

$P_{cost}(k,t)$ คือ ผลรวมของค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนทุก ๆเครื่องในสถานะ k ณ ช่วงเวลา t ที่คิดจากสมการ (4.24)

$S_{cost}(l,t-1:k,t)$ คือ ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่เริ่มทำงานในช่วงเวลา t คิดจากสถานะ l ณ ช่วงเวลา t-1 ถึง สถานะ k ณ ช่วงเวลา t ด้วยสมการ (4.27)

{l} คือ ชุดสถานะที่เป็นไปได้ในช่วงเวลา t-1

{k} คือ ชุดสถานะที่จะคำนวณในช่วงเวลา t

S_t คือ จำนวนสถานะที่จะคำนวณในช่วงเวลา t มีค่าเท่ากับจำนวนสถานะของ {k}

N_t คือ จำนวนสถานะที่เก็บในช่วงเวลา t ซึ่งในวิธี FDP ค่าของ N_t จะกลายเป็นจำนวนสถานะของ {l} สำหรับการคำนวณในช่วงเวลาต่อไป

5.3.5.2.2 ขั้นตอนการคำนวณ

ในการคำนวณ มีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

<u>ขั้นตอน ที่ 1</u>

ในขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณหาจำนวนสถานะที่จะใช้คำนวณในแต่ละช่วงเวลาโดยพิจารณาถึงขีดจำกัดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และคำนวณค่าเชื้อเพลิงของสถานะนั้นๆ ดังนี้

จากสมการ(4.21) เมื่อคิดเป็นผลรวมของทุกๆเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะได้

$$\sum_{i=1}^{NT} Pmin_{it} \leq \sum_{i=1}^{NT} P_{it} \leq \sum_{i=1}^{NT} Pmax_{it} \tag{5.33}$$

แต่เนื่องจาก $\sum_{i=1}^{NT} P_{it} = LT_t$ จึงได้

$$\sum_{i=1}^{NT} Pmin_{it} \leq LT_t \leq \sum_{i=1}^{NT} Pmax_{it} \tag{5.34}$$

ซึ่งหมายความว่า ในช่วงเวลาใดหนึ่ง เพื่อให้ได้เงื่อนไขของขีดจำกัดกำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลานั้น จำเป็นต้องให้โหลดมีค่าไม่น้อยกว่ากำลังผลิตต่ำสุดและไม่มากกว่ากำลังผลิตสูงสุดของแต่ละสถานะในช่วงเวลานั้นๆ ในทางปฏิบัติกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

(Combination)แต่ละกลุ่มในแต่ละช่วงเวลาซึ่งมีจำนวน($2^{NT}-1$)นั้น อาจมีบางกลุ่มที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการที่(5.34) จำนวนสถานะจึงอาจลดลงได้

ดังนั้น การคำนวณหาจำนวนสถานะที่จะใช้คำนวณในแต่ละช่วงเวลาด้วยการตรวจสอบเงื่อนไขตามสมการที่(5.34)กับทุกๆกลุ่มในแต่ละช่วงเวลานั้น กลุ่มใดที่เป็นไปตามเงื่อนไข ก็เก็บให้เป็นสถานะที่จะคำนวณในช่วงเวลานั้น จากนั้นก็คำนวณค่าเชื้อเพลิงของสถานะดังกล่าว โดยคำนวณค่าเชื้อเพลิงของแต่ละเครื่องที่อยู่ในสถานะตามหลักการของ priority order กล่าวคือ จะจัดลำดับการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ยเต็มโหลด(Full-load average cost)ต่ำไปหาสูง เครื่องใดมีค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ยเต็มโหลดต่ำก็จะจ่ายโหลดมาก และเครื่องใดมีค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ยเต็มโหลดสูงก็จะจ่ายโหลดน้อย และเมื่อคำนวณค่าเชื้อเพลิงของแต่ละเครื่องเสร็จ ก็รวมผลลัพธ์เป็นค่าเชื้อเพลิงของแต่ละสถานะในแต่ละช่วงเวลา

<u>ขั้นตอน ที่ 2</u>

ปฏิบัติตามขบวนการของสมการรีเคอร์ซีพ(สมการ 5.32)โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขของเวลาต่ำสุดที่เครื่องต้องหยุดหรือทำงานอย่างต่อเนื่อง ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง ตลอดถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุด ดังนี้

ในแต่ละช่วงเวลา จากแต่ละสถานะ I ใน {I} ถึงสถานะ k ใน {k} ต้องทำการตรวจสอบเงื่อนไขของเวลาต่ำสุดที่เครื่องต้องหยุดหรือทำงานอย่างต่อเนื่องกับทุกๆเครื่อง ในจำนวนสถานะที่สอดคล้องกับเงื่อนไข คำนวณค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง $S_{cost}(I,t-1:k,t)$ ด้วยสมการ(4.27) พร้อมทั้งหาค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุด $F_{cost}(k,t)$ และเก็บสถานะ k ที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุดนี้ไว้ จากนั้น สำหรับสถานะที่เก็บ คำนวณ(Update)จำนวนชั่วโมงที่เครื่องได้หยุดหรือทำงานมาอย่างต่อเนื่องถึงสถานะ k ด้วยสมการ(4.20) เมื่อคำนวณในทำนองเดียวกันสำหรับทุกๆสถานะ k ใน {k} จะเก็บสถานะที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุดได้ทั้งหมด N_t สถานะ และกำหนดให้เป็นสถานะที่เป็นไปได้ I ของ {I} สำหรับการคำนวณในช่วงเวลาต่อไป (N_t จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ S_t)

ปฏิบัติไปในทำนองเดียวกันจนถึงช่วงเวลาสุดท้าย

<u>ขั้นตอนที่ 3</u>

ปฏิบัติขบวนการย้อนกลับ (Retrace optimal schedule) กล่าวคือ ย้อนกลับหาสถานะที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมทั้งหมดต่ำสุด โดยเริ่มจากสถานะที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุดในช่วงเวลาสุดท้ายถึงสถานะเริ่มต้น

5.3.5.2.3 อัลกอลิทึมสำหรับการทำยูนิตคอมมิตเมนท์

อัลกอลิทึมสำหรับการทำยูนิตคอมมิตเมนท์ด้วยวิธี FDP ได้แสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. จัดกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลุ่มที่ I

2. ตรวจสอบค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของกลุ่ม I กับเงื่อนไข(5.34) และกำหนดกลุ่มที่สอดคล้องกับเงื่อนไขให้เป็นสถานะที่จะคำนวณ ทำสำหรับทุกๆช่วงเวลา t

3. คำนวณค่าเชื้อเพลิงของแต่ละสถานะที่จะคำนวณ

4. กำหนดช่วงเวลาเริ่มต้น (t=1)

5. คำนวณสมการรีเคอร์ซีพ (ในกรณี $F_{cost}(k,0) = 0$) สำหรับสถานะ k ในช่วงเวลา t (t=1) ในขั้นตอนนี้ จำนวนสถานะของ {I} = 1 คือ จุดเริ่มต้น

6. เก็บสถานะที่สอดคล้องกับเงื่อนไขในช่วงเวลา t=1 จำนวน N_t สถานะ (ในขั้นตอนนี้ N_t = จำนวนสถานะที่สอดคล้องกับเงื่อนไข ณ ช่วงเวลา t=1)

7. กำหนดช่วงเวลาถัดไป (t=t+1)

8. กำหนดสถานะที่เก็บในช่วงเวลา t-1 ให้เป็นสถานะที่เป็นไปได้ของ {I}

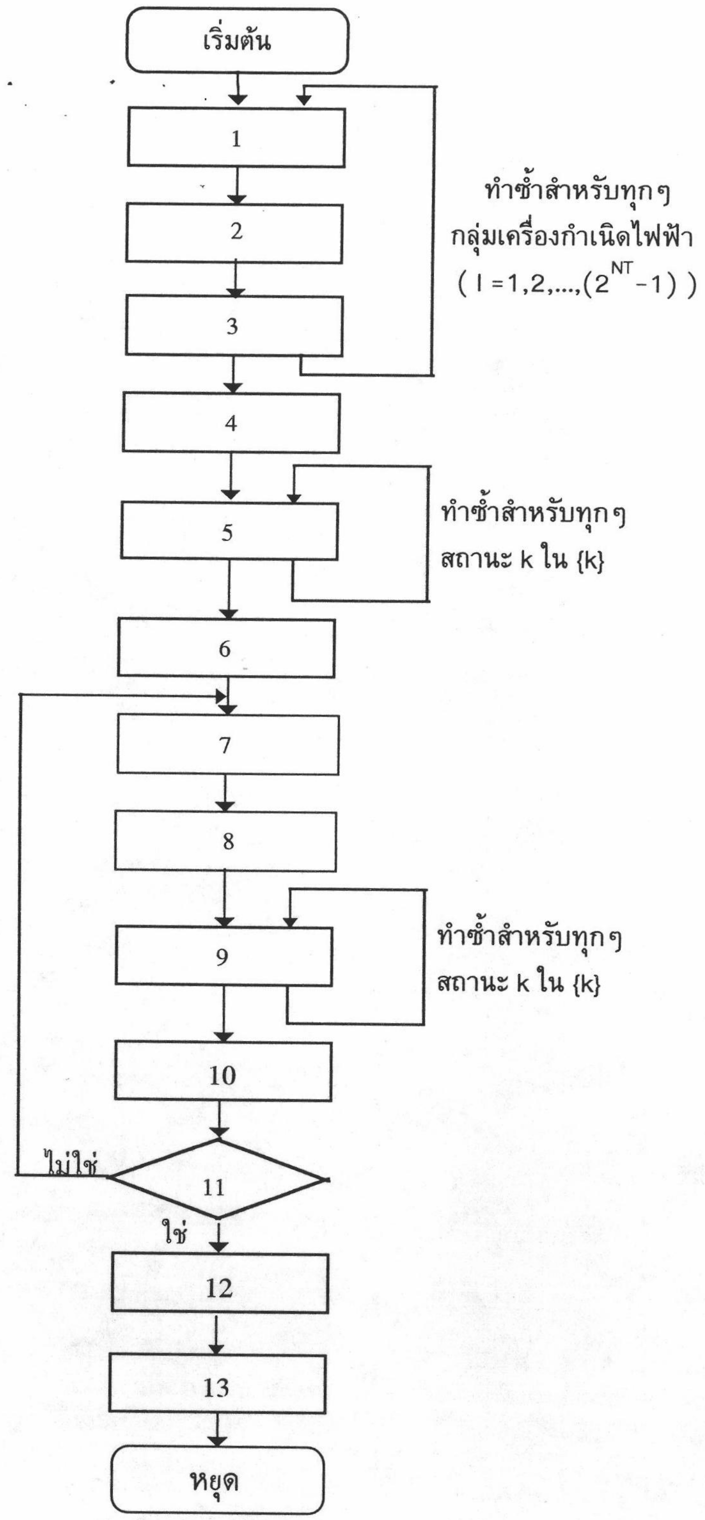
9. คำนวณสมการรีเคอร์ซีพ (สมการ 5.32) สำหรับสถานะ k ในช่วงเวลา t ($t \geq 2$)

10. เก็บสถานะที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุดในช่วงเวลา t จำนวน N_t สถานะ และ คำนวณ(Update)จำนวนชั่วโมงที่เครื่องได้หยุดหรือทำงานมาอย่างต่อเนื่องด้วยสมการ (4.20) (ในขั้นตอนนี้ N_t = จำนวนสถานะที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุดในช่วงเวลา t)

11. ตรวจสอบว่า การคำนวณถึงช่วงเวลาสุดท้ายหรือยัง
    ถ้ายังไม่ใช่ ให้กลับไปทำซ้ำขั้นตอน 7-10
    ถ้าใช่ ไปทำขั้นตอนที่ 12 ต่อไป

12. ทำขบวนการย้อนกลับ

13. บันทึกและส่งผลลัพธ์ให้ขั้นตอนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด



รูปที่ 5.3 อัลกอลิทึมสำหรับการทำยูนิตคอมมิตเมนท์ด้วยวิธี FDP

5.3.5.3 การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

เนื่องจากกำลังสูญเสียในสายส่งจะไม่ได้รับการพิจารณา ฟังค์ชั่นเป้าหมายและสมการเงื่อนไขในสมการ(5.17)จึงไม่ค่อยซับซ้อนมากนัก ในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในที่นี้จึงใช้วิธี Lambda-iteration ดังได้กล่าวมาบ้างแล้วในบทที่ 3 โดยปฏิบัติดังนี้

5.3.5.3.1 สร้างสมการการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ปัญหาในสมการ(5.17) สามารถเขียนเป็นสมการการจ่ายโหลดอย่างประหยัดสำหรับแต่ละช่วงเวลา t ได้ดังนี้

$$\frac{dFC_{it}}{dP_{it}} = IC_{it} = \lambda_t / l_t \qquad \text{จำนวน } NTC_t \text{ สมการ} \qquad (5.35)$$

$$Pmin_{it} \leq P_{it} \leq Pmax_{it} \qquad \text{จำนวน } NTC_t \text{ สมการ} \qquad (5.36)$$

$$\sum_{i=1}^{NTC_t} P_{it} = LT_t \qquad \text{จำนวน 1 สมการ} \qquad (5.37)$$

$$i=1,2,...,NTC_t \qquad t=1,2,...,T$$

เมื่อ IC_{it} คือ ค่าอัตราเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วย(Incremental cost) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่ i ในช่วงเวลา t

สมการ(5.35)แสดงให้เห็นว่า การจ่ายโหลดรวมของระบบให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำสุดนั้น จะต้องให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลดที่ค่าอัตราเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วย (Incremental cost) เท่ากันทุกเครื่องในแต่ละช่วงเวลา

ด้วยสมการ(5.35)และ(5.37) พอเพียงที่จะหาค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในแต่ละช่วงเวลาได้

5.3.5.3.2 การแก้สมการการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ในแต่ละช่วงเวลา เริ่มจากขั้นตอนของการคำนวณซ้ำรอบแรกโดยอาศัยค่า λ_t ที่สมมติในระบบรวม คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(P_{it}) แต่ละเครื่องด้วยสมการ (5.35) จากนั้นตรวจสอบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดมีค่าเกินขีดจำกัดหรือไม่ ถ้าพบว่ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดจ่ายโหลดเกิน $Pmax_{it}$ หรือน้อยกว่า $Pmin_{it}$ กำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นมีค่าเท่ากับขีดจำกัดนั้น ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นๆยังคงเป็นไปตามหลักการการจ่ายโหลดอย่าง

ประหยัด โดยการจ่ายโหลดที่ค่าอัตราเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วยเท่ากัน จากนั้นตรวจสอบว่าผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตทั้งหมดนั้นมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าของโหลดในช่วงเวลานั้นหรือไม่ ถ้าผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตทั้งหมดมีค่ามากกว่าโหลด แสดงว่า ค่า λ_t ที่สมมติขึ้นมีค่ามากเกินไป ให้ลดค่า λ_t ลง แต่ถ้าผลรวมของค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าโหลด แสดงว่า ค่า λ_t ที่สมมติขึ้นมีค่าน้อยเกินไป ให้เพิ่มค่า λ_t ขึ้น แล้วคำนวณในทำนองเดียวกันอีกครั้งในขั้นตอนการคำนวณซ้ำต่อไปจนกว่าจะได้ผลที่พอใจ

การปรับค่าλ_t มีความสำคัญมากต่อการคำนวณ กล่าวคือ ถ้าสามารถปรับ λ_t ด้วยค่าที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณซ้ำได้ จะทำให้การคำนวณได้คำตอบอย่างรวดเร็ว

ในที่นี่ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคของ Regula falsi [20] เข้าในการปรับค่าของ λ_t โดยวิธีการประยุกต์มีกล่าวละเอียดในภาคผนวก ก

5.3.5.3.3 อัลกอลิทึมสำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

อัลกอลิทึมสำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธี Lambda-iteration ได้แสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. รับข้อมูลที่ส่งมาจากระบบรวม เช่น ค่า λ_t ในแต่ละช่วงเวลาเป็นต้น และค่าชี้สถานะการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการทำยูนิตคอมมิตเมนท์

2. ตั้งช่วงเวลา t = t+1

3. คำนวณค่า P_{it} ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา t ด้วยสมการ(5.35)

4. ตรวจสอบค่า P_{it} กับขีดจำกัด(สมการ 5.36)

ถ้าหาก P_{it} มีค่ามากกว่า $Pmax_{it}$ ให้ $P_{it} = Pmax_{it}$

ถ้าหาก P_{it} มีค่าน้อยกว่า $Pmin_{it}$ ให้ $P_{it} = Pmin_{it}$

5. หาผลรวมของ P_{it} และเปรียบเทียบกับโหลด LT_t

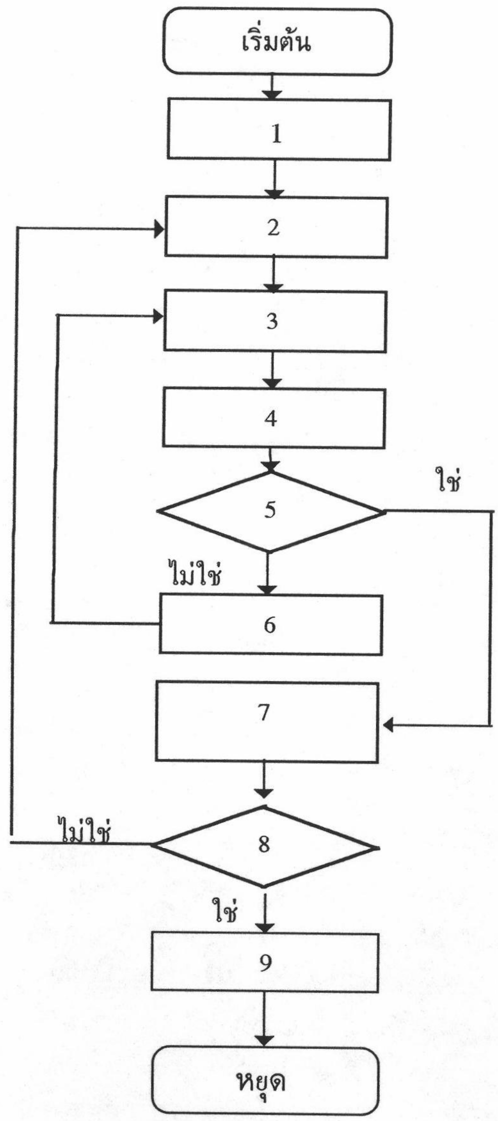
ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลรวมของ P_{it} และ LT_t มีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ ให้ไปขั้นตอนที่ 7

ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลรวมของ P_{it} และ LT_t มีค่าใหญ่กว่าค่าที่ยอมรับได้ ให้ไปขั้นตอนที่ 6

6. ปรับค่า λ_t ใหม่ด้วยวิธี Regula falsi แล้วไปทำขั้นตอนที่ 3

7. ได้คำตอบสำหรับช่วงเวลา t

8. ตรวจสอบว่า การคำนวณถึงช่วงเวลาสุดท้ายหรือยัง
   ถ้าไม่ใช่ ให้ย้อนไปทำขั้นตอนที่ 2
   ถ้าใช่ ให้ทำขั้นตอนที่ 9 ต่อไป
9. รวมผลลัพธ์ทั้งหมด แล้วกลับระบบรวม

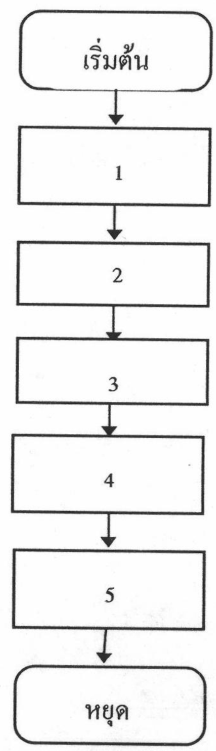


รูปที่ 5.4 อัลกอลิทึมสำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ด้วยวิธี Lambda-iteration

5.3.5.4 อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาระบบพลังความร้อน

อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาระบบพลังความร้อน คือ อัลกอลิทึมที่สรุปถึงการคำนวณทั้งหมดในระบบพลังความร้อน ได้แสดงในรูปที่5.5 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. ตั้งค่าศูนย์ให้กับตัวแปรจำนวนหนึ่ง เช่น ตัวแปรที่เก็บผลลัพธ์รวมในแต่ละขั้นตอนของการคำนวณซ้ำ และรับข้อมูลที่ส่งมาจากระบบรวม เช่น ค่าของตัวคูณลากรังซ์จำนวนช่วงเวลาที่พิจารณา ระยะของแต่ละช่วงเวลา โหลดภายในระบบผู้ส่งออก กำลังไฟฟ้าที่ส่งออก กำลังไฟฟ้าที่ผลิตด้วยพลังน้ำ เป็นต้น และคำนวณโหลดสำหรับระบบพลังความร้อนด้วยสมการ(5.31)



รูปที่ 5.5 อัลกอลิทึมสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาระบบพลังความร้อน

2. อ่านข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกๆเครื่อง
3. ทำการจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ตามอัลกอลิทึมในรูปที่ 5.3
4. ทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดตามอัลกอลิทึมในรูปที่ 5.4
5. รวมผลลัพธ์ทั้งหมดแล้วส่งกลับระบบรวม

5.3.6 การโคออดิเนทผลลัพธ์ของปัญหาต่าง ๆ

เมื่อกำหนดค่าตัวคูณลากรังซ์จ ($\lambda_{beg}{}^{n}$) ในขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n การออปติไมซ์ปัญหาของการส่งออกกำลังไฟฟ้า จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งออกรวม $\sum P_m$ การออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำ จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของระบบพลังน้ำ $\sum P_j$ และการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังความร้อน จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของระบบพลังความร้อน $\sum P_i$

เนื่องจากในการออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังความร้อน เราได้ทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยได้ปรับค่าตัวคูณลากรังซ์จเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนแต่ละเครื่องจ่ายโหลดที่ค่าอัตราเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตต่อหน่วย(Incremental cost)เท่ากันและเพื่อรักษาความสมดุลระหว่างกำลังผลิตกับโหลด ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของระบบพลังความร้อน $\sum P_i$ ที่ได้นั้นจึงเป็นค่าที่สอดคล้องกับค่าตัวคูณลากรังซ์จใหม่ ($\lambda_{end}{}^{n}$) ซึ่งค่าตัวคูณลากรังซ์จใหม่นี้อาจแตกต่างจากค่าเดิม($\lambda_{beg}{}^{n}$)ที่ได้กำหนดแต่ต้น

เมื่อค่าตัวคูณลากรังซ์จใหม่แตกต่างจากค่าเดิมมาก ก็หมายความว่า การออปติไมซ์ปัญหารวมยังไม่ได้คำตอบ จำเป็นต้องปรับค่าตัวคูณลากรังซ์จใหม่แล้วเริ่มคำนวณมาแต่ต้นอีกครั้งในขั้นตอนการคำนวณซ้ำต่อไปจนกว่าจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าตัวคูณลากรังซ์จเดิมและค่าตัวคูณลากรังซ์จใหม่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การปรับค่าตัวคูณลากรังซ์จในขั้นตอนการคำนวณซ้ำต่อไป ใช้หลักการดังนี้

ถ้าในขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n ค่าของ $\lambda_{end}{}^{n}$ มากกว่า ค่าของ $\lambda_{beg}{}^{n}$ ในขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n+1 ให้เพิ่มค่า $\lambda_{beg}{}^{n+1}$ ขึ้น

ถ้าในขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n ค่าของ $\lambda_{end}{}^{n}$ น้อยกว่า ค่าของ $\lambda_{beg}{}^{n}$ ในขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n+1 ให้ลดค่า $\lambda_{beg}{}^{n+1}$ ลง

ในทางปฏิบัติ หลักการการปรับค่าตัวคูณลากรังซ์จดังกล่าว สามารถเขียนด้วยสมการดังนี้

ถ้า $|\lambda_{end}{}^{n} - \lambda_{beg}{}^{n}| > \text{Error}$

ให้ $$\lambda_{beg}{}^{n+1} = \lambda_{beg}{}^{n} + Sl^{n} . (\lambda_{end}{}^{n} - \lambda_{beg}{}^{n}) \quad (5.38)$$

$$Sl^{n} = 1/(a + b.n) \quad (5.39)$$

เมื่อ Sl^{n} คือ ช่วงการปรับ (Step length) ในขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n

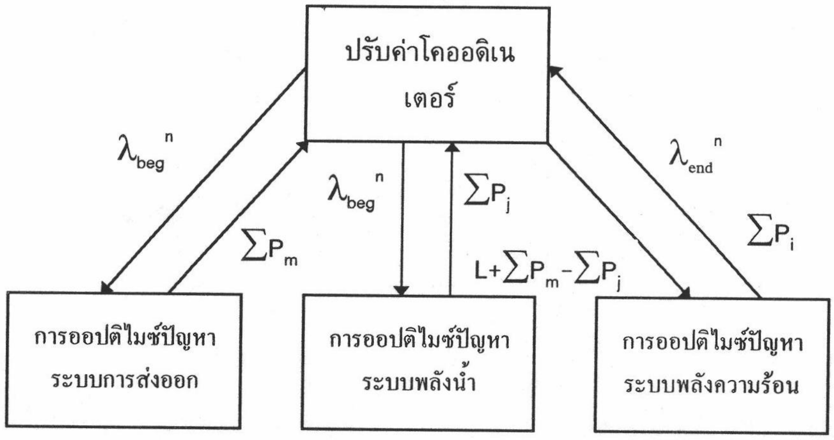
Error คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

a และ b คือ ค่าคงที่

$\lambda_{beg}{}^{n}$ คือ ค่าตัวคูณลากรังซ์จ ณ เวลาเริ่มต้นการคำนวณในขั้นตอนการคำนวณซ้ำn

$\lambda_{end}{}^{n}$ คือ ค่าตัวคูณลากรังซ์จ ณ เวลาสิ้นสุดการคำนวณในขั้นตอนการคำนวณซ้ำn

การโคออดิเนทผลลัพธ์ของปัญหาต่างๆได้แสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 โครงสร้างของการเชื่อมประสานผลลัพธ์ของปัญหาต่างๆ

เมื่อ
$$\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \ldots, \lambda_T]^t$$
$$L = [L_1, L_2, L_3, \ldots, L_T]^t$$
$$P_m = [P_{m1}, P_{m2}, P_{m3}, \ldots, P_{mT}]^t$$
$$P_j = [P_{j1}, P_{j2}, P_{j3}, \ldots, P_{jT}]^t$$
$$P_i = [P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \ldots, P_{iT}]^t$$

5.3.7 อัลกอลิทึมหลักสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิต

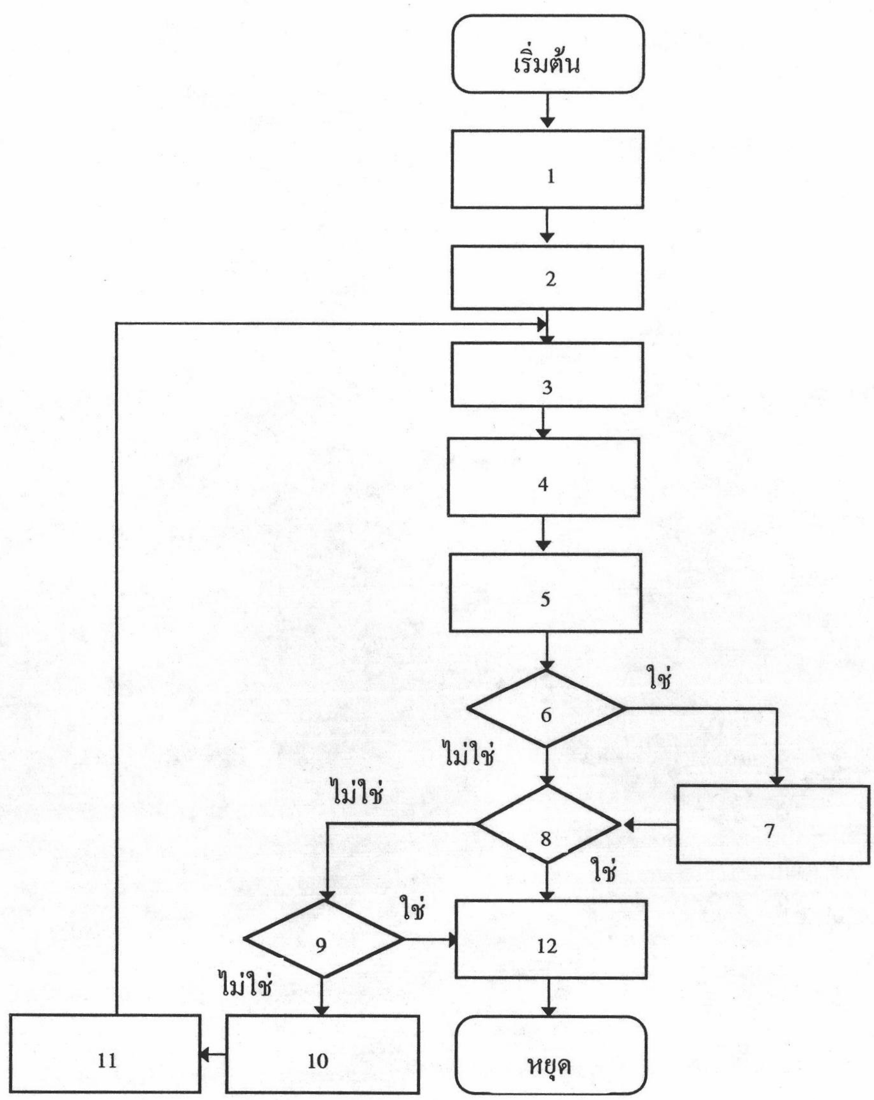
อัลกอลิทึมหลักสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิต คืออัลกอลิทึมที่รวมถึงการออปติไมซ์ทั้งหมดในระบบ ได้แสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. ตั้งเลขขั้นตอนการคำนวณซ้ำ n=1
2. สมมติค่าเริ่มต้นของตัวคูณลากรังซ์จ $\lambda_{beg}{}^{n}$
3. ออปติไมซ์ปัญหาของระบบการส่งออกตามอัลกอลิทึมรูปที่ 5.1
4. ออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังน้ำตามอัลกอลิทึมรูปที่ 5.2
5. ออปติไมซ์ปัญหาของระบบพลังความร้อนตามอัลกอลิทึมรูปที่ 5.5
6. ตรวจสอบว่า ค่าของกำไรจากการส่งออกในขั้นตอนการคำนวณซ้ำปัจจุบันดีกว่าค่าในขั้นตอนการคำนวณซ้ำผ่านมาหรือไม่

ถ้าไม่ใช่ ให้ไปทำขั้นตอนที่ 8

ถ้าใช่ ให้ทำขั้นตอนที่ 7

7. บันทึกผลลัพธ์ในขั้นตอนการคำนวณซ้ำปัจจุบัน แล้วไปทำขั้นตอนที่ 8 ต่อไป
8. ตรวจสอบว่า $|\lambda_{end}^{n} - \lambda_{beg}^{n}| \leq$ Error หรือไม่
   ถ้าใช่ ให้ไปทำขั้นตอนที่ 12
   ถ้าไม่ใช่ ให้ไปทำขั้นตอนที่ 9 ต่อไป
9. ตรวจสอบว่า จำนวนขั้นตอนการคำนวณซ้ำเกินจำนวนสูงสุดหรือไม่
   ถ้าไม่ใช่ ให้ไปทำขั้นตอนที่ 10 ต่อไป
   ถ้าใช่ ให้ไปทำขั้นตอนที่ 12
10. เพิ่มเลขที่ขั้นตอนการคำนวณซ้ำใหม่ n = n +1 แล้วไปทำขั้นตอนที่ 11 ต่อไป
11. ปรับค่าตัวคูณลากรังซ์จ λ_{beg}^{n+1} ด้วยสมการ(5.38) แล้วไปทำขั้นตอนที่3ใหม่
12. บันทึก พิมพ์ผลลัพธ์ และหยุดโปรแกรม



รูปที่ 5.7 อัลกอลิทึมหลักสำหรับการออปติไมซ์ปัญหาการกำหนดการผลิต