บทที่ 4
การกำหนดแผนการบำรุงรักษา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังควรต้องได้รับการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นไปตามปกติ และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานตามความเหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบผลิตไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วไปมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวนมาก และแต่ละเครื่องล้วนต้องการการบำรุงรักษาตามกำหนดเป็นรายปีหรือรายเดือนทั้งสิ้น แผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งควรก่อให้เกิดความคุ้มค่าต่อการดำเนินการของหน่วยงานที่รับผิดชอบสูงสุด

4.1. เป้าหมายในการกำหนดแผนการบำรุงรักษา

การวางแผนระบบไฟฟ้ากำลังทั่วๆไปมีเป้าหมายหลักสองประการคือ เป้าหมายทางเศรษฐศาสตร์ โดยทั่วไปมักมุ่งเน้นที่การดำเนินงานที่ก่อให้เกิดกำไรสูงสุด หรือค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมต่ำสุด ส่วนเป้าหมายที่สองคือ ความเชื่อถือได้ของระบบ (Power System Reliability) ควรมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม เนื่องจากในทางปฏิบัติหน่วยงานที่บริหารพลังงานทางไฟฟ้ากำหนดค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (Reliability indices) เป็นค่ามาตรฐาน ดังนั้นการกำหนดแผนการบำรุงรักษาคือการหาจุดสมดุลระหว่างเป้าหมายทางด้านเศรษฐศาสตร์ และเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้

4.1.1. เป้าหมายทางเศรษฐศาสตร์ (Economic objective)

หมายถึง การดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ได้ผลทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุดนั้น ต้องพิจารณาในหลายประเด็นและขึ้นกับผู้ที่ได้รับประโยชน์ หากพิจารณาในฐานะของผู้ผลิตหรือผู้บริหารระบบไฟฟ้าเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์คือ ผลกำไรสูงที่สุด โดยปกติแล้วราคาที่ผู้บริหารระบบไฟฟ้าขายพลังงานนั้นมีการกำหนดไว้ตามสัญญาอยู่แล้ว ดังนั้นกำไรสูงสุดจึงหมายถึงการลดค่าใช้จ่ายให้ต่ำที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายที่นำมาพิจารณาในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีดังนี้

ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง [8,9]

สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนคือ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed cost) เช่น ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าจ้างพนักงาน ค่าใช้จ่ายด้านการบริหาร และค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงตามกำลังไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิต (Operating cost) เช่น ค่าเชื้อเพลิง เป็นต้น การพิจารณานั้นค่าใช้จ่ายที่ถูกต้อง

จำเป็นต้องนำค่าใช้จ่ายทั้ง 2 ลักษณะมาพิจารณา แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายส่วนคงที่จะมีค่าคงที่ไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลา พลังงาน หรือกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายออกมา ดังนั้นในระหว่างการกำหนดแผนการบำรุงรักษาจึงสามารถละเลยได้เพื่อความรวดเร็วในการวางแผน แต่จะต้องนำมาคำนวณด้วยหากต้องการแสดงผลเพื่อความถูกต้อง

เนื่องจากการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นการวางแผนระยะยาว ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่สามารถกำหนดกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะทำการผลิตในแต่ละช่วงเวลาได้ ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการนำมาพิจารณาจึงเป็นค่าใช้จ่ายที่คำนวณมาจากพลังงานที่คาดว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะผลิตออกมา

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา [8,9]

ค่าใช้จ่ายส่วนนี้หมายถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทั้งหมดทั้งที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ เช่น น้ำมันหล่อลื่น อุปกรณ์หล่อเย็น และบุคลากรที่ใช้ในการบำรุงรักษา ซึ่งปกติจะมีค่าใกล้เคียงกันมากในช่วงเวลาที่ต่างกัน จึงอาจพิจารณาให้มีค่าเท่ากันในช่วงเวลาที่กำหนดแผนการบำรุงรักษา ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณากำหนดแผนก็ได้

ค่าเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ [8]

ค่าเสียหายส่วนนี้เป็นผลที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ หากการกำหนดแผนการบำรุงรักษาพิจารณาถึงผลประโยชน์ของผู้ใช้ ผลเสียหายนี้ก็จะนำผลกระทบทางเศรษฐกิจมาพิจารณา แต่หากพิจารณาในด้านของผู้บริหารระบบแล้ว ปกติสัญญาการซื้อขายไฟฟ้านั้นจะระบุลักษณะของการขดใช้กรณีเกิดไฟฟ้าดับ ผู้ใช้บางประเภทไม่ต้องได้รับการขดใช้ เมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้นกับระบบผลิตผู้ปฏิบัติการจะเลือกตัดโหลด (Load shading) กับคู่สัญญาที่ไม่ต้องขดใช้ค่าเสียหาย ดังนั้นในกรณีของผู้บริหารระบบไฟฟ้าจึงอาจไม่นำผลเสียหายจากไฟฟ้าดับมาร่วมพิจารณา

4.1.2. เป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของระบบ (Reliability Objective)

ในปัจจุบันค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมาจากกฎเกณฑ์ความน่าจะเป็น (Probabilistic criteria) เช่น ดัชนี LOLP (Loss Of Load Probability) ดัชนี EUE (Expected Unserved Energy) เป็นต้น เนื่องจากเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงค่าเชิงปริมาณได้ [2] ดังนั้นวิธีการที่ใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงต้องใช้ดัชนีที่มีที่มาจากกฎเกณฑ์ความน่าจะเป็นมาใช้พิจารณา

การพิจารณาดัชนีดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ ระดับแรกคือ ระบบต้องมีดัชนีความเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์มาตราฐานซึ่งอาจพิจารณาเป็นเงื่อนไขหนึ่งในการกำหนดแผน ระดับที่สองคือการกำหนดแผนที่มีดัชนีความเชื่อถือได้ดีที่สุด อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติจะพิจารณาระดับแรกเป็นหลัก ส่วนระดับที่สองจะพิจารณาร่วมกันกับเป้าหมายทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะ

ของปัญหาออปติไมซ์ โดยตัวแปรที่นำมาใช้พิจารณาในปัญหาออปติไมซ์จะขึ้นกับการให้ความสำคัญของเป้าหมายทั้งสองของผู้กำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.2. วิธีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น หลักการต่างๆถูกนำมาใช้เพื่อให้สามารถได้แผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นไปตามเป้าหมายทั้งสองด้านดังกล่าวมาแล้ว ตัวแปรหลักที่จะเลือกใช้สำหรับแต่ละระบบไฟฟ้ากำลังจะขึ้นกับทฤษฎีที่ใช้ในการแสดงค่าความเชื่อถือได้ของระบบ และค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการวางแผน ตลอดจนจุดประสงค์ในการวางแผนระบบนั้นๆ

ในอดีตนั้นการแสดงความเชื่อถือได้ของระบบมาจากทฤษฎีการตัดสินใจ (Deterministic Criteria) ซึ่งเป็นการแสดงค่าในเชิงคุณภาพ เช่น ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีกำลังไฟฟ้าสำรองร้อยละ 10 จะมีความเชื่อถือได้ของระบบมากกว่าระบบไฟฟ้ากำลังที่มีกำลังไฟฟ้าสำรองร้อยละ 8 เป็นต้น แต่ไม่สามารถบอกได้ว่าดีกว่าเท่าไร ดังนั้นในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงนำค่ากำลังไฟฟ้าสำรอง (Reserve capacity) ใช้เป็นตัวแปรหลักในการพิจารณา ซึ่งเป็นที่มาของวิธี Levelized reserve และ Levelized reserve rate

ต่อมาดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบเช่น ค่าดัชนี LOLP, ดัชนี EUE ถูกนำมาใช้ในการแสดงความเชื่อถือได้ของระบบ ค่าเหล่านี้มีที่มาจากทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งสามารถแสดงค่าในเชิงปริมาณได้ ดังนั้นปัญหาการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงใช้ค่าดัชนีเหล่านี้เป็นตัวแปรหลักในการพิจารณา หรือหลักการของวิธี Levelized Risk Indices โดยค่า LOLP จะให้แผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เน้นค่าทางความเชื่อถือได้ของระบบ ส่วนค่า EUE ซึ่งแสดงถึงพลังงานที่คาดว่าระบบจะไม่ได้รับการจ่าย ดังนั้นในการพิจารณาจึงต้องมีการจัดลำดับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หากการจัดลำดับนี้เรียงตามค่าใช้จ่ายในการผลิตแล้ว นั่นคือค่า EUE เป็นค่าที่รวมผลทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และด้านความเชื่อถือได้ของระบบ จึงสามารถนำค่า EUE นี้มาใช้ในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งก็คือวิธี Levelized LOLP และ Levelized EUE

เนื่องจากการนำ EUE มาใช้เป็นตัวแปรหลักในการแก้ปัญหานั้นเป็นการนำข้อมูลด้านพลังงาน ผลที่ได้จะเหมือนกับนำค่าใช้จ่ายในการผลิตมาคิดเท่านั้นแต่ยังมีค่าใช้จ่ายด้านเศรษฐศาสตร์อื่นๆ เช่น ค่าสูญเสียเมื่อเกิดการขาดกำลังผลิต (Outage Cost) หากนำค่าใช้จ่ายเหล่านี้มาคิดด้วยแล้วก็จะสามารถหาค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานทั้งหมดได้ เรียกว่า Energy Cost ดังนั้นแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้จะเป็นไปตามความต้องการด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น

อย่างไรก็ตามการจะเลือกดัชนีใดมาใช้เป็นตัวแปรหลักขึ้นกับระบบไฟฟ้านั้นๆว่าต้องการแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีลักษณะเช่นไร

4.2.1. การกำหนดแผนการบำรุงรักษาด้วยวิธี Levelized Reserve

วิธีนี้นำกำลังไฟฟ้าสำรองซึ่งคำนวณได้ตามสมการ 4.1 [4] หรืออัตรากำลังไฟฟ้าสำรองซึ่งคำนวณได้จากสมการ 4.2 [4] ของระบบมาพิจารณาเป็นตัวแปรหลัก การหยุดบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบคือ การลดกำลังไฟฟ้าสำรองของระบบลงในช่วงเวลาที่หยุดบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นตำแหน่งของการหยุดบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วงเวลาที่ระบบมีกำลังไฟฟ้าสำรองมากที่สุด นั่นคือการพยายามลดขนาดกำลังไฟฟ้าสำรองในช่วงเวลาที่มีกำลังไฟฟ้าสำรองสูงลง และกรณีที่ดีที่สุดคือกรณีที่กำลังไฟฟ้าสำรองหรืออัตรากำลังไฟฟ้าสำรองในทุกๆช่วงเวลาย่อยมีขนาดเท่ากัน นั่นคือค่าเบี่ยงเบนของกำลังไฟฟ้าสำรองหรืออัตรากำลังไฟฟ้าสำรองมีค่าต่ำที่สุด

การพิจารณาเลือกกำลังไฟฟ้าสำรองหรืออัตรากำลังไฟฟ้าสำรองเป็นเป้าหมายในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาจะสัมพันธ์กับการบริหารระบบไฟฟ้า หากการกำหนดกำลังไฟฟ้าสำรองของระบบไฟฟ้ากำหนดจากขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในระบบ กำลังสำรองที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลาย่อยจะมีค่าคงที่ การกำหนดแผนการบำรุงรักษาก็ควรใช้กำลังไฟฟ้าสำรองเป็นตัวแปรเป้าหมาย หากกำหนดกำลังไฟฟ้าสำรองเป็นอัตราส่วนจากขนาดโหลด ตัวแปรเป้าหมายที่ใช้ก็ควรเป็นอัตรากำลังไฟฟ้าสำรอง

เป้าหมายของการกำหนดแผนบำรุงรักษาด้วยหลักการนี้คือ กำลังไฟฟ้าสำรองหรืออัตรากำลังไฟฟ้าสำรองในทุกช่วงเวลาย่อยมีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถได้ตามสมการ 4.3 และ 4.4 [4]

$$R(t) = \sum_{j=}^{n} P_j\left(1 - X_j(t)\right) - P_L(t) \tag{4.1}$$

$$R_r(t) = \frac{R(t)}{P_L(t)} \tag{4.2}$$

$$R(1) = R(j) = R(j+1) = R(T) \tag{4.3}$$

$$R_r(1) = R_r(j) = R_r(j+1) = R_r(T) \tag{4.4}$$

เมื่อ $R(t)$ คือ กำลังไฟฟ้าสำรองของระบบที่เวลาย่อย t

$R_r(t)$ คือ อัตรากำลังไฟฟ้าสำรองที่เวลาย่อย t

P_j คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

$X_j(t)$ คือ ตัวแปรสเตทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ที่เวลาย่อย t
(ถ้าหยุดมีค่า 0 ไม่หยุดมีค่า 1)

$P_L(t)$ คือ โหลดคาดคะเนที่เวลาย่อย t

n คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด

T คือ จำนวนช่วงเวลาย่อยทั้งหมด

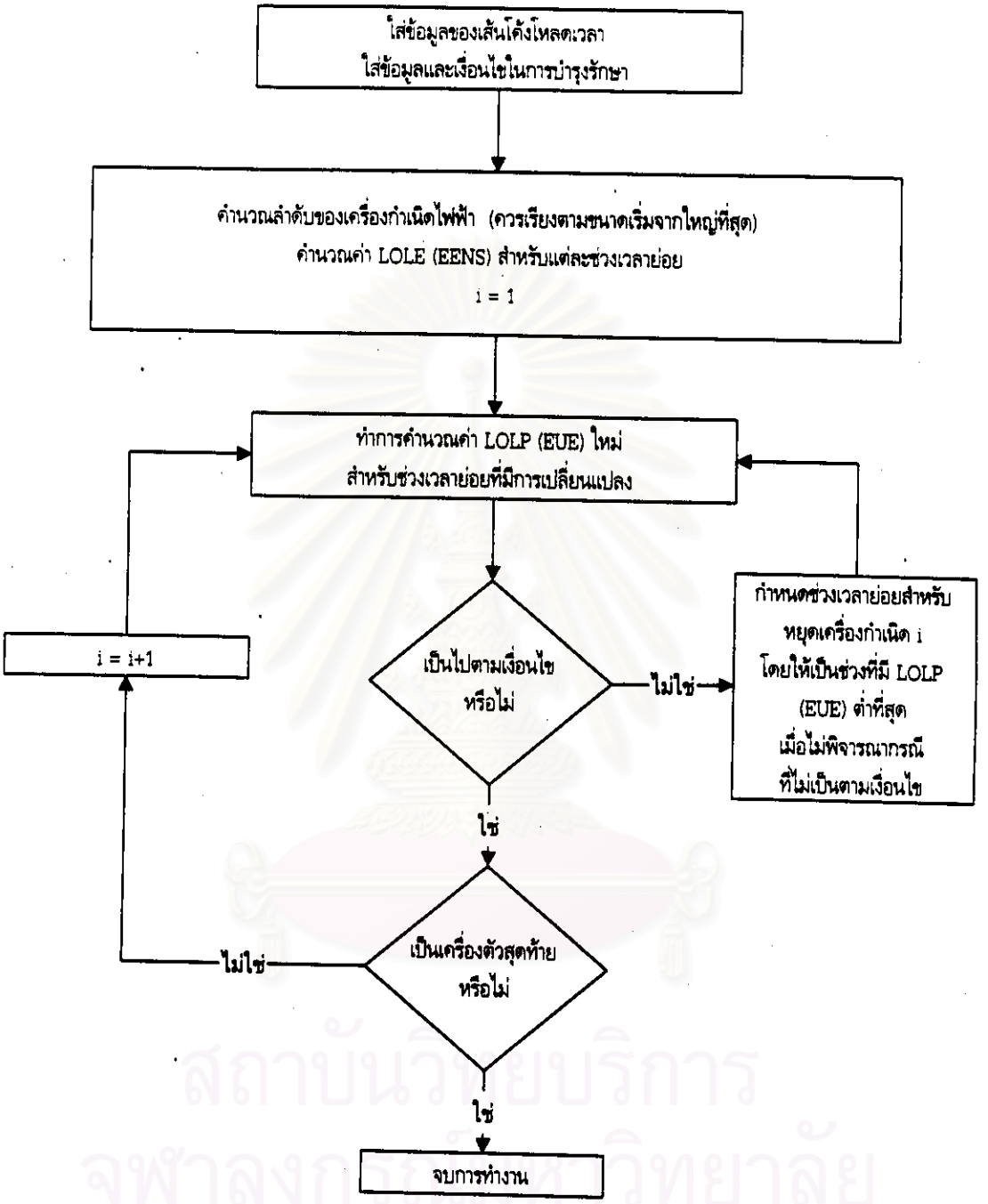
ลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้ จะต้องทำการลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบเสียก่อน โดยปกติจะเรียงลำดับตามขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากขนาดใหญ่ไปขนาดเล็ก เนื่องจากการหยุดบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีผลกระทบต่อระบบมากจึงต้องพิจารณาก่อน ดังนั้นจะพบว่าวิธี Levelized Reserve นี้จะให้ผลตอบที่เป็นไปตามเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของระบบค่อนข้างชัดเจน เนื่องจากนำกำลังสำรองมาพิจารณาเป็นตัวแปรหลัก สำหรับเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์นั้นจะแฝงอยู่ในลำดับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมาพิจารณาเลือกช่วงเวลาย่อยที่จะหยุดบำรุงรักษาก่อน แล้วจึงพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กกว่าลงไป การลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้จะมีแนวโน้มที่เป็นไปตามเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากปกติเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องที่จ่ายพลังงานในช่วงโหลดต่ำ (Base Load) อย่างไรก็ตามการลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบนี้มีโอกาสคลาดเคลื่อนจากการลำดับทางเศรษฐศาสตร์สูง เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำส่วนใหญ่จะมีกำลังผลิตไม่สูงแต่มีราคาถูกและยังมีพลังงานจำกัดด้วย หากจะพิจารณาอย่างถูกต้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะนี้ต้องถูกให้จ่ายพลังงานในลำดับแรก แต่หากเรียงตามขนาดกำลังผลิตแล้วลำดับที่ได้จะไม่ถูกต้อง สรุปแล้วถึงแม้วิธีนี้จะไม่ตอบสนองทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยตรง แต่ผลตอบที่ได้ก็ยังจะมีแนวโน้มที่ดีทางด้านเศรษฐศาสตร์เช่นกัน

4.2.2. การกำหนดแผนการบำรุงรักษาด้วยวิธี Levelized LOLP

ค่า LOLP เป็นดัชนีที่บ่งถึงความน่าจะเป็นของการขาดกำลังผลิต สามารถหาค่า LOLP ได้จากสมการ 2.24, 2.30 และ 2.36 ในบทที่ 2 แผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังนั้นต้องให้ค่า LOLP รวม (คิดจากการเฉลี่ยค่า LOLP ในทุกๆช่วงเวลาย่อย) ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาเริ่มต้นจากที่ไม่มีการหยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อบำรุงรักษา การหยุดเครื่องจะมีผลทำให้ค่า LOLP รวมสูงขึ้น ปัญหาจึงอยู่ที่จะทำอย่างไรให้เพิ่มน้อยที่สุด

ช่วงเวลาย่อยที่มีค่าดัชนี LOLP สูงจะเป็นช่วงเวลาย่อยที่มีโหลดสูงด้วยเช่นกัน การหยุดบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงพิจารณาหยุดบำรุงรักษาในช่วงเวลาย่อยที่มีโหลดต่ำหรือมีค่าดัชนี LOLP ต่ำ เป้าหมายของวิธีนี้คือ การพยายามทำให้ดัชนี LOLP ในแต่ละช่วงเวลา

ย่อยใกล้เคียงกัน ซึ่งจะมีผลให้ค่าดัชนี LOLP รวมต่ำที่สุดด้วย ขั้นตอนของหลักการ Lebelized LOLP นี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 [10,11]



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธี Levelized LOLP และ Levelized EUE

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3. **การกำหนดแผนการบำรุงรักษาด้วยวิธี** Levelized EUE

EUE คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าระบบจะไม่ได้รับการจ่ายภายหลังเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด หลักสำคัญในการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้คือ เป้าหมายที่จะให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องหยุดบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบได้น้อยที่สุด โดยเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบและเลือกช่วงเวลาย่อยที่ระบบมี EUE ต่ำที่สุด มีขั้นตอนการแก้ปัญหาเหมือนกับวิธี Levelized LOLP ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.2.4. **การกำหนดแผนการบำรุงรักษาด้วยวิธี** Levelized Energy Cost

ค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน (Energy Cost, EC) คือ ค่าใช้จ่ายที่คำนวจากพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตออกสู่ระบบ และค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ (Outage Cost) [8]ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายสู่ระบบนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่น ลำดับในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าจ่ายพลังงานในระบบ ขนาดของโหลดในช่วงที่พิจารณา เป็นต้น ดังนั้นในช่วงเวลาที่ต่างกันพลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งๆจ่ายสู่ระบบจึงแตกต่างกัน ส่วนค่าความสูญเสียเนื่องจากการขาดกำลังผลิตนั้นจะมีค่าแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ซึ่งระบบที่พิจารณาจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ ค่าดัชนีความเสียหายต่อหน่วยพลังงานเป็นค่าที่ได้จากการสำรวจและวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับผลกระทบทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งมีดัชนีที่เกี่ยวข้องคือ

EES (Expected Energy Supplied) คือ พลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายให้ระบบ สามารถหาค่า EES ได้จากสมการ 2.34 ในบทที่ 2

EC (Energy Cost) คิดจากอัตราค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง (Incremental Fuel Cost, Baht/MWh) ค่าใช้จ่ายส่วนคงที่ และค่าความสูญเสียที่เกิดจากการไม่สามารถจ่ายพลังงานให้ระบบ แสดงตามสมการ 4.5

$$EC(i) = \sum_{j=1}^{n} EES_j(i) \times \lambda_j + \sum_{j=1}^{n} FC_j + EUE_i \times OC \qquad (4.5)$$

เมื่อ $EC(i)$ คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาย่อย i

λ_j คือ อัตราค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

FC_j คือ ค่าใช้จ่ายส่วนคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ในช่วงเวลาย่อย i

OC คือ อัตราค่าสูญเสียเนื่องจากการไม่สามารถจ่ายพลังงานให้ระบบได้

การแก้ปัญหานี้จึงเป็นการหาจุดต่ำสุดของผลรวม EC ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องที่ต้องหยุดเพื่อบำรุงรักษา มีขั้นตอนการแก้ปัญหาดังแสดงในรูปที่ 4.2 [8] และสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันได้คือ [8]

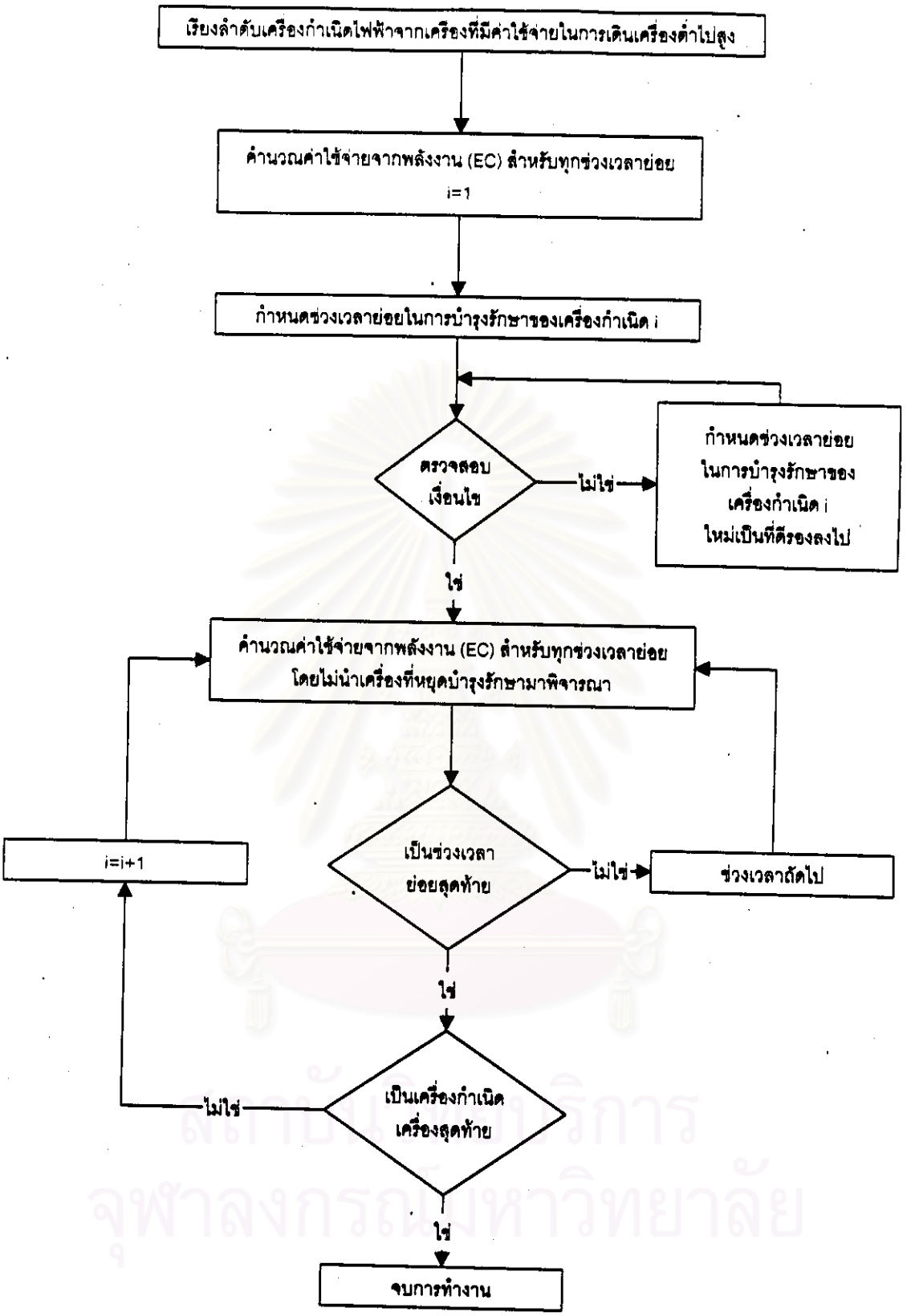
$$Min\left(\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=ST_j}^{ST_j+MT_j} EC_j(i)\right) \tag{4.6}$$

เมื่อ n คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ST_j คือ ช่วงเวลาย่อยเริ่มต้นในการหยุดบำรุงรักษาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

MT_j คือ เวลาที่ต้องการในการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธี Levelized Energy Cost

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3. เงื่อนไข (Constraints)

ในการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น มีเป้าหมายสำคัญ 2 ประการดังกล่าวคือ เป้าหมายด้านค่าใช่จ่ายและเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามภายใต้ความต้องการและวิธีดังกล่าวมีปัจจัยและเงื่อนไขที่ต้องคำนึงถึงหลายประการ ทั้งในด้านของช่วงเวลาในการทำการบำรุงรักษาเครื่อง เงื่อนไขที่เกิดจากบุคลากรและอุปกรณ์ในการบำรุงรักษา และเงื่อนไขจากความเชื่อถือได้ของระบบโดยรวม เป็นต้น รายละเอียดเงื่อนไขที่มีผลในการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.1. ช่วงเวลาที่สามารถหยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Maintenance Stage Constraints) [4]

ในทางปฏิบัติผู้ที่ทำหน้าที่รับผิดชอบการเดินเครื่องและบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะเป็นผู้แจ้งถึงช่วงเวลาที่ต้องการหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษา เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีข้อจำกัดในการเดินเครื่อง และหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาต่างกันไป หากหยุดบำรุงรักษาก่อนเวลาที่เหมาะสมอุปกรณ์ที่เปลี่ยนไว้จากการบำรุงรักษาครั้งก่อนยังไม่ถูกใช้เต็มที่ แต่หากหยุดบำรุงรักษาหลังเวลาที่เหมาะสมอุปกรณ์อาจทำงานจนหมดอายุการใช้งานและก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงได้ เงื่อนไขเวลาในกรณีนี้ สามารถแสดงเป็นสมการได้คือ

$$ML_j \le i_j \le MH_j \tag{4.7}$$

โดย i_j คือ ช่วงเวลาย่อยที่หยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

ML_j คือ ช่วงเวลาย่อยแรกที่สามารถหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ได้

MH_j คือ ช่วงเวลาย่อยสุดท้ายที่สามารถหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษาสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ได้

4.3.2. ความต่อเนื่องของการบำรุงรักษา(Continuity of Maintenance Activity) [4]

ในการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดๆก็ตาม จำเป็นต้องใช้เวลาในการทำงานที่ต่อเนื่องช่วงหนึ่งกล่าวคือ ช่วงเวลาที่จะหยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งจะต้องต่อเนื่องตามระยะเวลาที่กำหนด แสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$LT_j - ST_j + 1 = MT_j \tag{4.8}$$

เมื่อ LT_j คือ ช่วงเวลาย่อยสุดท้ายที่หยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

4.3.3. **ข้อจำกัดของบุคลากรและอุปกรณ์** (Crew Constraints) [4]

ในทางปฏิบัติการดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่จำกัดอยู่กับเครื่องใดเครื่องหนึ่งเพียงเครื่องเดียว แต่อาจจะทำการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมกันได้หลายเครื่อง หากมีจำนวนบุคลากรและอุปกรณ์มากเกินไปถึงแม้จะสามารถบำรุงรักษาได้หลายๆเครื่องพร้อมกัน แต่ก็เป็นการสิ้นเปลืองในด้านการบริหาร เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ความสามารถของบุคลากรและอุปกรณ์ที่จะบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้พร้อมกันจึงมีจำกัด ดังนั้นหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเครื่องเพื่อบำรุงรักษามากเกินความสามารถของจำนวนบุคลากรและอุปกรณ์ที่มีอยู่เป็นจำนวนจำกัดได้ การหยุดเครื่องดังกล่าวนอกจากจะไม่ได้ประโยชน์ใดแล้ว ยังทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบลดลง สมการที่แสดงเงื่อนไขนี้คือ

$$\sum_{j=1}^{n} X_j(i)\, M_a(j) \le MAX_a \tag{4.9}$$

โดย $M_a(j)$ คือ ตัวแปรสเตทของบุคลากรและอุปกรณ์บำรุงรักษากลุ่ม a สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j (ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ใช้กลุ่ม a ในการบำรุงรักษามีค่า 1 ถ้าไม่ใช่มีค่า 0)

MAX_a คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงสุดที่บุคลากรและอุปกรณ์กลุ่ม a สามารถบำรุงรักษาได้พร้อมกัน

4.3.4. **การบำรุงรักษามากกว่าหนึ่งครั้งในช่วงที่พิจารณา** (Multiple Times of Maintenance) [4]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งๆอาจมีการบำรุงรักษาไม่พร้อมกันในหลายส่วนเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซทั้งที่ทำงานปกติและทำงานในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ต้องบำรุงรักษาเมื่อครบชั่วโมงใช้งานซึ่งชั่วโมงใช้งานนี้ก็อาจขึ้นกับขนาดกำลังที่จ่ายโหลดอีกด้วย ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องต้องหยุดเพื่อบำรุงรักษามากกว่าหนึ่งครั้งในรอบระยะเวลาที่พิจารณา เงื่อนไขดังกล่าวแสดงตามสมการ 4.10 และสมการ 4.11 แสดงถึงช่วงเวลาน้อยที่สุด

ระหว่างการบำรุงรักษาครั้งแรกกับครั้งต่อไปทั้งนี้เพื่อไม่ให้การบำรุงรักษาแต่ละครั้งมีช่วงเวลาทำงานน้อยเกินไป

$$\sum_{i=1}^{T} X_j(i) = MT_{j1} + MT_{j2} \tag{4.10}$$

$$ST_{j2} - LT_{j1} \geq B_j \tag{4.11}$$

เมื่อ MT_{j*} คือ เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ครั้งที่ #

ST_{j2} คือ ช่วงเวลาย่อยเริ่มต้นในการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ครั้งที่ 2

LT_{j1} คือ ช่วงเวลาย่อยสุดท้ายในการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j ครั้งที่ 1

B_j คือ เวลาน้อยที่สุดระหว่างการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

4.3.5. อัตรากำลังไฟฟ้าสำรองต่ำสุด (Minimum Reserve Power) [4]

ในการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังนั้น ทุกๆช่วงเวลาที่พิจารณาต้องมีกำลังไฟฟ้าสำรองเพียงพอเพื่อป้องกันเหตุฉุกเฉินอันอาจเกิดการขาดกำลังผลิต อัตรากำลังไฟฟ้าสำรองต่ำสุดโดยทั่วไปสามารถกำหนดได้ 2 ลักษณะคือ

- กำหนดเป็นร้อยละ (Percent) ตามขนาดของโหลดขณะนั้น ตามสมการ 4.12
- กำหนดกำลังไฟฟ้าสำรองตามขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหญ่สุด n เครื่อง ตามสมการ 4.13

$$\sum_{j=1}^{n} P_j Xj(i) - P_L(i) \geq \frac{R_r}{100} \times P_L(i) \tag{4.12}$$

$$\sum_{j=1}^{n} P_j Xj(i) - P_L(i) \geq 1st(Pj) + 2nd(Pj) + \ldots + nth(Pj) \tag{4.13}$$

โดย P_j คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า j

$P_L(i)$ คือ โหลดสูงสุดที่คาดคะเนในช่วงเวลาย่อย i

R_r คือ อัตรากำลังไฟฟ้าสำรองต่ำสุดในแต่ละช่วงเวลาย่อยเป็นเปอร์เซนต์

$\#th(P_j)$ คือ กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงสุดลำดับที่ #

4.3.6. ค่าเกณฑ์ดัชนีความเชื่อถือได้

โดยปกติหน่วยงานที่บริหารพลังงานไฟฟ้าจะกำหนดดัชนีความเชื่อถือได้ที่แย่ที่สุดเป็นเกณฑ์ ดังนั้นในการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สุดท้ายแล้วแผนที่ได้ต้องให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้เป็นไปตามเกณฑ์ ดังแสดงตามสมการต่อไปนี้

$$\frac{\sum_{i=1}^{T} LOLP(i)}{T} \leq LOLP_{\max} \qquad (4.14)$$

โดย $LOLP_{max}$ คือ ค่าดัชนี LOLP สูงสุดที่กำหนดโดยหน่วยงานบริหารพลังงานไฟฟ้า

$LOLP(i)$ คือ ค่าดัชนี LOLP ในช่วงเวลาย่อย i

T คือ จำนวนช่วงเวลาย่อยทั้งหมดที่พิจารณา

4.3.7. ผลของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็นโรงไฟฟ้าที่นำเชื้อเพลิงมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยทั่วไปชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมหนึ่งชุดประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิดคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซซึ่งมักมีมากกว่า 1 เครื่อง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำ 1 เครื่อง หากกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซหยุดบำรุงรักษาโดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำในชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเดียวกันยังคงจ่ายพลังงานอยู่ในระบบ ผลที่เกิดขึ้นคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำจะไม่สามารถทำงานได้เต็มที่ตามขนาดพิกัด

หากต้องการคำนวณค่าของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซเดินเครื่องไม่ครบจำนวนต้องใช้สมการและข้อมูลที่ซับซ้อน ประกอบกับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซในชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเดียวกันโดยทั่วไปจะมีขนาดเท่ากัน ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงจะพิจารณาให้กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำจ่ายได้ลดลงตามสัดส่วนของจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซที่ถูกนำออกจากระบบ ดังแสดงในสมการ 4.15

$$C_{Snew}(j) = \frac{\left(N_{gas}(j) - N_{shut}(j)\right)}{N_{gas}(j)} \times C_S(j) \qquad (4.15)$$

เมื่อ $C_{Snew}(j)$ คือ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำในชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม j เมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซในชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเดียวกันไม่สามารถจ่ายพลังงานได้

$C_S(j)$ คือ ขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังไอน้ำในชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม j

$N_{gas}(j)$ คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซในชุดผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม j

$N_{shut}(j)$ คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันก๊าซที่ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้

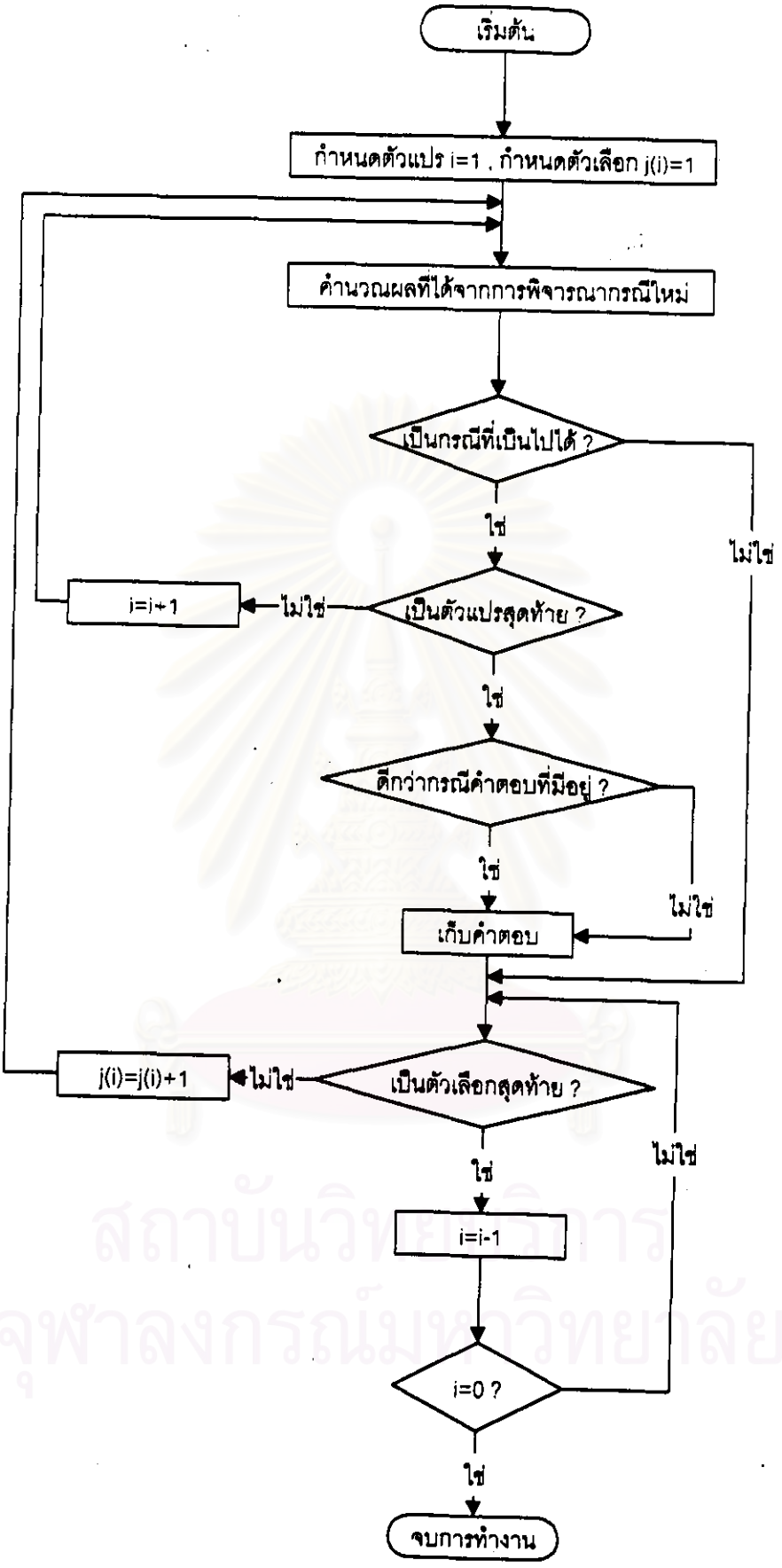
4.4. วิธีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Searching techniques)

วิธีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังเป็นปัญหาการออปติไมซ์ (Optimization problem) ลักษณะหนึ่ง เนื่องจากแผนการบำรุงรักษาที่สามารถนำมาปฏิบัติได้มีเป็นจำนวนมาก หากแต่การกำหนดแผนที่ดีที่สุดต่อเป้าหมายทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าจะเป็นประโยชน์ต่อการผลิตไฟฟ้า วิธีออปติไมซ์ที่นำมาใช้แก้ปัญหาการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหลายวิธีที่สามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดี ข้อเสีย แตกต่างกัน รายละเอียดของวิธีการออปติไมซ์ต่างๆที่สามารถใช้กำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้มีดังนี้

4.4.1. วิธี Complete enumeration

วิธีการนี้คือการพิจารณากรณีที่เป็นไปได้ (Feasible case) ทั้งหมด แล้วเลือกผลที่ดีที่สุด หากพิจารณากำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า n เครื่อง ในช่วงเวลา k ช่วงเวลาย่อย จะต้องคิดกรณีต่างๆทั้งหมด 2^{nk} กรณี [1,12] อย่างไรก็ดีสามารถปรับปรุงหลักการของวิธีดังกล่าวเพื่อลดกรณีที่ต้องพิจารณาลงได้ โดยหลักการดังกล่าวแสดงตามแผนผังในรูปที่ 4.3 และแสดงเป็นตัวอย่างตามตัวอย่างที่ 4.1

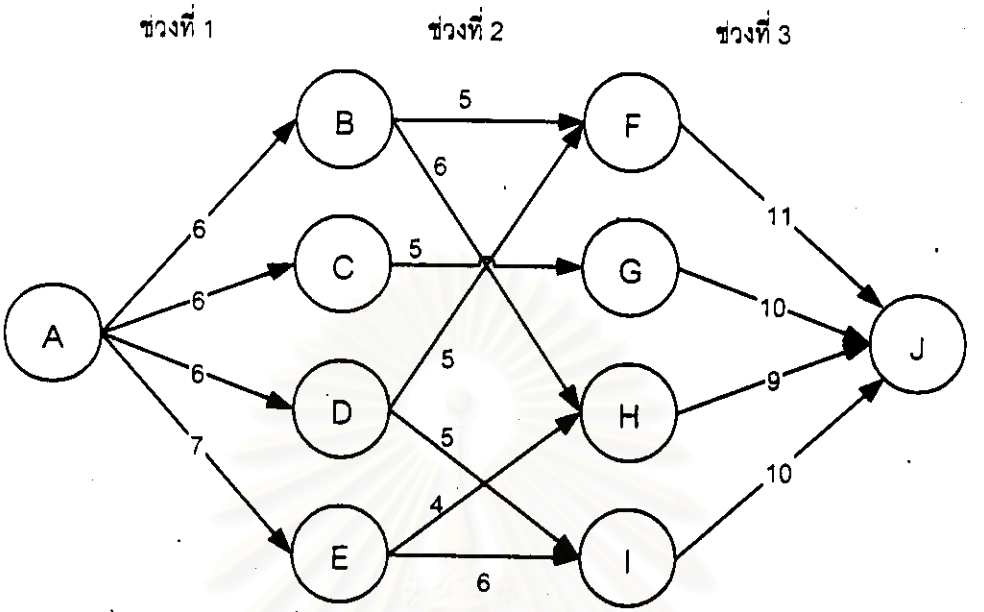
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 **หลักของวิธี** Complete enumeration**ที่ปรับปรุงแล้ว**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 4.1 จากรูปที่ 4.4 เลือกเส้นทางเดินจากจุด A ไปจุด J ที่มีค่าผลรวมระยะทางน้อยที่สุด วิธีการออปติไมซ์และผลตอบที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.4 กรณีปัญหาของตัวอย่างที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาตัวอย่างที่ 4.1

ขั้นตอนที่	ตัวแปร 1	ตัวแปร 2	ตัวแปร 3	ตัวแปร 4	เป็นกรณีเป็นไปได้	ผลรวมทางเดิน	เป็นคำตอบ
1	A				ใช่	0	
2	A	B			ใช่	6	
3	A	B	F		ใช่	11	
4	A	B	F	J	ใช่	22	ใช่
5	A	B	G		ไม่ใช่		
6	A	B	H		ใช่	12	
7	A	B	H	J	ใช่	21	ใช่
8	A	B	I		ไม่ใช่		
9	A	C			ใช่	6	
10	A	C	F		ไม่ใช่		
11	A	C	G		ใช่	11	
12	A	C	G	J	ใช่	21	ไม่ใช่

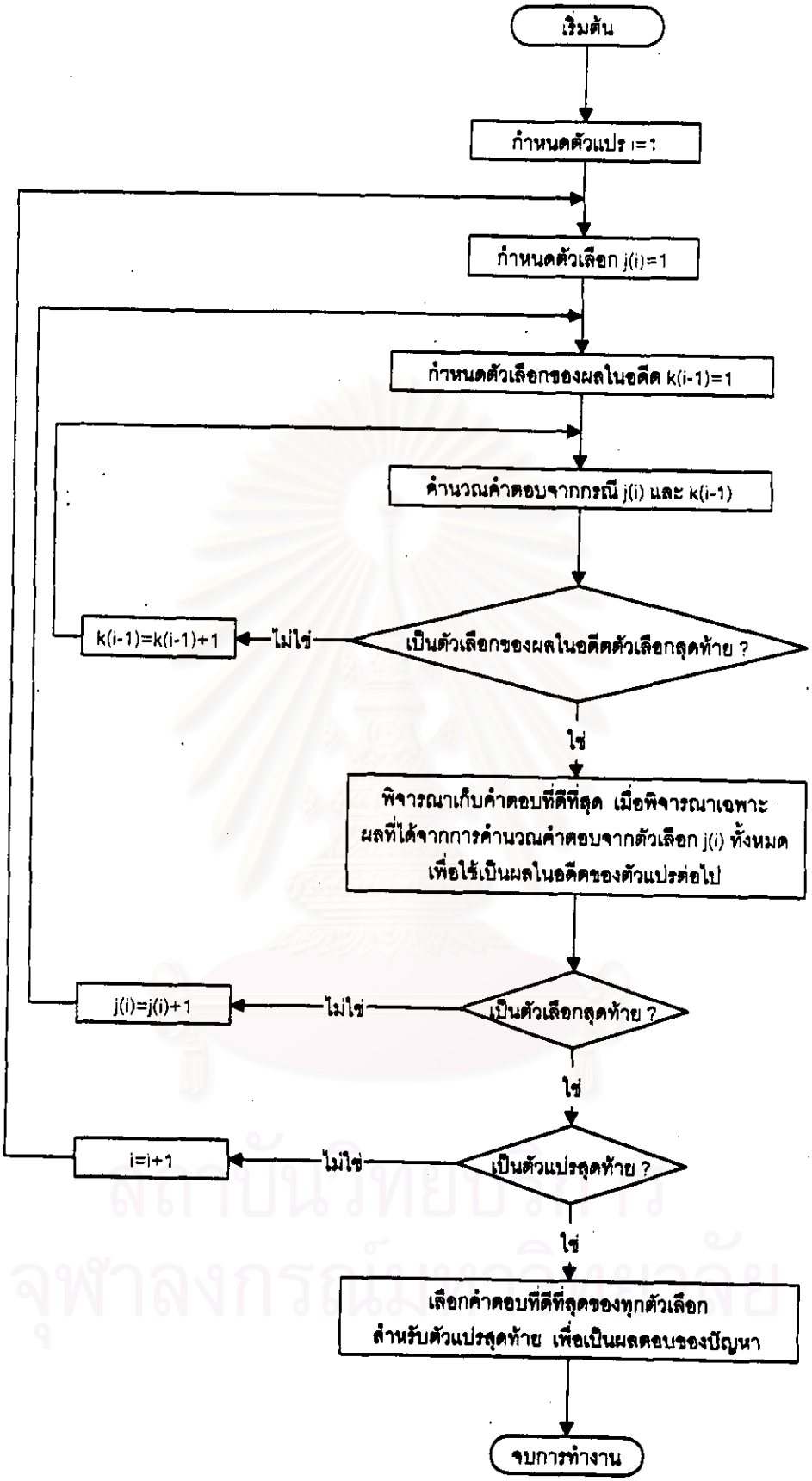
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ขั้นตอนการแก้ปัญหาตัวอย่างที่ 4.1

ขั้นตอนที่	ตัวแปร 1	ตัวแปร 2	ตัวแปร 3	ตัวแปร 4	เป็นกรณีเป็นไปได้	ผลรวมทางเดิน	เป็นคำตอบ
...							
17	A	D	F	J	ใช่	22	ไม่ใช่
...							
21	A	D	I	J	ใช่	21	ไม่ใช่
...							
26	A	E	H	J	ใช่	20	ใช่
...							
28	A	E	I	J	ใช่	23	ไม่ใช่

จากตัวอย่างที่ 4.1 จะพบว่าคำตอบที่ได้คือ เส้นทางเดินที่มีระยะทาง 20 หน่วย และด้วยวิธี Complete enumeration ที่ปรับปรุงแล้วต้องพิจารณากรณีทั้งหมด 28 กรณี ผลที่ได้จะพบว่าเป็นเส้นทางเดินที่ดีที่สุด แน่นอน แต่จำนวนกรณีที่ต้องพิจารณามีมาก ซึ่งหากพิจารณากรณีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว จำนวนกรณีก็จะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากและต้องการเวลาในการประมวลผลนานไปด้วย

4.4.2. วิธี Dynamic programming

Dynamic programming เป็นวิธีออปติไมซ์ที่นิยมนำมาใช้กับการแก้ปัญหาการวางแผนระบบผลิตไฟฟ้า เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ผลตอบค่อนข้างดีคือ ผลที่ได้ใกล้เคียงกับผลที่ดีที่สุด หลักการของวิธีนี้แสดงเป็นผังได้ตามรูปที่ 4.5 [5,13] ซึ่งอาศัยการพิจารณาตัวเลือกของตัวแปรในปัจจุบันประกอบกับผลที่ดีที่สุดจากแต่ละตัวเลือกของตัวแปรก่อน ดังนั้นในแต่ละตัวแปรของปัญหาต้องพิจารณากรณีจำนวนแน่นอนแสดงตามสมการ 4.16 และกรณีรวมทั้งหมดที่ต้องพิจารณาคำนวณได้ตามสมการ 4.17 และตัวอย่างที่ใช้วิธี Dynamic programming แสดงตัวอย่างที่ 4.2



รูปที่ 4.5 วิธี Dynamic programming

$$TC_i = N(i) \times N(i-1) \tag{4.16}$$

$$TC_{total} = \sum_{i=1}^{n} \left(N(i) \times N(i-1) \right) \tag{4.17}$$

เมื่อ $N(.)$ คือ จำนวนตัวเลือกในแต่ละตัวแปร

TC_i คือ จำนวนกรณีเมื่อพิจารณาตัวแปร i

TC_{total} คือ จำนวนกรณีที่ต้องพิจารณาทั้งหมด

n คือ จำนวนตัวแปรทั้งหมด

ตัวอย่างที่ 4.2 หาทิศทางการเดินที่มีระยะทางน้อยที่สุดจากรูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนและผลตอบจากการออปติไมซ์ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 4.2

ตัวแปรที่พิจารณา	จำนวนกรณีพิจารณา	ตัวเลือก	ผลตอบในอดีต			เป็นกรณีที่เป็นไปได้	คำตอบ	ตัวแปรก่อนที่เก็บไว้
			ตัวแปร 1	ตัวแปร 2	ตัวแปร 3			
1	1	A				ใช่	0	
2	2	B	A			ใช่	6	A
	3	C	A			ใช่	6	A
	4	D	A			ใช่	6	A
	5	E	A			ใช่	7	A
3	6	F	A	B		ใช่	11	A,B
	7	F	A	C		ไม่ใช่		
	8	F	A	D		ใช่	11	
	9	F	A	E		ไม่ใช่		
	10	G	A	B		ไม่ใช่		A,C
	11	G	A	C		ใช่	12	
	...							
	14	H	A	B		ใช่	12	A,E
	...							
	17	H	A	E		ใช่	10	

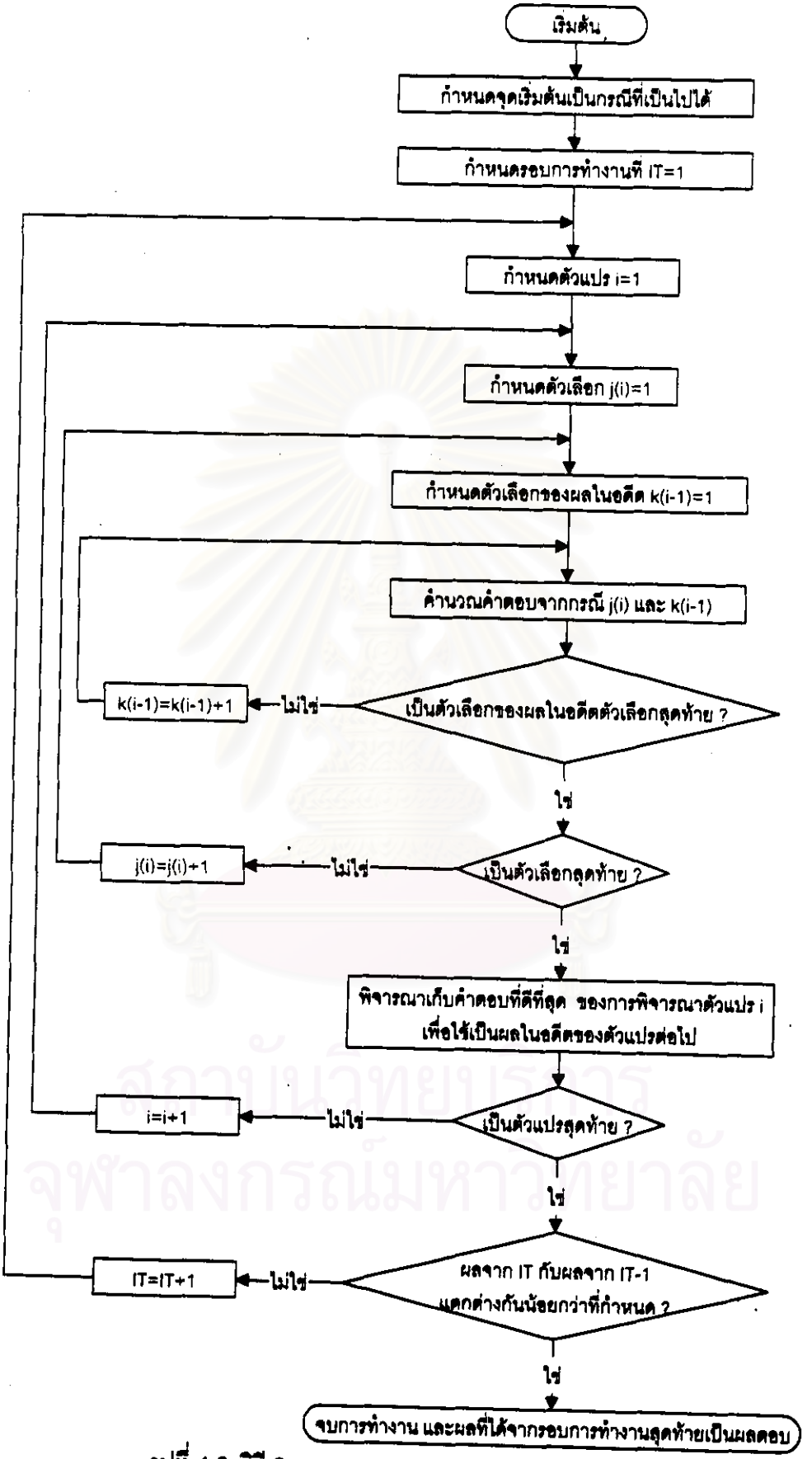
ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ขั้นตอนการแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 4.2

ตัวแปรที่พิจารณา	จำนวนกรณีพิจารณา	ตัวเลือก	ผลตอบในอดีต			เป็นกรณีที่เป็นไปได้	คำตอบ	ตัวแปรก่อนที่เก็บไว้
			ตัวแปร 1	ตัวแปร 2	ตัวแปร 3			
3	...							A,D
	20	I	A	D		ใช่	11	
	21	I	A	E		ใช่	13	
4	22	J	A	B	F	ใช่	22	A,E,H
	23	J	A	C	G	ใช่	21	
	24	J	A	E	H	ใช่	20	
	25	J	A	D	I	ใช่	21	

จากตัวอย่างที่ 4.2 จะพบว่าการแก้ปัญหาด้วยวิธี Dynamic programming จะพิจารณากรณีต่างๆน้อยกว่าวิธี Complete enumeration ในตัวอย่างที่ 4.1 คือ 25 และ 28 กรณีตามลำดับ ถึงแม้ความแตกต่างของกรณีที่พิจารณาจากตัวอย่างจะไม่มากนัก หากพิจารณาต่อไปจะพบว่าวิธี Dynamic programming จะมีจำนวนกรณีที่พิจารณาแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าเงื่อนไขจะมีลักษณะเช่นไรก็ตาม แต่วิธี Complete enumeration จะมีกรณีพิจารณามากขึ้นหากเงื่อนไขต่างๆ มีลักษณะผ่อนคลายเนื่องจากทำให้กรณีที่เป็นไปได้มีเพิ่มมากขึ้น สำหรับผลตอบที่ได้ในตัวอย่างเป็นผลตอบที่ดีที่สุด โดยทั่วไปแล้ววิธี Dynamic programming จะให้ผลตอบที่ดีที่สุด หากปัญหาที่พิจารณามีตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน [13]

เมื่อพิจารณาลักษณะของปัญหาการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีเงื่อนไขจำนวนมาก แต่ลักษณะเงื่อนไขค่อนข้างผ่อนคลาย (Released) เนื่องจากหากเงื่อนไขมีข้อจำกัดมากเกินไปโอกาสที่จะไม่มีแผนใดที่สอดคล้องเงื่อนไขทั้งหมดมีสูง ซึ่งหากเกิดลักษณะเช่นนี้ขึ้นผู้บริหารระบบต้องพิจารณาลดข้อจำกัดบางประการ นั่นคือการทำให้เงื่อนไขมีลักษณะผ่อนคลายขึ้น ดังนั้นวิธี Dynamic programming จึงเหมาะสมกว่าในการนำมาใช้กำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อย่างไรก็ดีตามหลักการ Levelized LOLP , Levelized EUE และ Levelized Energy Cost นั้นหากหยุดบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดก็จะมีผลกระทบต่อพลังงานและค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นๆด้วย ลักษณะเช่นนี้คือปัญหาที่ตัวแปรไม่อิสระต่อกันซึ่งไม่เป็นจริงต่อการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้และค่าใช้จ่ายในการผลิต ดังนั้นการพิจารณาทีละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยไม่พิจารณาเครื่องกำเนิดอื่นจึงเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้อง [4] แต่สามารถใช้วิธีออปติไมซ์ที่ปรับปรุงไปจากวิธี Dynamic programming ได้ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

4.4.3. วิธี Successive dynamic programming



รูปที่ 4.6 วิธี Successive dynamic programming

วิธี Successive dynamic programming นี้เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธี Dynamic programming เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานกับปัญหาที่ตัวแปรไม่เป็นอิสระได้ หลักการของวิธีนี้คือ การพิจารณาจากจุดเริ่มต้นซึ่งเป็นกรณีที่เป็นไปได้ จากจุดเริ่มต้นนี้ผลกระทบของแต่ละตัวแปรที่มีต่อกันจะถูกพิจารณาไปพร้อมกันด้วย จากนั้นจึงพิจารณาเปลี่ยนที่ละตัวแปรจนครบทุกตัวแปร โดยการเก็บผลในอดีตนั้นจะแตกต่างจากวิธี Dynamic programming ตรงที่จะเก็บผลในอดีตที่ดีที่สุดของทุกตัวเลือกไว้เพียงคำตอบเดียว เมื่อพิจารณาครบทุกตัวแปรนับเป็น 1 รอบการทำงาน (Iteration) แล้ว นำผลที่ได้จากรอบการทำงานมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากรอบการทำงานก่อน หากมีการเปลี่ยนแปลงผลตอบน้อยกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เป็นการจบการทำงานผลตอบที่ได้จากรอบการทำงานสุดท้ายเป็นผลตอบของปัญหา ขั้นตอนของวิธี Successive dynamic programming แสดงดังในรูปที่ 4.6 [4] และคำนวณกรณีที่ต้องพิจารณาได้จากสมการ 4.18

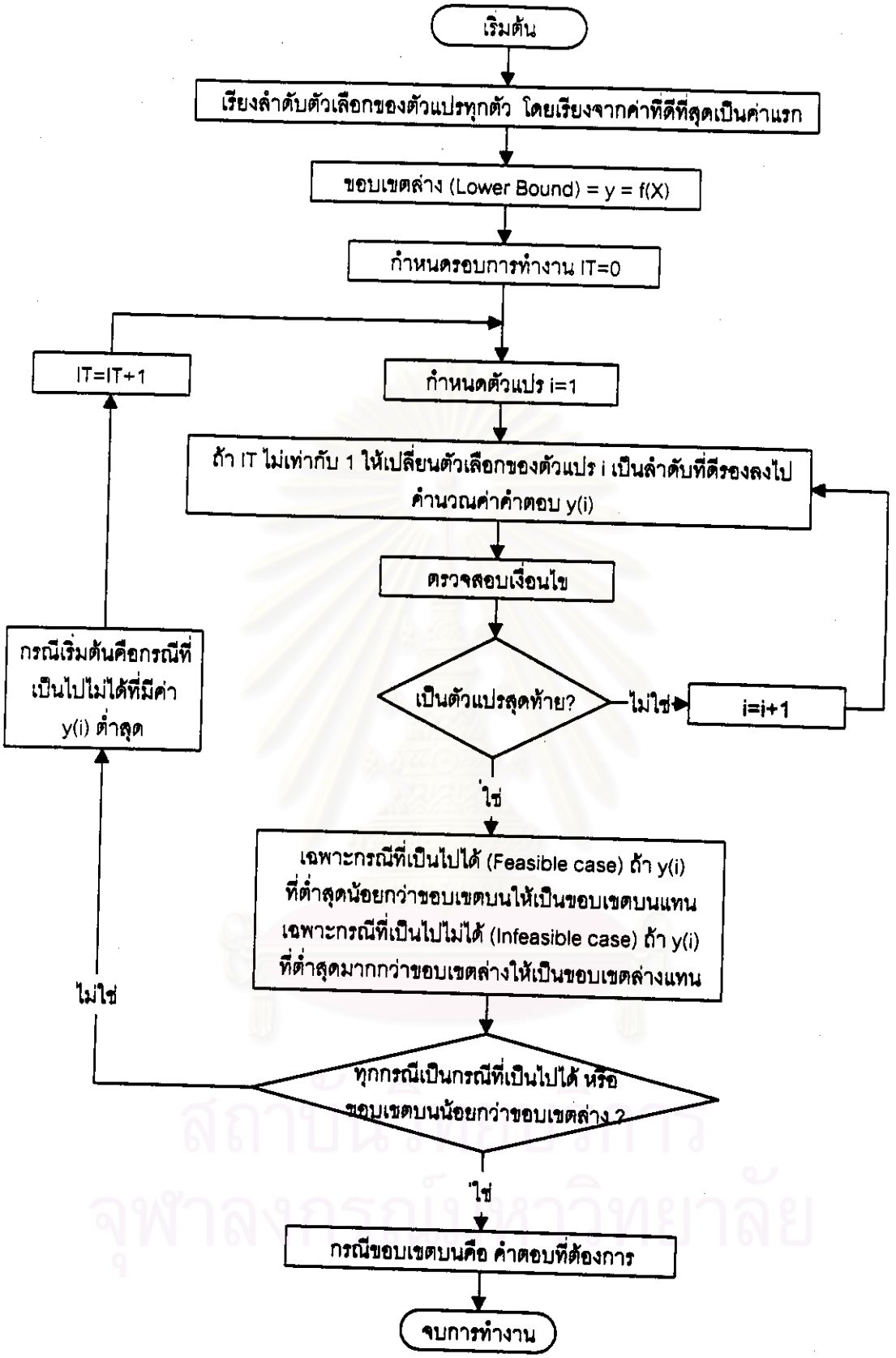
$$TC = numiter \times \sum_{i=1}^{n} N(i) \tag{4.18}$$

โดย *numiter* คือ จำนวนรอบการทำงานทั้งหมด

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่าวิธี Successive dynamic programming ในระหว่างการพิจารณาทีละตัวแปรในรอบการทำงานเป็นการพิจารณาให้ตัวแปรอิสระจากตัวแปรอื่นชั่วขณะ เนื่องจากทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงตัวแปรเดียวโดยตัวแปรอื่นไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นผลตอบที่ได้จึงอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่ก็ยังเป็นผลตอบที่อยู่ในเกณฑ์ดีใกล้เคียงกับผลตอบที่ดีที่สุด จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมและนิยมใช้ในการแก้ปัญหาการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.4.4. วิธี Branch and bound

หลักสำคัญของวิธีนี้คือการเลือกค้นหาคำตอบไปในทิศทางที่เชื่อว่าดีที่สุดเพียงทิศทางเดียว และกำหนดขอบเขตทั้งบนและล่าง ซึ่งจะกำจัดกรณีที่อยู่นอกขอบเขตออกไป เนื่องจากขอบเขตทั้งสองมีแนวโน้มที่จะลู่เข้าหากัน ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นการแก้ปัญหาที่เร็ว [12,14,15] และถึงแม้ว่าอาจจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดแน่นอนแต่โอกาสผิดพลาดไปก็มีน้อย และหากผิดพลาดไปคำตอบก็ยังเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด โดยเฉพาะกรณีที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกัน ขั้นตอนของวิธี Branch and bound แสดงดังในรูปที่ 4.7 [15] และแสดงตัวอย่างตามตัวอย่างที่ 4.3



รูปที่ 4.7 วิธี Branch and bound

ตัวอย่างที่ 4.3 จากรูปที่ 4.4 หาทิศทางการเดินที่มีระยะทางน้อยที่สุดด้วยวิธี Branch and bound ซึ่งแสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ขั้นตอนการออปติไมซ์ตามตัวอย่างที่ 4.3

รอบการทำงาน	จำนวนกรณี	1 ไป 2	2 ไป 3	3 ไป 4	เป็นกรณีที่เป็นไปได้	ระยะทาง	ขอบเขตบน	ขอบเขตล่าง	กรณีเริ่มต้นรอบถัดไป	กรณีผลตอบ
1	1	AB	EH	HJ	ไม่ใช่	19		19	AB,EH,HJ	
2	2	AC	EH	HJ	ไม่ใช่	19		19	AC,EH,HJ	
	3	AB	BF	HJ	ไม่ใช่	20				
	4	AB	EH	GJ	ไม่ใช่	20				
3	5	AD	EH	HJ	ไม่ใช่	19		19	AD,EH,HJ	
	6	AC	BF	HJ	ไม่ใช่	20				
	7	AC	EH	GJ	ไม่ใช่	20				
4	8	AE	EH	HJ	ใช่	20	20	20	AD,BF,HJ	AE,EH,HJ
	9	AD	BF	HJ	ไม่ใช่	20				
	10	AD	EH	GJ	ไม่ใช่	20				

จากตัวอย่างจะพบว่าวิธี Branch and bound เป็นวิธีที่สามารถหาผลตอบได้รวดเร็วเนื่องจากพิจารณากรณีต่างๆ น้อยกว่าวิธีอื่นๆที่ได้กล่าวมาแล้ว วิธี Branch and bound นี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ตัวแปรไม่เป็นอิสระต่อกันได้ด้วยแต่ต้องเปลี่ยนเงื่อนไขการหยุดการทำงานเป็น "ทุกกรณีเป็นกรณีเป็นไปได้" เพียงเงื่อนไขเดียวเท่านั้น ผลที่ได้จากวิธีนี้อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่ก็เป็นผลตอบในเกณฑ์ดี ปัญหาอีกประการของวิธี Branch and bound คือหากแต่ละตัวแปรมีผลต่อปัญหาไม่เท่ากันการค้นหาคำตอบจะเปลี่ยนแปลงตัวที่มีผลกระทบน้อยก่อนเนื่องจากค่าผลตอบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด แล้วจึงไปพิจารณาตัวแปรที่มีผลกระทบมากทีหลัง หากน้ำหนักหรือความสำคัญของตัวแปรแตกต่างกันมาก โอกาสที่จะไม่สามารถหาผลตอบของปัญหาจะมีความเป็นไปได้สูง เมื่อพิจารณาการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะพบว่าผลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องจ่ายพลังงานตลอดเวลา (Base load generators) ที่มีต่อระบบมากกว่าผลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายพลังงานเฉพาะช่วงโหลดสูง (Peak load generators) ดังนั้นหากจะใช้วิธี Branch and bound กับการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีการปรับปรุงข้อมูลก่อนการออปติไมซ์ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.4. การพิจารณาหลักการกำหนดแผนกับวิธีออปติไมซ์

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้น การกำหนดแผนบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งส่วนการแก้ปัญหาออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การเลือกหลักการกำหนดแผนซึ่งจะขึ้นกับเป้าหมายที่ต้องการในการบริหารระบบไฟฟ้า หากต้องการระบบที่มีความเชื่อถือได้สูงเป็นหลัก ตัวแปรที่นำมาใช้ในการกำหนดแผนก้จะเป็นตัวแปรที่แสดงถึงความเชื่อถือได้ของระบบ เช่น อัตรากำลังไฟฟ้าสำรอง ดัชนี LOLP ดัชนี EUE. เป็นต้น ดังนั้นหลักการที่เหมาะสมคือ Levelized reserve rate หรือ Levelized risk indices แต่หากต้องการเป้าหมายด้านเศรษฐศาสตร์ตัวแปรที่ใช้ต้องเป็นตัวแปรที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่าย โดยอาจคิดจากค่าใช้จ่ายในการผลิตอย่างเดียว หรือรวมค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและค่าความสูญเสียจากไฟฟ้าดับด้วยก็ได้ หลักการที่นำมาใช้จะเป็นวิธี Levelized energy cost ในทางปฏิบัติแล้วการบริหารระบบไฟฟ้ามิได้ต้องการเป้าหมายใดเพียงเป้าหมายเดียวแต่ต้องการเป้าหมายทั้งสองด้าน ผู้บริหารระบบไฟฟ้าจะกำหนดถึงการนำเป้าหมายใดมาพิจารณาในลักษณะเช่นไร สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะนำเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้พิจารณากับเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเนื่องจากความเชื่อถือได้ในทางปฏิบัติมีเพียงสองระดับคือ ระดับที่ระบบมีความเชื่อถือได้ (Reliable) และระดับที่ระบบไม่มีความเชื่อถือได้ (Unrealiable) ซึ่งการพิจารณาเช่นนี้คือการกำหนดเป้าหมายความเชื่อถือได้เป็นเงื่อนไขหนึ่ง และภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวจะพิจารณาแผนการผลิตที่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมน้อยที่สุด

ส่วนที่สองคือ วิธีออปติไมซ์ที่เหมาะสมขึ้นกับเวลาที่ต้องการใช้ ขนาดของระบบไฟฟ้า และความถูกต้องของผลที่ต้องการ โดยทั่วไปวิธีที่ให้ความถูกต้องของผลตอบสูงจะเป็นวิธีที่ต้องการเวลาออปติไมซ์นาน ระบบที่มีขนาดใหญ่ต้องการเวลาในการแก้ปัญหานาน วิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไปจะเป็นวิธี Successive dynamic programming [4,5,8,10] แต่วิธีดังกล่าวหากนำไปใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการคำนวณนานมากโดยเฉพาะหากต้องการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นรายวัน สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การออปติไมซ์ที่นำหลักการของวิธีการต่างที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3. มาพัฒนาเป็นกระบวนการใหม่เพื่อลดเวลาในการออปติไมซ์ลงเนื่องจากจะพิจารณากำหนดแผนการบำรุงรักษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นรายวัน