บทที่ 3

การจัดสรรกำลังผลิต (Unit Commitment Problem)

ในระบบไฟฟ้ากำลังหนึ่ง ๆ นั้น ต้องมีการจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟอย่างพอเพียง ดังนั้นผู้ผลิตไฟฟ้าต้องผลิตไฟฟ้าให้ได้มากกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ผู้ใช้ต้องการ และการผลิตไฟฟ้าปริมาณหนึ่ง ๆ นั้น สามารถจัดกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้หลายกลุ่ม และในแต่ละกลุ่มนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวยังสามารถผลิตได้หลายระดับ ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในแต่ละกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีได้หลายค่า ในทางเศรษฐศาสตร์ ผู้ผลิตไฟฟ้าต้องการค่าใช้จ่ายรวมที่ถูกที่สุด เพราะนั้นหมายถึงการลงทุนที่น้อยที่สุด แต่ได้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากับความต้องการไฟฟ้า และเป็นการประหยัดที่สุดในการลงทุน ทำได้โดยการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องที่ไม่จำเป็นต้องใช้งาน หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องที่อยู่ในช่วงการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่เหมาะสม

การใช้ไฟฟ้าจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันในแต่ละวัน จากประสบการณ์จะพบว่า ความต้องการไฟฟ้าจะสูงในช่วงใกล้เที่ยง (ช่วงเวลาทำงาน) และเวลาใกล้ค่ำ (ช่วงเวลาของการเปิดไฟแสงสว่าง) ความต้องการไฟฟ้าจะลดลงในช่วงกลางคืนถึงเช้ามืด (ช่วงเวลานอน) ในช่วงสัปดาห์หนึ่งๆ จะพบว่าความต้องการไฟฟ้าในช่วงสุดสัปดาห์ (เสาร์-อาทิตย์) จะต่ำกว่าในช่วงวันที่มีการทำงาน (จันทร์-ศุกร์)

ปัญหาการจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ (Unit commitment Problem) เกิดขึ้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 1 เครื่องขึ้นไปจ่ายโหลดร่วมกันอยู่ จะต้องจัดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดจ่ายโหลดเท่าไร ระบบจึงจะมีประสิทธิภาพและประหยัดที่สุด คำว่าประหยัดที่สุดจะหมายความว่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าน้อยที่สุด

ในยุคแรก(ต้นทศวรรษที่ 1930) วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ใช้กันคือ equal incremental cost load dispatch ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่คิดกำลังสูญเสียในระบบส่ง (transmission loss) ต่อมาเมื่อระบบไฟฟ้ากำลังขยายตัวใหญ่ขึ้น มีการส่งพลังงานไฟฟ้าไป

เป็นระยะทางไกล ๆ ทำให้มีกำลังสูญเสียมากขึ้นและมีผลต่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจึงได้มีการพัฒนาวิธีการที่จะนำเอาผลของกำลังสูญเสียมาคิดด้วย วิธีการที่ได้รับความนิยมในยุคนั้น(ค.ศ. 1940) คือวิธีการของ Kirchmayer และ Stagg ที่นำเอางานของ Kron มาปรับปรุง วิธีการดังกล่าวเรียกว่า B-Coefficient [5,9]

ในปลายทศวรรษที่ 1950 Newton-Raphson load flow ได้รับการพัฒนาจนเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป จึงได้มีการพัฒนาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คิดผลของกำลังสูญเสียจากโหลดโฟลว์ของระบบ วิธีการนี้สะดวกและเหมาะที่จะทำการคำนวณโดย computer

<u>เทคนิคในการคิดการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่</u> มีดังนี้

1.) PRIORITY-LIST SCHEMES

วิธีการหาคำตอบของการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (UNIT COMMITMENT SCHEDULING IN LARGE-SCALE POWER SYSTEM) โดยการจัดลำดับการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละระบบไฟฟ้าเช่นอาจเรียงลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามพิกัดขนาด ตามประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือตามราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยพลังงาน (R/MWh) ฯลฯ นอกจากนั้นการจัดลำดับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจปรับปรุงให้รวมผลของข้อมูลในการทำนายโหลด ความมั่นคงของระบบในพื้นที่ต่าง ๆ กำลังงานสูญเสียในสายส่ง แฟกเตอร์ของค่าใช้จ่ายอื่นๆ ฯลฯ

PRIORITY-LIST METHOD ในที่นี้เป็นวิธีที่ใช้การจัดลำดับการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากราคาต่ำไปหาราคาสูง โดยจะเริ่มใช้จากราคาถูกก่อน แล้วค่อย ๆ เพิ่มตามลำดับจนถึงค่าโหลดที่ต้องการ โดยการจัดเรียงจะเรียงตาม ค่า FULL-LOAD AVERAGE PRODUCTION COST จากราคาต่ำไปหาราคาสูง และมีข้อบังคับคือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าต้องเท่ากับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

สมมติฐานของ PRIORITY-LIST METHOD คือ

1.1 ราคาของ NO LOAD มีค่าเป็นศูนย์

1.2 ลักษณะกราฟของ INPUT-OUTPUT เป็นเส้นตรงระหว่าง OUTPUT ที่ 0 กับ OUTPUT ที่ FULL LOAD

1.3 ไม่มีข้อจำกัดอื่น

1.4 ราคาเริ่มเดินเครื่องเป็นค่าที่แน่นอน

2.) DYNAMIC PROGRAMMING (DP)

DYNAMIC PROGRAMMING เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาจุดที่เหมาะสม ซึ่งมีความแตกต่างจาก Linear Programming โดยใช้การแบ่งสมการและพัฒนาอย่างเหมาะสม [4,10] และเป็นวิธีคิดที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาโดย จะนำเอาข้อมูลในอดีตมาคิดร่วมด้วย ทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง

2.1 สมมติฐานของ DYNAMIC PROGRAMMING

2.1.1 สามารถแยกปัญหาเป็นหลาย Stage (ในที่นี้คือช่วงเวลา)

2.1.2 แต่ละ Stage ประกอบด้วยหลาย State ที่สัมพันธ์กัน (ในที่ นี้คือ กลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละกลุ่มในช่วงเวลานั้น)

2.1.3 ใช้วิธี recursive relationship [4,10] กับ Stage n ทำให้ได้ Stage (n+1) มีสูตรดังนี้

$$f_n^*(s) = \min_{x_n} \{C_{sx(n)} + f_{n+1}^*(x_n)\}$$

จากสูตรเริ่มที่ State s และ Stage n จะได้ค่าที่ต่ำที่สุดของ x_n โดยที่

N = จำนวน Stages

n = Stage ปัจจุบัน (n = 1,2,...,N)

s_n = State ปัจจุบันของ Stage n

x_n = ตัวแปรของ Stage n

x_n^* = ค่าที่เหมาะสมของ x_n

$f_n(s_n, x_n)$ = Objective function ของ Stage n เมื่อเริ่มที่ State s_n และเลือก x_n ซึ่ง Objective function อาจเป็น Minimize หรือ Maximize ก็ได้

$f_n^*(s_n) = f_n(s_n, x_n^*)$

รูปแบบของ recursive relationship ที่พบได้บ่อยมี 2

แบบ คือ

$$f_n^*(s_n) = \max_{x_n} \{f_n(s_n, x_n)\} \quad \text{หรือ}$$

$$f_n^*(s_n) = \min_{x_n} \{f_n(s_n, x_n)\}$$

2.1.4 ในแต่ละครั้งที่คิดจะประกอบด้วยกลุ่มยูนิตที่ระบุว่าเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่อง

2.1.5 ราคาเริ่มเดินเครื่องเป็นค่าที่แน่นอน

2.1.6 ไม่มีค่าใช้จ่ายในการหยุดเดินเครื่อง

2.2 วิธีคำนวณ DYNAMIC PROGRAMMING [17] ประกอบด้วย

2.2.1 BACKWARD DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH โดยจะเริ่มคิดจากช่วงเวลาสุดท้ายย้อนกลับมาที่ช่วงเริ่มต้น โดยใช้ สูตร

$$F_{cost}(K,I) = \mathrm{Min}[P_{cost}(K,I) + S_{cost}(I,K{:}J,K+1) + F_{cost}(K+1,J)] \quad ...(3.1)$$

$$F_{cost}(M,I) = P_{cost}(M,I)$$

โดย M = จำนวน PERIOD

K = เวลา ณ. PERIOD ที่ K

$F_{cost}(K,I)$ = ราคาถูกที่สุดจาก STATE ที่ I ใน PERIOD ที่ K ถึง PERIOD สุดท้าย

$P_{cost}(K,I)$ = ราคาถูกที่สุดของการจ่ายโหลด คิด STATE ที่ I ใน PERIOD ที่ K

$S_{cost}(I,K:J,K+1)$ = ราคาเริ่มเดินเครื่องที่เพิ่มขึ้นจาก STATE ที่ I ใน PERIOD ที่ K ถึง STATE ที่ J ใน PERIOD ที่ K+1

{J} = STATE ที่เป็นไปได้ใน PERIOD ที่ K+1

2.2.2 FORWARD DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH โดยจะเริ่มคิดจากสถานะเริ่มต้นไปถึง PERIOD ที่ต้องการ เนื่องจาก BACKWARD DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH ไม่สามารถใช้ในทางปฏิบัติได้ทุกกรณี และถ้าราคาของการ เริ่มเดินเครื่องเป็นฟังชั่นของเวลาจะพบว่าวิธี FORWARD DYNAMIC PROGRAMMING APPROACH เป็นวิธีที่เหมาะสมใน การคำนวณ โดยใช้สมการ

$$F_{cost}(K,I) = \min[P_{cost}(K,I)+S_{cost}(K-1,L:K,I)+F_{cost}(K-1,L)] \quad ...(3.2)$$

โดย $F_{cost}(K,I)$ = ราคาถูกที่สุดเมื่อคิดจากเริ่มต้นถึง STATE ที่ I ใน PERIOD ที่ K

$P_{cost}(K,I)$ = ราคาในการผลิตของ STATE ที่ I ใน PERIOD ที่ K

$S_{cost}(K-1,L:K,I)$ = ราคาที่เปลี่ยนแปลงจาก STATE ที่ L ใน PERIOD ที่ K-1 ไปเป็น STATE ที่ I ใน PERIOD ที่ K

{L} = STATE ที่เป็นไปได้ใน PERIOD ที่ K-1

ในการคำนวณแต่ละ PERIOD จะต้องคำนวณ X STATE แต่เก็บ N STATE โดยที่

X = จำนวน STATE ที่คำนวณในแต่ละ PERIOD

N = จำนวน STATE ที่เก็บไว้คิดใน PERIOD ต่อไป ซึ่งจาก FORWARD DP APPROACH จะได้ ว่า N คือจำนวนของ {L} นั่นเอง

วิธี PRIORITY-LIST SCHEMES เป็นที่นิยมมาก แต่ในระบบใหญ่ ๆ วิธี DYNAMIC PROGRAMMING จะทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

ข้อจำกัดในการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ [5,7,9,14]

1.) ข้อจำกัดของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณภูมิของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนนั้น เป็นไปอย่างช้า ๆ กล่าวคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการระยะเวลาช่วงหนึ่งก่อนต่อเชื่อมเข้าสู่ระบบรวมทั้งระยะเวลาช่วงหนึ่งก่อนปลดออกจากระบบ จึงมีข้อจำกัดดังนี้

1.1 ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาในการเริ่มเดินเครื่อง (START UP TIME) หมายถึงต้องมีเวลาระยะหนึ่งในการให้ความร้อนแก่น้ำ ก่อนที่จะจ่ายพลังงานได้

1.2 ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาน้อยที่สุดในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MINIMUM UP TIME)หมายถึงเมื่อเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้ว จะหยุดเดินเครื่องทันทีไม่ได้

1.3 ข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาน้อยที่สุดในการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MINIMUM DOWN TIME)หมายถึงเมื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ จะต้องใช้เวลาอย่างน้อยระยะหนึ่งก่อนที่จะเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าสู่ระบบอีกครั้ง

1.4 ข้อจำกัดเกี่ยวกับพนักงานผู้ควบคุมเครื่อง หมายถึงผู้ควบคุมอาจไม่สามารถเริ่มหรือหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 1 เครื่องได้ในเวลาเดียวกัน

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นไปอย่างช้า ๆ ดังนั้นอาจมีความจำเป็นต้องใส่พลังงานบางส่วนเข้าไป เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในสภาพใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานตามปกติ และมีความพร้อมในการต่อเชื่อมเข้ากับระบบ พลังงานดังกล่าวไม่ได้เกี่ยวข้องกับกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่อย่างใด แต่เป็นความจำเป็นของเครื่องจักร อย่างไรก็ดีพลังงานดังกล่าวมีผลโดยตรงกับค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนการผลิตรวมของระบบ ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เรียกว่า ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง (Start-Up Cost) นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องนี้นิยมรวมถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิง (Fuel Cost) เงินเดือนพนักงานควบคุม และค่าใช้จ่ายทางด้านการบำรุงรักษา ฯลฯ อีกด้วย โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องมีช่วงการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างกว้าง กล่าวคือมีค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะอุณหภูมิเครื่องต่ำ (Cold-Start Cost) หรือนิยมเรียกว่าค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่ง (Cooling) ไปจนถึงค่าใช้จ่ายจำนวนน้อยซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะอุณหภูมิสูง (Hot-Start Cost) หรือมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับการทำงานตามปกติ เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับการปลดออกจากระบบเป็นระยะเวลาไม่นานนัก และยังคงรักษาระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกับการใช้งานตามปกติ หรือนิยมเรียกว่าค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์ (Bank) จะกล่าวถึง

รายละเอียดของค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง (Start Up Cost) ต่อไป

การเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนพิจารณาออกได้เป็น 2 วิธี [7]

1. วิธีเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่ง (Cooling) หรือไม่แบงค์หม้อน้ำ (Unbanked Boiler) คือยอมให้อุณหภูมิของหม้อน้ำลดลงแล้วค่อยไปเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงอุณหภูมิใช้งานให้ทันกับเวลาที่กำหนดของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ลักษณะการเพิ่มของอุณหภูมิจะเป็นฟังชั่นเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Function) กับเวลา

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่ง = $C_c[1-\exp(-t/\alpha)].F+C_f$ ... (3.3)

โดยที่ C_c = ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องขณะหม้อน้ำมีอุณหภูมิต่ำในหน่วย MBtu

F = อัตราค่าเชื้อเพลิง

C_f = ค่าใช้จ่ายคงที่

α = ค่าคงตัวเวลาเชิงอุณหภูมิของหม้อน้ำ

t = เวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง

2. วิธีเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์(Bank) หมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของหม้อน้ำให้อยู่ในสภาพการทำงานตามปกติในระหว่างหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ไม่ต่อเข้ากับกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ในวิธีนี้จะต้องการพลังงานที่พอเพียงจำนวนหนึ่งสำหรับป้อนเข้าหม้อน้ำเพื่อรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ใกล้เคียงกับในการทำงานตามปกติ

ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบแบงค์ = $C_b.tF+C_f$ ... (3.4)

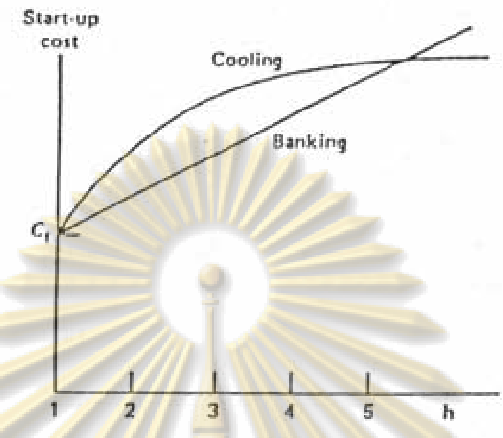
โดยที่ C_b = ค่าใช้จ่ายในการรักษาระดับอุณหภูมิใช้งานของหม้อน้ำต่อชั่วโมง ในหน่วย MBtu/h

F = อัตราค่าเชื้อเพลิง

C_f = ค่าใช้จ่ายคงที่

t = เวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่อง

ในการจัดสรรกำลังผลิตอย่างประหยัดจะนำค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องแบบคูลลิ่งและแบบแบงค์มาเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องที่แปรกับเวลา

2.) ข้อจำกัดของโรงไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่อง (Must Run Contraint)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิต อาจมีความจำเป็นต้องเดินเครื่องตลอดช่วงเวลาเป็นส่วนใหญ่ เช่นได้รับการกำหนดให้เดินเครื่องเพื่อรักษาระดับแรงดันบนสายส่ง หรือด้วยจุดประสงค์เพื่อให้หม้อน้ำจ่ายไอน้ำไปใช้ในบริเวณอื่นๆ ของโรงจักร เป็นต้น

3.) ข้อจำกัดทางด้านเชื้อเพลิง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางยูนิต อาจมีเชื้อเพลิงปริมาณจำกัดหรืออาจจำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงภายในเวลาที่กำหนด ซึ่งจะทำให้การจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนมากขึ้น

Dynamic Programming

1 Prototype Example[10]

The stagecoach Problem เป็นปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นเป็นพิเศษเพื่อแสดงให้เห็น Dynamic Programming โดยการสมมุติการเดินทางจาก (A) ไปยัง (J) โดยผ่านรัฐต่าง ๆ (แสดงโดย วงกลมที่มีตัวอักษรอยู่ภายใน) ดังรูปที่ 3.2

ผู้เดินทางที่ดีต้องเป็นคนรอบรู้ หาเส้นทางไปที่ประหยัดที่สุด เพราะเส้นทางที่ประหยัดที่สุดต้องอาศัยการคำนวณอย่างระมัดระวัง เพื่อให้ได้เส้นทางที่ถูกที่สุด

ราคาของเส้นทางจากรัฐ i ไปรัฐ j ซึ่งใช้สัญลักษณ์ c_{ij} คือ

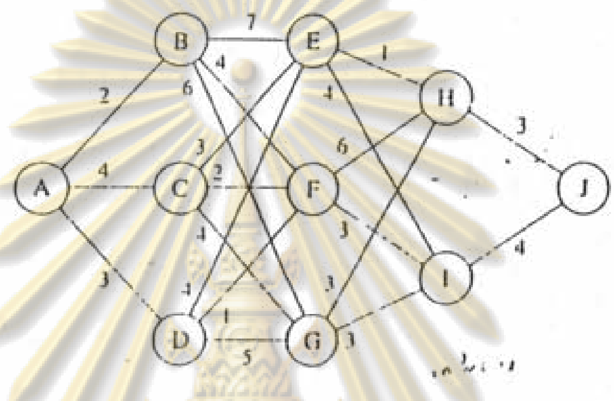
	B	C	D
A	2	4	3

	E	F	G
B	7	4	6
C	3	2	4
D	4	1	5

	H	I
E	1	4
F	6	3
G	3	3

	J
H	3
I	4

ซึ่งราคาแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 The road system and cost for the stagecoach problem

เราจะพิจารณาปัญหาเพื่อให้ได้ราคารวมที่ถูกที่สุด

วิธีแก้ปัญหา

ขั้นแรกมองในช่วงสั้น ๆ และเลือกวิธีที่ถูกที่สุดในช่วงนั้น จะได้ A -> B -> F -> I -> J แต่วิธีนี้อาจไม่ได้ราคารวมที่ถูกที่สุด เช่น A -> D -> F จะถูกกว่า A -> B -> F

อีกวิธีโดยใช้ Trial and error โดยหาราคาจากวิธีที่เป็นไปได้ทั้งหมด (ในที่นี้มี 18 วิธี)

Dynamic Programming จะหาวิธีแก้ปัญหาที่น้อยกว่าวิธีที่มีทั้งหมด เริ่มจากส่วนเล็ก ๆ ของการเริ่มปัญหา และหาวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเล็ก ๆ ปัญหานี้ แล้วศึกษาไปหาปัญหาใหญ่ ๆ เพื่อให้ได้วิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมของปัญหาทั้งหมด

เราเริ่มศึกษาปัญหาเล็ก ๆ ของ Stagecoach Problem เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมไปหาปัญหาทั้งหมด State J แต่ละรอบของการทำซ้ำจะเพิ่มจำนวน State เข้าไปเพื่อนำไปสู่การเดินทางที่สมบูรณ์

สูตร : พิจารณาตัวแปร x_n (n = 1,2,3,4) โดยเลือกเส้นทางดังนี้ $A \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow x_3 \rightarrow x_4$ ซึ่ง $x_4 = J$

ให้ $f_n(s,x_n)$ เป็นราคารวมจาก State s ไปยัง State n โดยเลือก x_n เป็นปลายทาง ให้ x_n^* เป็นค่าของ x_n ที่ทำให้ $f_n(s,x_n)$ น้อยที่สุด

$f_n^*(s)$ เป็นค่า $f_n(s,x_n)$ ที่น้อยที่สุด

ดังนั้น $f_n^*(s) = \min_{x_n} f_n(s,x_n) = f_n(s,x_n^*)$

$$f_n(s,x_n) = \underline{\text{ราคาของ State n + ราคาที่ถูกที่สุดจนถึง State n+1}}$$

$$= C_{sx(n)} + f_{n+1}^*(x_n)$$

ค่าของ $C_{sx(n)}$ ได้จากตาราง C_{ij} โดยให้ i = s (State ปัจจุบัน) และ $j = x_n$ (ปลายทาง) เนื่องจากปลายทาง (State J) คือค่าของ Stage 4 จะได้ $f_5^*(J) = 0$

จุดประสงค์คือต้องการหา $f_1^*(A)$ โดยการหา $f_4^*(s)$, $f_3^*(s)$, $f_2^*(s)$ โดย s คือ State ที่เป็นไปได้และใช้ $f_2^*(s)$ หา $f_1^*(A)$ (เป็นวิธี Backward Stage by Stage บางเล่มใช้ Backward Counting เพื่อหาจำนวนของ Stage ที่เหลือปลายทาง เราใช้วิธี Forward Counting เพราะง่ายกว่า)

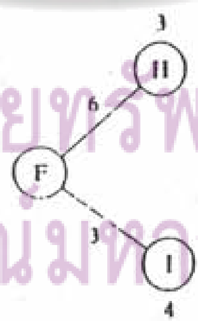
วิธีแก้ปัญหา : ถ้ามีเพียง 1 Stage (n = 4) จะต้องพิจารณา State ปัจจุบันของ s ทั้ง

หมด (ทั้ง H และ I) และปลายทาง x_4 = J คือทางจาก S -> J เนื่องจาก $f_4^*(s)$ = $f_4(s,J)$ = $C_{s,J}$ จะได้

n = 4

s	$f_4^*(s)$	x_4^*
H	3	J
I	4	J

เมื่อมี 2 Stage (n = 3) จะต้องใช้การคำนวณมากขึ้น ตัวอย่างเช่นที่ State F สามารถไปได้ทั้ง State H และ I โดยที่ราคาของแต่ละ State ที่ไปหาคือ $C_{F,H}$ = 6 , $C_{F,I}$ = 3 ถ้าเลือก State H ราคาถูกที่สุดจากตารางคือ $f_4^*(H)$ = 3 จะได้ราคารวมคือ 6+3 = 9 ถ้าเลือก State I แทน จะได้ราคารวม 3+4 = 7ซึ่งน้อยกว่า ดังนั้น การเลือกที่เหมาะสมคือ x_3^* = I เพราะได้ราคาถูกที่สุด $f_3^*(F)$ = 7



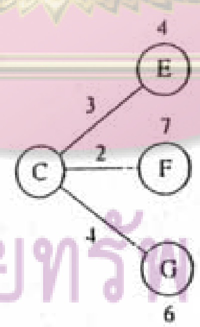
รูปที่ 3.3 The road system and cost form F

สำหรับ $s = E$ และ $s = G$ ก็คำนวณเหมือนกัน เมื่อคำนวณเสร็จแล้วจะได้ดังตาราง

n = 3

x_3 / s	$f_3(s,x_3) = C_{sx(3)}+f_4^*(x_3)$		$f_3^*(s)$	x_3^*
	H	I		
E	4	8	4	H
F	9	7	7	I
G	6	7	6	H

วิธีคำนวณ Stage ที่ 3 (n = 2) ก็ทำคล้ายกันจะได้สูตร $f_2(s,x_2) = C_{sx(2)}$ $+f_3^*(x_2)$ ตัวอย่างเลือก State C



รูปที่ 3.4 The road system and cost form C

ราคาของแต่ละ State ที่ไปหาคือ $C_{C,E} = 3$, $C_{C,F} = 2$, $C_{C,G} = 4$ และ

ราคาที่ถูกที่สุดที่จะบวกเข้าไปของทั้ง 3 State เมื่อ n = 3 คือ $f_3^*(E) = 4$, $f_3^*(F) = 7$, $f_3^*(G) = 6$ จะได้

$x_2 = E$; $f_2(C,E) = C_{C,E} + f_3^*(E) = 3+4 = 7$

$x_2 = F$; $f_2(C,F) = C_{C,F} + f_3^*(F) = 2+7 = 9$

$x_2 = G$; $f_2(C,G) = C_{C,G} + f_3^*(G) = 4+6 = 10$

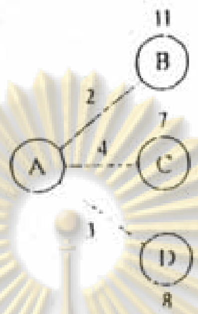
จะได้ราคาถูกที่สุดคือ 7 ดังนั้นราคารวมถูกที่สุดจาก State C ไป State J คือ $f_2^*(C) = 7$ โดยมีปลายทางคือ $x_2^* = E$

สำหรับ State B และ State D ก็คำนวณคล้ายกันจะได้

n = 2

	x_2	$f_2(s,x_2) = C_{sx(2)}+f_3^*(x_2)$		$f_2^*(s)$	x_2^*
s	E	F	G		
B	11	11	12	11	EหรือF
C	7	9	10	7	E
D	8	8	11	8	EหรือF

ปัญหา State ที่ 4 (n = 1) คำนวณคล้าย State ที่ 3 (n = 2) แต่มีทางเป็นไปได้ทางเดียวคือ S = A



รูปที่ 3.5 The road system and cost form A

สรุปการคำนวณได้ดังนี้

$x_1 = B$; $f_1(A,B) = C_{A,B} + f_2^*(B) = 2+11 = 13$

$x_1 = C$; $f_1(A,C) = C_{A,C} + f_2^*(C) = 4+7 = 11$

$x_1 = D$; $f_1(A,D) = C_{A,D} + f_2^*(D) = 3+8 = 11$

ค่า 11 เป็นค่าที่ถูกที่สุด จะได้ $f_1^*(A) = 11$ ซึ่ง $x_1^* = C$ หรือ D ดังตาราง

$n = 1$

x_1	$f_1(s,x_1) = C_{sx(1)} + f_2^*(x_1)$			$f_1^*(s)$	x_1^*
s	B	C	D		
A	13	11	11	11	CหรือD

ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมเมื่อ $n = 1$ จะได้ State C หรือ State D ถ้าเลือก $x_1^* = C$ จะทำให้ $n = 2$ เมื่อ $S = C$ จะได้ $x_2^* = E$, เมื่อ $S = E$ จะได้ $x_3^* = H$, เมื่อ $S = H$ จะได้ $x_4^* = J$ ดังนั้น A -> C -> E -> H -> J ; ถ้าเลือก $x_1^* = D$ จะได้ A -> D -> E -> H -> J และ A -> D -> F -> I -> J

ซึ่งวิธีทั้งหมดนี้ทำให้ราคารวมถูกที่สุดคือ $f_1^*(A) = 11$

2. Dynamic Programming for Power Systems

จากรูปที่ 3.2 แสดงการพัฒนาจาก Prototype Example ให้เป็นการศึกษาปัญหาทางด้านไฟฟ้า ระบบที่ศึกษาประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน N เครื่อง ต่อกับ bus-bar เดี่ยว และจ่ายความต้องการไฟฟ้าของโหลด (P_D) input ของแต่ละเครื่องเป็นค่าอัตราราคาหรือต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (C_i) output ของแต่ละเครื่องเป็นค่ากำลังไฟฟ้า (P_{Gi}) ที่ผลิตได้จากแต่ละเครื่องดังนั้นต้นทุนการผลิตจะเป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ผลิต หรือ

$$C_i = C_i(P_{Gi}) \qquad \ldots (3.5)$$

ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตตามสมการที่ (3.5) เรียกว่า cost function ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันโพลีโนเมียล (polynomial function) ดังสมการ

$$C_i = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 + d_i P_{Gi}^3 + \ldots \qquad \ldots (3.6)$$

แน่นอนต้นทุนการผลิตรวมของระบบคือผลรวมต้นทุนการผลิตของแต่ละเครื่อง โดยมีข้อจำกัดที่สำคัญของการเดินเครื่องในระบบคือ ผลรวมของกำลังที่ผลิตได้จะต้องเท่ากับความต้องการไฟฟ้า (load demand) รวมกับกำลังสูญเสีย

สำหรับทางคณิตศาสตร์จะมี objective function (C) คือต้นทุนการผลิตรวมสำหรับการจ่ายโหลด โดยปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดคือการที่จะจัดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดจ่ายโหลดเท่าไร จึงจะทำให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด และต้องอยู่ในข้อบังคับต่าง ๆ เช่น ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะต้องเท่ากับความต้องการของโหลด จะได้สูตรของปัญหาคือ

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_N$$

$$= C_1(P_{G1}) + C_2(P_{G2}) + \ldots + C_N(P_{GN})$$

$$= \sum_{i=1}^{N} C_i(P_{Gi}) \qquad \ldots (3.7)$$

จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบเป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง หรือ

$$C = C(P_{G1}, P_{G1}, \ldots, P_{GN}) \qquad \ldots (3.8)$$

$$\phi = 0 = P_D + P_{LOSS} - \sum_{i=1}^{N} P_{Gi} \qquad \ldots (3.9)$$

<u>หมายเหตุ</u> ในส่วนแรก (การคำนวณยูนิตคอมมิตเมนท์) จะไม่คำนึงถึง LOSS แต่การคิดในส่วนหลังจะนำ (Optimimun Load Flow) จะนำผลของ LOSS มาคิดด้วย

function เหล่านี้เป็นข้อบังคับของปัญหาทาง Optimization ซึ่งมีสูตรและวิธีการคำนวณที่ก้าวหน้า รวมถึงวิธี LaGrange โดยตั้งเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับค่าสุดท้ายของ objective function แล้วรวม constraint function ลงใน objective function โดยการคูณ constraint function ด้วยตัวคูณที่ไม่ได้กำหนด แล้วเรียกว่า LaGrange Function ดังสมการที่ (3.10)

$$\mathcal{L} = C - \lambda\phi \qquad \ldots (3.10)$$

จากทฤษฎี Kuhn-Tucker Theory จะได้ว่าสภาวะที่จุดที่ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดจะเป็นไปตามสมการ

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_{Gi}} = \frac{\partial C}{\partial P_{Gi}} - \lambda \frac{\partial \phi}{\partial P_{Gi}} = 0 \qquad \ldots (3.11)$$

เนื่องจาก C_i เป็นฟังก์ชันของ P_{Gi} เท่านั้น ดังนั้น

$$\frac{\partial C}{\partial P_{Gi}} = \frac{dC_i}{dP_{Gi}} = IC_i \qquad \dots (3.12)$$

dC_i/dP_{Gi} เรียกว่า incremental cost ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i และมีสัญลักษณ์เป็น IC_i

จากสมการที่ (3.11) เมื่อโหลดคงที่จะได้ว่า

$$\frac{\partial \phi}{\partial P_{Gi}} = 1 \qquad \dots (3.13)$$

ดังนั้นสมการที่ (3.11) จะกลายเป็น

$$\frac{dC_i}{dP_{Gi}} = IC_i = \lambda[1-(ITL_i)] \qquad \dots (3.14)$$

ดังนั้นจะได้สภาวะที่จุดที่ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดตามสมการที่ (3.15) ซึ่งมีความหมายว่าถ้าจะให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด

$$\frac{\partial C_i}{\partial P_{Gi}} = IC_i = \lambda\,[1-(ITL)_i]\ (i=1,2,..) \qquad \dots (3.15)$$

โดยที่ IC_i = Incremental Cost ของ ยูนิต i ในหน่วย R/MWh

λ = ตัวคูณลากรางจ์ (Lagrange Multiplier)

ITL_i = Incremental Transmission Loss สำหรับยูนิต i

$1/(1-ITL_i)$ = Penalty Factor สำหรับยูนิต i

เงื่อนไขที่จำเป็นนี้รวมสมการข้อบังคับไว้แล้ว คือผลรวมของพลังงานที่ผลิตได้จะต้องเท่ากับความต้องการพลังงานของโหลดรวมกับกำลังสูญเสีย หรือ

$$f = \sum_{i=1}^{N} P_{Gi} - P_D - P_{Loss} = 0 \qquad \ldots (3.16)$$

เมื่อ P_D เป็นโหลดจริงของระบบ ซึ่งเท่ากับผลรวมของโหลดที่แต่ละบัส หรือ

$$P_D = \sum_{i=1}^{N} P_{Di} \qquad \ldots (3.17)$$

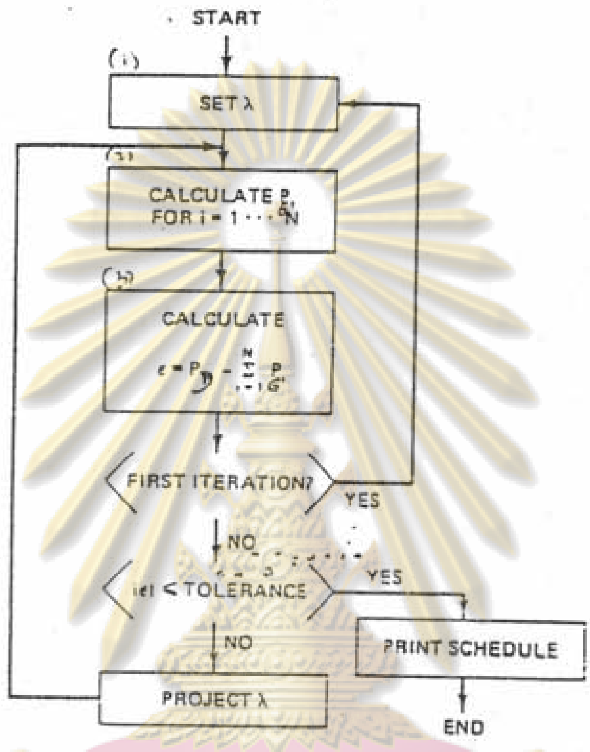
เมื่อ P_{Di} เป็นโหลดจริงที่บัส i ซึ่งจะสมมติให้คงที่ตลอดการทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัด สมการที่ (3.16) เป็นเงื่อนไขบังคับซึ่งเป็นเงื่อนไขบังคับแบบสมการ (equality constraint) และสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะมีขีดจำกัด นั่นคือพลังงานที่จ่ายออกมาของแต่ละเครื่องจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่าต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นสามารถจ่ายได้ และจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นจ่ายได้ หรือ

$$P_{Gi,min} < P_{Gi} < P_{Gi,max} \qquad \ldots (3.18)$$

อสมการที่ (3.18) เป็นเงื่อนไขบังคับแบบอสมการ (inequality constraint)

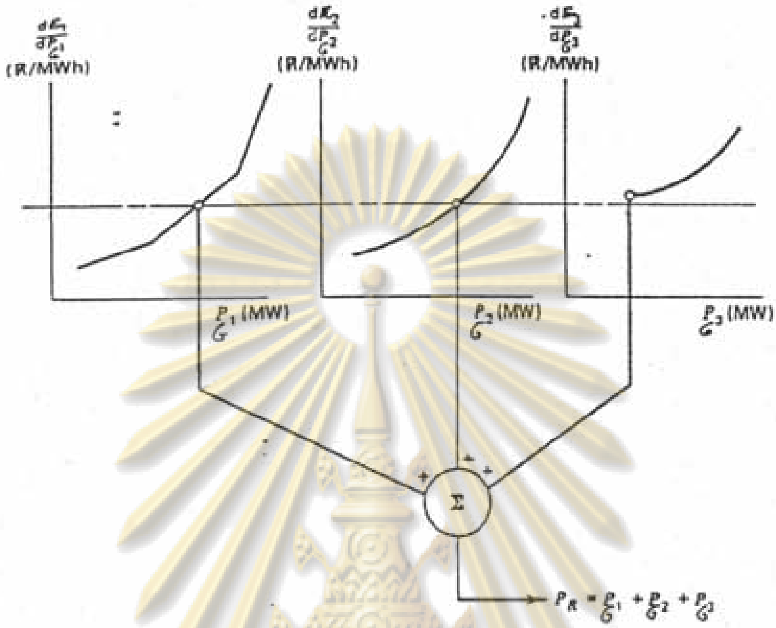
การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องต่าง ๆ ตามหลักของ equal incremental cost load dispatch สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีหนึ่งที่ได้รับ

ความนิยมคือวิธี λ-อิทเทอร์เรชัน ซึ่งเป็นวิธี numerical



รูปที่ 3.6 Economic dispatch by the lambda-iteration method

จากรูปที่ 3.6 แสดงการหาค่าตอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนโดยใช้วิธี lambda-iteration วิธีนี้สามารถแก้ปัญหาโดยใช้ graphical technique และยังสามารถประยุกต์เป็นวิธีซึ่งใช้กับ Computer ได้อีกด้วย



รูปที่ 3.7 Graphical solution to economic dispatch

เพื่อให้เห็นภาพ สมมติให้ในระบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง ต้องการหาจุดที่จะปฏิบัติการแล้วประหยัดที่สุด โดยพล็อต incremental cost ของแต่ละเครื่องลงในกราฟเดียวกันดังรูปที่ 3.7 เพื่อที่จะทำให้เกิดจุดที่จะปฏิบัติการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง ที่มีราคารวมต่ำที่สุดและในเวลาเดียวกันก็จ่ายไฟฟ้าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ จึงสามารถหาคำตอบโดยวิธีวาดกราฟได้ โดยแทน incremental cost rate ด้วย λ แล้วหากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง จากค่า incremental cost rate ที่ได้

แน่นอนว่าการประมาณค่าแรกอาจไม่ถูกเพราะเราอาจให้ค่า incremental cost ที่ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้ต่ำไป ดังนั้นจึงต้องเพิ่มค่า λ แล้วหาคำตอบใหม่อีกครั้ง จากการหาคำตอบ 2 ครั้ง สามารถทำให้เราหาค่าที่ต้องการ จากรูปที่ 3.5 ซึ่งจากการหาคำตอบใน 2 ครั้งแรก ทำให้รู้ว่าค่าที่จะกำหนดต่อไปอยู่ในขอบเขตหรือนอกขอบเขตของคำตอบ

จากกราฟระหว่างความต้องการไฟฟ้าทั้งหมดกับ incremental cost ทำให้เราสามารถหา จุดของการปฏิบัติการได้อย่างรวดเร็ว โดยทำตารางที่แสดงถึงความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวม สำหรับ incremental cost ที่ค่าต่าง ๆ กัน และการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

จากวิธีเหล่านี้ (รูปที่ 3.6) สามารถนำมาใช้กับ computer โดยสมมติค่า λ ขึ้นแล้วทดลองแทนลงในสมการของ Incremental Cost เพื่อหาค่า P_{Gi} แล้วเก็บตาราง data ใน computer แล้ว interpolate หาค่าระหว่างค่าที่เก็บไว้เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากค่า incremental cost rate ที่กำหนด อีกวิธีทำโดยการพัฒนา analytical function ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งก็คือ function ของ incremental cost rate แล้วเก็บ function (หรือค่าสัมประสิทธิ์) ใน computer แล้วใช้หากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

วิธีการนี้เป็นการคำนวณซ้ำ ๆ โดยเราต้องสร้างกฎของการจบการคำนวณซ้ำ ซึ่งมีกฎของการจบการคำนวณซ้ำแบบทั่วไปอยู่ 2 กฎ ดังนี้ โดยกฎแรกดังรูปที่ 4.5 และเป็นกฎที่สำคัญโดยขึ้นกับการหาจุดของการปฏิบัติการที่เหมาะสมภายในค่าความแตกต่างที่กำหนด และจะหยุดเมื่อค่าความแตกต่างระหว่างครั้งนี้กับครั้งก่อนหน้านี้มีค่าน้อยกว่าค่าความแตกต่างที่กำหนด อีกวิธีไม่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 เป็นการนับช่วงเวลาของการทำวนรอบที่ทำซ้ำ และจะหยุดเมื่อค่าสูงสุดมากกว่าค่าที่กำหนด

วิธี lambda-iteration จะลู่เข้าเร็วมากสำหรับการแก้ปัญหา optimization สำหรับวิธีการคำนวณจริง ๆ จะซับซ้อนมากกว่ารูป 3.6 เล็กน้อย เพราะจำเป็นที่ต้องสังเกตุขอบเขตของ การทำงานได้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องระหว่างการคำนวณ วิธีที่รู้จักกันดีวิธีหนึ่งคือวิธี Newton-Raphson ก็ใช้ในการหาค่า incremental cost ได้ และยังสามารถทำให้ไม่เกิด error ได้ด้วยการรวมเงื่อนไขบังคับแบบอสมการสามารถทำได้ โดยใช้หลักการง่ายๆ ดังต่อไปนี้

1. เมื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตที่จุดต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ตามวิธีการข้างต้นได้แล้ว ให้ตรวจสอบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดมีค่าเกินขีดจำกัดหรือเปล่า

2. ถ้าพบว่ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดจ่ายโหลดเกิน $P_{Gi,max}$ หรือ น้อยกว่า $P_{Gi,min}$ ก็ให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นมีค่าเท่ากับขีดจำกัดนั้น

ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่น ๆ ยังคงเป็นไปตามหลักการ equal incremental cost load dispatch

Unit Commitment

คอมมิตเมนท์ (Commitment) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งหมายถึง การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นจากไม่เดินเครื่อง จนถึง Synchronize Speed แล้วต่อเชื่อมเข้าสู่ระบบเพื่อส่งจ่ายพลังงานให้ระบบ

ปัญหาทาง Unit Commitment[11] เป็นปัญหาที่รู้จักกันดีในทางอุตสาหกรรมไฟฟ้า เพื่อให้ได้หมายกำหนดการที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ในแต่ละชั่วโมงที่ศึกษา ดังนั้นสิ่งที่เราสนใจในการศึกษาปัญหานี้คือ สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าว่าเดินเครื่องหรือหยุดเดินเครื่องในแต่ละช่วงเวลาที่ศึกษา

วิธี Dynamic Programming[18] เป็นวิธีที่ใช้แก้ปัญหา Unit Commitment โดยแก้ปัญหาหลายช่วงเวลา แต่ละช่วงเวลาก็คิดวิธีที่เป็นไปได้ทั้งหมด และในแต่ละวิธีที่เป็นไปได้ก็จะมีราคาค่าเชื้อเพลิงอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะมีผลมาจากราคาเชื้อเพลิงในช่วงเวลาที่แล้ว วิธีแก้ปัญหาซึ่งมีความสัมพันธ์กับแต่ละช่วงเวลาที่ศึกษาและมีราคารวมต่ำสุดจะถูกเลือกออกมา ระยะเวลาในการคำนวณ Dynamic Programming มีลักษณะเป็น Exponential ตามขนาดของปัญหา

การจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่หมายถึงการกำหนด หรือ การจัดสรรกำลังผลิตของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อจ่ายโหลดรวมของระบบไฟฟ้า โดยมีต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด โดยต้นทุนการผลิตรวมของระบบได้รวมถึงค่าใช้จ่ายทางด้านเชื้อเพลิง ค่าใช้จ่ายทางการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับกำลังสูญเสียในระบบ ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเครื่อง รวมถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเงินเดือนของพนักงานต่าง ๆ อีกนัยหนึ่งคือการเลือกเซ็ทย่อยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า N เครื่อง จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า M เครื่อง (N<M หรือ N=M) เพื่อให้ต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด

การจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ อาจทำได้โดยให้โรงไฟฟ้าพลังน้ำจ่ายโหลดรวมของระบบ เพราะราคาค่าไฟฟ้าถูก แต่เนื่องจากความต้องการไฟฟ้ามีมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ดังนั้นจึงต้องใช้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนมาเดินเครื่องร่วมด้วย

ความต้องการไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ได้จากการทำนายโหลดระยะสั้น ซึ่งทำนายเป็นรายชั่วโมง การทำนายโหลดยังมีการทำนายโหลดระยะปานกลาง และการทำนายโหลดระยะยาว ซึ่งไม่ได้นำมาใช้ในที่นี้ เพราะช่วงเวลาการทำนายไม่ละเอียดถึงรายชั่วโมงอย่างการทำนายโหลดระยะสั้น

โดยปกติวิธี Dynamic Programming ที่ใช้แก้ปัญหาการจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ต้องรักษาความสมดุลย์ของปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการ กับ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแต่ละช่วงเวลา ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^{N} P_{gi}(H) = Load(H) \qquad ; H = 1,2,\ldots,M \qquad ; \qquad \ldots (3.19)$$

โดย $P_{gi}(H)$ = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ในช่วงเวลา H

Load(H) = ความต้องการไฟฟ้ารวมในช่วงเวลา H

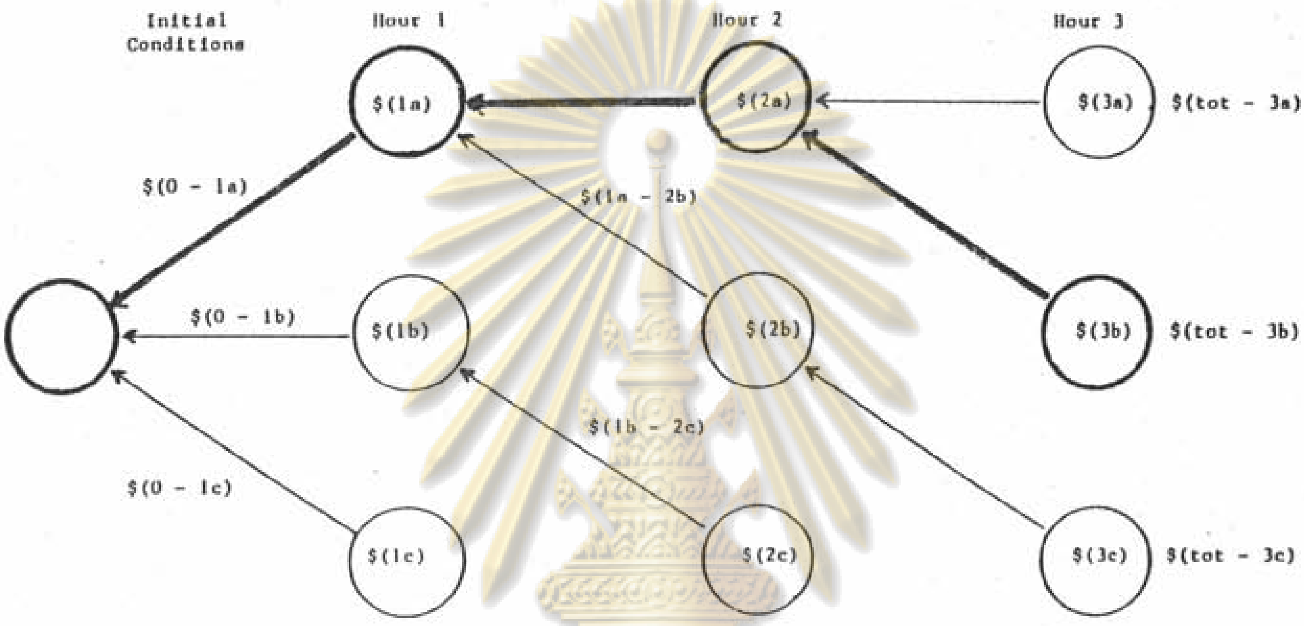
N = จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

M = จำนวนช่วงเวลาในการศึกษา

การคำนวณการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ จะไม่ขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพราะการจ่ายโหลดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงในระบบ อาจไม่สามารถลดต้นทุนการผลิตของระบบให้ต่ำสุดได้

จะเห็นว่าการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เป็นเรื่องยากในการคำนวณ เพราะถ้าระบบมี N ยูนิต จะต้องคิดสูงสุดไม่เกิน 2^N ครั้ง แต่เนื่องจากครั้งที่หยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกยูนิตจะไม่นำมาคิด ดังนั้นในแต่ละ PERIOD ต้องคิดสูงสุดไม่เกิน 2^N-1 ครั้ง และถ้ามี M PERIOD ต้องคิดสูงสุดไม่เกิน $(2^N-1)^M$ ครั้ง ซึ่งถ้ามียูนิตมาก และมี PERIOD มากจะมีจำนวนครั้งในการคำนวณมากขึ้นตามไปด้วย แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางกลุ่มอาจไม่อยู่ในข่ายของการพิจารณา เช่น กรณีของผลรวมของกำลังผลิตสูงสุดของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าโหลดรวมของระบบ หรือ กรณีของผลรวมของกำลังผลิตต่ำสุดของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่ามากกว่าโหลดรวมของระบบ

ในแต่ละทางเลือกที่เป็นไปได้ของการจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ จะคลุมกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งที่เหมือนกัน และต่างกัน ในแต่ละกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็น subset ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด โดยปกติจะใช้ช่วงเวลาในการศึกษาแต่ละช่วงเท่ากัน และใช้เวลา 1 ชั่วโมง จาก รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างของการแก้ปัญหาการจัดสรรยูนิตคอมมิตเมนท์ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยใช้วิธี Dynamic Programming โดยมีระยะเวลาในการศึกษา 3 ชั่วโมง วงกลมในรูปคือกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกเลือก และวงซ้ายมือสุดเป็น Initial Condition ก่อนที่จะเริ่มศึกษา ราคาที่เห็นเช่น \$(1a) , \$(1b) เป็นราคาค่าเชื้อเพลิงที่ผ่านการกระจายพลังงานอย่างเหมาะสมแล้ว ราคาค่าเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงเวลาจะถูกกระทบ โดยราคาของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลาก่อนช่วงเวลานั้น และมีผลกระทบจากการเริ่มเดินเครื่อง แต่ละเส้นในรูปที่ 3.8 ซึ่งเชื่อมระหว่างวงกลม 2 วง แสดงการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากช่วงเวลาที่แล้วมาเป็นช่วงเวลานี้ และช่วงเวลาต่อไปข้างหน้า ราคาของการเปลี่ยนแปลง \$(1a-2a) , \$(1a-2b) มาจากผลของราคาค่าเริ่มเดินเครื่อง



รูปที่ 3.8 Unit commitment decision flow

Unit Commitment โดยใช้ขบวนการ Dynamic Programming ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. การคำนวณวิธีที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วงเวลา จากเริ่มต้นถึงสิ้นสุดปัญหา
2. การหา Transition Path ที่เหมาะสม โดยเริ่มจากท้ายปัญหาย้อนกลับไปหาจุดเริ่มต้น และในที่นี้จะหา Transition Path ที่มีราคารวมต่ำสุด

<u>หมายเหตุ</u> Transition Path คือ วิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา

ส่วนแรกที่เป็นการคำนวณจะเริ่มที่ช่วงเวลาแรก(ชั่วโมงแรก) แล้วต่อไปทีละชั่วโมง ราคาในแต่ละชั่วโมงคิดจากวิธีที่เป็นไปได้ โดยใช้วิธีการกระจายพลังงานอย่างเหมาะสม วิธีที่เป็นไปได้ในแต่ละชั่วโมงจะสัมพันธ์กับวิธีในชั่วโมงก่อนหน้านี้ เนื่องจากข้อบังคับต่าง ๆ เช่น minimum up time,minimum down time เป็นต้น ซึ่งวิธีที่เป็นไปได้ในชั่วโมงนี้จะเชื่อมต่อกับวิธีที่เป็นไปได้ในชั่วโมงที่แล้วด้วย Transition Path และเซตของ Transition Path จากท้ายปัญหาไปหาจุดเริ่มต้นโดยผ่านวิธีที่เป็นไปได้ในแต่ละชั่วโมง แต่ละวิธีที่เป็นไปได้จะมี Transition Path เส้นเดียว และ Transition Path 1 เส้น จะต่อกับวิธีที่เป็นไปได้ในชั่วโมงที่แล้ววิธีเดียว ดังเส้นหนาในรูปที่ 1 ซึ่งเดินทางกลับจาก 3b ไปหาจุดเริ่มต้น

ราคารวมได้จากราคารวมของทุกวิธีรวมกับราคาเริ่มเดินเครื่อง ซึ่งราคารวมจะเป็นราคาสะสมราคาเดียวที่รวมค่าใช้จ่ายจากชั่วโมงก่อน ๆ ไว้แล้ว จากรูปที่ 3.8 ราคารวมเมื่อจบชั่วโมงที่ 3 คือ \$(tot-3a) , \$(tot-3b) และ \$(tot-3c) จะได้ราคาดังสมการ

$$\$(tot\text{-}3a) = \$(0\text{-}1a)+\$(1a)+\$(1a\text{-}2a)+\$(2a)+\$(2a\text{-}3a)+\$(3a) \quad \ldots (3.20)$$

$$\$(tot\text{-}3b) = \$(0\text{-}1a)+\$(1a)+\$(1a\text{-}2a)+\$(2a)+\$(2a\text{-}3b)+\$(3b) \quad \ldots (3.21)$$

$$\$(tot\text{-}3c) = \$(0\text{-}1a)+\$(1a)+\$(1a\text{-}2b)+\$(2b)+\$(2b\text{-}3c)+\$(3c) \quad \ldots (3.22)$$

ราคารวมนี้ยังสามารถแสดงด้วยสมการของราคารวมจากชั่วโมงก่อน จะได้ราคารวมเมื่อสิ้นสุดชั่วโมงที่ 3 จากราคารวมของชั่วโมงที่ 2 ดังนี้

$$\$(tot\text{-}3a) = \$(tot\text{-}2a)+\$(2a\text{-}3a)+\$(3a) \quad \ldots \quad (3.23)$$

$$\$(tot\text{-}3b) = \$(tot\text{-}2a)+\$(2a\text{-}3b)+\$(3b) \quad \ldots \quad (3.24)$$

$$\$(tot\text{-}3c) = \$(tot\text{-}2b)+\$(2b\text{-}3c)+\$(3c) \quad \ldots \quad (3.25)$$

การเขียนสมการอย่างสมการที่ (23)-(25) มีประโยชน์คือ ราคารวมในชั่วโมงที่ i จะเขียนในเทอมของราคารวมในชั่วโมงที่ (i-1) โดยไม่ต้องเก็บค่าราคารวมในชั่วโมงที่ 1,2, ...,(i-2)

สมการที่ (23)-(25) แสดงราคารวมในชั่วโมงที่ 3 เมื่อดู Transition Path จะพบว่าวิธีที่เป็นไปได้ในชั่วโมงนี้จะต่อกับวิธีที่เป็นไปได้ในชั่วโมงที่แล้ว ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีราคารวมต่างกัน เช่นวิธี 3b ในรูปที่ 1 ถ้าต่อกลับไปที่วิธี 2b หรือ 2c แทนที่จะเป็น 2a ก็จะได้ราคารวมที่ต่างกันคือ

$$\$(tot-3b)a = \$(tot-2a)+\$(2a-3b)+\$(3b)a \qquad \ldots \quad (3.26)$$

$$\$(tot-3b)b = \$(tot-2b)+\$(2b-3b)+\$(3b)b \qquad \ldots \quad (3.27)$$

$$\$(tot-3b)c = \$(tot-2c)+\$(2c-3b)+\$(3b)c \qquad \ldots \quad (3.28)$$

วิธี Dynamic Programming ต้องการราคารวมของวิธีที่เป็นไปได้ให้มีราคารวมต่ำที่สุด ในตัวอย่างที่ให้มา สมมติ $\$(tot-3b)a$ มีราคาต่ำที่สุดซึ่งต่ำกว่า $\$(tot-3b)b$ และ $\$(tot-3b)c$ ดังนั้นวิธีที่ต่อกับ 3b จึงเป็นวิธี 2a ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ราคารวมต่ำที่สุด

ในการพิจารณา Transition Path จะไม่พิจารณา Transition Path ที่ไม่เป็นไปตามข้อบังคับเช่นminimum up time , minimum down time (จากสมการ (23)-(25) ราคาในการกระจายพลังงานอาจอยู่ในฟังชั่นของ Transition Path ที่ต่อกับวิธีในชั่วโมงก่อน เช่น pick up rate หรือ start up limiting ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

ส่วนที่สองของการทำ Dynamic Programming คือต้องย้อนกลับไปตาม Transition Path เมื่อคำนวณเสร็จจนจบ ผลของส่วนการคำนวณจะได้ราคารวมของวิธีที่เป็นไปได้ในชั่วโมงสุดท้าย แต่ละราคารวมในชั่วโมงสุดท้ายจะแสดงวิธีที่ถูกเลือกในแต่ละชั่วโมงก่อนหน้านี้จาก Transition Path เนื่องจากต้องการราคารวมที่ต่ำที่สุด จึงย้อนกลับตาม Transition Path ของราคารวมที่ต่ำที่สุดจากชั่วโมงสุดท้ายมาหาชั่วโมงแรก จะได้หมายกำหนดการที่เหมาะสม

การศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรยูนิต คอมมิตเมนท์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอาศัยการจำลองระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังที่ศึกษามีขนาดใหญ่ขึ้นทุกที และยังต้องการความรวดเร็ว (Speed) ความแม่นยำ (Accuracy) ในการคำนวณ ตลอดจนการประหยัดเนื้อที่เก็บข้อมูลในหน่วยความจำ (Storage) ของเครื่องคอมพิวเตอร์มีมากขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ในปัจจุบัน

เป็นไปได้ที่จะแบ่งปัญหาใหญ่ ๆ 1 ปัญหาเป็นปัญหาเล็ก ๆ หลายปัญหา ซึ่งจะใช้เวลาในการหาหมายกำหนดการแต่ละปัญหาย่อยแล้วนำมารวมกัน น้อยกว่าการหาหมายกำหนดการจากปัญหาใหญ่ 1 ปัญหา[11,4] การศึกษาปัญหาย่อย ๆ อาจต้องถูกคิดใหม่ ถ้าการศึกษาปัญหาย่อย ๆ อันอื่นไม่ตรงกันเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจจะถูกกำหนดให้เดินเครื่องในปัญหาย่อยหนึ่ง แต่จะไม่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องในปัญหาย่อยอีกอันหนึ่ง การศึกษาปัญหาย่อยจะพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงบางส่วนในกลุ่มเป็นการศึกษาปัญหาย่อยที่หนึ่งอาจศึกษาระหว่าง เครื่อง

กำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่กับขนาดกลาง ส่วนการศึกษาปัญหาย่อยที่สองอาจศึกษาหมายกำหนดการของเครื่องขนาดกลางกับเครื่องที่ใช้ตอน peak

รูปแบบของการเก็บข้อมูล จะให้เก็บวิธีที่มีประสิทธิภาพในชั่วโมงต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละชั่วโมงและแต่ละวิธีจะต่อเชื่อมกลับไปสู่วิธีในชั่วโมงก่อน การเก็บข้อมูลเกี่ยวกับวิธีจะเก็บสองส่วนคือวิธีที่ยอมรับในชั่วโมงก่อนและวิธีในชั่วโมงนี้ ราคารวมในแต่ละชั่วโมงก่อนจะต้องเอามารวมกับราคาในชั่วโมงนี้และต้องเก็บไว้ใช้ในชั่วโมงต่อไป ขบวนการ link-back ต้องการทราบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องเปิดหรือปิดในชั่วโมงที่ติดกัน จากท้ายปัญหาย้อนกลับไปต้นปัญหา

<u>หมายเหตุ</u> เรื่องนี้จะกล่าวถึงเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน และสมมติว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำจ่ายพลังงานที่เหมาะสมแล้ว