# บทที่ 5

# การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คำนึงถึงข้อจำกัด

# การปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้า

## 5.1 บทนำ

การปฏิบัติงานในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้รับความสนใจในเรื่องการวางแผนปฏิบัติงานให้มีคุณภาพและประหยัดมากที่สุดรวมทั้งคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ด้วยปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) เกิดขึ้นเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 1 เครื่องขึ้นไปจ่ายโหลดร่วมกันอยู่ จะต้องจัดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดจ่ายโหลดเท่าไรระบบจึงจะมีประสิทธิภาพ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึง การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คำนึงถึงข้อจำกัดการปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำได้โดยจัดสรรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัวจ่ายโหลดที่เหมาะสม โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายคือ ต้นทุนการผลิตและอัตราการปล่อยก๊าซพิษของระบบ และเป็นไปตามสมการบังคับคือ สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า รวมทั้งกำลังผลิตและอัตราการปล่อยก๊าซพิษของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้มีค่าอยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5.2 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ดังเช่นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนจะมีทั้งประเภทกังหันไอน้ำ, กังหันก๊าซ และความร้อนร่วม(Combined cycle) ในที่นี้จะกล่าวถึงโรงไฟฟ้าพลังความร้อนประเภทกังหันไอน้ำ โดยโรงไฟฟ้าประเภทนี้จะประกอบด้วย เตาเผาเชื้อเพลิง,หม้อไอน้ำ,กังหันไอน้ำ,เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์ช่วยต่างๆ เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ซึ่งโรงไฟฟ้าจะต้องใช้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน,ถ่านหิน หรือก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น มาเผาให้เกิดความร้อนแล้วนำพลังงานความร้อนนั้นมาเปลี่ยนเป็นพลังงานกลโดยอาศัยวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อไปหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการผลิตไฟฟ้าออกมา ซึ่งอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะเปลี่ยนไปตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมา เราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวในลักษณะฟังก์ชันโพลิโนเมียลอันดับ 2 คือ

$$F(P) = aP^2 + bP + c \qquad (5.1)$$

โดย F : อัตราการใช้เชื้อเพลิง

P : กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมา

a,b,c : ค่าคงที่เฉพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับอัตราการใช้เชื้อเพลิงนี้หากคูณด้วยอัตราค่าเชื้อเพลิงก็จะเป็นค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า

ในปัญหาการจัดสรรกำลังผลิต(การจ่ายโหลดอย่างประหยัด)ความสัมพันธ์ของสมการจัดสรรกำลังผลิตคืออัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังผลิต ซึ่งเรียกว่า Incremental Fuel Rate และเมื่อคูณด้วยอัตราค่าเชื้อเพลิงจะเป็นอัตราการเพิ่มของค่าเชื้อเพลิงต่อการเพิ่มกำลังผลิต (Incremental Production Cost) ความสัมพันธ์ของอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มกับการเพิ่มกำลังผลิตจะเป็นกราฟเส้นตรง ดังสมการ

$$dF/dP = 2aP + b \qquad (5.2)$$

สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเราสามารถหาค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า(ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตของระบบ) อันเป็นหนึ่งในฟังก์ชันเป้าหมายของการศึกษานี้ โดยทำการหาจากปริมาณการใช้ถ่านหินของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า,ความร้อนที่ใช้โดยกังหัน,ค่าความร้อนจำเพาะของถ่านหิน และราคาถ่านหิน (ข้อมูล จากกฟผ.) ดังสมการ

ฟังก์ชันต้นทุนการผลิต = ราคาถ่านหิน*ปริมาณการใช้ถ่านหิน

โดย ราคาถ่านหิน = 500 บาท/ตัน

ปริมาณการใช้ถ่านหิน = $H*10^6/0.92*4.1868*A$

H: ความร้อนที่ใช้โดยกังหัน ซึ่งจะอยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้นและสัมพันธ์กับโหลด

A: ความร้อนจำเพาะของถ่านหิน(2600 kcal/kg)

ดังนั้น ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า $= 0.5*H*10^6/0.92*4.1868*A$

$= 0.05*H$ (พันบาท/ชม.) (5.3)

จะเห็นว่าฟังก์ชันต้นทุนการผลิตจะอยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้น(เพราะว่าH อยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้น)และสำหรับค่าฟังก์ชันต้นทุนการผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะแสดงรายละเอียดในบทถัดไป

## 5.3 แบบจำลองของปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนี้ จะต้องมีการจัดรูปแบบโครงสร้างของระบบปัญหาให้เหมาะสมกับการใช้เทคนิคการออปติไมซ์เซชันแบบหลายเป้าหมาย และการโปรแกรมเชิงเส้นตรง (ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 และ4 ตามลำดับ) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) และสมการแสดงเงื่อนไขบังคับ (constraint) และตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) หรือ $Z(x)$

ฟังก์ชันเป้าหมาย ประกอบด้วย 2 ฟังก์ชัน คือ

1). การทำให้ต้นทุนการผลิตของระบบให้มีค่าต่ำที่สุด สามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$Z_1(x) = \text{Min } C_i \qquad (5.4)$$

โดย $Z_1(x)$ : ต้นทุนการผลิตของระบบ

$C_i$ : ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง(i)

2). การทำให้อัตราการปล่อยก๊าซพิษน้อยที่สุด สามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$Z_2(x) = \text{Min } E_i \qquad (5.5)$$

โดย $Z_2(x)$: อัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ รวมของระบบ

$E_i$ : อัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง(i)

2. เงื่อนไขบังคับแบบสมการ

สมการสมดุลย์ของกำลังผลิตจริง คือ กำลังผลิตต้องเท่ากับความต้องการไฟฟ้า

$$P_i = P_d \qquad (5.6)$$

โดย $P_i$ : กำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของระบบ

$P_d$ : ความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า

3. เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ

คือขีดจำกัด (Limit) ของตัวแปรควบคุมต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง คือ กำลังผลิตแต่ละเครื่อง ($P_i$) , อัตราการปล่อยก๊าซพิษ ($S_i$) ซึ่งเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax} \qquad (5.7)$$

โดย $P_{imin}$ = ขีดจำกัดต่ำสุดของกำลังการผลิต

$P_{imax}$ = ขีดจำกัดสูงสุดของกำลังการผลิต

$$\sum_{i=1}^{n} S_i \leq S_{area} \qquad (5.8)$$

โดย $S_i$ = อัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (i )

$S_{area}$ = ปริมาณก๊าซพิษในอากาศที่จะยอมรับได้ในแต่ละพื้นที่

4. ราคาต่อหน่วย

คือค่าราคาต่อหน่วย (weight) ที่จะใช้สำหรับการทำออปติไมซ์แบบหลายเป้าหมาย

$$W = W_s \qquad (5.9)$$

โดย W = ค่า weight ที่จะใช้กับสมการเป้าหมายที่ 2 (อัตราการปล่อยก๊าซพิษ)

$W_s$ = ราคาก๊าซพิษ

## 5.4 รายละเอียดของแบบจำลองปัญหาของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คำนึงถึงข้อจำกัดการปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้า

5.4.1 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ประกอบด้วย

1). ต้นทุนการผลิตของระบบ

ในเรื่องการวางแผนปฏิบัติงานของระบบไฟฟ้า (Power System Operational Planning) การผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า จะต้องทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดซึ่งก็คือการที่จะจัดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดจ่ายโหลดเท่าไร จึงจะทำให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบต่ำที่สุด

ถ้าให้ $C_i$ เป็นต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละ unit(i) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีผลอย่างมากต่อต้นทุนการผลิต ดังนั้นต้นทุนการผลิตจะเป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ผลิต หรือ

$$C_i = C_i(P_i) \qquad (5.10)$$

โดยที่ $P_i$ เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ unit i

ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตตามสมการที่ (5.10) เรียกว่า cost function ในที่นี้เราจะพิจารณา ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้น (linear function) เพราะว่าในช่วงการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะผลิตได้ในช่วงขีดจำกัดสูงสุดและต่ำสุดจะค่อนข้างเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น อีกทั้งการหาคำตอบจะทำได้ง่ายกว่า

ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตจึงอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$C_i = a_iP_i + b_i \qquad (5.11)$$

ต้นทุนการผลิตรวมระบบคือ ผลรวมของต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง หรือ

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

$$= C_1(P_1)+C_2(P_2)+C_3(P_3) +... +C_n(P_n) \qquad (5.12)$$

เมื่อ C เป็นต้นทุนการผลิตรวมของระบบ

จะเห็นได้ว่าต้นทุนการผลิตรวมของระบบ เป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

$$C = C(P_1,P_2,...,P_n) \qquad (5.13)$$

เนื่องจากการจ่ายโหลดอย่างประหยัดคือการทำให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นต้นทุนการผลิตรวมของระบบ (C) จึงเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย(objective function)

2). อัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด นอกจากจะทำให้ต้นทุนการผลิตรวมของระบบมีค่าต่ำที่สุดแล้วยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบให้น้อยที่สุดด้วย

ถ้าให้ $E_i$ เป็นอัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง (i) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะมีผลต่ออัตราการปล่อยพิษ $SO_2$ ดังนั้นอัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ จะเป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ผลิต หรือ

$$E_i = E_i(P_i) \qquad (5.14)$$

โดยที่ $P_i$ เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของ unit i

ฟังก์ชันอัตราการปล่อยก๊าซพิษ ตามสมการที่ 5.14 เรียกว่า emission fuction ซึ่งจะอยู่ในรูปฟังก์ชันเชิงเส้น (linear function) ดังสมการ

$$E_i = x_iP_i + y_i \qquad (5.15)$$

อัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ รวมของระบบ คือ ผลรวมของอัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ ของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง หรือ

$$E_i = \sum_{i=1}^{n} E_i$$

$$= E_1(P_1)+E_2(P_2)+E_3(P_3) +... +E_n(P_n) \qquad (5.16)$$

เมื่อ E เป็น อัตราการปล่อยก๊าซพิษรวมของระบบ

จะเห็นได้ว่าอัตราการปล่อยก๊าซพิษรวมของระบบ เป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

$$E = E(P_1,P_2,...,P_n) \qquad (5.17)$$

เนื่องจากการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คำนึงถึงข้อจำกัดของการปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้า คือการทำให้อัตราการปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้าถ่านหินของระบบมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นอัตราการปล่อยก๊าซพิษรวมของระบบ (E) จึงเป็น ฟังก์ชันเป้าหมาย(objective function) ด้วย

5.4.2 เงื่อนไขบังคับ (constraint)

เงื่อนไขบังคับในการทำออปติไมซ์ มี 2 ชนิด คือ

1). เงื่อนไขบังคับแบบสมการ

เนื่องจากระบบจะต้องจ่ายโหลดให้เพียงพอ ดังนั้นหากไม่คิดกำลังสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ผลิตรวมของระบบ จะต้องเท่ากับโหลด(ความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า)

$$\sum_{i=1}^{n} P_i - P_d = 0 \qquad (5.18)$$

เมื่อ $P_d$ เป็นความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า (โหลด) MW.

2). เงื่อนไขบังคับแบบอสมการ

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะมีขีดจำกัดของกำลังผลิต คือจะสามารถผลิตเพื่อจ่ายโหลดได้มากกว่าค่าๆ หนึ่ง แต่ไม่เกินค่าอีกค่าหนึ่ง นั่นคือ

$$P_{imin} \leq P_i \leq P_{imax} \qquad (5.19)$$

โดย $P_{imin}$ = ขีดจำกัดต่ำสุดของกำลังการผลิต

$P_{imax}$ = ขีดจำกัดสูงสุดของกำลังการผลิต

-กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง จะมีผลต่ออัตราการปล่อยก๊าซพิษของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง อัตราการปล่อยก๊าซพิษรวมของระบบ จะต้องไม่เกินค่าปริมาณก๊าซพิษในอากาศที่จะยอมรับได้ในแต่ละพื้นที่

$$\sum_{i=1}^{n} S_i \leq S_{area} \qquad (5.20)$$

โดย $S_i$ = อัตราการปล่อยก๊าซพิษ $SO_2$ ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (i )

$S_{area}$ = ปริมาณก๊าซพิษในอากาศที่จะยอมรับได้ในแต่ละพื้นที่

5.4.3 ค่าราคาต่อหน่วย(weight)

คือราคาต่อหน่วยของก๊าซพิษ(พันบาท/ตัน) ซึ่ง

$$W = W_s \qquad (5.21)$$

โดย W = ค่าราคาต่อหน่วยของก๊าซพิษ(weight) ที่จะใช้กับสมการเป้าหมายที่ 2 (อัตราการปล่อยก๊าซพิษ)

$W_s$ = ราคาก๊าซพิษ (พันบาท/ตัน)

## 5.5 ขั้นตอนวิธีของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คำนึงถึงข้อจำกัดการปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้า

ขั้นตอนวิธี(algorithm)ของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่คำนึงถึงข้อจำกัดการปล่อยก๊าซพิษจากโรงไฟฟ้า แสดงดังในรูปที่ 5.1 และมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1.คำนวณจากปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละRegion เพื่อหาปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงๆที่ระบบผลิตไฟฟ้าที่เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง สามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าหรือสามารถป้อนค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าได้โดยตรง

2.ป้อนค่าอินพุตทั้งหมดได้แก่ ฟังก์ชันต้นทุนการผลิต สำหรับสมการเป้าหมายที่ 1 , ฟังก์ชันการปล่อยก๊าซพิษของระบบ สำหรับสมการเป้าหมายที่ 2 , ขีดจำกัดของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , อัตราการปล่อยก๊าซพิษของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า , ปริมาณก๊าซพิษที่จะยอมรับได้ในแต่ละพื้นที่ และปริมาณความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า

3.คำนวณหาค่า กำลังผลิต( $P_i$ ),ค่าใช้จ่ายในการผลิต(Production Cost) , ค่าใช้จ่ายในการปลดปล่อยก๊าซพิษ(Emission Cost), ปริมาณการปล่อยก๊าซพิษ($SO_2$ Emission)และ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด(Total Cost) สำหรับสมการเป้าหมายที่ 1(คิดเฉพาะต้นทุนการผลิตเพียงอย่างเดียว)โดยสมการเป้าหมายที่ 2 =0 และเงื่อนไข บังคับตามสมการที่ ( 5.18 - 5.20 ) โดยการโปรแกรมเชิงเส้นตรง

4.คำนวณหาค่า กำลังผลิต( $P_i$ ),ค่าใช้จ่ายในการผลิต(Production Cost) , ค่าใช้จ่ายในการปลดปล่อยก๊าซพิษ(Emission Cost), ปริมาณการปล่อยก๊าซพิษ($SO_2$ Emission)และ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด(Total Cost) สำหรับสมการเป้าหมายที่ 2 (คิดเฉพาะผลของการปล่อยก๊าซพิษ)โดยสมการเป้าหมายที่ 1 =0 และเงื่อนไขบังคับตามสมการที่ ( 5.18 - 5.20 ) โดยการโปรแกรมเชิงเส้นตรง

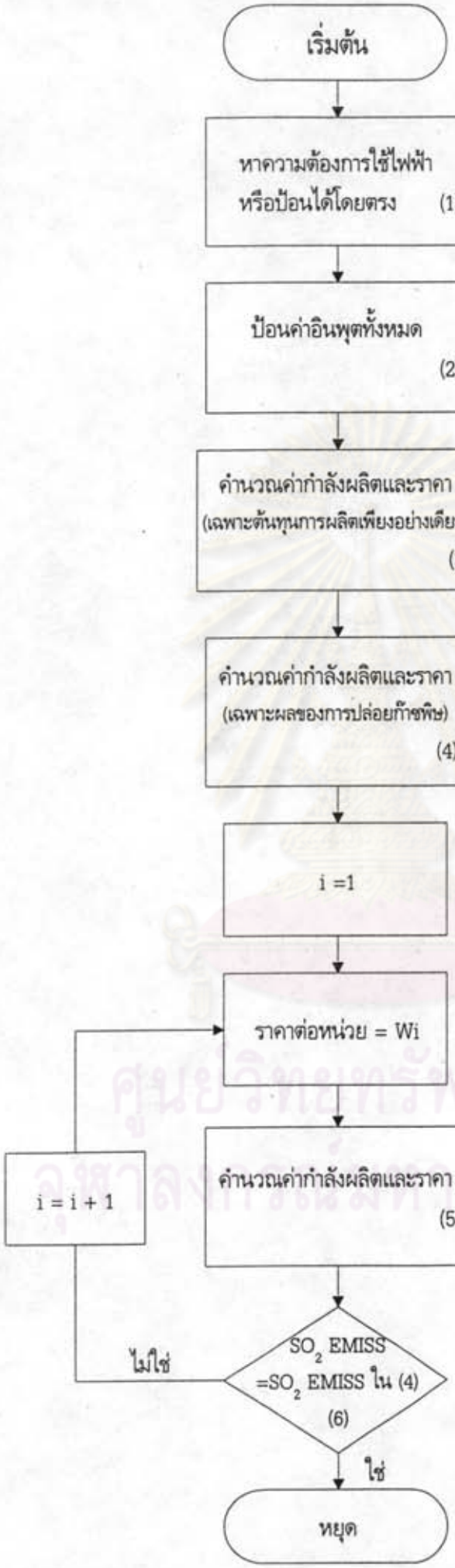
5.คำนวณหาค่า กำลังผลิต( $P_i$ ),ค่าใช้จ่ายในการผลิต(Production Cost) , ค่าใช้จ่ายในการปลดปล่อยก๊าซพิษ(Emission Cost), ปริมาณการปล่อยก๊าซพิษ($SO_2$ Emission)และ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด(Total Cost) สำหรับสมการเป้าหมายทั้ง 2 และเงื่อนไขบังคับตามสมการที่ ( 5.18-5.20 ) โดยการทำออปติไมซ์เซชันแบบหลายเป้าหมาย และ วิธีการ weighting ด้วยการเริ่มต้น ค่าถ่วงน้ำหนัก ที่สมการเป้าหมายที่ 2 ด้วยค่าราคาก๊าซพิษเริ่มต้น และทำการโปรแกรมเชิงเส้นตรง

6.เพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก แต่ละช่วง สำหรับสมการเป้าหมายที่ 2 และทำการโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อคำนวณหาค่า กำลังผลิต( $P_i$ ),ค่าใช้จ่ายในการผลิต(Production Cost) , ค่าใช้จ่ายในการปลดปล่อยก๊าซพิษ(Emission Cost), ปริมาณการปล่อยก๊าซพิษ($SO_2$ Emission)และ ค่าใช้จ่ายทั้งหมด(Total Cost) จนกว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตและปริมาณการปล่อยก๊าซพิษไม่เปลี่ยน และปริมาณการ

ปล่อยก๊าซพิษ เท่ากับค่าปริมาณการปล่อยก๊าซพิษ ในขั้นตอนที่ 4 ก็จะได้ค่าถ่วงน้ำหนัก(weight) ที่เป็นการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและปล่อยก๊าซพิษเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

จากขั้นตอนทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นจะได้นำไปใช้ในการหาผลของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในบทถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย




รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนวิธีของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย