เศรษฐศาสตร์การจ่ายกำลังไฟฟ้า (Economic Dispatch)

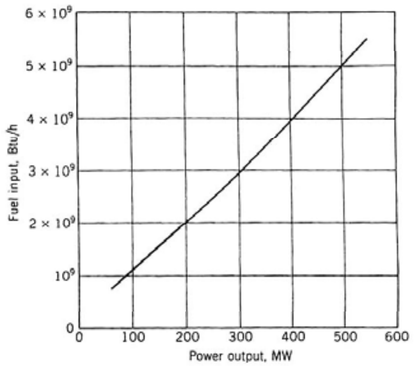
- การผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ **ต้นทุน (Cost)**
- หาวิธีที่ทำให้การจ่ายโหลดมีประสิทธิภาพที่สุด โดยที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
- แยกศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ

1. เศรษฐศาสตร์ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า (Plant)
2. เศรษฐศาสตร์ระหว่างโรงไฟฟ้า (plant) กับระบบ (system)

เศรษฐศาสตร์ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้า

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิด มีการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน
- เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่างกัน ต้นทุนก็จะไม่เท่ากัน
- ค่าต้นทุนของแต่ละหน่วยผลิต จะแสดงในรูปฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าจ่ายออก
- ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงและกำลังไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะแตกต่างกัน ตามชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้

กราฟอินพุต – เอาต์พุต ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

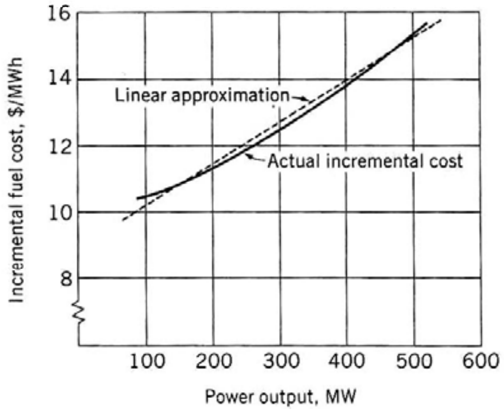


- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดต่างกัน ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจะไม่เท่ากัน
- พิจารณาประสิทธิภาพจาก อัตราส่วนของปริมาณความร้อนต่อเวลาจากเชื้อเพลิงต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ → อัตราส่วนยิ่งต่ำ ประสิทธิภาพยิ่งสูง

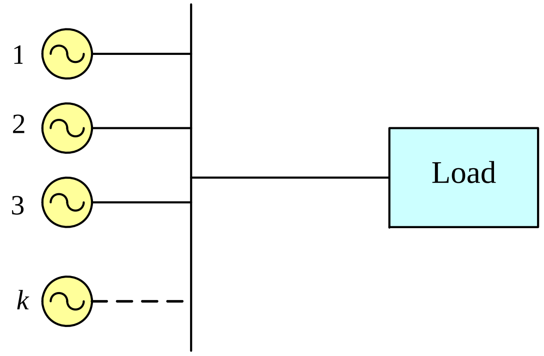
กำหนดให้ F_n คือ ต้นทุนเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตที่ n (dollar per hour)

P_n คือ กำลังผลิตของหน่วยผลิตที่ n (MW)

ต้นทุนของการเพิ่มขึ้นของเชื้อเพลิง เท่ากับ dF_n/dP_n (dollars/MWh)



กรณีโรงไฟฟ้ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน n ยูนิต รวมกันจ่ายโหลด



กำหนดให้

P_n คือ กำลังที่จ่ายออกของเครื่องจักร n

F_n คือ ค่าใช้จ่ายของเครื่องจักร n ต่อชั่วโมง

F_T คือ ค่าใช้จ่ายรวมของทั้งโรงไฟฟ้า ต่อ ชั่วโมง

ค่าใช้จ่ายรวมทั้งโรงไฟฟ้า เท่ากับ

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \ldots + F_k \quad = \sum_{n=1}^{k} F_n$$

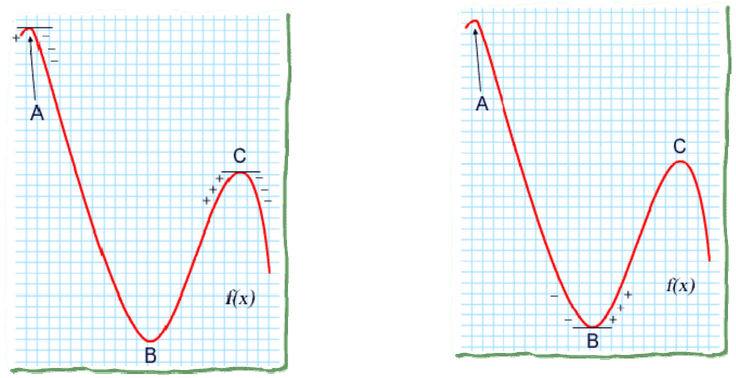
กำหนดให้โรงไฟฟ้า จ่ายโหลดคงที่ เท่ากับ P_D จะได้สมการการจ่ายโหลด เป็น

$$P_R = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_k \quad = \sum_{n=1}^{k} P_n$$

(กำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับค่าคงที่ ถ้าโหลดคงที่)

❖ ถ้าค่าใช้จ่ายรวม (F_T) มีค่าน้อยสุด จะถือว่าเป็นจ่ายโหลดอย่างประหยัด

เนื่องจาก F_t เป็นฟังก์ชั่นของ $P_1, P_2, P_3, \ldots P_n$ นั่นคือการจ่ายโหลดจะประหยัดสุด เมื่อ $dF_t = 0$ จะได้



Maximum

Minimum

จะได้ $$dF_T = \frac{\partial F_T}{\partial P_1} dP_1 + \frac{\partial F_T}{\partial P_2} dP_2 + ... + \frac{\partial F_T}{\partial P_k} dP_k = 0$$

เนื่องจาก P_R คงที่ ดังนั้น $dP_R = 0$

$$dP_1 + dP_2 + ... + dP_k = 0$$

คูณสมการ $dP_R = 0$ ด้วย λ และ นำไปลบกับสมการ $dF_T = 0$

$$\left(\frac{\partial F_T}{\partial P_1} - \lambda\right) dP_1 + \left(\frac{\partial F_T}{\partial P_2} - \lambda\right) dP_2 + ... + \left(\frac{\partial F_T}{\partial P_k} - \lambda\right) dP_k = 0$$

(แต่ละเทอมต้องเป็น ศูนย์ (0))

$$\left(\frac{\partial F_T}{\partial P_1} - \lambda\right) dP_1 + \left(\frac{\partial F_T}{\partial P_2} - \lambda\right) dP_2 + ... + \left(\frac{\partial F_T}{\partial P_k} - \lambda\right) dP_k = 0$$

- เนื่องจากในแต่ละเทอมมีกำลังผลิตของเครื่องเพียงเครื่องเดียวที่เปลี่ยนแปลง ส่วนเครื่องอื่นๆ ยังมีกำลังการผลิตเท่าเดิม

เขียนได้เป็น $$\frac{\partial F_T}{\partial P_k} \rightarrow \frac{dF_k}{dP_k}$$

จะได้สมการแต่ละเทอมเป็น

$$\frac{dF_1}{dP_1} = \lambda, \ \frac{dF_2}{dP_2} = \lambda, \ ... , \ \frac{dF_k}{dP_k} = \lambda$$ (อัตราการเปลี่ยนแปลงเท่ากัน)

- ในทางปฏิบัติอาจมีข้อจำกัดทำให้เครื่องบางเครื่องไม่สามารถทำงานที่ค่าอัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงเท่ากับค่าอื่นๆได้ อาจเนื่องจากข้อจำกัดด้านพิกัดการผลิต

ตัวอย่างที่ 1

อัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง ในหน่วย Dollars / MWh เป็นดังนี้

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 0.0080P_1 + 8.0 \qquad \frac{dF_2}{dP_2} = 0.0096P_2 + 6.4$$

ทั้งสองจ่ายโหลดตลอดเวลา โดยโหลดมีค่าระหว่าง 250 – 1250 MW ขีดจำกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละเครื่อง คือ 625 และ 100 MW

จงหา อัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงและการกระจายโหลดระหว่างเครื่องทั้งสอง ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยมีค่าต่ำสุด ตลอดช่วงโหลดที่กำหนด

พิกัดขั้นต่ำ 100 MW (ขีดจำกัดต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง)

$$\frac{dF_1}{dP_1} = 0.0080P_1 + 8.0 \quad = 0.0080(100) + 8.0 \quad = 8.8\ \$$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 0.0096P_2 + 6.4 \quad = 0.0096(100) + 6.4 \quad = 7.36\ \$$$

พบว่า

- อัตราค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของเครื่องที่ 1 สูงกว่าเครื่องที่ 2 จึงเดินเครื่องที่ 1 ให้จ่ายโหลดที่ 100 MW ไว้ก่อน
- เครื่องที่ 2 รับโหลดส่วนเกิน 100 MW จนกว่า $\frac{dF_2}{dP_2} = 8.8\ \$$

$$\frac{dF_2}{dP_2} = 8.8\ \$ \rightarrow 0.0096P_2 + 6.4 = 8.8$$

จะได้ $\boxed{P_2 = \frac{2.4}{0.0096}} = 250\ \text{MW}$

นั่นคือ กำลังการผลิตรวม P_1+P_2 เท่ากับ 350 MW

- ถ้าโหลดเพิ่มมากกว่า 350 MW ต้องปรับกำลังผลิต P_1 และ P_2 เพื่อให้เครื่องทั้ง 2 ทำงานที่ λ เท่ากัน

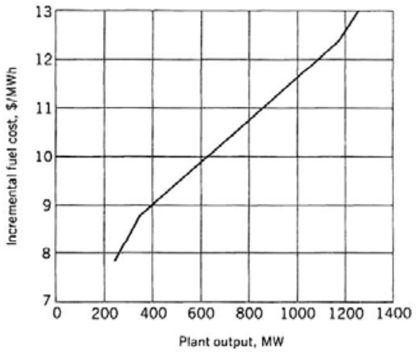
- จะกำหนดค่า λ แล้วย้อนกลับไปหา P_1 และ P_2 และผลรวม $P_1 + P_2$ (กำลังผลิตของโรงไฟฟ้าทั้งโรง)

สามารถสรุป กำลังผลิตแต่ละเครื่อง และ กำลังผลิตรวมทั้งโรงไฟฟ้า ที่ค่า λ ต่างๆ ดังนี้

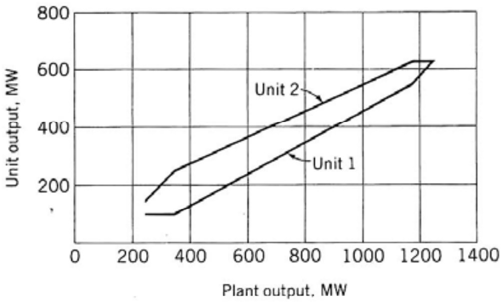
Table 9.1 Outputs of each unit and total output for various values of λ for Example 9.1

Plant λ, \$/MWh	Unit 1 P_1, MW	Unit 2 P_2, MW	Plant $P_1 + P_2$ MW
7.84	100	150	250
8.8	100	250	350
9.6	200	333	533
10.4	300	417	717
11.2	400	500	900
12.0	500	583	1083
12.4	550	625	1175
13.0	625	625	1250

นำค่าที่ได้จากตารางมาพล็อตกราฟ ได้เป็น

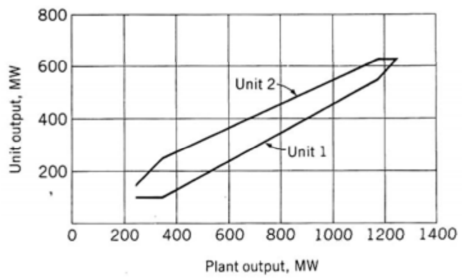


กำลังผลิตรวม



กำลังผลิตแต่ละเครื่อง

สามารถประมาณกำลังการผลิตแต่ละเครื่องโดยประมาณ ได้จากกราฟ



เช่น กำลังผลิตรวม 1000 MW

P_1 = 454 MW

P_2 = 1000 - 454 MW

= 546 MW

เปรียบเทียบกับวิธีคำนวณ จาก $P_1 + P_2 = 1000$ MW

$$\lambda = \frac{dF_1}{dP_1} = \frac{dF_2}{dP_2} \rightarrow 0.008(P_1) + 8.0 = 0.0096(P_2) + 6.4$$

$$0.008(P_1) + 8.0 = 0.0096(1000 - P_1) + 6.4$$

แก้สมการออกมา ได้ค่าต่างๆ เท่ากับ

$$P_1 = 454.55 \text{ MW}$$

$$P_2 = 545.45 \text{ MW}$$

(ค่าใกล้เคียงกัน)

ตัวอย่างที่ 2

จากตัวอย่างที่ 1 จงคำนวณมูลค่าการประหยัดเชื้อเพลิง ($/ชั่วโมง) เมื่อเดินเครื่องตามหลักเศรษฐศาสตร์เทียบกับกรณีแบ่งจ่ายโหลดเท่าๆ กัน ในกรณีที่โรงไฟฟ้าจ่ายโหลดเท่ากับ 900 MW

วิธีทำ

กรณีแบ่งจ่ายโหลดเท่าๆ กัน จะได้ $P_1 = P_2 = 450 \text{ MW}$

แบ่งการจ่ายแต่ละเครื่องตามหลักเศรษฐศาสตร์ พิจารณาจากกราฟ / ตาราง

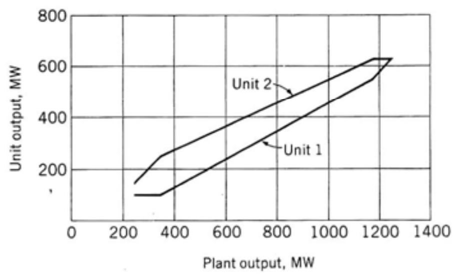


Table 9.1 Outputs of each unit and total output for various values of λ for Example 9.1

Plant λ, $/MWh	Unit 1 P_1, MW	Unit 2 P_2, MW	Plant $P_1 + P_2$ MW
7.84	100	150	250
8.8	100	250	350
9.6	200	333	533
10.4	300	417	717
11.2	400	500	900
12.0	500	583	1083
12.4	550	625	1175
13.0	625	625	1250

พบว่า เครื่องที่ 1 (P_1) ควรจ่าย 400 MW

เครื่องที่ 2 (P_2) ควรจ่าย 500 MW

เมื่อเปรียบเทียบกัน 2 กรณี (ใช้กรณีเดินเครื่องเท่าๆกันเป็นจุดอ้างอิง)

- ค่าเชื้อเพลิงของเครื่องที่ 1 จะเพิ่ม (400 → 450) เป็นมูลค่าเท่ากับ

$$\int_{400}^{450} (0.0080(P_1) + 8) dP_1 = \left| 0.0040P_1^2 + 8P_1 \right|_{400}^{450}$$

$$= 570 \text{ \$/hour}$$

- ค่าเชื้อเพลิงของเครื่องที่ 2 จะลดลง (500 → 450) เป็นมูลค่าเท่ากับ

$$\int_{500}^{450} (0.0096(P_2) + 6.4) dP_2 = \left| 0.0048P_2^2 + 6.4P_1 \right|_{500}^{450}$$

$$= -548 \text{ \$/hour}$$

ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง เพิ่มสุทธิ	=	570 - 548	
	=	22	$/ชั่วโมง

คิดเป็นค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อปี เท่ากับ 192,720 $/ปี