

บทที่ 1 ระบบการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

1.1 กราฟลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Curve)

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ไม่สามารถเก็บสะสมไว้ได้ในปริมาณที่มากในราคาที่ยอมรับได้ ดังนั้นในการควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าจะต้องควบคุมให้การผลิตและการใช้เท่ากันตลอดเวลา หากไม่สามารถควบคุมให้การผลิตและการใช้เท่ากันได้จะทำให้เกิดปัญหาดังนี้

1. การผลิต > การใช้ จะส่งผลให้แรงดันและความถี่ของไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น
2. การผลิต < การใช้ จะส่งผลให้แรงดันและความถี่มีค่าลดลง

ดังนั้นในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะต้องทำความเข้าใจกับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา การอธิบายพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าจะอธิบายด้วยกราฟลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Curve) ซึ่งจะมีแกนนอนเป็นแกนของเวลาและแกนตั้งเป็นแกนของกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะมีรูปแบบแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เราสนใจในแกนนอน ดังอธิบายในตารางที่ 1.1 ดังนี้

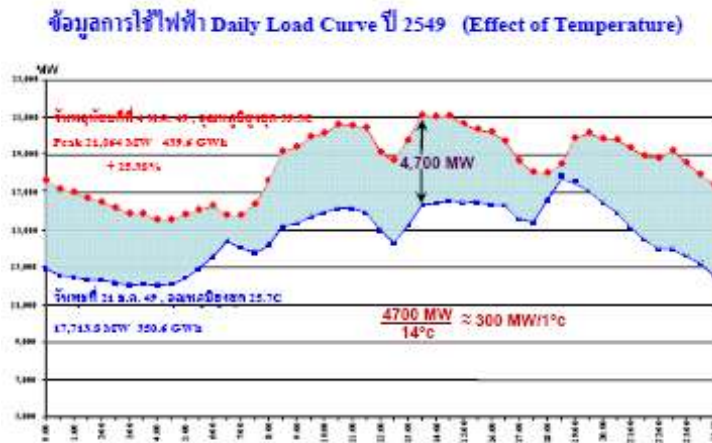
ตารางที่ 1.1 กราฟลักษณะการใช้ไฟฟ้าแบบต่างๆ

ช่วงเวลาที่แสดงในแกนนอน	กราฟลักษณะการใช้ไฟฟ้า
1 วัน	Daily Load Curve
1 เดือน	Monthly Load Curve
1 ปี	Annual Load Curve

โดยแสดงตัวอย่างของ Daily Load Curveของประเทศไทยในปี 2549 ในวันที่มีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของปีในรูปแบบที่ 1.1

โดยทั่วไปความต้องการพลังไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาก็คือ ในช่วงดึกจะเป็นช่วงที่ผู้คนพักผ่อนความต้องการพลังไฟฟ้าจะต่ำและจะมีค่าเพิ่มในช่วงเช้าเมื่อมีการเริ่มต้นการทำงาน การใช้พลังงานในสำนักงานที่เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ความต้องการพลังไฟฟ้าจะลดลงเล็กน้อยในช่วงพักกลางวัน เนื่องจากการหยุดพักการทำงานทำให้การใช้พลังงานในสำนักงานลดลง หลังจากนั้นในช่วงบ่ายจะเป็นช่วงที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของวันเนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิสูงที่สุดของวันทำให้ภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศสูงที่สุด ในช่วงเวลาเลิกงานความต้องการพลังไฟฟ้าจะลดลงและจะไป

เพิ่มอีกครั้งในช่วงหัวค่ำเนื่องจากการใช้งานระบบแสงสว่างที่เพิ่มมากขึ้นและการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในภาคที่อยู่อาศัยและความต้องการพลังไฟฟ้าจะลดลงอีกครั้งในช่วงดึกเมื่อผู้คนพักผ่อน



รูปที่ 1.1 Daily Load Curve

1.2 พารามิเตอร์ที่อธิบายลักษณะการใช้ไฟฟ้า

ตัวประกอบโหลด (Load Factor) เป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายว่าความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความเปลี่ยนแปลงมากน้อยแค่ไหน ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{Average load over a given time interval}}{\text{Peak load during the same time interval}}$$

$$\text{Average Load} = \frac{\text{Area under load curve (kWh)}}{\text{Time interval}}$$

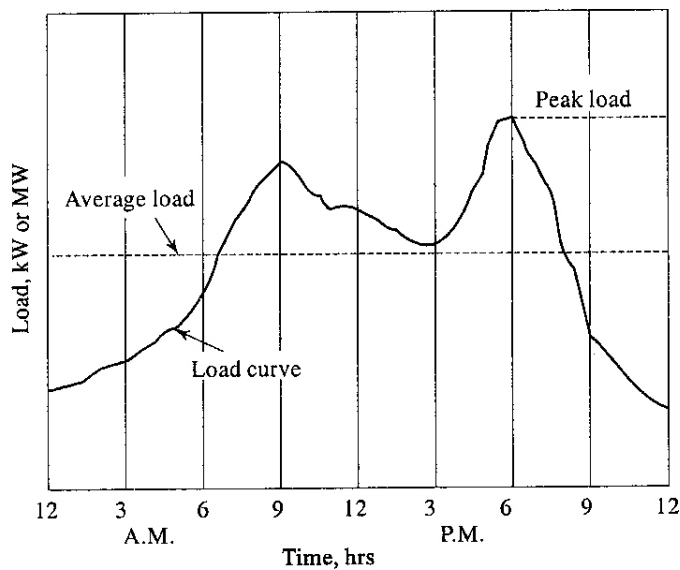
ซึ่งจะทำให้หาค่า Average Load ในช่วงเวลา 1 วัน, 1 เดือน หรือ 1 ปี ได้ดังนี้

$$\text{Daily Load Factor} = \frac{\text{kWh in a day}}{\text{kW}_{\text{max}} \times 24}$$

$$\text{Monthly Load Factor} = \frac{\text{kWh in a month}}{\text{kW}_{\text{max}} \times 24 \times 30}$$

$$\text{Yearly Load Factor} = \frac{\text{kWh in a year}}{\text{kW}_{\text{max}} \times 8760} \quad (\text{one year} = 8760 \text{ hr})$$

ซึ่งความแตกต่างระหว่างความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) กับความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Load) แสดงได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ความแตกต่างระหว่างความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) กับความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Load)

Load Factor จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่ความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าคงที่ Peak Load จะมีค่าเท่ากับ Average Load ซึ่งจะเป็นกรณีที่ Load Factor มีค่าสูงสุดคือ 1

หากความต้องการพลังไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงมากจะทำให้ Peak Load มีค่าสูงกว่า Average Load มากซึ่งจะทำให้ Load Factor มีค่าต่ำลง

คำถาม เมื่อพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศ Load Factor ควรจะมีค่าสูงหรือมีค่าต่ำเพราะเหตุใด

Reserve Factor เป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายว่าในระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังผลิตสำรองของโรงไฟฟ้า (Reserve Capacity) อยู่มากน้อยเพียงใด โดยกำลังผลิตติดตั้ง (Installed Capacity) ของโรงไฟฟ้าจะต้องมีค่าสูงกว่า Peak Load ความแตกต่างระหว่างค่ากำลังผลิตติดตั้งและ Peak Load จะเรียกว่า Reserve Capacity

$$\text{Reserve Capacity} = \text{Installed Capacity} - \text{Peak Load}$$

$$\text{Reserve Factor} = \frac{\text{Installed Capacity}}{\text{Peak Load}}$$

ค่า Reserve Factor จะต้องมียกค่าสูงกว่า 1 เสมอ ในกรณีที่มียกกำลังผลิตสำรองสูงค่า Reserve Factor จะมีค่ามาก หากไม่มีกำลังผลิตสำรองเลยค่า Reserve Factor จะมีค่าเท่ากับ 1

คำถาม ถ้าค่า Reserve Factor มีค่าต่ำเช่นใกล้ 1 มากๆ จะส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้า และหากค่า Reserve Factor มีค่าสูงมากจะส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้า

Capacity Factor หรือ Plant Factor เป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายว่าโรงไฟฟ้าได้ผลิตกระแสไฟฟ้ามากน้อยแค่ไหนเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังผลิตติดตั้ง (Installed Capacity) ของโรงไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\text{Capacity Factor} = \frac{\text{kWh Generated in a year}}{\text{kW}_{\text{installed capacity of plant}} \times 8760}$$

ซึ่งหากโรงไฟฟ้ามีการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่ระดับกำลังผลิตติดตั้งตลอดทั้งปี ค่า Capacity Factor ของโรงไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่แทบจะเป็นไปไม่ได้เนื่องจากโรงไฟฟ้าต้องการการบำรุงรักษาทำให้ชั่วโมงเดินเครื่องจริงจะต่ำกว่า 8,760 ชั่วโมง และในการเดินเครื่องจริงโรงไฟฟ้าจะไม่เดินเครื่องในสภาพ Full Load ตลอดเวลา

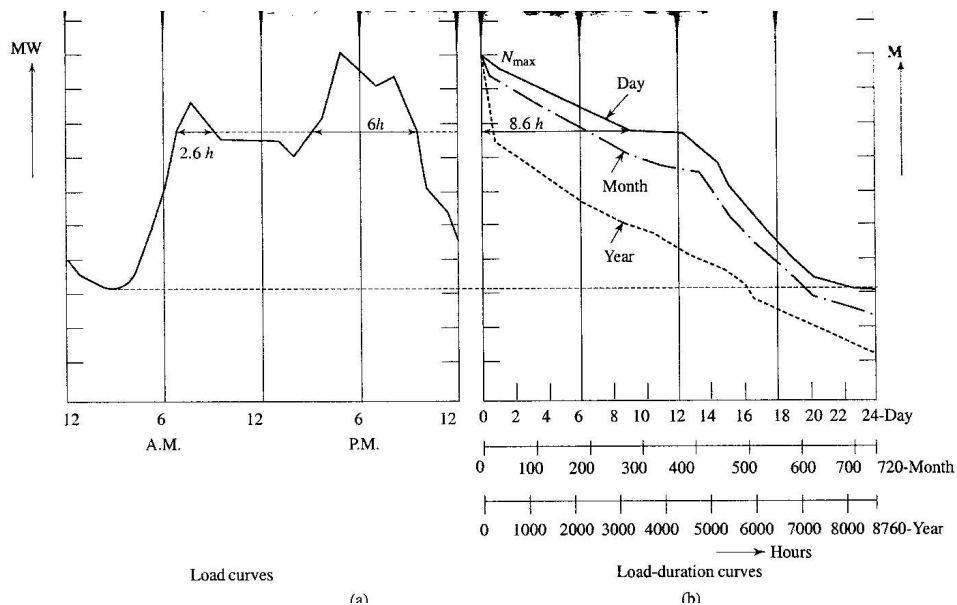
ระบบผลิตไฟฟ้าที่มีค่า Load Factor และค่า Capacity Factor สูงแสดงถึงระบบที่มีความเปลี่ยนแปลงของความต้องการพลังไฟฟ้าน้อย จะทำให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยต้นทุนต่ำที่สุด

1.3 Load Duration Curve

Load Duration Curve เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นว่าในระยะเวลา 1 วันมีระยะเวลาที่ชั่วโมงที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าในแต่ละค่า หรือ Load Duration Curve อาจจะพิจารณาเป็นช่วงเวลา 1 เดือนหรือ 1 ปีก็ได้ซึ่งจะเรียกว่า Daily Load Duration Curve, Monthly Load Duration Curve และ Yearly Load Duration Curve ตามลำดับ วิธีการสร้าง Load Duration Curve จาก Load Curve จะแสดงในรูปที่ 1.3 ดังนี้

ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการพลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา จะผลิตจากโรงไฟฟ้าที่แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ

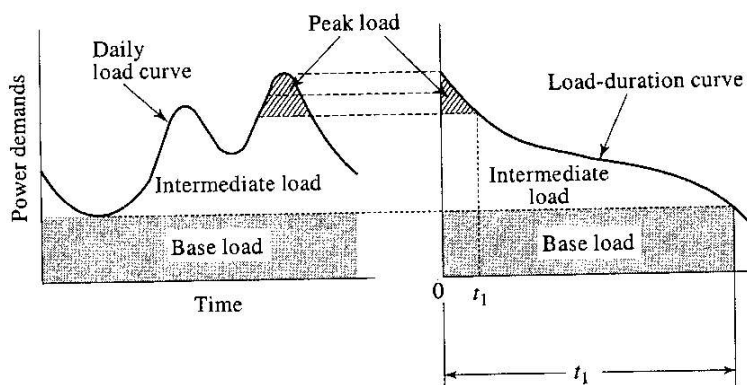
1. โรงไฟฟ้าที่เป็น Base Load Plant ซึ่งจะเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่กำลังผลิตคงที่ตลอดเวลา โรงไฟฟ้าในกลุ่มนี้จะเป็นโรงไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดและไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตได้ในเวลาที่สั้น เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อน หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น



รูปที่ 1.3 การสร้าง Load Duration Curve

2. โรงไฟฟ้าที่เป็น Intermediate Load Plant โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะเดินเครื่องตลอดเวลาแต่จะปรับเปลี่ยนกำลังผลิตตามความต้องการพลังไฟฟ้าอยู่บ้าง โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าโรงไฟฟ้าในกลุ่มแรกแต่จะมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตได้เร็วกว่าโรงไฟฟ้าในกลุ่มแรก เช่น โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เป็นต้น
3. โรงไฟฟ้าที่เป็น Peak Load Plant โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะเดินเครื่องเฉพาะช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด โรงไฟฟ้าประเภทนี้จะต้องสามารถ Start Up ได้ในเวลาอันรวดเร็วและมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตได้ในระยะเวลาสั้น ต้นทุนการผลิตของโรงไฟฟ้าประเภทนี้จะสูงกว่าโรงไฟฟ้าใน 2 กลุ่มแรกแต่มีความจำเป็นกับระบบไฟฟ้าในช่วงความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดมาก

การเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดตามช่วงเวลาต่างๆ ได้แสดงในรูปที่ 1.4 ดังนี้



รูปที่ 1.4 การเดินเครื่องโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ

แบบฝึกหัด

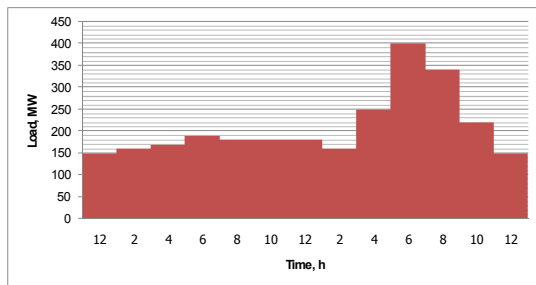
ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆดังนี้

เวลา (ชั่วโมง)	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
Load (MW)	150	160	170	190	180	180	180	160	250	400	340	220	150

จงหา Load Factor และพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกมา

วิธีทำ

เขียน Load Curve ได้ดังรูป



หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ใน 1 วัน

Time, h	12	2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12	
Load, MW	150	160	170	190	180	180	180	160	250	400	340	220	150	Sum
Energy Generation, MWh = Load x period	300	320	340	380	360	360	360	320	500	800	680	440	300	5460

Average Load หาได้จาก

$$\begin{aligned}\text{Average Load} &= \text{Energy Generation/time} \\ &= 5460/24 \\ &= 227.5 \text{ MW}\end{aligned}$$

Load Factor หาได้จาก

$$\begin{aligned}\text{Load Factor} &= \text{Average Load/Peak Load} \\ &= 227.5/400 \\ &= 0.57\end{aligned}$$

Ans

1.4 ตัวประกอบความต้องการไฟฟ้า (Demand Factor)

เป็นตัวประกอบสำคัญในระบบจำหน่าย (Distribution System) ในการคาดการณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภค ซึ่งจะบอกถึงความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นจริง (Actual Load) เปรียบเทียบกับความต้องการไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ติดตั้งทั้งหมด (Connected Load)

$$\text{Demand factor} = \frac{\text{Actual Load}}{\text{Connected Load}}$$

Demand Factor จะมีค่าต่ำกว่า 1 เสมอ เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าจะไม่เปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้ทั้งหมดพร้อมกัน ตารางที่ 1.2 แสดงค่า Demand Factor ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ

ตารางที่ 1.2 ค่า Demand Factor ของผู้ใช้ไฟฟ้าบางประเภท

ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า		Demand Factor
Residence Lighting	0.25 kW	1.00
	0.5 kW	0.60
	Over 1 kW	0.50
Commercial Lighting	Restaurants	0.70
	Stores and offices	0.70
	Theaters	0.60
	Small Industry	0.60
	Schools, churches	0.55
	Hotel	0.50
General Power Services	0-7.5 kW	0.75
	7.5 – 15 kW	0.65
	15 – 75 kW	0.55
	Over 75 kW	0.50

1.5 ตัวประกอบความเบี่ยงเบน (Diversity Factor)

Diversity Factor เกิดจากความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่มไม่ได้เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันทำให้ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดรวมของระบบไม่เท่ากับผลรวมของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่ม ในกรณีระบบส่งไฟฟ้าในรูปที่ 1.5 มีความต้องการพลังไฟฟ้าดังในรูปที่ 1.6 ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้า a, b และ c มีค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้

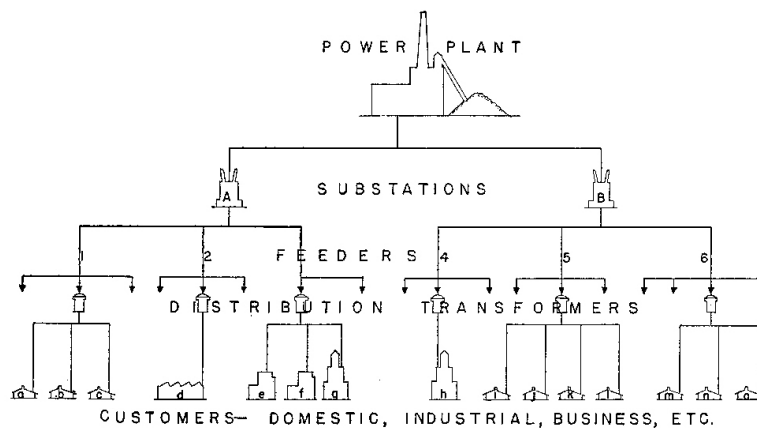
ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (t) ไม่เท่ากับผลรวมของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของ a, b และ c โดยผู้ใช้ a มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 90 kW ที่เวลา 18.00 น. ผู้ใช้ b มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 120 kW ที่เวลา 20.00 น. และกลุ่ม c มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 100 kW ที่เวลา 22.00 น. แต่ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบมีค่าเพียงประมาณ 215 kW ในขณะที่ผลรวมสูงสุดของความ ต้องการพลังไฟฟ้าทั้ง 3 กลุ่มเท่ากับ 310 kW อัตราส่วนระหว่างผลรวมของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่มกับค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเรียกว่า Diversity Factor

$$\text{Diversity Factor} = \frac{\text{Sum of individual max. demand}}{\text{Max. demand of system}}$$

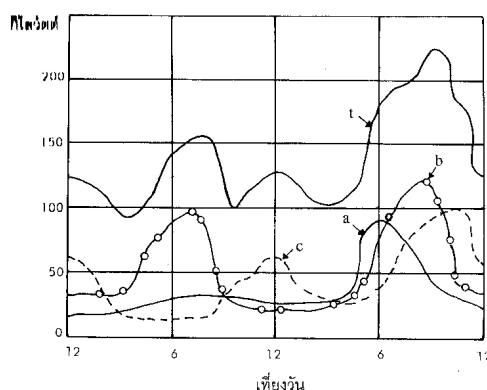
ในกรณีตัวอย่างนี้ค่า Diversity Factor จะสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Diversity Factor} = \frac{\text{max. demand (a)} + \text{max. demand (b)} + \text{max. demand (c)}}{\text{Max. demand of system (t)}}$$

ค่า Diversity Factor จะมีค่าสูงกว่า 1 เสมอ ตารางที่ 1.3 แสดงค่า Diversity Factor ระหว่างกลุ่มของ ระบบจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1.5 ตัวอย่างระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1.6 ความต้องการพลังไฟฟ้าของผู้ใช้แต่ละรายและความต้องการพลังไฟฟ้ารวมของระบบ

ตารางที่ 1.3 ค่า Diversity Factor ระหว่างกลุ่มของระบบจำหน่าย

	Residence Lighting	Commercial Lighting	General Power Service
Between Consumer	3-4	1.5	1.5
Between Transformer	1.3	1.3	1.3
Between Feeder	1.2	1.2	1.2
Between Substation	1.1	1.1	1.1

ตัวอย่าง

สายส่งแรงดันต่ำ (Feeder) สายหนึ่งส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบจัดส่งกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าให้กับหม้อแปลงจ่ายไฟ 4 ตัว โดยหม้อแปลงแต่ละตัวจ่ายไฟให้กับลูกค้าซึ่งมีภาระที่ติดตั้ง ดังนี้

สายส่งแรงดันต่ำ

Transformer 1		Transformer 2		Transformer 3		Transformer 4	
General Power Service	Commercial	Residence Lighting		Store Lighting	Power	Residence Lighting	
a: 7.5 kW	5 kW	e: 5 kW		j: 10 kW	3.7 kW	m: 15 kW	
b: 5.5 kW	4 kW	f: 4 kW		k: 8 kW	18.5 kW	n: 5 kW	
c: 11 kW		g: 8 kW		l: 4 kW		o: 2 kW	
d: 3.7 kW	2 kW	h: 15 kW		p: 5 kW			
		i: 20 kW					

จงใช้ข้อมูลในตาราง คำนวณการคาดการณ์ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของสายส่งแรงดันต่ำนี้

วิธีทำ

Tranformer 1

Customer	Load Type	Connected Load	Demand Fator	Actual Load	
		kW	(ตาราง 1.2)	Connected Load * Demand Factor	
A	Gen Service	7.5	0.65	4.875	
	Commercial	5	0.6	3	
B	Gen Service	5.5	0.75	4.125	
	Commercial	4	0.6	2.4	
C	Gen Service	11	0.65	7.15	
D	Gen Service	3.7	0.75	2.775	
	Commercial	2	0.6	1.2	
Sum of individual Demand				25.53	kW
Diversity Factor (จากตาราง 1.3)				1.5	
Peak Load of Transformer 1					
=sum of individual demand/diversity factor				17.02	kW
สำหรับ Transformer 2 Peak Load				7.43	kW
สำหรับ Transformer 3 Peak Load				19.95	kW
สำหรับ Transformer 4 Peak Load				3.86	kW
Sum of individual Demand				48.26	kW
Diversity Factor between Transformer (จากตาราง 1.3)				1.3	kW
Peak Load of feeder=sum of individual demand/diversity factor				37.12	kW

ใช้วิธีการเดียวกับ
Transformer 1

แบบฝึกหัด

1. ระบบไฟฟ้าแห่งหนึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าตามเวลาดังนี้

เวลา	ความต้องการพลังไฟฟ้า (MW)
12 AM – 2 AM	20
2 AM – 8 AM	10
8 AM – 12.30 PM	50
12.30 PM – 1 PM	40
1 PM – 6 PM	50
6 PM – 12 AM	70

จงสร้าง Load Curve และหา Load Factor ของระบบไฟฟ้า

2. จงหาความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟฟ้าให้หม้อแปลง 3 ตัว โดยมีผู้ใช้ไฟฟ้าและ Connected Load ของแต่ละผู้ใช้ไฟฟ้างานนี้

หม้อแปลง 1	หม้อแปลง 2	หม้อแปลง 3
ที่อยู่อาศัย 10 kW	ที่อยู่อาศัย 20 kW	สำนักงาน 20 kW
ร้านค้า 20 kW	โรงแรม 30 kW	โรงงาน 40 kW
ภัตตาคาร 25 kW	โรงเรียน 25 kW	ที่อยู่อาศัย 25 kW

3. โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาด 15 MW มีภาระสูงสุด 10.5 MW โดยจ่ายไฟฟ้าให้กับสถานีไฟฟ้าย่อย A และ B ถ้าสถานีไฟฟ้าย่อย A จ่ายพลังงานไฟฟ้า 27.5 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ด้วยภาระสูงสุด 8.9 MW ส่วนสถานีไฟฟ้าย่อย B จ่ายพลังงานไฟฟ้า 16.5 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง/ปี ด้วยภาระสูงสุด 6.65 MW จงหา Diversity Factor ระหว่างสถานีไฟฟ้าย่อยทั้งสองและค่า Plant Capacity Factor ของโรงไฟฟ้า
4. จงอธิบายว่าทำไมค่า Diversity Factor ระหว่าง Consumer ถึงมีค่าสูงกว่า Diversity Factor ระหว่าง Transformer, Feeder และ Substation ตามลำดับ