บทที่ ๑

บทนำ

การใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยทั่วๆไป ไม่ว่าจะเป็นขนาดใหญ่หรือขนาดเล็ก จำนวนหลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับ Demand และเวลาที่ใช้ไฟฟ้า ส่วนการออกแบบวางแผน Systemนั้นขึ้นอยู่กับ Load ของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายและแต่ละชนิด โดยการศึกษาจาก Load characteristics นั้นๆ ซึ่งแล้วแต่วิศวกรผู้ออกแบบวางแผนในการเลือกใช้ Factorsต่างๆเข้ามาช่วยในการออกแบบ Factors เหล่านั้นได้จากการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนั้นๆ

๑.๑ Electrical Load Power คือ อัตราการส่งถ่ายงานไปใช้ในทางไฟฟ้า Power มีหน่วยเป็นวัตต์หรือกิโลวัตต์ หรือ Electrical power คือ อัตราการใช้งานในช่วงเวลาหนึ่งๆ ดังนั้น หนึ่งกิโลวัตต์คือการทำงานของ Electrical circuitในระยะเวลาหนึ่ง สำหรับหลังงานไฟฟ้า กิโลวัตต์ ชั่วโมง คือการทำงานของ Electrical powerหนึ่งกิโลวัตต์ในเวลาหนึ่งชั่วโมง Electrical load คืออัตราการใช้งานของ Supplied systemที่ต้องการใช้ในการทำงาน.

๑.๒ Demand คือ Electrical load ที่เฉลี่ยได้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ Demandเกิดจาก Load ซึ่งใช้ Power ต่างๆกัน อาจจะเป็นแบบ Active power, reactive power, apparent power หรือทั้งสาม Demandมีหน่วยเป็น แอมแปร์, กิโลวัตต์, กิโลวาร์ และอื่นๆ ที่เหมาะสมได้

คำว่า Demandและ Rated continuous loadสองคำนี้มีความหมายไม่เหมือนกันกัน Demand คือ Load โดยเฉลี่ยของ Systemในช่วงเวลาหนึ่งๆ Rated continuous load คือ Rating ของเครื่องมือที่ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าตามขนาดที่บอกไว้ใน Nameplate.

๑.๓ Maximum demand คือค่า Demandสูงสุดในเวลาที่กำหนดได้ วัดออกมาได้เช่นเดียวกับ Demand ก่อนที่จะมีการออกแบบ Electrical system ใดๆจะต้องมี Chracteristics ของ Electrical load นั้นๆเสียก่อน Electrical load ส่วนมากมีอัตราลงที่เมื่อเทียบกับ

ช่วงเวลาต่างๆ ใหม่มีการขึ้นๆ ลงๆ อย่างสม่ำเสมอ ค่าสูงสุดของ Load เรียกว่า Peak หรือ Maximum demand ในช่วงเวลาที่กำหนดให้ เช่น ๑ วัน, ๑ เดือน หรือ ๑ ปี เป็นต้น Maximum demand ที่คิดในช่วงระยะเวลา ๑ ปีนั้น มีประโยชน์ใช้ในการออกแบบ Electrical system ใหญ่ๆ ที่จะมีการขยายต่อไปอีกมากมายในภายหน้า Maximum demand ในช่วงเวลาที่กำหนดให้เวลาหนึ่งๆ อาจใช้แทนด้วยคำว่า Demand เฉยๆ ในการหา Maximum demand ของ Load แต่ละรายให้ได้ละเอียดขึ้นอยู่กับวิธีที่หา ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

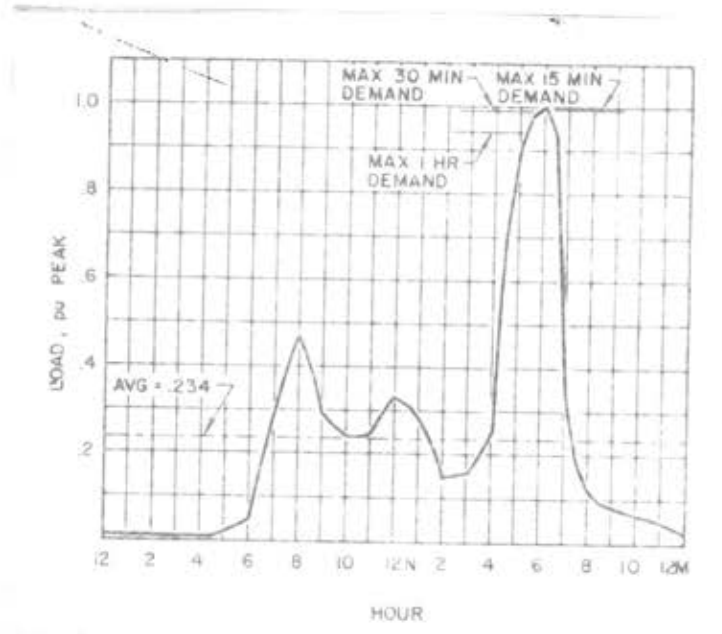
Maximum demand สำหรับ Load ในกลุ่มหนึ่งๆ หรือทั้งหมดทั้งSystem มีความสำคัญมากในการพิจารณาหาขนาดของ Electrical system สำหรับในกลุ่มของผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก Maximum demand นำไปใช้ออกแบบของ Distribution transformers ขนาดของ Conductors, circuit breakers ฯลฯ ใช้คำนวณหา Primary feeder circuits ที่จะใช้ป้อนให้กับ Transformers เหล่านั้นด้วย ซึ่งรวมทั้ง Substations และขนาดของ Generations อื่นๆ ด้วย.

๑.๔ Time Intervals for Demand Measurements

Maximum demand หาได้โดย หาในช่วงเวลาหนึ่งๆ สั้นๆ ช่วงเวลาในการหา Demand ปกติวัดในช่วงเวลาที่กำหนดให้ เช่น ๑๕ นาที, ๓๐ นาที, หรือ ๑ ชั่วโมง การหา Demand ในช่วงเวลา ๑๕ นาที ถึง ๓๐ นาที ใช้สำหรับคำนวณหา Circuit equipment capacity ทั้งนี้เพราะ Demand ในช่วงเวลาเพียง ๑๕ นาทีนี้ถือว่า Load เวลาที่ Peak นั้นจะเป็น Continuous unvarying load ความจริงยังคงเป็นจริงในช่วงเวลา ๓๐ นาที หรือ ๑ ชั่วโมงอีกด้วย ดังรูป ๑.๔.๑

๑.๕ Load Factor

Load factor เป็นอัตราส่วนของ Load เฉลี่ยในระยะเวลาหนึ่ง ต่อ Demand สูงสุดในระยะเวลาเดียวกัน อาจคิดเป็น ๑ หน่วย (per unit) หรือ ๑๐๐ หน่วย (percent) ถ้าของ Load เฉลี่ยหรือ Demand สูงสุดคิดเป็น กิโลวัตต์, กิโลโวลต์ แอมแปร์ หรือ แอมแปร์ ฯลฯ แต่ทั้งคู่ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน Load factor สามารถหาได้จากระยะเวลาที่กำหนดให้ ๑ วัน (Daily load factor) ๑ เดือน (Monthly load factor) หรือ ๑ ปี (Yearly load factor) ก็ได้ การหา Yearly load factor เหมาะที่สุดในการทำ System planning เพราะเป็นระยะ



รูปที่ ๑.๔.๑ [1] แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Demand ในช่วงเวลาหนึ่งๆ.

เวลาที่ครบจำนวนของเหตุการณ์ มีการตีแปรผลายอย่าง เช่น ๑๒ เดือน วัน เป็นต้น

Load เฉลี่ยคือ Load ที่ตีคาดคิดและไม่เปลี่ยนแปลง ให้พลังงานไฟฟ้าคงที่ตลอดระยะเวลาที่กำหนดให้

Load factor จะมากกว่า ๐ และจะน้อยกว่า ๑ เสมอ Load ที่คงที่ในระยะเวลาหนึ่ง จะทำให้ Load factor เท่ากับ ๑.๐ หน่วย (per unit) หรือ ๑๐๐ หน่วย (%)

---

[1] Electric Utility Engineering. Distribution System. (Vol. 3; East Pittsburgh, Westinghouse Electric Corporation.), p. 23

เพราะ Load โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ Load สูงสุด ปกติค่า Load factor จะน้อยกว่าหนึ่งเสมอ Load cycle ที่มีรูปร่างต่างกันมีค่าสูงสุดต่างกัน อาจมี Load factor เท่ากันได้ ในลักษณะการเช่นนี้ หมายความว่าอัตราส่วนของ Load โดยเฉลี่ยและ Load สูงสุดของ Load cycles ทั้งสองเท่ากัน.

๑.๖ Diversity & Coincidence Factor

Electrical load ประเภทเดียวกัน จะมี Daily load curve คล้าย ๆ กันหรือใกล้เคียงกัน สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็ก จะมีการใช้ไฟฟ้ามากในตอนเช้ามืด แล้วจะค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอจนถึงค่าต่ำสุดในเวลา ๔ ถึง ๑๐ น. และจะเรื่อย ๆ ไปตลอดทั้งเที่ยงวัน แล้วจึงค่อย ๆ สูงขึ้นใน ๔ _ ๕ น. เย็น ซึ่งจะค่อย ๆ สูงขึ้นจนถึง Peak ในตอนเย็น

Load characteristics ของผู้ใช้ไฟฟ้าอาจจะแตกต่างกันที่เวลาบ้าง แต่เมื่อนำมารวมกันทั้งกลุ่ม ผลรวมก็จะเป็นค่าเฉลี่ยลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายได้

Maximum demand ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งกลุ่มจะน้อยกว่าผลบวกของ Maximum demand แต่ละรายในกลุ่มนั้น เพราะว่าผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนั้น ย่อมใช้ไฟฟ้าสูงสุดไม่พร้อมกันเสมอทีเดียว การใช้ไฟฟ้าสูงสุดไม่พร้อมกันนี้ มีความสำคัญมากในทางเศรษฐศาสตร์ของ Electrical system และมีความสำคัญต่อการขยาย System capacity ที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ลูกค้าได้ถูกต้องอีกด้วย

Diversity ระหว่าง Demand สูงสุดวัดได้ด้วย Diversity factor ซึ่งเท่ากับอัตราส่วนของผลบวกของ Demand สูงสุดแต่ละรายคือ Demand สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งกลุ่ม Diversity factor จะมากกว่า ๑ เสมอ Diversity factor ของบางส่วนของ System ก็สามารถหาได้เช่นเดียวกัน คือเป็นอัตราส่วนของผลบวกของ Demand สูงสุดแต่ละราย คือ Demand สูงสุดของส่วนนั้นของ System ได้

Diversity factor ใช้สำหรับหา Demand สูงสุด เมื่อทราบผลรวมของ Demand สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าของแต่ละกลุ่มหรือจาก ๒ หรือ ๓ กลุ่ม ผลรวมของ Demand สูงสุดเหล่านี้ได้จากการใช้ไฟฟ้าแต่ละรายที่ได้จากตัวแปรตัวเดียวกัน Demand สูงสุดของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้านี้ คำนวณจากผลรวมของ Demand สูงสุดแต่ละราย หารด้วย Diversity factor แต่ในการคิดคำนวณนิยมการใช้

การดูมากกว่าการหาร ดังนั้นจึงมีค่า Coincidence factor เกิดขึ้น ซึ่งเป็นส่วนกลับของ Diversity factor

Coincidence factor = 1 / Diversity factor.

ดังนั้น Demand สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งกลุ่มจึงหาได้จากผลรวมของ Demand สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายคูณด้วย Coincidence factor.

Diversity factor จะมีค่ามากกว่า ๑ เสมอ ดังนั้น Coincidence factor จึงมีค่าน้อยกว่า ๑ เสมอด้วย ค่า Diversity และ Coincidence factor ขึ้นอยู่กับจำนวนของ Load, load factor ฯลฯ Diversity factor จะมากขึ้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น ทั้งนี้เพราะจะทำให้ผลรวมของ Demand สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้น แต่เนื่องจาก Demand สูงสุดนั้นจะไม่มีโอกาสที่จะไม่เป็นเวลาเดียวกันกับ Demand สูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งกลุ่ม จึงทำให้ Demand สูงสุดนั้นคงเดิมหรือสูงขึ้นบ้าง Diversity factor จะมากขึ้นได้เมื่อ Load factor ของผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าต่ำ แสดงว่า Demand สูงสุดมีค่าสูงและอยู่ในระยะเวลาอันสั้น ถ้ามีผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทนี้อยู่เป็นจำนวนมาก ๆ จะทำให้ Diversity factor สูงด้วย นอกจากนั้น Diversity factor จะขึ้นอยู่กับประเภทและลักษณะของผู้ใช้ไฟฟ้าอีกด้วย.

<u>ลักษณะและความสัมพันธ์</u>

1.8.1 Diversity factor (F_D)

$$F_D = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + \cdots\cdots\cdots + D_n}{D_{1+2+3+\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots+n}} \quad \text{(a)}$$

$$= \frac{D_S}{D_{1+2+3+\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots+n}} \quad \text{(b)}$$

$$= 1/F_C \quad \text{(c)}$$

1.8.2 Coincidence factor (F_C)

$$F_C = \frac{D_{1+2+3+\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots+n}}{D_1 + D_2 + D_3 + \ldots\ldots\ldots + D_n} \quad \text{(a)}$$

$$= \frac{D_{1+2+3+\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots+n}}{D_S} \quad \text{(b)}$$

$$= 1 / F_D \quad \text{(c)}$$

เมื่อ $D_1, D_2, D_3, \ldots\ldots\ldots\ldots D_n$ = Demand สูงสุดของ Load #1, #2, #3 , ... #n. ตามลำดับ

$D_{1+2+3+\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots+n}$ = Demand สูงสุดของทั้งกลุ่มที่มี Load #1, #2, #3, ... #n.

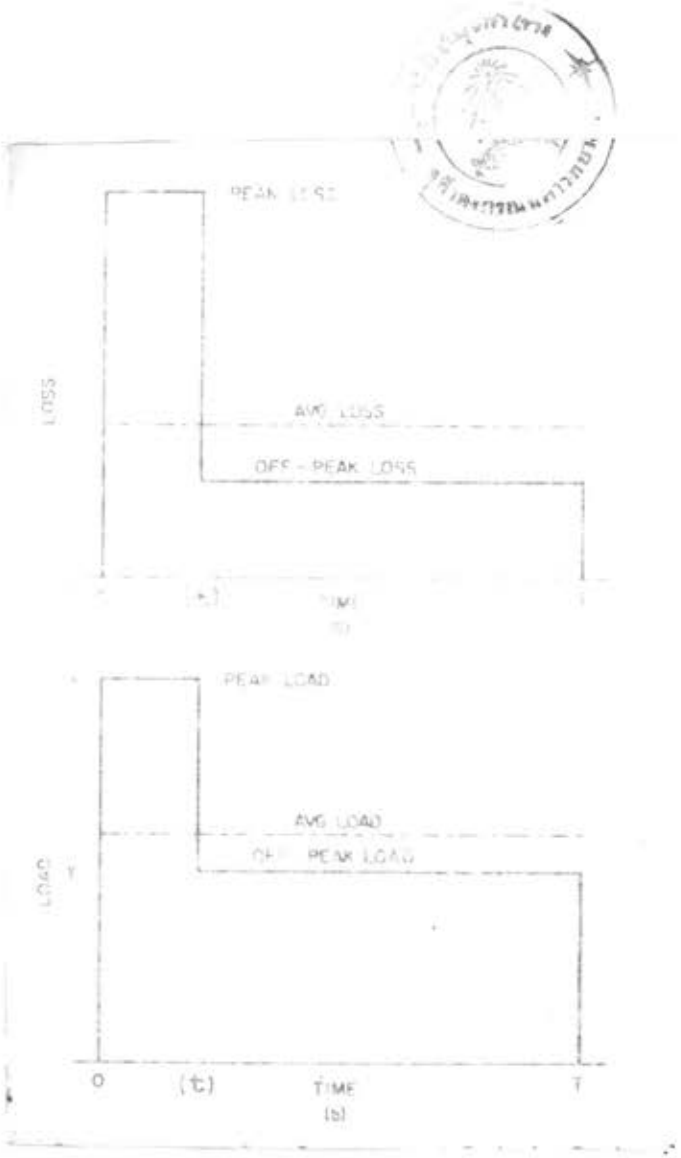
D_S = ผลรวมของDemand สูงสุดของLoad #1...n

1.9 Losses in Distribution System

พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปใน Supply system ประกอบด้วย Iron loss และ Copper loss. Iron loss เกิดขึ้นจากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นพวก Inductive load เช่น หม้อแปลงต่างๆ, regulators ฯลฯ ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของ Load สำหรับ Copper loss เป็นความสูญเสียที่ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า Copper loss จะแปรตามกำลังสองของกระแส ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของ Load ถ้ามี Load มากความสูญเสียก็จะมากตาม ดังแสดงในรูป 1.9.1 ดังนั้น Load และ Loss จึงมีความสัมพันธ์กัน.

๑.๔ Loss Factor

Loss factor เป็นอัตราส่วนของความชูเสียเฉลี่ยและความชูเสียสูงสุดในระยะเวลาหนึ่ง Loss factor ใช้คำนวณหาความชูเสียสูงสุด ซึ่งมีความสำคัญมากต่อ System หรือเครื่องใช้ทางไฟฟ้า เพราะความชูเสียจะเปลี่ยนเป็นความร้อน ซึ่งถ้ามากก็จะทำให้เกิดการเสียหายต่อ System ได้



รูปที่ ๑.๔.๑[1] Hypothetical Step Function Load Cycle for Establishing the Limits of Loss Factor as a Function of Load Factor.

---

[1] Ibid., p. 26

จากรูปที่ ๑.๓.๑ (b)

x เป็น Load สูงสุดในเวลา t

y เป็น Load ต่ำสุดในเวลา (T - t)

$$\text{Average load} = \frac{xt + y.(T-t)}{T}$$

$$\text{Load factor } F_{LD} = \frac{xt + y.(T-t)}{xT}$$

$$= \frac{t}{T} + \left(\frac{y}{x}\right).\frac{(T-t)}{T}$$

ถ้า $y = 0$, $F_{LD} = \frac{t}{T}$.

สำหรับ Loss รูป (a)

Loss สูงสุด = x^2R ในเวลา t.

Loss ต่ำสุด = y^2R " $(T-t)$

$$\text{Average loss} = \frac{x^2Rt + y^2R\,(T-t)}{T}$$

$$\text{Loss factor } F_{LS} = \frac{x^2Rt + y^2R\,(T-t)}{Tx^2R}$$

$$= \frac{t}{T} + \left(\frac{y}{x}\right)^2.\frac{(T-t)}{T}$$

ถ้า $y = 0$, $x \neq 0$.

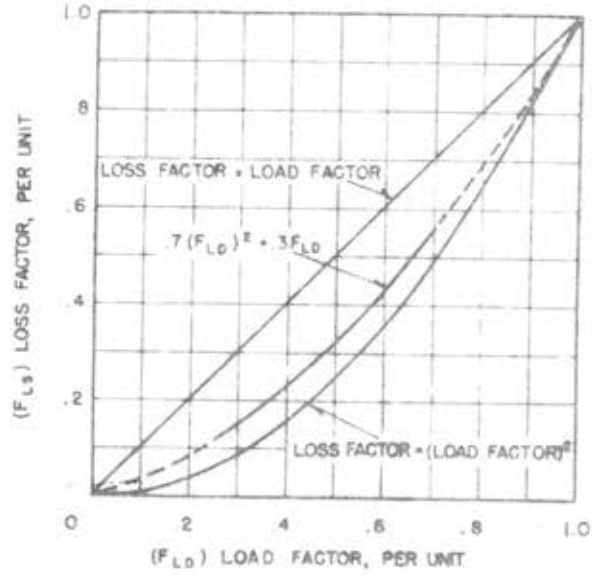
$$F_{LS} = F_{LD}$$

ถ้า $\frac{T-t}{T} \longrightarrow 1$, $\frac{t}{T} \longrightarrow 0$ และ $\frac{y}{x}$ ไม่เข้าใกล้ 0.

$$F_{LS} = (F_{LD})^2$$

ให้ทราบว่า .Loss factor เป็นตัวส่วนโดยตรงกับกำลังสองของ Load factor แต่ไม่เสมอไป เพราะการพิจารณาที่จะทำให้เท่ากันนั้นก็ต่อเมื่อเวลาที่ Peak เป็นระยะเวลาสั้นๆ เมื่อเทียบกับเวลาทั้งหมด ในทำนองเดียวกัน Loss factor จะเท่ากับ Load factor ได้ก็เพราะเวลาที่ Load ในเวลาอื่นๆนอกจากเวลาที่ Peak มีน้อยมาก

ในรูปที่ ๑.๔.๑ เป็นความสัมพันธ์ของ Loss factor และ Load factor ที่ Load factor มีค่าเท่ากับ ๑ Loss factor ก็จะมีค่าเป็น ๑ ด้วย และที่จุด ๐ ก็เช่นเดียวกัน.



รูปที่ ๑.๔.๑[1] Curve of Loss factor as a function of Load factor.

---

1 Ibid., p. 28

Load factor บางทีอาจหาได้โดยตรงจากกำลังสองของ Load factor ไม่ได้ เพราะ Loss factor นั้นขึ้นอยู่กับเวลาด้วย ดังนั้นความสัมพันธ์จึงเปลี่ยนไปโดยใช้เป็นผลรวมของส่วนเฉลี่ยของกำลังสองของ Load factor และ Load factor ตามการทดลองมาแล้วได้สูตรขึ้นเป็น Empirical formula ดังนี้

$$F_{LS} = A.F_{LD} + (1 - A).F_{LD}^2 \qquad (1.8.1)$$

[1]

A = ตัวคงที่มีค่าเท่ากับ 0.1 หรือ 0.3 ขึ้นอยู่กับการพิจารณา Load cycle การเลือกใช้ค่าคงที่ A นี้เลือกตามสมมุติฐานที่ได้ตั้งไว้ข้างต้น

F_{LS} = Loss factor (Per unit)

F_{LD} = Load factor (Per unit).

---

[1] Bolton, D.J. Electric Engineering Economics. (Vol. 3: 3 rd ed. London, Chapman & Hall Ltd., 1950), p. 126.