หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง

การหาค่าปริมาณกำลังผลิตสำรองที่เหมาะสม ซึ่งถูกใช้ในทางปฏิบัติมาเป็นเวลานานมักจะใช้กฎเกณฑ์จากการตัดสินใจ โดยกำหนดเป็นร้อยละของโหลดสูงสุด หรือกำหนดด้วยกำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องใหญ่ที่สุดของระบบ [1,2,3] แต่วิธีการดังกล่าวไม่สามารถทราบได้ว่าระบบไฟฟ้ามีความเสี่ยงที่จะเกิดไฟฟ้าดับได้มากน้อยเพียงไร การกำหนดกำลังผลิตสำรองตามวิธีการข้างต้นนั้น ระบบอาจจะมีความเชื่อถือได้ไม่ดีเพียงพอหรืออาจจะดีเกินไปซึ่งหมายถึงจะต้องมีการลงทุนสูงเกินไป ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ทฤษฎีทางความน่าจะเป็น [1,3,4,5,6] คำนวณระดับความมั่นคงเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าซึ่งใช้ทำนายหรือคาดการณ์ โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ขัดข้องของระบบไฟฟ้าหรือเกิดไฟฟ้าดับได้

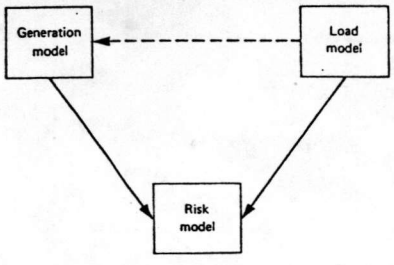
วิธีการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลังที่อาศัยพื้นฐานทางความน่าจะเป็นซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นค่าดัชนีที่บอกถึงความเพียงพอของระบบผลิตไฟฟ้ากำลังจะมีขั้นตอนการคำนวณดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1. สร้างแบบจำลองของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยอาศัยพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

ขั้นที่ 2. สร้างแบบจำลองของโหลด

ขั้นที่ 3. นำแบบจำลองของกำลังผลิตไฟฟ้ารวมเข้ากับแบบจำลองโหลด เพื่อสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง

จากขั้นตอนทั้งสามสามารถแสดงหลักการคำนวณได้ดังในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงหลักการคำนวณความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองของโหลด และ ระบบผลิตไฟฟ้าจะถูกรวมเข้าด้วยกันเพื่อสร้าง แบบจำลองความเสี่ยง (Risk Model) โดยค่าชี้ความเชื่อถือได้จากแบบจำลองนี้จะยังไม่รวมถึงข้อบังคับของสายส่ง ดังนั้นแบบจำลองที่ใช้ศึกษาและวิเคราะห์ถึงค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลังจึงแสดงได้ดังในรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 แบบจำลองสำหรับใช้คำนวณความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง

ด้วยหลักการดังกล่าวจะถูกใช้สำหรับหาค่า Loss of Load Expectation (LOLE) [1,3,4] ซึ่งเป็นค่าที่ใช้บอกถึงการคาดคะเนการสูญเสียโหลดในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากโหลดสูงสุดประจำวันมีค่าสูงกว่ากำลังผลิตที่มีอยู่ วิธีนี้มีความยืดหยุ่นและสะดวกต่อการนำไปใช้งานจึงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง รวมทั้งถูกนำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์นี้ด้วย

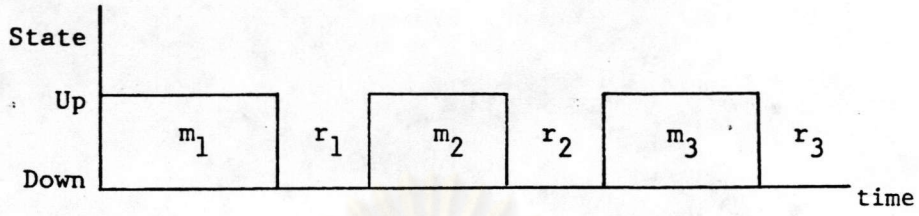
2.1 แบบจำลองกำลังผลิตไฟฟ้า

ดังที่กล่าวในตอนต้นแล้วว่าการหาค่าชี้ความเชื่อถือได้จะใช้วิธีการทางความน่าจะเป็นซึ่งต้องการข้อมูลในทางสถิติเข้ามาใช้ในการคำนวณ โดยจะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับสถิติการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือส่วนประกอบในระบบ จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านี้ไปสร้างแบบจำลองการผลิตไฟฟ้า ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้จะเกี่ยวข้องกับความพร้อมมูล (Availability) ของส่วนประกอบในระบบ ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อ 2.1.1

2.1.1 ความพร้อมมูล (Availability) ความถี่เฉลี่ยและช่วงเฉลี่ย [3,5]

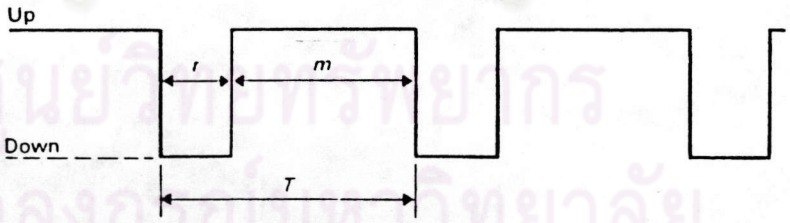
ความผิดพลาดในการทำงานหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบใด ๆ ในระบบนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน ซึ่งทางทฤษฎีความน่าจะเป็นเรียกว่าเป็น "เหตุการณ์สุ่ม" เมื่อดูประวัติการทำงานของอุปกรณ์ตัวหนึ่งในระบบ จะพบว่ามีลักษณะเป็นอนุกรมของช่วง

เวลาที่มันอยู่ในสถานะ "ดี" (Up) สลับกับสถานะ "เสีย" (Down) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ใด ๆ ในระบบ

เมื่อบันทึกช่วงเวลาที่อุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ในสถานะ "ดี" เอาไว้ตลอดระยะเวลาการใช้งานที่นานพอ โดยนับจำนวนช่วงเวลาดังกล่าวไว้ด้วย จะพบว่าช่วงเวลาในสถานะ "ดี" โดยเฉลี่ย (m) จะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการใช้งานนั้น ช่วงเวลานี้เรียกอีกอย่างว่า "MEAN TIME BETWEEN FAILURES" (MTBF) ส่วนกลับของ m หรือ 1/m นี้เรียกว่า "อัตราการเสีย" (Failure Rate) ที่เกิดขึ้น แทนด้วย λ หากพิจารณาช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในสถานะ "เสีย" บ้าง ก็จะได้ค่าเฉลี่ยออกมาในทำนองเดียวกันคือ r ซึ่งหมายถึง "ช่วงเวลาในสถานะเสีย" โดยเฉลี่ย เราเรียกส่วนกลับของ r หรือ 1/r ว่า "อัตราการคืนตัว" (Repair Rate) ที่เกิดขึ้น แทนด้วย μ รูป 2.4 แสดงพฤติกรรมโดยเฉลี่ยในระยะยาวของอุปกรณ์ดังกล่าว



รูปที่ 2.4 ช่วงเวลาการทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์ใด ๆ ในระบบ

ในการคำนวณจำเป็นต้องทำความรู้จักกับปริมาณพื้นฐานจำนวนหนึ่ง โดยถือว่าพฤติกรรมของระบบไฟฟ้ากำลังจะมีอยู่ได้ 2 สถานะ คือ "ดี" กับ "เสีย" โดย "ดี" หมายถึงกำลังผลิตมากกว่าหรือเท่ากับโหลด "เสีย"หมายถึงกำลังผลิตน้อยกว่าโหลด สำหรับสัญญลักษณ์และความหมายจะประกอบขึ้นด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

$$m = (1/n) \sum_{i=1}^{n} m_i$$

m หมายถึง ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยในระยะยาวของสถานะดีของระบบ หรือ MEAN TIME TO FAILURE (MTTF)

$$r = (1/n) \sum_{i=1}^{n} r_i$$

r หมายถึง ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยในระยะยาวของสถานะ "เสีย" หรือ AVERAGE REPAIR TIME (ART)

n หมายถึง จำนวนช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณ

$T = m+r$ หมายถึง คาบเวลาวงรอบโดยเฉลี่ย (Average Cycle Time)

$f = 1/T$ หมายถึง ความถี่วงรอบโดยเฉลี่ย (Average Cycle Frequency)

$\lambda = 1/m$ หมายถึง อัตราการเสีย (Failure Rate) หรือ อัตราการออก (Outage Rate) จากสถานะ 1 (ดี)

$\mu = 1/r$ หมายถึง อัตราการคืนตัว (Repair Time) หรือ อัตราการออกจากสถานะ 0 (เสีย)

$A = m/T = \frac{\mu}{\mu+\lambda}$ หมายถึง ความพร้อมมูลในระยะยาว (Long Term Availability) ของสถานะ "ดี"

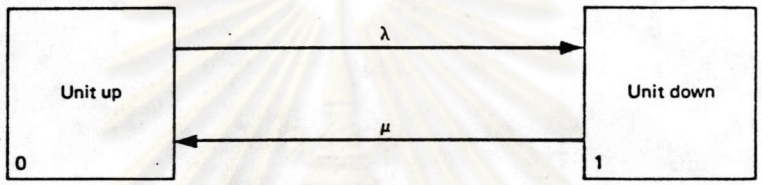
$U = FOR = r/T = \frac{\lambda}{\mu+\lambda}$ หมายถึง ความไม่พร้อมมูลในระยะยาว (Long Term Unavailability) ของสถานะ "เสีย" หรือ อัตราการเกิดความขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบ (Forced Outage Rate)

2.1.2 การสร้างแบบจำลองกำลังผลิตไฟฟ้า [1,3,4]

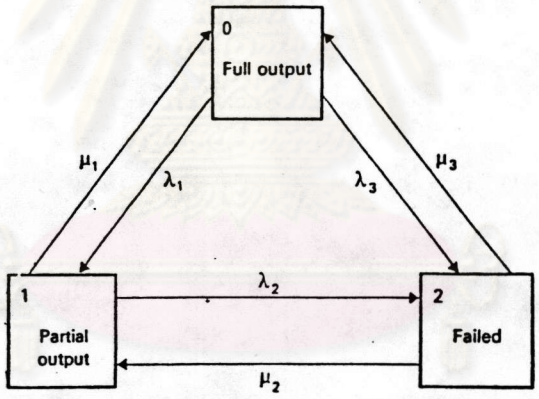
แบบจำลองกำลังการผลิตจะถูกสร้างเป็น ตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง (Capacity Outage Probability Table) หรือ COT ซึ่งประกอบด้วยสถานะของกำลังการผลิตที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระยะขัดข้อง และ ค่าโอกาสที่จะ

เกิดขึ้นของสถานะเหล่านั้น การสร้าง COT นี้จะอาศัยวิธีทางรีเคอร์ซีฟเทคนิค (Recursive Technique) ซึ่งนำค่าขนาดกำลังการผลิตและค่า FOR ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมาใช้สร้าง COT โดยการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบทีละเครื่อง เข้าไปใน COT เดิมที่มีอยู่ สำหรับการสร้าง COT นี้จะพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เพิ่มเข้าไปถือว่ามี 2 ประเภทคือ แบบไม่มีการลดกำลังผลิต (No Derated State) และแบบมีการลดกำลังผลิต (Derated State) ซึ่งแสดงดังในรูปที่ 2.5 ก และ 2.5 ข. ตามลำดับ

ก.



ข.



รูปที่ 2.5 ก) แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 2 สถานะ

ข) แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด 3 สถานะ

ประเภทที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบไม่มีการลดกำลังผลิต (No Derated States)

ความน่าจะเป็นสะสมของสถานะของกำลังการผลิตที่เกิดขัดข้องรวมขนาด X MW หลังจากรวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW และค่า FOR = r เข้าไปจะเป็นดังสมการที่ 2.1 [1]

$$P(X) = (1-r)P'(X) + rP'(X-C) \qquad (2.1)$$

โดย $P'(x)$ และ $P(x)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นสะสมของสถานะของกำลังการผลิตรวมที่เกิดขัดข้องขนาด X MW ก่อนและหลังรวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด C MW เข้าไปตามลำดับ ตามสมการ (2.1) จะเริ่มสร้างตารางจากการให้ค่าเริ่มต้น

$$P(x) = 1.0 \quad \text{เมื่อ} \quad x <= 0$$

และ $$P(x) = 0 \quad \text{เมื่อ} \quad x > 0$$

ประเภทที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดมีการลดกำลังการผลิต

เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกแทนด้วยแบบจำลองหลายสถานะ (Multi-State Model) สมการที่ 2.1 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสมการที่ 2.2 [1] ดังแสดง

$$P(X) = \sum_{i=1}^{n} r_i \, P(X-C_i) \qquad (2.2)$$

เมื่อ n คือ จำนวนสถานะทั้งหมดที่เกิด derated + 2

C_i คือ กำลังผลิตขัดข้องสถานะที่ i ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกคิดรวมเข้ากับตารางเดิม

r_i คือ ความน่าจะเป็นของสถานะที่ i ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกคิดรวมเข้ากับตารางเดิม

การใช้สมการที่ 2.1 และ 2.2 จะแสดงได้ด้วยระบบง่ายๆซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 2 x 25 MW และ 1 x 50 MW โดยมีข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องหน่วยที่	ขนาด (MW)	อัตราการเสีย (ครั้ง/วัน)	อัตราการคืนตัว (ครั้ง/วัน)
1	25	0.01	0.49
2	25	0.01	0.49
3	50	0.01	0.49

จากพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 2.1.1 จะได้ค่า A และ U (FOR) ดังนี้

$$A = \frac{\mu}{\mu+\lambda} = 0.49/(0.49+0.01) = 0.98$$

$$FOR = U = \frac{\lambda}{\mu+\lambda} = 0.01/(0.49+0.01) = 0.02$$

COT จะถูกสร้างขึ้นตามลำดับโดยใช้สมการที่ 2.1 ดังนี้

ขั้นที่ 1 เพิ่มเครื่องหมายเลข1

P(0) = (1-0.02)(1.0) +(0.02)(1.0) =1.0

P(25) = (1-0.02)(0) +(0.02)(1.0) =0.02

ขั้นที่ 2 เพิ่มเครื่องหมายเลข2

P(0) = (1-0.02)(1.0) +(0.02)(1.0) =1.0

P(25) = (1-0.02)(0.02) +(0.02)(1.0) =0.0396

P(50) = (1-0.02)(0) +(0.02)(0.02) =0.0004

ขั้นที่ 3 เพิ่มเครื่องหมายเลข3

P(0) = (1-0.02)(1.0) +(0.02)(1.0) =1.0

P(25) = (1-0.02)(0.0396) +(0.02)(1.0) =0.058808

P(50) = (1-0.02)(0.0004) +(0.02)(1.0) =0.020392

P(75) = (1-0.02)(0) +(0.02)(0.0396)=0.000792

P(100)= (1-0.02)(0) +(0.02)(0.0004)=0.000008

ในกรณีที่เครื่อง 50 MW มีการลดกำลังการผลิตโดยมีแบบจำลองเป็นแบบ 3 ระดับ (Three State Model) ดังข้อมูลในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 50 MW (3 สถานะ)

สถานะ	กำลังผลิตลดลง (MW)	โอกาสที่จะเกิดขึ้นได้ (r_i)
1	0	0.960
2	20	0.033
3	50	0.007

COT จะถูกสร้างขึ้นด้วยการเปลี่ยนเครื่องขนาด 50 MW ชนิด 2 ระดับ จากตัวอย่างในตอนต้นมาเป็นชนิด 3 ระดับโดยใช้สมการที่ 2.2 ดังต่อไปนี้

$$P(0) = (0.96)(1.0) + (0.033)(1.0) + (0.007)(1.0) = 1.0$$

$$P(20) = (0.96)(0.0396) + (0.033)(1.0) + (0.007)(1.0) = 0.078016$$

$$P(25) = (0.96)(0.0396) + (0.033)(0.0396) + (0.007)(1.0) = 0.0463228$$

$$P(45) = (0.96)(0.0004) + (0.033)(0.0396) + (0.007)(1.0) = 0.0086908$$

$$P(50) = (0.96)(0.0004) + (0.033)(0.0004) + (0.007)(1.0) = 0.0073972$$

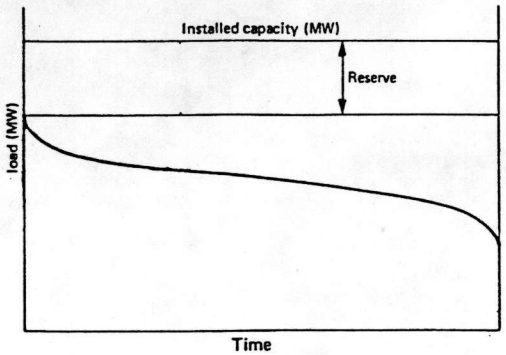
$$P(70) = (0.96)(0) + (0.033)(0.0004) + (0.007)(0.0396) = 0.0002904$$

$$P(75) = (0.96)(0) + (0.033)(0) + (0.007)(0.0396) = 0.0002772$$

$$P(100) = (0.96)(0) + (0.033)(0) + (0.007)(0.0004) = 0.0000028$$

2.2 แบบจำลองโหลด

ในการคำนวณค่าความเชื่อถือได้โดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นเพื่อหาค่า LOLE นี้ จะใช้แบบจำลองโหลดโดยอาศัยค่าโหลดสูงสุดประจำวัน หรือ ประจำชั่วโมงในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งสามารถใช้คำนวณหาค่า LOLE ได้โดยตรง หรือ นำไปสร้างเป็น load duration curve ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ก่อน แล้วจึงนำไปคำนวณค่า LOLE ได้เช่นกัน ด้วยวิธีการดังกล่าวเมื่อต้องการวางแผนระบบไฟฟ้าในอนาคต จึงต้องมีการคาดคะเนค่าของโหลดที่เพิ่มขึ้นโดยอาจคาดคะเนเป็นร้อยละของโหลดสูงสุด สำหรับใช้คำนวณหากำลังผลิตไฟฟ้าที่ควรมีเพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความเชื่อถือได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.6 แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการคำนวณ

2.2.1 การคาดคะเนโหลด

การคาดคะเนโหลดเป็นส่วนสำคัญของการวางแผนและดำเนินกิจการของการไฟฟ้า สำหรับเทคนิคการคาดคะเนจะทำโดยการสร้างหรือหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวหรือมากกว่า โดยสังเกตุจากความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต เช่น กำหนด

Y เป็นค่าปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า (โหลด)

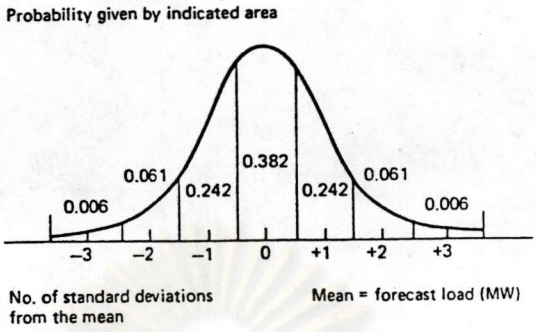
X เป็นค่าของตัวแปร เช่น เวลา หรือค่าของข้อมูลทางเศรษฐกิจ

ค่าปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปตามค่าของเวลา หรือ ค่าตัวแปรทางเศรษฐกิจ ดังนั้นค่า Y มีความสัมพันธ์กับค่า X ซึ่งหมายความว่าหากกำหนดค่า X ในอนาคตได้ก็จะคำนวณหาค่า Y ในอนาคตได้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองซึ่งใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้ความสัมพันธ์เป็นแบบ Regression Analysis คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรทั้ง 2 ตัว เป็นสมการเส้นตรง โดย X เป็นค่าตัวแปรของเวลา และ Y เป็นค่าปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า

2.2.2 ความไม่แน่นอนของการคาดคะเนโหลด [1,3]

จากหัวข้อที่ 2.2.1 การคาดคะเนเป็นสิ่งที่ทำนายค่าของโหลดในอนาคต ดังนั้นจึงมีความไม่แน่นอนอยู่เพื่อจะให้การคาดคะเนถูกต้องยิ่งขึ้น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในทางสถิติ จะถูกพิจารณารวมเข้ากับแบบจำลองของโหลดในอนาคตที่ถูกคาดคะเนขึ้นด้วย ความไม่แน่นอนจะถูกแทนด้วย การกระจายความน่าจะเป็น (Probability Distribution) ซึ่งพารามิเตอร์ของการกระจายสามารถพิจารณาได้จากข้อมูลในอดีตและสิ่งประกอบอื่น ๆ แต่ในทางปฏิบัติข้อมูลของความไม่แน่นอนเนื่องจากการคาดคะเนมักมีไม่เพียงพอ การกระจายความน่าจะเป็นจึงถูกแทนด้วยโค้งการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งมีค่าที่ถูกคาดคะเนจะถูกใช้เป็นค่าเฉลี่ย (Mean) ของเส้นโค้งปกตินั้น ค่าที่เกิดขึ้นเนื่องจากความไม่แน่นอนจะถูกแบ่งออกเป็นหลายระดับ โดยการใช้เป็นค่ามาตรฐาน (Standard Score) จำนวนระดับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความละเอียดหรือความถูกต้องที่ต้องการ รูปที่ 2.6 โค้งการกระจายจะถูกแบ่งออกเป็น 7 ระดับ พื้นที่ใต้โค้งในแต่ละระดับจะแสดงถึงค่าโอกาสที่จะเกิดขึ้นของระดับนั้น ๆ



รูปที่ 2.7 การประมาณค่าของเส้นโค้งปกติโดยแบ่งเป็น 7 ระดับ

สำหรับโค้งการกระจายซึ่งถูกแบ่งออกเป็นจำนวนระดับแตกต่างกันนั้นค่าของพื้นที่ใต้เส้นโค้งหรือโอกาสที่จะเกิดขึ้นของแต่ละระดับที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลของพื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติเมื่อแบ่งออกเป็น 5,7,9 และ 11 ระดับ

	จำนวนระดับ			
คะแนนมาตรฐาน	5	7	9	11
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0108
3	0.0000	0.0062	0.0034	0.0430
2	0.0102	0.6060	0.0228	0.1141
1	0.1114	0.2417	0.2273	0.2053
0	0.7568	0.3830	0.3034	0.2494
-1	0.1114	0.2417	0.2273	0.2053
-2	0.0102	0.6060	0.0948	0.1141
-3	0.0000	0.0062	0.0228	0.0430
-4	0.0000	0.0000	0.0034	0.0108
-5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021

2.3 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง [1,7,8]

ตามที่ได้กล่าวในตอนต้น การคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลังจะทำได้โดยนำแบบจำลองกำลังการผลิตรวมเข้ากับแบบจำลองโหลด โดยหัวข้อนี้จะแสดงถึงขั้นตอนการคำนวณ ค่าชี้ความเชื่อถือได้ ของกำลังผลิตไฟฟ้า ซึ่งกำหนดด้วยค่า LOLE (Loss of Load Expectation) และค่า EENS (Expected Energy Not Supplied) ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

2.3.1 LOLE (Loss of Load Expectation)

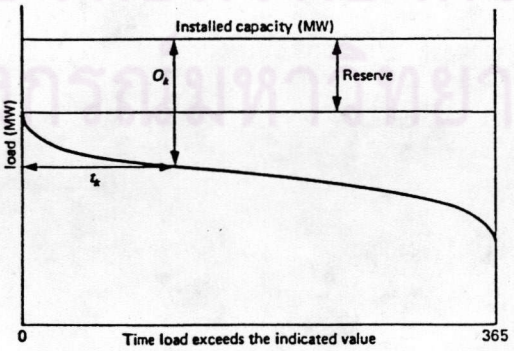
ปกติค่า LOLE จะหมายถึงจำนวนวันที่ถูกคาดว่ากำลังผลิตไฟฟ้าจะมีไม่เพียงพอต่อค่าโหลดสูงสุดในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาโดยค่า LOLE ในช่วงระยะเวลาจำนวน n วันที่ทำการศึกษาจะแทนได้ด้วยสมการที่ 2.3

$$LOLE = \sum_{i=1}^{n} P_i(C_i - L_i) \quad \text{days/period} \qquad (2.3)$$

เมื่อ C_i คือ กำลังผลิตพร้อมมูล (Available Capacity) ณ วันที่ i

L_i คือ ค่าโหลดสูงสุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ณ วันที่ i

$P_i\ (C_i - L_i)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของการสูญเสียโหลด ณ.วันที่ i ซึ่งได้มาจาก COT ในกรณีใช้แบบจำลองโหลดเป็น load duration curve ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลด และ กำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง

O_k คือ ขนาดกำลังผลิตขัดข้องค่าที่ k ในตารางกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง

t_k คือ ระยะเวลาของการสูญเสียโหลดเนื่องจากกำลังผลิตขนาด O_k เกิดขัดข้อง

015921

การเกิดค่า LOLE จะมีขึ้นต่อเมื่อมีกำลังผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่งซึ่งมีขนาดมากกว่ากำลังผลิตไฟฟ้าสำรองที่มีอยู่ เกิดขัดข้องแล้วทำให้ระยะเวลา (t_k) ที่เกิดการสูญเสียภาระไฟฟ้าแตกต่างกัน จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงกรณีที่กำลังผลิตขนาด O_k ในระบบเกิดขัดข้องโดยมีค่าโอกาสที่เกิดขึ้นเป็น p_k จะทำให้เกิดค่า LOLE ตามสมการที่ 2.4

$$LOLE = p_k t_k \qquad (2.4)$$

แต่จากตารางแบบจำลองกำลังการผลิตที่มีกำลังผลิตขัดข้องทั้งหมด จำนวน n สถานะ จะทำให้ได้ค่า LOLE ทั้งระบบดังสมการ 2.5

$$LOLE = \sum_{k=1}^{n} P_k T_k \qquad (2.5)$$

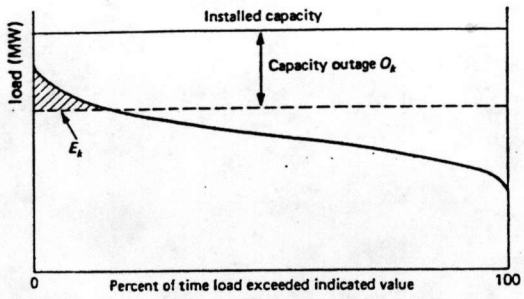
เมื่อ n คือ จำนวนสถานะทั้งหมดของกำลังผลิตที่เกิดขัดข้องในตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง

p_k คือ ค่าโอกาสที่จะเกิดขึ้นของสถานะ k ในตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง

t_k คือ ระยะเวลาของการสูญเสียโหลดเนื่องจากกำลังการผลิตที่เกิดขัดข้องในสถานะที่ k

2.3.2 EENS (Expected Energy Not Supplied)

จาก load duration curve ที่ใช้ในการคำนวณค่า LOLE (รูปที่ 2.8) นั้น พื้นที่ใต้เส้นโค้งจะแสดงถึงความต้องการใช้พลังงานในช่วงเวลานั้นด้วย โดยพลังงานจำนวนนี้จะใช้ในการคำนวณค่า EENS ซึ่งจะเกิดต่อเมื่อกำลังผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่งซึ่งมีขนาดมากกว่ากำลังผลิตไฟฟ้าสำรองที่มีอยู่เกิดขัดข้อง เช่นเดียวกันกับการเกิดค่า LOLE แล้วทำให้พลังงานจำนวนหนึ่งไม่เพียงพอจ่ายให้กับโหลด ซึ่งเป็นส่วนของพื้นที่แรเงาที่ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 พลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากกำลังผลิตไฟฟ้าเกิดขัดข้อง

จากรูปที่ 2.9 พื้นที่แรเงา (E_k) ซึ่ง จะแสดงถึงการเกิดค่า EENS ก็ต่อเมื่อกำลังผลิตขัดข้อง O_k มีขนาดเกินกว่าที่มีสำรองไว้ ทำให้สามารถคำนวณค่า EENS ได้ดังสมการที่ 2.6

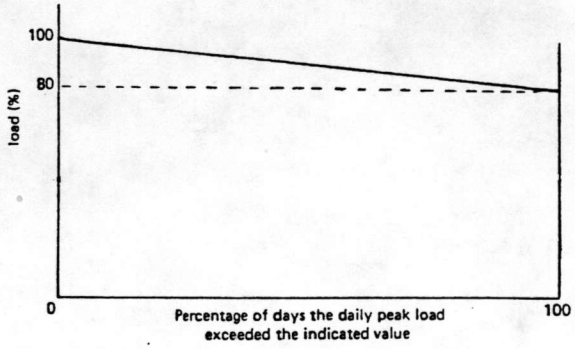
$$EENS = \sum_{k=1}^{n} E_k P_k \qquad (2.6)$$

เมื่อ n คือ จำนวนสถานะของกำลังการผลิตที่เกิดขัดข้องในตารางแบบจำลองการผลิต

p_k คือ ค่าโอกาสที่จะเกิดขึ้นของสถานะ i ในตารางแบบจำลองการผลิต

E_k คือ พลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากการขัดข้องของกำลังผลิตขนาด O_k

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า LOLE และ EENS จากระบบซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3*30 MW และ 1*50 MW โดยเครื่องขนาด 30 MW มีค่า FOR = 0.05 และเครื่องขนาด 50 MW มีค่า FOR = 0.06 ค่าโหลดสูงสุดพิจารณาในช่วงเวลา 100 วัน มีค่า 120 MW โดย Load duration curve ถูกแทนด้วยเส้นตรงจาก 100% ถึง 80% ของโหลดสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าโหลดสูงสุดประจำวัน

จากข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะสามารถสร้างตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้องได้ดังตารางที่ 2.4

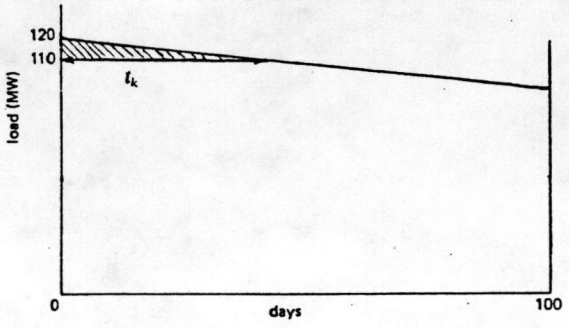
ตารางที่ 2.4 ตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROBABILITY	CUMULATIVE PROBABILITY
0.00	0.80593250	1.00000000
30.00	0.12725250	0.19406750
50.00	0.05144250	0.06681500
60.00	0.00669750	0.01537250
80.00	0.00812250	0.00867500
90.00	0.00011750	0.00055250
110.00	0.00042750	0.00043500
140.00	0.00000750	0.00000750

จากแบบจำลองกำลังการผลิตดังตารางที่ 2.4 เมื่อนำมาร่วมกับแบบจำลองโหลดดังรูปที่ 2.10 จะสามารถคำนวณค่า LOLE และค่า EENS ได้ดังต่อไปนี้

จากข้อมูลข้างต้นระบบมีกำลังการผลิตเท่ากับ 140 MW โหลดสูงสุด 120 MW และโหลดต่ำสุด 96 MW กำลังผลิตสำรองต่ำสุดจึงมีค่า 20 MW ดังนั้นเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดขัดข้องมากกว่า 20 MW จะทำให้เกิดค่า LOLE และ EENS

ตัวอย่าง เช่น จากตารางที่ 2.4 เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 30 MW หนึ่งเครื่องเกิดขัดข้องโดยมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่ากับ 0.80593250 ทำให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอ ดังนั้นค่า t_k ตามสมการที่ 2.4 และค่า E_k ตามสมการที่ 2.6 สามารถคำนวนได้จากรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 พลังงานซึ่งไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากกำลังผลิตไฟฟ้าขัดข้องของระบบตัวอย่าง

จากรูปที่ 2.11 จะได้ค่า t_k = 41.67 วัน และค่า E_k (พื้นที่แรเงา)= 5000 MWh จากวิธีการดังกล่าว ทำให้สามารถหาค่า LOLE และ EENS ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าได้ ดังใน ตารางที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 แสดงการคำนวณค่า LOLE ของระบบตัวอย่าง

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROBABILITY	TOTAL TIME	LOLE (days/100 days)
0.00	0.80593250	0.00	0.00000000
30.00	0.12725250	41.67	5.30218750
50.00	0.05144250	100.00	5.14425000
60.00	0.00669750	100.00	0.66975000
80.00	0.00812250	100.00	0.81225000
90.00	0.00011750	100.00	0.01175000
110.00	0.00042750	100.00	0.04275000
140.00	0.00000750	100.00	0.00075000

LOLE OF THE SYSTEM = 11.98368750 days/100 days

ตารางที่ 2.6 แสดงการคำนวณค่า EENS ของระบบตัวอย่าง

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROPABILITY	ENERGY CURTAIL (MWh)	EXPECTATION (MWh)
0.00	0.80593250	0.00	0.00
30.00	0.12725250	5000.00	636.26
50.00	0.05144250	43200.00	2222.32
60.00	0.00669750	67200.00	450.07
80.00	0.00812250	115200.00	935.71
90.00	0.00011750	139200.00	16.36
110.00	0.00042750	187200.00	80.03
140.00	0.00000750	259200.00	1.94

EENS OF THE SYSTEM = 4342.69 MWh/100 days