

บทที่ 4

หลักการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า

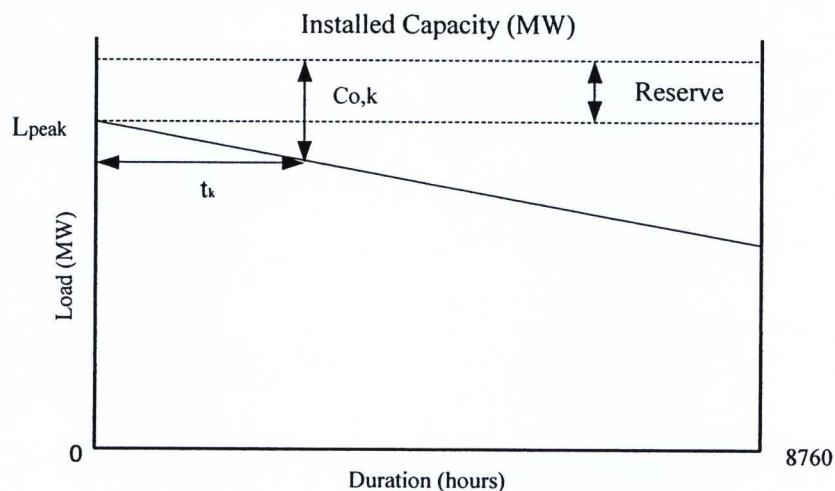
ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ประกอบด้วยดัชนี Loss of Load Expectation และดัชนี Expected Energy Not Supply ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาพลังงานที่สามารถผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายออกมาแต่ละเครื่อง จากนั้นนำมาใช้ประกอบกับหลักการประเมินค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า เพื่อศึกษาผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนต่อไป

4.1 การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีประเมินความเพียงพอของระบบ ผ่านดัชนีความเชื่อถือได้อันประกอบด้วย ค่า Loss of Load Expectation (LOLE) และ Expected Energy Not Supply (EENS) เพื่อประเมินผลกระทบด้านความเชื่อถือได้ของพลังงานหมุนเวียนที่มีต่อระบบผลิตไฟฟ้า

4.1.1 การคำนวณค่าดัชนี Loss of Load Expectation (LOLE)

LOLE คือ ค่าดัชนีที่บ่งบอกถึงช่วงเวลาที่กำลังการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าสูงสุดประจำวันโดยมีหน่วยเป็นจำนวนชั่วโมงหรือจำนวนวัน เมื่อเทียบกับระยะเวลาที่สนใจ โดยมากมักเทียบกับระยะเวลา 1 ปี [5,9]



รูปที่ 4.1 การคำนวณค่าดัชนี LOLE

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณค่า LOLE โดยอาศัยเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม (Cumulative Load Duration Curve: CLDC) จากรูปแสดงให้เห็นว่าหากขนาดกำลังการผลิตเกิดการขัดข้องขึ้นมากกว่าค่ากำลังการผลิตสำรองกำลังการผลิตที่เหลืออยู่จะมีค่าน้อยกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดความไม่พอเพียงของระบบผลิตเกิดขึ้น จากรูปค่า L_{peak} คือ

ค่าโหลดสูงสุดในรอบปีโดยพิจารณาจากค่าโหลดรายชั่วโมง ส่วน $C_{o,k}$ MW คือค่ากำลังการผลิตที่คาดว่าจะเกิดเหตุขัดข้อง (Outage capacity) ของสถานะ k ในตาราง COPT ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียโหลดเป็นระยะเวลา t_k ชั่วโมงตามลำดับ ด้วยเหตุนี้เราสามารถคำนวณ LOLE ได้ตามสมการที่ 4.1 ดังนี้

$$LOLE = \sum_{k=1}^N p_k t_k \quad (4.1)$$

โดยที่

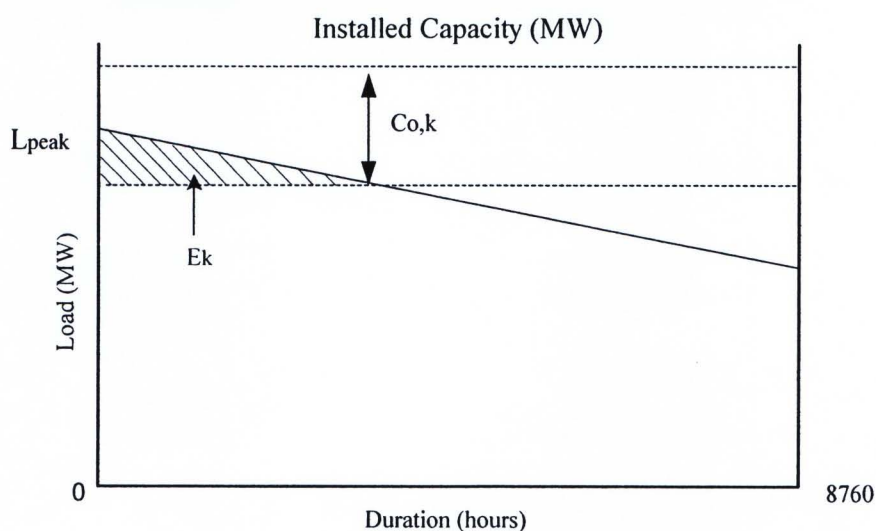
p_k คือ ค่าความน่าจะเป็นแบบ Individual ของ $C_{o,k}$ MW

t_k คือ ระยะเวลาที่โหลดไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากการขาดหายของกำลังการผลิตที่มีค่าเท่ากับ $C_{o,k}$ MW

N คือ จำนวนสถานะทั้งหมดของตาราง COPT

4.1.2 การคำนวณค่าดัชนี Expected Energy not Supply (EENS)

EENS คือ ค่าดัชนีที่บ่งบอกถึงค่าพลังงานที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายจากระบบผลิตไฟฟ้าอันเนื่องมาจากโหลดมีค่ามากกว่าปริมาณกำลังการผลิตที่มีอยู่ โดยดัชนีดังกล่าวแสดงถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่ายจากการที่มีกำลังผลิตไม่เพียงพอ [5,9]



รูปที่ 4.2 การคำนวณค่าดัชนี EENS

การคำนวณค่าดัชนี EENS โดยอาศัยเส้นโค้งระยะเวลาของโหลดสะสม (Cumulative Load Duration Curve: CLDC) สามารถทำได้โดยการพิจารณาปริมาณพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายเมื่อกำลังการผลิตขาดหายไปสูงกว่าค่ากำลังการผลิตสำรองโดยพิจารณาเส้นโค้ง CLDC

จากรูปที่ 4.2 E_k คือพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากการผลิตขาดหายไปเป็นปริมาณเท่ากับ $C_{o,k}$ MW

ดังนั้นเราสามารถคำนวณค่าดัชนี EENS ได้จากสมการที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ดังนี้

$$EENS_0 = t * \sum_{i=1}^n L_i \quad (4.2)$$

$$EENS_q = \sum_{k=1}^N p_k E_k \quad (4.3)$$

$$EEP_q = EENS_{q-1} - EENS_q \quad (4.4)$$

โดยที่

t คือ ช่วงเวลาทั้งหมดที่พิจารณา

L_i คือ ความต้องการไฟฟ้าชั่วโมงที่ i

$EENS_0$ คือ พลังงานที่ผลิตได้ทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา

$EENS_q$ คือ ปริมาณพลังงานที่คาดว่าจะไม่ได้รับการจ่ายที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลำดับที่ q

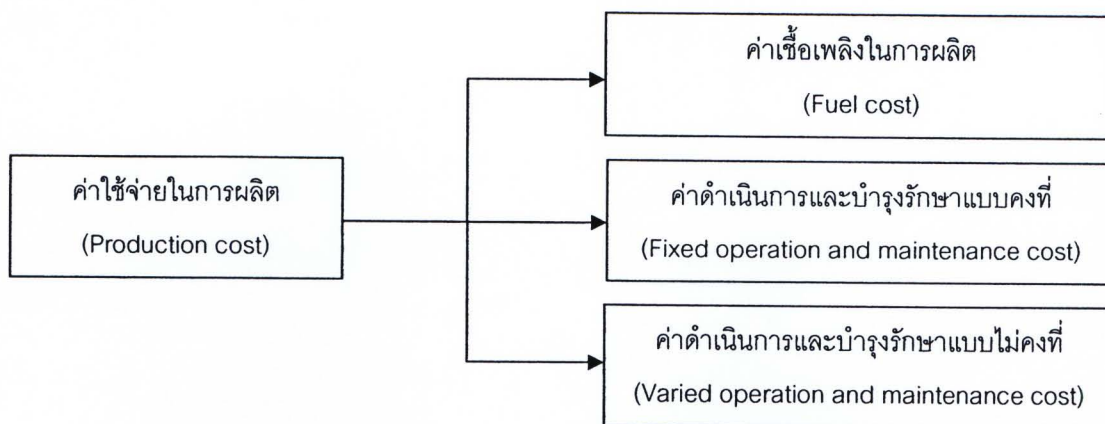
p_k คือ ค่าความน่าจะเป็นแบบ Individual ของ state k ,

E_k คือ ปริมาณพลังงานที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากการขาดหายของกำลังการผลิตของ state k

EEP_q คือ ปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q

4.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก ประกอบด้วย ค่าเชื้อเพลิงในการผลิต ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบคงที่ และค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบไม่คงที่ แต่ไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งระบบและค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแต่อย่างใด [6,9] แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพค่าใช้จ่ายในการผลิต (Production cost)

จากรูปที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายในการผลิต (Production cost) สามารถแบ่งออกเป็น

1) ค่าเชื้อเพลิงในการผลิต (Fuel cost) ซึ่งเป็นค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละโรงไฟฟ้าหรือแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าซึ่งในแต่ละโรงก็จะมีการใช้เชื้อเพลิงที่ไม่เหมือนกัน ในทำนองเดียวกันหน่วยที่ใช้บอกราคาเชื้อเพลิงก็ไม่เหมือนกันด้วย ฉะนั้นในการคำนวณค่าเชื้อเพลิงในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ค่าเชื้อเพลิงที่ถูกแปลงหน่วยให้อยู่ในรูปของ บาท/MMbtu ซึ่งจะเป็นหน่วยของราคาที่ใช้ต่อปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ ทั้งนี้การคำนวณค่าเชื้อเพลิงในการผลิตสามารถหาได้จากผลคูณของพลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ของแต่ละเครื่องกับหน่วยของเชื้อเพลิงและปริมาณความร้อนที่แต่ละโรงผลิตได้ (Heat rate)

2) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบคงที่ (Fixed Operation and Maintenance cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเดินเครื่องและบำรุงรักษาเครื่องตามแผนที่กำหนดไว้ซึ่งจะถูกแสดงอยู่ในรูปหน่วย บาท/ MW ซึ่งจะแบ่งออกตามชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการคำนวณสามารถหาได้จากผลคูณของขนาดหน่วยผลิตไฟฟ้าหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบคงที่ได้โดยตรง

3) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบไม่คงที่ (Varied Operation and Maintenance cost) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเดินเครื่องและบำรุงรักษาเครื่องที่ไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้ซึ่งจะถูกแสดงอยู่ในรูปหน่วย บาท/kWh การคำนวณสามารถหาได้จากผลคูณของพลังงานที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ของแต่ละเครื่องกับหน่วยของค่าดำเนินการ

โดยในการสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตจะใช้วิธีจัดเรียงความสำคัญ (Priority list) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ถูกลงที่สุดมีสิทธิในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าก่อน

เราสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าได้ดังสมการที่ 4.5 – 4.8 ดังนี้

$$PC_{Total} = FuelCost_{Total} + FixedO \& MCost_{Total} + VariedO \& MCost_{Total} \quad (4.5)$$

$$FuelCost_{Total} = \sum_{q=1}^N EEP_q \times FuelCost_q \times HeatRate_q \quad (4.6)$$

$$FixedO \& MCost_{Total} = \sum_{q=1}^N InstallCapacity_q \times FixedO \& MCost_q \quad (4.7)$$

$$VariedO \& MCost_{Total} = \sum_{q=1}^N EEP_q \times VariedO \& MCost_q \quad (4.8)$$

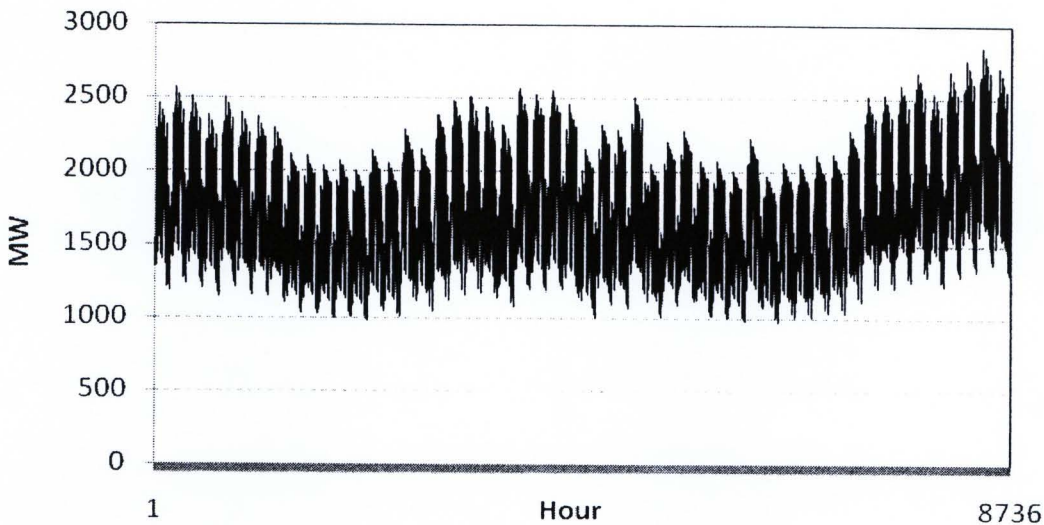
โดยที่

PC_{Total}	คือ	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด
EEP_q	คือ	ปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q
$FuelCost_q$	คือ	ค่าเชื้อเพลิงในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q
$FixedO \& MCost_q$	คือ	ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q
$VariedO \& MCost_q$	คือ	ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบไม่คงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q
$InstallCapacity_q$	คือ	กำลังการผลิตติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q
$HeatRate_q$	คือ	ปริมาณความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า q
N	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด

4.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า

ระบบที่ใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณ คือ ระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System ซึ่งมีจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 32 เครื่อง และมีกำลังการผลิตติดตั้งทั้งหมดเท่ากับ 3405 MW โหลดสูงสุดในระบบมีค่าเท่ากับ 2850 MW โดยรายละเอียดของค่าสมรรถนะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องรวมถึงข้อมูลโหลดได้นำแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก.

จากระบบตัวอย่างสามารถแสดงโหลดสูงสุดสะสมรายชั่วโมงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 โหลดรายชั่วโมงของระบบตัวอย่าง IEEE-RTS

จากข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจะสามารถสร้างตารางน่าจะเป็นในการขาดกำลังการผลิต (Capacity outage probability table: COPT) ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตาราง COPT ของระบบทดสอบ IEEE Reliability Test System

State	Capacity outage (MW)	Individual Probability	Cumulative Probability
(1)	(2)	(3)	(4)
1	0	0.23639512	1
31	100	0.02999156	0.547601144
40	118	5.52E-09	0.512059147
153	265	1.3116E-05	0.335566652
288	400	0.06572831	0.261873431
444	556	3.4527E-06	0.084578061
488	600	0.00035769	0.062112861
838	950	6.4306E-05	0.007491953
1088	1200	2.4132E-05	0.000791252
1388	1500	2.9915E-07	4.04351E-05

โดยที่

- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 1 หมายถึง สถานะที่ i ของแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าที่พิจารณา
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 2 หมายถึง ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ขาดกำลังการผลิต ของสถานะที่ i
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 3 หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการขาดกำลังการผลิตเป็นปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้างดคอลัมน์ 2 ของแต่ละสถานะ i
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 4 หมายถึง ความน่าจะเป็นสะสมที่จะเกิดการขาดกำลังการผลิตเป็นอย่างน้อยเป็นปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้างดคอลัมน์ 2 ของแต่ละสถานะ i

จากระเบียบวิธีการที่ได้กล่าวสามารถคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ EENS และค่าพลังงานที่คาดว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะผลิตได้ ดังสมการที่ 4.2-4.4 รวมทั้งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ดังสมการที่ 4.5-4.8 แสดงในตารางที่ 4.2 ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ตารางค่าใช้จ่ายของเดือนสิงหาคม 2552 ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวก ค.

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลคำนวณดัชนี EENS และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า

No. unit	Cap. (MW)	Expected Energy Not Supply (MWh)	Expected Energy Product (MWh)	Fuel Cost (บาท)	Fixed O&M Cost (ล้านบาท) (6)	Varied O&M Cost (บาท) (7)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)		
1	50	14,864,642.71	432,432.00	0.00	2.00	56,216,160.00
2	50	14,432,210.71	432,432.00	0.00	2.00	56,216,160.00
3	50	13,999,778.71	432,432.00	0.00	2.00	56,216,160.00
4	50	13,567,346.71	432,432.00	0.00	2.00	56,216,160.00
5	50	13,134,914.71	432,432.00	0.00	2.00	56,216,160.00
6	50	12,702,482.71	432,432.00	0.00	2.00	56,216,160.00
7	400	9,627,410.71	3,075,072.00	1,230,028,800.00	156.00	861,020,160.00
8	400	6,559,728.82	3,067,681.90	1,227,072,758.47	156.00	858,950,930.93
9	76	5,927,422.34	632,306.48	728,897,614.45	22.04	107,492,101.09
10	76	5,317,899.95	609,522.39	702,633,033.77	22.04	103,618,806.81
11	76	4,735,459.89	582,440.06	671,413,604.48	22.04	99,014,810.33
12	76	4,183,912.33	551,547.56	635,801,963.35	22.04	93,763,084.92

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลคำนวณดัชนี EENS และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า (ต่อ)

No. unit	Cap. (MW)	Expected Energy Not Supply (MWh)	Expected Energy Product (MWh)	Fuel Cost (บาท)	Fixed O&M Cost (ล้านบาท)	Varied O&M Cost (บาท)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
13	155	3,195,016.90	988,895.43	1,139,959,097.36	44.95	168,112,223.32
14	155	2,340,412.29	854,604.60	985,154,003.58	44.95	145,282,782.72
15	155	1,632,253.84	708,158.46	816,336,741.83	44.95	120,386,937.53
16	155	1,083,617.59	548,636.25	632,445,922.62	44.95	93,268,162.36
17	350	355,137.71	728,479.88	839,762,460.88	101.50	123,841,578.78
18	20	329,783.45	25,354.26	86,527,756.75	0.20	1,014,170.47
19	20	306,014.43	23,769.02	81,117,716.08	0.20	950,760.72
20	20	283,726.17	22,288.27	76,064,285.67	0.20	891,530.71
21	20	262,788.58	20,937.58	71,454,726.73	0.20	837,503.21
22	12	249,765.67	13,022.92	47,701,522.47	2.04	1,823,208.76
23	12	237,282.90	12,482.76	45,722,978.72	2.04	1,747,586.47
24	12	225,293.46	11,989.44	43,916,009.34	2.04	1,678,521.96
25	12	213,804.95	11,488.51	42,081,156.00	2.04	1,608,391.69
26	12	202,776.69	11,028.26	40,395,310.78	2.04	1,543,956.69
27	100	129,490.77	73,285.92	268,438,266.88	17.00	10,260,028.93
28	100	79,204.51	50,286.25	184,193,019.08	17.00	7,040,075.64
29	100	46,592.79	32,611.72	119,453,155.62	17.00	4,565,641.28
30	197	15,562.42	31,030.37	113,660,834.89	33.49	4,344,251.91
31	197	4,569.41	10,993.01	40,266,192.13	33.49	1,539,021.62
32	197	1,176.30	3,393.11	12,428,581.90	33.49	475,035.14

โดยที่

ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 1 หมายถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ที่เพิ่มเข้าสู่ระบบ

ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 2 หมายถึง กำลังการผลิตติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 3 หมายถึง ดัชนี EENS ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 4 หมายถึง พลังงานที่คาดว่าจะผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 5 หมายถึง ค่าเชื้อเพลิงในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 6 หมายถึง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบคงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 7 หมายถึง ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาแบบไม่คงที่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

จากตารางที่ 4.2 แสดงดัชนีความเชื่อถือได้ EENS และค่าพลังงานที่คาดว่าจะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะผลิตได้ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องสามารถสรุปผลจากตัวอย่างการคำนวณระบบทดสอบ IEEE-RTS โดยค่าดัชนี LOLE เท่ากับ 9.39 Hour/year ดัชนี EENS เท่ากับ 1,176.3 MWh พลังงานทั้งหมดที่ผลิตได้เท่ากับ 15,295,898.42 MWh และค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 14,894.85 ล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงดัชนีEENS, LOLE และพลังงานที่ผลิตได้ของระบบทดสอบ IEEE-RTS

LOLE (Hour/year)	EENS (MWh)	พลังงานทั้งหมดที่ผลิตได้ (MWh)	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า (ล้านบาท)
(1)	(2)	(3)	(4)
9.39	1,176.30	15,295,898.42	14,894.85

โดยที่

- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 1 หมายถึง ดัชนี LOLE
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 2 หมายถึง ดัชนี EENS จากคอลัมน์ที่ 3 ในตารางที่ 4.2 เมื่อเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องสุดท้ายเข้าสู่ระบบ
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 3 หมายถึง พลังงานทั้งหมดที่ผลิตได้ คำนวณจากผลรวมของคอลัมน์ที่ 4 ในตารางที่ 4.2
- ข้อมูลในคอลัมน์ที่ 4 หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า คำนวณจากผลรวมของคอลัมน์ที่ 5-7 ในตารางที่ 4.2

4.4 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของค่าดัชนี Loss of Load Expectation และดัชนี Expected Energy not Supply เพื่อใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า จากนั้นคำนวณหาพลังงานที่สามารถผลิตได้ของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายออกมา แล้วนำไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะนำไปใช้ประเมินคุณค่าของพลังงานหมุนเวียนต่อไป

