



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลกระทบของพลังงานทดแทนต่อความเพียงพอของการผลิตไฟฟ้า

Impacts of Renewable Energy on Generation Adequacy

นามผู้วิจัย นางสาวชุตินา จงอรุณงามแสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงณี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของพลังงานทดแทนต่อความเพียงพอของการผลิตไฟฟ้า

Impacts of Renewable Energy on Generation Adequacy

โดย

นางสาวชุตติมา จงอรุณงามแสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุติมา จงอรุณงามแสง 2556: ผลกระทบของพลังงานทดแทนต่อความเพียงพอของการผลิตไฟฟ้า ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 66 หน้า

พลังงานไฟฟ้า ส่วนใหญ่ผลิตมาจาก น้ำมัน, ก๊าซ และถ่านหิน ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด และลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันความต้องการพลังงานไฟฟ้านั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างเห็นได้ชัดทำให้พลังงานทดแทนมีบทบาทอย่างมากในการเข้ามาทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากฟอสซิล พลังงานลมถือว่าเป็นพลังงานทดแทนที่ถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นการผลิตไฟฟ้าที่สะอาด และไม่มีราคาต้นทุนของวัตถุดิบ แต่เนื่องจากพลังงานลมนั้นไม่แน่นอน และมีความเร็วลมผันผวนในแต่ละพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของพลังงานลม เพื่อใช้ในการประเมินความพอเพียงของกำลังผลิตกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ ในส่วนของการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้

บทความนี้ได้เสนอการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของพลังงานลมที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย โดยนำเสนอในรูปแบบดัชนีความเชื่อถือได้ Loss of Load Expectation (LOLE) ซึ่งใช้ความผันผวนของพลังงานลมเข้ามาวิเคราะห์ร่วมด้วย โดยใช้ข้อมูลความเร็วลมจาก อำเภอ ระโนด จังหวัดสงขลา และหาค่า Capacity Credit เพื่อดูความสามารถในการรองรับโหลดสูงสุดด้วย เพื่อใช้ในการวางแผนก่อสร้างสถานีไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Chutima Chongarungmsang 2013: Impacts of Renewable Energy on Generation Adequacy. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 66 pages.

Electrical power is mainly generated from petroleum, gas and coal, which are limited and decrease dramatically. Meanwhile, electrical energy's need is increasing obviously, so renewable energy becomes a good alternative energy which is made from fossil fuels. Wind energy is also the renewable energy source used in generating electricity since it is clean and free. However, wind energy cannot generate electrical power constantly because it depends on wind speed which always vary all the time. Therefore, the potential of wind power which generates electrical power to serve power demand should be evaluated in terms of generation adequacy on a reliability study.

This thesis presents the potential evaluation of electric power generation from wind energy connected to distribution systems in terms of Loss of Load Expectation (LOLE) index and capacity credit value. The location which we choose to do an experiment about an uncertainty of wind speed is at Ranod Songkhla. The results of 3 case studies are presented and discussed in the paper also.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลักเป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไข
วิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณวิศวกรจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่เอื้อเฟื้อให้ข้อมูลพลังงานลม และ
โหลดสูงสุดของสถานีไฟฟ้าระโนด จังหวัดสงขลา

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ ที่สนับสนุนและให้กำลังใจที่ดีตลอด
การศึกษาเล่าเรียน ขอขอบพระคุณพี่ๆ ในโครงการวิจัยและพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์นี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ไม่ด้านใดด้านหนึ่งแต่
ผู้อื่น และผู้วิจัยจะนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ประเทศชาติต่อไป

ชุตินา จงอรุณงามแสง

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
สารบัญภาพ (ต่อ)	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	47
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	52
ภาคผนวก	55
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลการวิจัย	56
ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของกรณี 2 และ 3	60
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	66

สารบัญตาราง

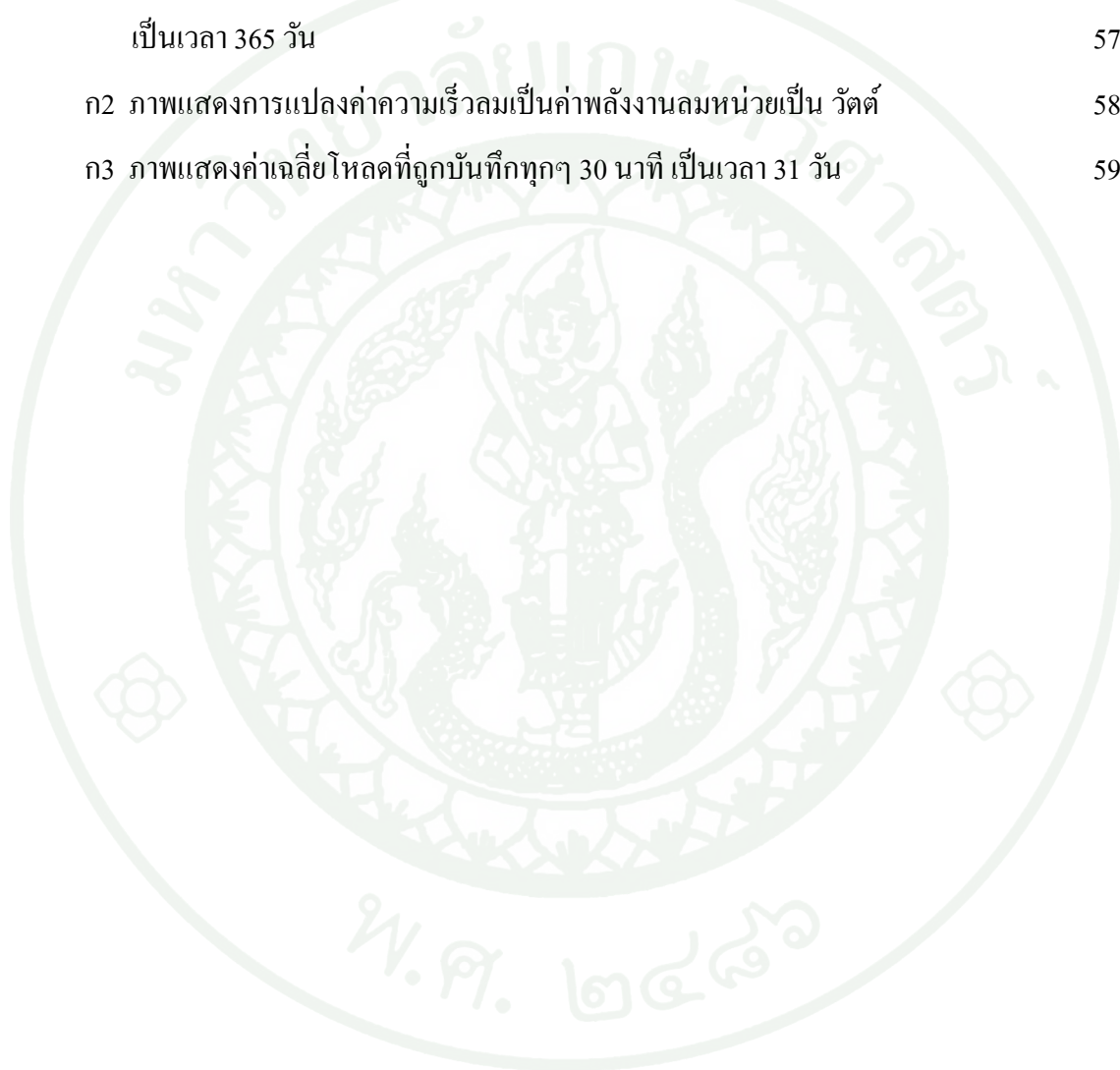
ตารางที่	หน้า
1 ตาราง COPT	7
2 ตารางความน่าจะเป็นในการถ่ายเทโหลดสำเร็จของแต่ละจุดเชื่อมต่อที่มีขนาดการถ่ายเทโหลดได้จุดละ 3 MW จำนวน 2 จุดเชื่อมต่อ	26
3 ตารางความน่าจะเป็นของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของฟีดเดอร์หนึ่งของสถานีไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ 8 MW	26
4 ตาราง COPT ที่เกิดจากการคำนวณความน่าจะเป็นในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของฟีดเดอร์และแต่ละจุดเชื่อมต่อของฟีดเดอร์ข้างเคียงที่สามารถถ่ายเทโหลดได้	27
5 ตัวอย่างตารางการเก็บค่าโหลดของแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน วันที่ 1 ถึงวันที่ 19 เวลา 00:00 น. ถึง 03:00 น.	27
6 ตารางแสดงค่าโหลดสูงสุดกับจำนวนวันที่เกิดขึ้น	30
7 ตารางแสดงความน่าจะเป็นความเร็วลมที่ระดับความเร็วที่แตกต่างกัน	31
8 ตารางแสดงคุณสมบัติของส่วนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม	33
9 ตารางแสดงคุณสมบัติของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม	33
10 ตารางแสดงลักษณะด้านการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม	34
11 ตาราง COPT ของกรณีศึกษา	36
12 แสดงค่าโหลดสูงสุดใน 31 วัน	36
13 ตารางแจกแจงความน่าจะเป็นของการผลิตกำลังไฟฟ้าในขนาดต่างๆได้	40
14 ตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้า	44
15 ตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณีตัวอย่าง	45
16 ตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้า	46
17 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณี	47

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กังหันลมใบพัดแนวตั้งและแนวนอน	10
2 ส่วนประกอบของกังหันลม	12
3 ภาพแสดงความแตกต่างของการสูญเสียทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทต่างๆ	14
4 แสดงการพลอตค่าเฉลี่ยของพลังงานลมกับค่าเฉลี่ยของโหลดในช่วงฤดูร้อน	15
5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ในการผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้ง 4 ตำแหน่ง และแบบเชื่อมต่อทั้ง 4 ตำแหน่ง	16
6 ภาพแสดงแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่เป็นแบบ MSAM	17
7 ภาพแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของ 2 กรณี คือ กรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับระบบ และ ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับระบบ	18
8 แผนผังกระบวนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE	21
9 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมทางบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยของประเทศไทย	22
10 แบบจำลองระบบศึกษาที่พิจารณาเป็นระบบจำหน่ายของฟีดเดอร์ 6 ของสถานีไฟฟ้าระโนด	23
11 แสดงแผนผังของสถานีไฟฟ้าระโนดที่ประกอบด้วยหลายฟีดเดอร์	24
12 ภาพแสดงค่าโหลดของแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวัน	29
13 กราฟแสดงค่าโหลดสูงสุดในแต่ละวัน	30
14 ลักษณะของพลังงานที่ผลิตได้เมื่อความเร็วลมแตกต่างกัน	32
15 แผนภูมิความน่าจะเป็นของการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม	39
16 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสูมหากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้	41
17 แสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของ 1000 รอบ	42
18 ภาพแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณี	47
19 ภาพแสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก1 ตัวอย่างการเก็บค่าข้อมูลความเร็วลม ในหน่วย m/s โดยมีการบันทึกไว้ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 365 วัน	57
ก2 ภาพแสดงการแปลงค่าความเร็วลมเป็นค่าพลังงานลมหน่วยเป็น วัตต์	58
ก3 ภาพแสดงค่าเฉลี่ยไหลคที่ถูกบันทึกทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 31 วัน	59



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

COPT = Capacity Outage Probability Table

FOR = Force Outage Rate

LOLP = Loss of Load Probability

LOLE = Loss of Load Expectation

LOEP = Loss of Energy Probability

LOEE = Loss of Energy Expectation

MSAM = Multi State Available Model

ผลกระทบของพลังงานทดแทนต่อความเพียงพอของการผลิตไฟฟ้า

Impacts of Renewable Energy on Generation Adequacy

คำนำ

ปัจจุบันปริมาณมนุษย์มากขึ้นในขณะที่ทรัพยากรธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งแน่นอนว่าหากเราใช้ทรัพยากรเดิมๆเป็นจำนวนมาก ก็ย่อมทำให้เกิดการขาดแคลน หรือลดลงของทรัพยากรนั้นๆ ปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาขึ้น และกลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตไปโดยไม่รู้ตัว เทคโนโลยีเหล่านั้นล้วนต้องพึ่งพาพลังงานไฟฟ้า

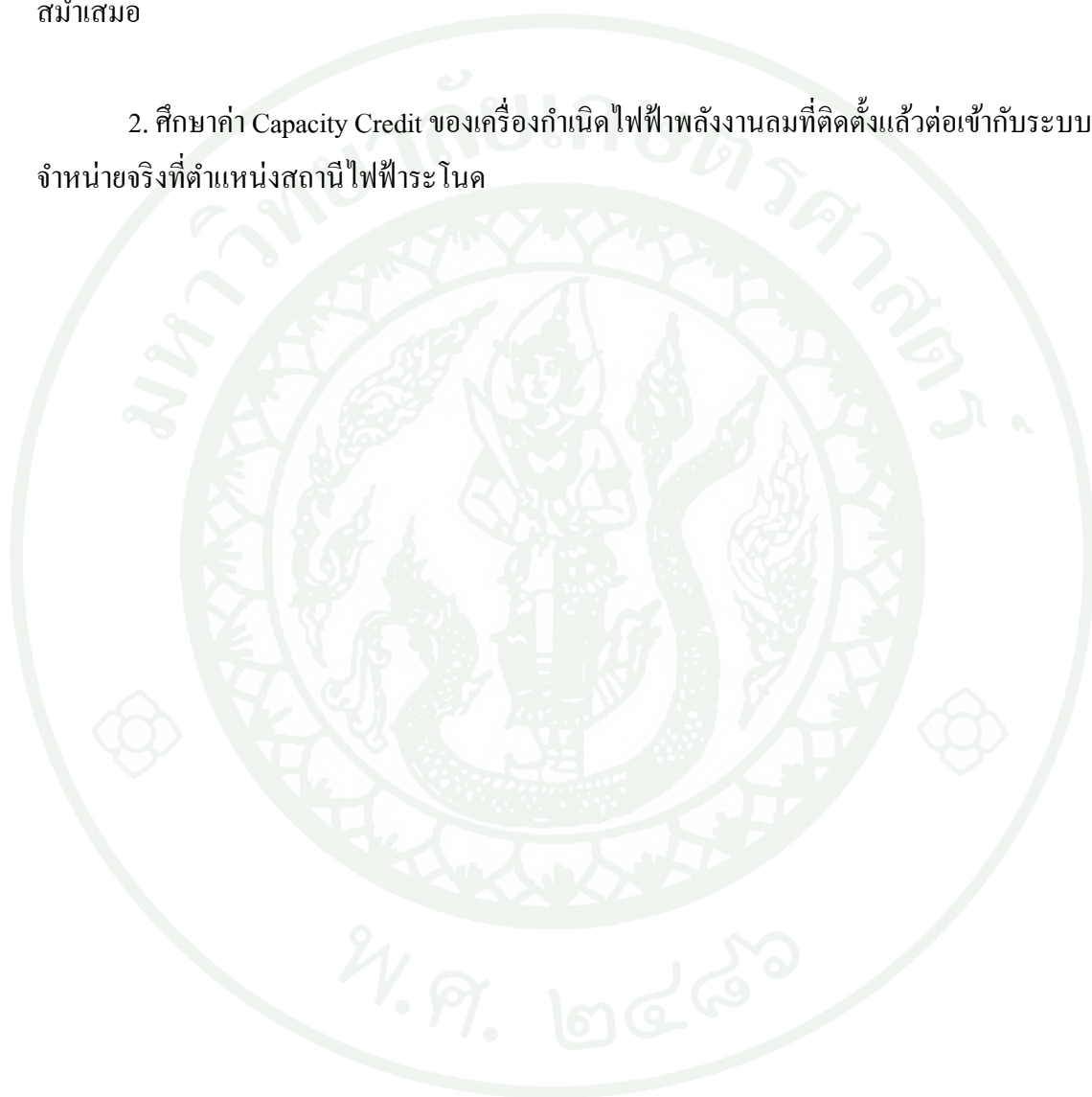
พลังงานไฟฟ้าในอดีตส่วนใหญ่ผลิตมาจาก น้ำมัน, ก๊าซ และถ่านหิน เป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดที่ปัจจุบันถูกนำมาใช้และลดลงอย่างรวดเร็ว ความต้องการพลังงานไฟฟ้านั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆอย่างเห็นได้ชัด ทำให้พลังงานทดแทนมีบทบาทอย่างมากในการเข้ามาช่วยทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากฟอสซิล พลังงานลมถือว่าเป็นพลังงานทดแทนที่ถูกนำมาใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้าอย่างกว้างขวาง เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าที่สะอาด และไม่มีราคาต้นทุนของวัตถุดิบ แต่เนื่องจากพลังงานลมนั้นไม่แน่นอน และมีความผันผวนในแต่ละพื้นที่ให้ความเร็วลมที่แตกต่างกัน

เนื่องจากพลังงานลม ที่ถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนนั้น มีความไม่แน่นอนของกำลังผลิตไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการประเมินศักยภาพทางไฟฟ้าของพลังงานลม เพื่อใช้ในการประเมินความพอเพียงของกำลังผลิตต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ

วัตถุประสงค์

1. เปรียบเทียบดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบที่แตกต่างกัน ทั้งในกรณีระบบปกติ ระบบที่มีพลังงานลมเชื่อมต่อ และระบบที่เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอ

2. ศึกษาค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ติดตั้งแล้วต่อเข้ากับระบบจำหน่ายจริงที่ตำแหน่งสถานีไฟฟ้าระโนด



การตรวจเอกสาร

1. ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power System)

ชำนาญ (2548) ระบบไฟฟ้ากำลัง หมายถึงระบบไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้าและการจำหน่ายไฟฟ้า

1.1 ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation System) หมายถึง ระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปแบบอื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น การเปลี่ยนพลังงานความร้อน, พลังงานน้ำ และพลังงานแสงเป็นต้น โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นนั้นส่วนใหญ่มาจากการเปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงในธรรมชาติ เช่น ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ โดยเชื้อเพลิงเหล่านี้ลดลงอย่างรวดเร็ว จึงมีการหาพลังงานอื่น ๆ มาทดแทน

1.2 ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า (Transmission System) หมายถึง ระบบเสาส่งและสายแรงสูง ที่ทำหน้าที่ส่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังสถานีส่งจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งต้องส่งจ่ายไฟฟ้าในระยะทางไกล เนื่องจากปกติระบบผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่จะอยู่ห่างไกลจากบริเวณที่เป็นชุมชน

1.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution System) หมายถึง ระบบไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง ระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นจะมีระดับแรงดันที่ไม่สูงมากนัก เนื่องจากการจำหน่ายไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีระยะทางไม่ไกล

2. ความน่าจะเป็น (Probability)

ชำนาญ (2553) อธิบายความน่าจะเป็น ได้ว่า ความน่าจะเป็น คือ โอกาสที่จะเกิดขึ้นของการทดลองเชิงสุ่มหรือเหตุการณ์เชิงสุ่มว่ามีโอกาสมากน้อยเพียงใด โดยจะไม่มีผลลัพธ์ของการทดลองสุ่มหรือเหตุการณ์ที่นำมาหาค่าความน่าจะเป็น โดยความน่าจะเป็นมีคุณสมบัติต่อไปนี้

1. ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ใดๆ จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1
2. ผลรวมของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด เท่ากับ 1

การกระจายตัวแบบทวินาม คือ การกระจายตัวที่นับเหตุการณ์ที่พิจารณาต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งผลของการเกิดเหตุการณ์แต่ละครั้งมี 2 ลักษณะ คือ ทำงานและไม่ทำงาน ซึ่งลักษณะของการกระจายตัวแบบทวินามนั้น คือ การเกิดแต่ละครั้งไม่ขึ้นต่อกัน และผลของเหตุการณ์จะมีแค่ 2 ลักษณะ ซึ่งการกระจายตัวแบบทวินาม นิยมนำมานิยามกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณด้านความเชื่อถือได้

การกระจายตัวแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล เป็นการกระจายความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องที่สำคัญ ซึ่งใช้กันมากเพื่อศึกษาระยะห่างหรือช่วงเวลาที่将会เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ

3. ความเชื่อถือได้ของระบบผลิต (Generation System Reliability)

Phoon Hee Yau (2006) อธิบายว่า ความเชื่อถือได้ของระบบการผลิตจะมุ่งเน้นไปที่ความเพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความแน่นอนของการผลิตพลังงานไฟฟ้าในการศึกษาระบบการผลิต ระบบผลิตทั้งหมดจะถูกตรวจสอบถึงความเพียงพอเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของโหลดในระบบทั้งหมด ซึ่งเรียกว่า "การประเมินความเพียงพอของระบบผลิต"

โดยวิธีการพื้นฐานที่นิยมใช้กันในการประเมินกำลังผลิตให้พอเพียง คือ การสำรองกำลังผลิตโดยส่วนมากจะให้สำรองเท่ากับพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตที่สูงสุดของระบบ หรืออีกวิธีหนึ่งคือการกำหนดเป็นร้อยละของกำลังผลิตทั้งหมด โดยแบบจำลองพื้นฐานในการหาความเพียงพอของระบบผลิตนั้น จะประกอบไปด้วย แบบจำลองการผลิต(Generation model) และแบบจำลองโหลด (Load model)

ในการวิเคราะห์แบบจำลองการผลิตนั้นจะใช้ Capacity Outage Probability Table (COPT) ส่วนแบบจำลองโหลดจะใช้ Load Probability Table (LPT)

กระบวนการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบนั้นเริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหรือระบบย่อย และดำเนินการด้วยการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ว่า

1. กำหนดขอบเขตของระบบที่จะวิเคราะห์

2. กำหนดข้อมูลทางการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ เช่น อัตราความผิดพลาด เป็นต้น
3. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของความเชื่อถือได้
4. นำไปวิเคราะห์หาดัชนีความเชื่อถือได้

3.1 แบบจำลองโหลด (Load Model)

โหลดทางไฟฟ้านั้นเป็นค่าเชิงสถิติที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองของโหลดนั้นจะเป็นค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละวัน

3.2 แบบจำลองความเชื่อถือได้ของหน่วยผลิต (Conventional generating unit reliability model)

Billinton (1996) อธิบายว่า แบบจำลองความเชื่อถือได้ของหน่วยผลิต เป็นตัวแปรต้นที่สำคัญหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตซึ่งจะเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้และผลิตไม่ได้

โดยแบบจำลองข้างต้นเป็นแบบสองสถานะ เป็นไปตามสมการที่ (1)

$$U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \quad (1)$$

โดยที่	U	คือ	ความน่าจะเป็นที่ผลิตไม่ได้
	λ	คือ	อัตราการล้มเหลว (unit failure rate)
	μ	คือ	อัตราการซ่อมแซม (repair rate)

โดยที่ความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถผลิตได้นี้รู้จักกันอีกชื่อว่า FOR (force outage rate) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$FOR = \frac{\text{Force Outage Hours}}{\text{In-service hours} + \text{Force Outage Hours}} \quad (2)$$

โดยที่	Forced Outage Hours	คือ	เวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดเดินเครื่องเนื่องจากเหตุขัดข้อง
	In-service hours	คือ	เวลาที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่อง

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองหน่วยผลิตแต่ละหน่วยนั้น จะสร้างให้อยู่ในรูปของค่าเชิงคณิตศาสตร์ โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นในการสร้างแบบจำลอง โดยมีหลักการพื้นฐานตามสมการที่ (3)

$$P_r = {}^n C_r U^r A^{n-r} \quad (3)$$

โดยที่	A	คือ	ความน่าจะเป็นของหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้
	U	คือ	ความน่าจะเป็นของหน่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถใช้งานได้
	n	คือ	จำนวนหน่วยที่จ่ายกำลังไฟฟ้าที่พิจารณา
	r	คือ	จำนวนหน่วยที่จ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถทำงานได้
	P_r	คือ	ความน่าจะเป็นของหน่วยที่จ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถทำงานได้ของแต่ละสถานะ

จากสมการพื้นฐานในการหาค่าความน่าจะเป็นของหน่วยการจ่ายกำลังไฟฟ้า สามารถนำมาใช้สร้างตาราง COPT เพื่อแสดงถึงความน่าจะเป็นรวมของหน่วยการผลิตทั้งหมดของระบบที่ต้องการพิจารณา

โดยที่ตาราง COPT เป็นการจัดการแบบง่ายของระดับการจ่ายกำลังไฟฟ้า และความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็น ซึ่งจะถือว่าแต่ละหน่วยการจ่ายกำลังไฟฟ้าอิสระต่อกัน ตัวอย่างการสร้างตาราง COPT เช่นสมมติให้มี 4 หน่วยการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แต่ละหน่วยสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้า 25 MW โดยมีค่า FOR หรือ ค่าความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถผลิตได้อยู่ที่ 0.01

$$\begin{aligned} \text{ค่าความน่าจะเป็นที่ทุกหน่วยการผลิตทำงาน (P}_0\text{)} &= {}^4 C_0 \cdot (0.01)^0 \cdot (0.99)^{4-0} \\ &= 0.99^4 \\ &= 0.960596 \\ \text{ค่าความน่าจะเป็นที่หนึ่งหน่วยการผลิตไม่ทำงาน} &= {}^4 C_1 \cdot (0.01)^1 \cdot (0.99)^{4-1} \\ &= 0.0388119 \end{aligned}$$

จากการคำนวณข้างต้นสามารถสร้างตาราง COPT ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตาราง COPT

STATE (i)	Capacity IN (MW)	Capacity OUT (MW)	State Probability (p_i)	Cumulative Probability (P_i)	No. of UNITS DOWN
1	100	0	0.960596	1.000	NONE
2	75	25	0.0388119	0.0394038	1
3	50	50	0.000588	0.0005919	2
4	25	75	0.0000039	0.00000391	3
5	0	100	1×10^{-8}	1×10^{-8}	4

4. ดัชนีความเชื่อถือได้ (Reliability Indices)

Billinton (1996) อธิบายไว้ว่า ดัชนีความเชื่อถือได้เป็นสิ่งสำคัญต่อการประเมินความเชื่อถือได้ของระบบผลิต การวัดปริมาณความเชื่อถือได้ของระบบนั้นจะให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่แตกต่างกัน ดัชนีความเชื่อถือได้เหล่านี้ใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้ ประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิต โดยการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้กับค่ามาตรฐาน หรือความต้องการต่ำสุดที่กำหนดไว้

ดัชนีความเชื่อถือได้ที่นิยมนำมาใช้ในการประเมินระบบมีอยู่หลายตัวเช่น Loss of Load Probability (LOLP), Loss of Load Expectation (LOLE), Loss of Energy Probability (LOEP) และ Loss of Energy Expectation (LOEE) เป็นต้น ซึ่งดัชนีเหล่านี้จะสะท้อนถึงปัจจัยต่างๆของการผลิต

4.1 ดัชนีความน่าจะเป็นในการสูญเสียโหลด LOLP

Hee Yau, Phoon (2006) ความน่าจะเป็นที่ความต้องการของโหลดมากกว่ากำลังการผลิตรวมทั้งหมดของของระบบการผลิตไฟฟ้า โดยสามารถหาได้โดยสมการที่ (4)

$$LOLP = \sum_j P[C_A = C_j] \cdot P[L > C_j] = \sum_j \frac{p_j \cdot t_j}{100} \quad (4)$$

โดยที่	P	คือ	ความน่าจะเป็น
	L	คือ	โหลด
	C_A	คือ	กำลังผลิตที่สามารถผลิตได้
	C_j	คือ	กำลังผลิตที่เหลืออยู่
	p_j	คือ	ความน่าจะเป็นของกำลังผลิตที่ไม่สามารถผลิตได้
	t_j	คือ	เปอร์เซ็นต์ของเวลาเมื่อโหลดเกิน C_j

4.2 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE

เป็นค่าที่บอกถึงความเสี่ยงที่จะมีการสูญเสียโหลด หรือมีกำลังผลิตน้อยกว่าโหลดในขณะนั้นๆ โดยทั่วไปนั้นมีวิธีการคิดด้วยกัน 2 วิธี คือ มอนติคาร์โลซิมูเลชัน (Monte Carlo Simulation) และกระบวนการวิเคราะห์ (Analytical Method) ในงานวิจัยนี้จะใช้กระบวนการวิเคราะห์ (Analytical Method)

โดยทั่วไปแล้ว ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้น จะต้องใช้ค่าโหลดสูงสุดในแต่ละวันมาคิด โดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (5)

$$LOLE = \sum_{i=1}^n P_i(C_i - L_i) \quad (5)$$

โดยที่	C_i	คือ	กำลังผลิตในวันที่ i
	L_i	คือ	โหลดสูงสุดที่คาดการณ์ไว้ในวันที่ i
	P_i	คือ	ความน่าจะเป็นที่จะสูญเสียโหลดในวันที่ i
	$LOLE$	คือ	ค่าคาดการณ์ที่จะสูญเสียโหลด มีหน่วยเป็น วัน/ช่วงเวลา

4.3 คำนวณความน่าจะเป็นในการสูญเสียพลังงาน LOEP

ดัชนีชี้วัดนี้จะสนใจในกรณีของอัตราส่วนของพลังงานที่คาดว่าจะไม่ได้รับในช่วงระยะยาวที่ต้องจ่ายพลังงานให้กับความต้องการพลังงานทั้งหมดในช่วงเวลาเดียวกัน โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (6)

$$LOEP = \sum_k \frac{E_k \cdot p_k}{E} \quad (6)$$

โดยที่	E_k	คือ	พลังงานที่ไม่ได้จ่ายเนื่องจากกำลังผลิตที่ไม่สามารถผลิตได้ (O_k)
	p_k	คือ	ความน่าจะเป็นของกำลังผลิตที่ไม่สามารถผลิตได้ (O_k)
	E	คือ	ความต้องการของพลังงานทั้งหมดในช่วงระยะเวลาของการศึกษา โดยมีหน่วยเป็น MWh/year

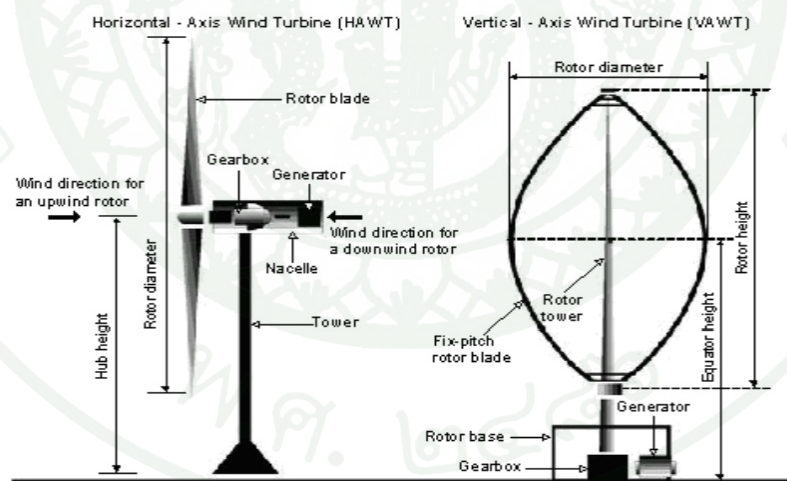
5. Capacity Credit

Luicky, Vandamme, Souto Pérez, Driesen and D'haeseleer (2009) ได้ให้คำจำกัดความถึง Capacity Credit ว่าเป็นความสามารถในการผลิตที่รับประกันได้ในช่วงโหลดสูงสุดซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE และ LOEE เป็นต้น ค่า Capacity Credit นั้นถูกใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนก่อสร้างสถานีไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกด้วย โดยที่ Capacity Credit จะถูกพิจารณาจากกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้พลังงานที่มีความไม่ต่อเนื่อง เช่น พลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์กับกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอ เชื่อมต่อแทนที่ในขณะที่รักษาระดับความเชื่อถือได้ให้อยู่ในระดับเดียวกัน โดยที่ส่วนใหญ่การคิดหาค่า Capacity Credit ทำได้โดยเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้กำลังงานสม่ำเสมอเข้ากับระบบโดยขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้พลังงานไม่ต่อเนื่องนั้นทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่าเดิม ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอเพิ่มเข้าจะใช้เป็นค่า Capacity Credit

Capacity Credit นั้นถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการสนับสนุนการวางแผนติดตั้งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ไม่ต่อเนื่อง โดยสร้างความมั่นใจในด้านความเชื่อถือได้ เพื่อให้สามารถรองรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้ในอนาคต

6. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (Wind Generator)

Mohod (2010) ในระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา ได้มีการตระหนักและให้ความสนใจในการพัฒนาพลังงานทดแทนไฟฟ้าพลังงานลมมากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมนั้นไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านต้นทุนพลังงาน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมสามารถแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ง่าย เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีด้วยกัน 2 ประเภท คือ กังหันลมใบพัดแนวตั้ง (Vertical axis wind turbine) มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับแนวการเคลื่อนที่ของแรงลม ส่วนกังหันลมใบพัดแนวนอน (Horizontal axis wind turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมโดยใบพัดเป็นตัวตั้งฉากกับแรงลม ส่วนใหญ่นิยมใช้กังหันใบพัดแนวนอนมากกว่า



ภาพที่ 1 กังหันลมใบพัดแนวตั้งและแนวนอน

ที่มา: U.S. Energy Information Administration

ส่วนประกอบของกังหันลม

ใบพัด (blade) เป็นตัวที่ใช้รับพลังงานลม และเปลี่ยนเป็นพลังงานกลในการขับเคลื่อนเพลาแกนหมุน (rotor) ของใบพัด

ระบบเบรก (break) เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลาแกนหมุนของกังหันลม

คันทับกับเพลาแกนหมุน (low speed shaft, high speed shaft) เป็นส่วนที่ควบคุมความเร็วของเพลาแกนหมุนให้หมุนช้าหรือเร็วของใบพัด และส่งผ่านระบบส่งกำลัง

ห้องส่งกำลัง (gear box) เป็นระบบที่คอยปรับเปลี่ยน และควบคุมความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนระหว่างเพลาแกนหมุนกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

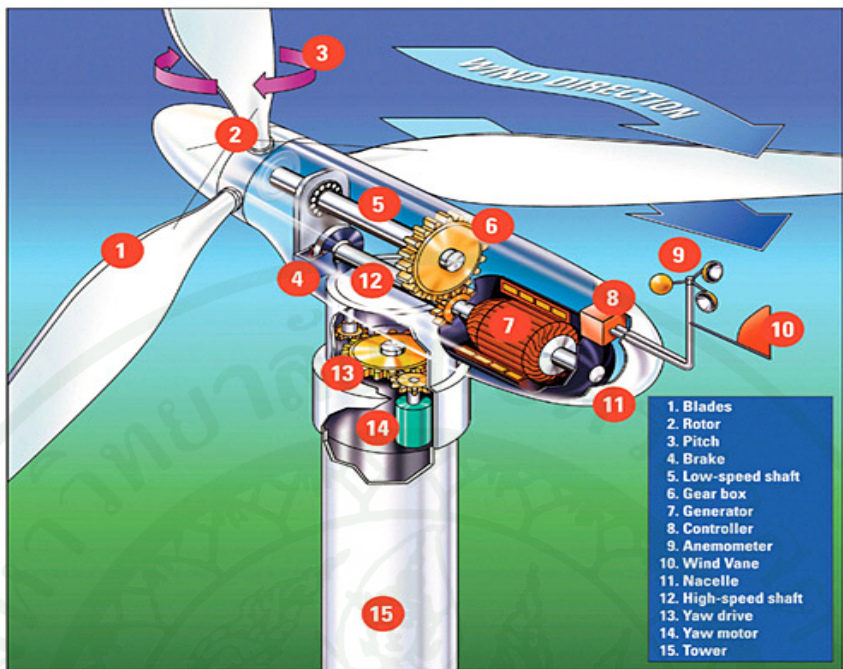
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกล ที่ถูกส่งมาจากเพลาแกนหมุนของใบพัดเป็นพลังงานไฟฟ้า

ตัวควบคุม (controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานเครื่องวัดความเร็วลม

ห้องเครื่อง (nacelle) เป็นห้องควบคุมขนาดใหญ่อยู่ส่วนหลังของใบพัด ใช้บรรจุระบบต่างๆ เช่น ระบบเกียร์, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ระบบเบรก และระบบควบคุม

แกนคอหมุนรับทิศทางลม (yaw drive) เป็นตัวควบคุมการหมุนของห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดปรับทิศทางลม โดยมีมอเตอร์ (yaw motor) เป็นตัวช่วยในการปรับทิศทาง

เสาหรือหอคอย (tower) เป็นส่วนที่แบกรับอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ข้างบน



ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของกังหันลม

ที่มา: Alternative Energy News and Information about Wind Generator Technologies and Innovations.

โดยสามารถคำนวณพลังงานลมจากความเร็วลม, ความหนาแน่นของอากาศ และขนาดของกังหันลมได้จากสมการที่ (7)

$$\text{Wind power output, } P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \tag{7}$$

- โดยที่ P คือ กำลังงานที่ผลิตได้ (Watts)
- ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (มีค่าประมาณ 1.225 kg/m³ ที่ระดับน้ำทะเล)
- A คือ พื้นที่หน้าตัด (m²)
- V คือ ความเร็วลม (m³/second)

พลังงานลมที่ผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกันทั้งชนิดของกังหันลม ลักษณะการติดตั้งกังหันลม ซึ่งข้อเสียของพลังงานลมคือไม่มีความแน่นอนในการผลิตกระแสไฟฟ้าต้องใช้

พื้นที่มากในการติดตั้งกังหันลมเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ปัจจัยที่ทำให้ความเร็วลมไม่ต่อเนื่องนั้นมีด้วยกันหลายสาเหตุ เช่น ฤดูกาล, สภาพอากาศ, ลักษณะของตำแหน่งที่ตั้ง และความสูงของกังหันลม เป็นต้น

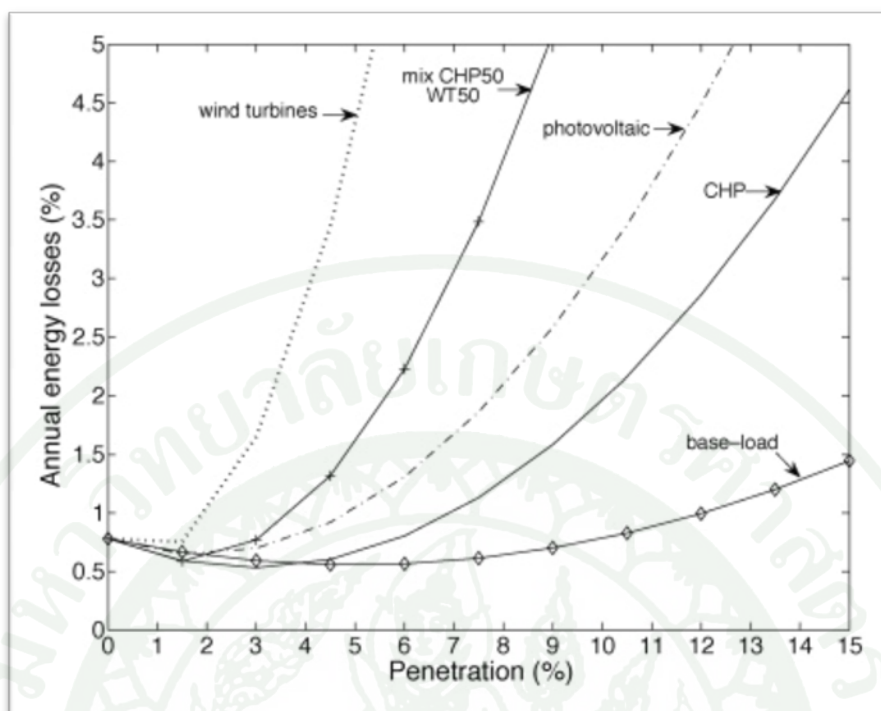
7. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (Distribute Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตระหว่าง 1kW-50MW เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งใกล้กับผู้ใช้ไฟหรือเชื่อมกับระบบจำหน่าย โดยไม่ได้จำกัดว่าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำหรือประเภทอื่นๆ

ปานจิต (2552) ได้กล่าวว่ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีด้วยกันหลายชนิด เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าถ่านหิน, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำ, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งเมื่อเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเข้ากับระบบจำหน่าย จะส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย

เมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเข้ากับระบบจำหน่ายจะเป็นการเพิ่มแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าทำให้สามารถรองรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการเชื่อมต่องังกล่าวก็ส่งผลกระทบต่อระดับแรงดัน, กระแสฟอลต์ และค่าความสูญเสียทางไฟฟ้า ความรุนแรงของผลกระทบขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่เชื่อมต่อเข้ามาในระบบจำหน่าย ซึ่งหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ต่อเข้ามาเป็นแบบเหนี่ยวนำจะจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเข้าระบบแต่จะดึงกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟออกจากระบบ หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบซิงโครนัส จะสามารถปรับตัวประกอบกำลังให้จ่ายหรือดึงกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟก็ได้ ข้อดีที่สำคัญของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กคือสามารถช่วยยกระดับแรงดันของโหลดให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อติดตั้งใกล้กับโหลดที่มีขนาดใหญ่ และอยู่ไกลจากสถานีไฟฟ้า

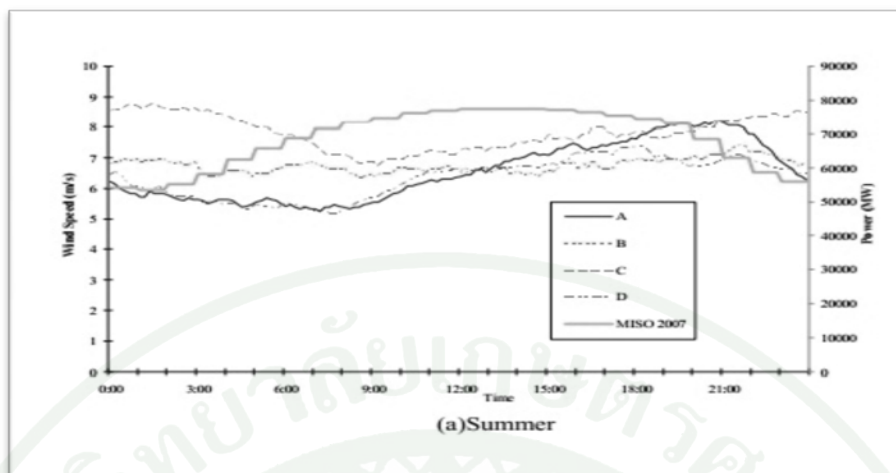
นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กยังสามารถช่วยลดความสูญเสียทางไฟฟ้าในระบบจำหน่ายได้ โดยขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กด้วย ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยได้สร้างแบบจำลองที่เป็นระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ซึ่งแรงดันระดับปานกลาง โดยใช้ระบบของ IEEE 34-node และสร้างแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งในการศึกษาความสูญเสียทางไฟฟ้านั้น ย่อมขึ้นกับจำนวน และขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กด้วย โดยผลของการศึกษานั้น ได้ผลที่แตกต่างกันตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ภาพแสดงความแตกต่างของการสูญเสียทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทต่างๆ

Yi Zhang (2010) อธิบายเกี่ยวกับพลังงานลมที่ใช้เป็นกำลังงานสำรอง ซึ่งพิจารณาการปรับโหลดสูงสุดของแต่ละช่วงเวลา โดยการพิจารณาในช่วงเวลานั้นๆ ได้มีการนิยามไว้ 4 ช่วงเวลา ได้แก่ พิจารณาแบบทันที (Real Time), พิจารณาที่ช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 10 นาที (Shot time), พิจารณาที่ช่วงระยะเวลาเป็นชั่วโมง (Hourly) และพิจารณาช่วงเวลายาวนาน (Long time) โดยที่ค่าพลังงานลมที่ใช้พิจารณานั้นจะใช้เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลานั้นๆ ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาพลังงานลม 4 ตำแหน่ง

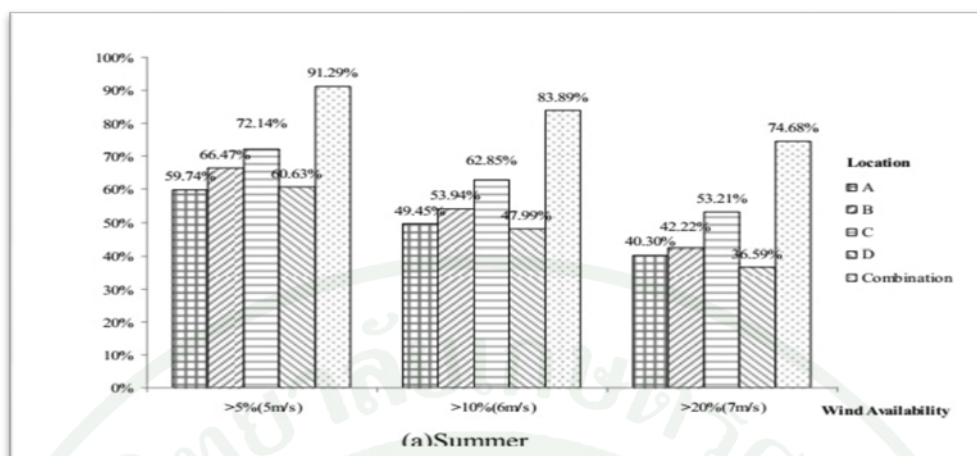
โดยแบ่งพิจารณาเป็นฤดูกาลพิจารณาในช่วงเวลาสั้นๆ โดยการเอาค่าเฉลี่ยของพลังงานลมที่ผลิตได้กับค่าเฉลี่ยของโหลดมาพลอตในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อดูแนวโน้มซึ่งเป็นไปตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการพลอตค่าเฉลี่ยของพลังงานลมกับค่าเฉลี่ยของโหลดในช่วงฤดูร้อน

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่า แต่ละพื้นที่ที่มีพลังงานลมผลิตได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้อธิบายว่าหากเชื่อมต่อพลังงานลมที่ผลิตได้จากทั้ง 4 ตำแหน่งเข้าด้วยกัน จะช่วยให้เปอร์เซ็นต์ของการผลิตไฟฟ้าไม่ได้นั้นลดลง เป็นไปตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ในการผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้ง 4 ตำแหน่ง และแบบเชื่อมต่อทั้ง 4 ตำแหน่ง

บทความนี้ได้เสนอผลกระทบ และความแตกต่างในระดับระบบผลิตซึ่งเป็นระดับฟาร์มลมขนาดใหญ่ ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ในปริมาณมาก

Y.M. Atwa (2010) ได้อธิบายเกี่ยวกับความเพียงพอของระบบจำหน่ายที่มีการรวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับระบบซึ่งพิจารณาความแตกต่างของแต่ละสถานะการทำงาน

การวิเคราะห์ความเพียงพอสามารถทำได้สองวิธีหลักๆ ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์ (analytical) และวิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo)

วิธีการวิเคราะห์ จะอาศัยสร้างแบบจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นสมการเชิงคณิตศาสตร์ ส่วนวิธีมอนติคาร์โลนั้น เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างจากฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น

ในงานวิจัยนี้มีการสมมติระบบจำหน่ายขึ้นมา แบ่งเป็นส่วนขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ตัดตอนของระบบ และหาค่าความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์การจ่ายไฟฟ้าสามารถทำงานได้ โดยอธิบายได้ด้วยสมการที่ (8)

$$DT_g = \left(\sum_{j \in \text{set}G} \sum_{i=1}^m sfr_i \times rt_i \right) \quad (8)$$

โดยที่	DT_g	คือ	ค่าเฉลี่ยเวลาที่ไม่สามารถทำงานได้ของแต่ละส่วน (hours/year)
	sfr_i	คือ	อัตราความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ i (failure/year)
	rt_i	คือ	เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ i ในส่วนของ j (hour)
	m	คือ	จำนวนของอุปกรณ์ในส่วนของ j

โดยสามารถหาความน่าจะเป็นที่ส่วนพื้นที่ g จะทำงานโดยใช้สมการที่ (9)

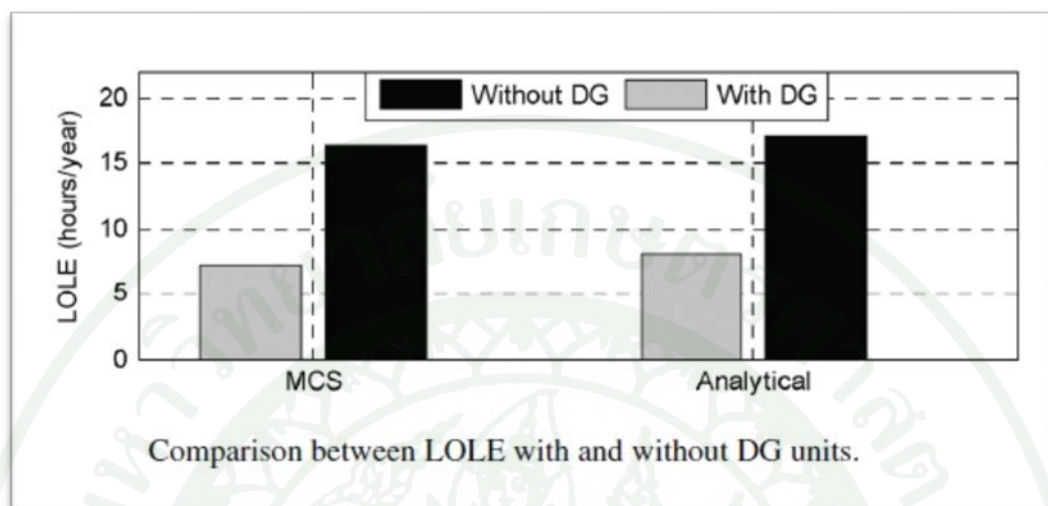
$$P_g = \frac{\left(\sum_{j \in \text{set } G, j \neq g} DT_j \right)}{8760} \quad (9)$$

ในบทความนี้ได้ตั้งกรณีศึกษา 2 กรณี คือ กรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเชื่อมต่อกับระบบ และกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเชื่อมต่อกับระบบ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่พิจารณา คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ซึ่งแสดงอยู่ในรูป MSAM (Multi State Available Model) ตัวอย่าง MSAM ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมในบทความเป็นดังภาพที่ 6

State no	wind speed (m/s)	Power output of the wind turbine (MW)	Probability With FOR=0	Probability With FOR=0.04
1	4 and less	0	0.347	0.37312
2	5	0.2	0.125	0.12
3	6	0.4	0.119	0.11424
4	7	0.6	0.105	0.1008
5	8	0.8	0.087	0.08352
6	9	1	0.069	0.06624
7	10	1.2	0.051	0.04896
8	11	1.4	0.036	0.03456
9	12	1.6	0.024	0.02304
10	13	1.8	0.015	0.0144
11	14 to 22	2	0.022	0.02112

ภาพที่ 6 ภาพแสดงแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่เป็นแบบ MSAM

ผลของการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 2 กรณีศึกษาของบทความนี้ ให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ภาพแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของ 2 กรณี คือ กรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับระบบ และไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

- 1.1 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 7
- 1.2 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2010

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ทางด้านความน่าเชื่อถือ

- 2.1 โปรแกรม Microsoft Office Excel 2010
- 2.2 โปรแกรม MATLAB R2008b

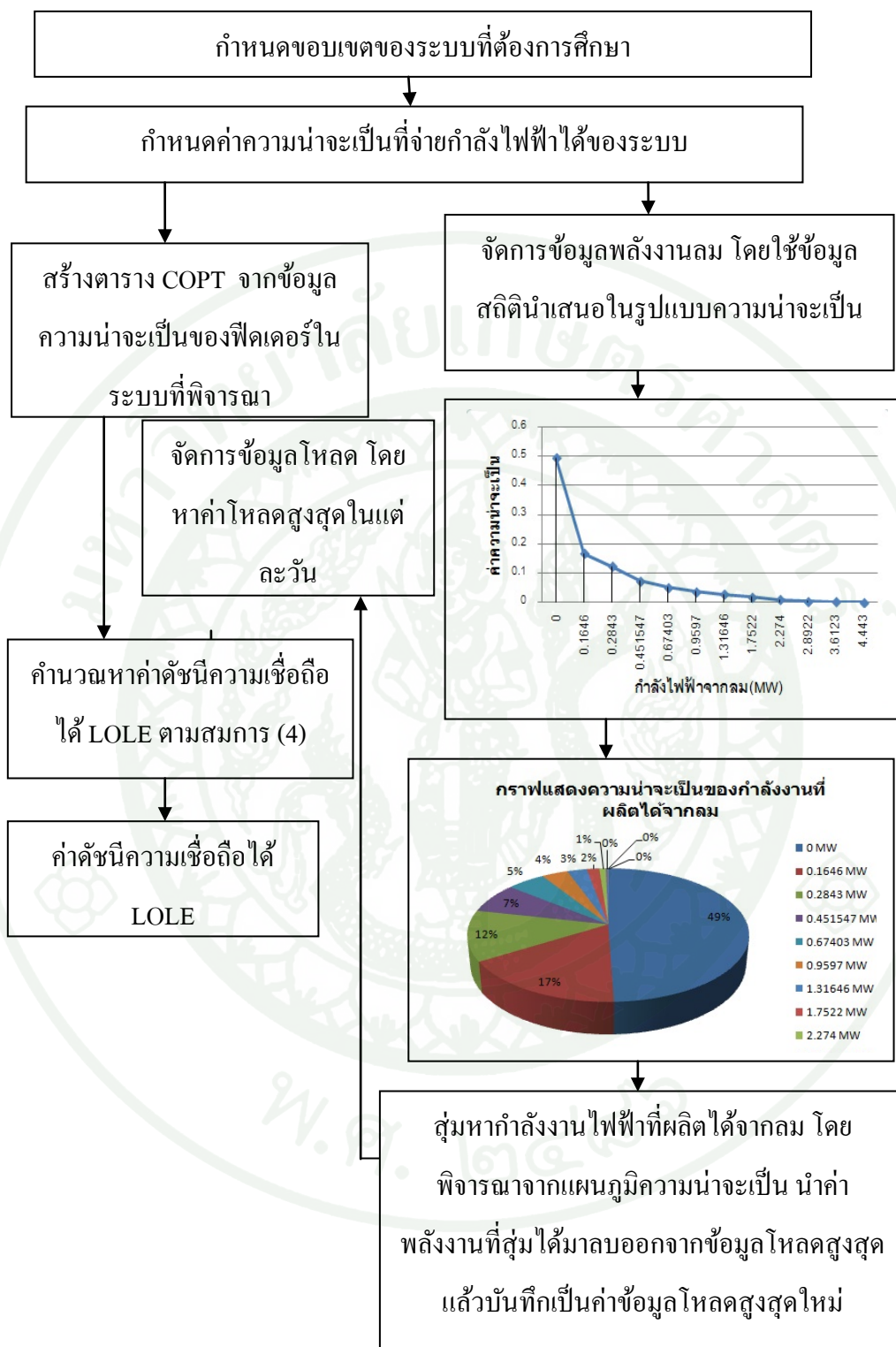
วิธีการ

1. แผนผังการทำงานของโครงการ

การศึกษาผลกระทบของพลังงานลมที่มีต่อระบบจำหน่ายนั้น ใช้ดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เป็นตัวชี้วัด เมื่อเชื่อมต่อพลังงานลมเข้าสู่ระบบจำหน่ายแล้วมีผลกระทบมากน้อยอย่างไรจากระบบเดิมที่มีอยู่ ซึ่งในการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้นจะต้องมีข้อมูลความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าของแต่ละจุดเชื่อมต่อ ไม่ว่าจะเป็นจากฟีดเดอร์โดยตรงหรือจากฟีดเดอร์ข้างเคียงที่เชื่อมต่ออยู่กับฟีดเดอร์ที่พิจารณาข้อมูลเหล่านี้จะอยู่ในในรูปแบบของค่าความน่าจะเป็นในการจ่ายกำลังไฟฟ้าสำเร็จ จากข้อมูลดังกล่าวมานั้นนำมาสร้างตาราง COPT เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับค่าโหลดสูงสุดที่ได้จากค่าสถิติบันทึกไว้ของฟีดเดอร์ที่ต้องการพิจารณา ซึ่งในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับระบบที่สนใจนั้น ต้องนำค่าความน่าจะเป็นของความเร็วลมมาคิดด้วย โดยมีแนวคิดที่ว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลมช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าทำให้ค่าโหลดสูงสุดลดลง แล้วใช้ค่าโหลดสูงสุดที่ลดลงนั้นไปวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE โดยสามารถอธิบายกระบวนการวิเคราะห์ ทั้งกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อ

เข้าระบบที่สนใจ และกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับระบบที่สนใจ ได้ด้วย
ภาพที่ 8

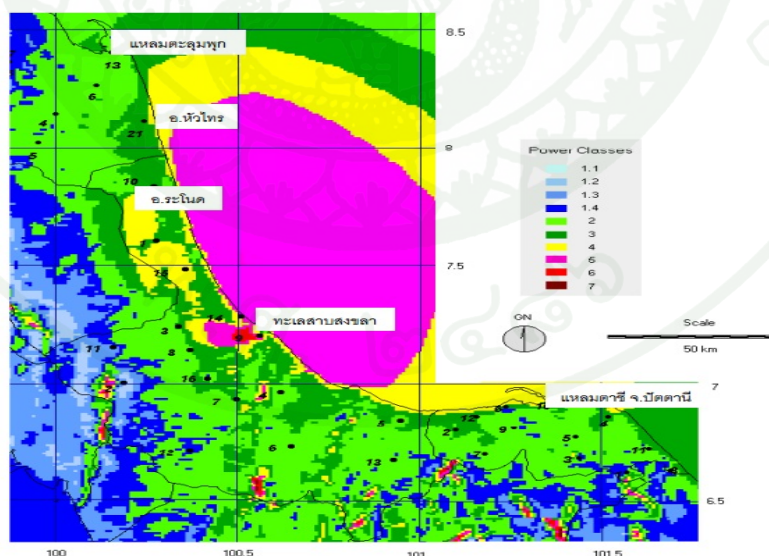




ภาพที่ 8 แผนผังกระบวนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE

2. สถานีไฟฟ้าระนอง จังหวัดสงขลา

สถานีไฟฟ้าระนอง เริ่มให้บริการจำหน่ายไฟฟ้าเมื่อปีพ.ศ. 2511 ซึ่งให้บริการในเขตพื้นที่อำเภอระนอง ต่อมาเมื่อปีพ.ศ. 2554 ได้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้าสู่ระบบจำหน่าย โดยลักษณะของกังหันลมที่ติดตั้งนั้น มีโรเตอร์แบบ Upwind with active pitch control มีรอบความเร็วอยู่ที่ 5-25 rpm โดยมีความเร็วลมเข้าสู่ระบบ (Cut in wind speed) 4 m/s, ความเร็วลมเฉลี่ยเข้าสู่ระบบ (Rated wind speed) 15 m/s และความเร็วลมตัดออกจากระบบ (Cut out wind speed) 30 m/s โดยมีกำลังผลิตสูงสุดที่ผลิตได้อยู่ที่ 4.4 MW ความเร็วลมที่บริเวณติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 4.5 m/s ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการศึกษาศักยภาพพลังงานลมแล้ว มีความเหมาะสมที่สามารถติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมได้ การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเนื่องจากต้องคำนึงถึงความเร็วลมแล้ว ยังต้องคำนึงถึงพื้นที่ในการติดตั้งด้วย ด้วยเทอร์โบไบนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมนั้นมีขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องเลือกสถานที่ที่โล่ง และมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการหมุนของใบพัด ศักยภาพของความเร็วลมบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยแสดงดังภาพที่ 9

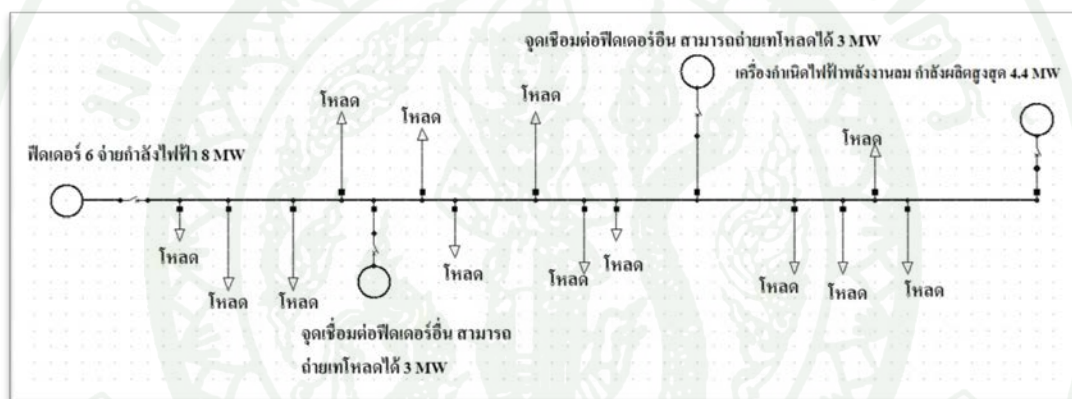


ภาพที่ 9 แผนที่ศักยภาพพลังงานลมทางบริเวณชายฝั่งอ่าวไทยของประเทศไทย

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงพลังงาน

3. ระบบที่พิจารณา

ศึกษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าฟีดเดอร์ 6 ที่สถานี ระโนด จ.สงขลา ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย ซึ่งสมมติให้ฟีดเดอร์ที่พิจารณาจ่ายโหลดขนาด 8 MW โดยให้ความน่าจะเป็นที่สามารถใช้งานได้ของหม้อแปลงกำลังที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้ฟีดเดอร์มีค่าเท่ากับ 0.96 และให้ฟีดเดอร์นี้มีการเชื่อมต่อกับฟีดเดอร์อื่นจำนวน 2 จุด ซึ่งแต่ละจุดสามารถถ่ายเทโหลดได้ 3 MW ความน่าจะเป็นในการถ่ายเทโหลดสำเร็จเท่ากับ 0.8 และที่ปลายฟีดเดอร์มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม แบบจำลองของระบบที่พิจารณาเป็นไปตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แบบจำลองระบบศึกษาที่พิจารณาเป็นระบบจำหน่ายของฟีดเดอร์ 6 ของสถานีไฟฟ้าระโนด

ภาพที่ 10 เป็นเพียงหนึ่งฟีดเดอร์ของสถานีไฟฟ้า เป็นการจำลองฟีดเดอร์ 6 ของสถานีไฟฟ้าระโนดที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม โดยมีภาพที่ 11 เป็นภาพแผนผังจริงของสถานีไฟฟ้าระโนดซึ่งประกอบไปด้วยหลายฟีดเดอร์

4. การสร้างแบบจำลองการจ่ายกำลังไฟฟ้าด้วยตาราง COPT

จากข้อมูลค่าความน่าจะเป็นที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าของฟีดเดอร์ที่พิจารณารวมไปถึงจุดเชื่อมต่อที่มีการถ่ายเทโหลดได้ นำมาสร้างตาราง COPT โดยแยกตารางเป็น 2 ตารางย่อย พิจารณาที่ฟีดเดอร์ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 8 MW ที่มีความน่าจะเป็นในการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เท่ากับ 0.96 และที่จุดเชื่อมต่อ 2 จุด ที่สามารถถ่ายเทโหลดได้ 3 MW ซึ่งมีความน่าจะเป็นในการถ่ายเทโหลดสำเร็จเท่ากับ 0.8 โดยใช้สมการที่ (10) ในการหาความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะเป็นไปตามตารางที่ 2 ซึ่งคิดที่จุดเชื่อมต่อของฟีดเดอร์ข้างเคียงที่สามารถถ่ายเทโหลดได้ และตารางที่ 3 คิดที่ฟีดเดอร์ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 8 MW

ขั้นตอนการหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะการจ่ายกำลังไฟฟ้า จะสร้างให้อยู่ในรูปของค่าเชิงคณิตศาสตร์ ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการสร้างแบบจำลอง โดยมีหลักการพื้นฐานตามสมการที่ (10)

$$P_r = {}^n C_r U^r A^{n-r} \quad (10)$$

โดยที่	A	คือ	ความน่าจะเป็นของหน่วยผลิตที่สามารถใช้งานได้
	U	คือ	ความน่าจะเป็นของหน่วยผลิตที่ไม่สามารถใช้งานได้
	n	คือ	จำนวนหน่วยผลิตที่พิจารณา
	r	คือ	จำนวนหน่วยผลิตที่ไม่สามารถทำงานได้
	P_r	คือ	ความน่าจะเป็นของหน่วยผลิตที่ไม่สามารถทำงานได้ของแต่ละสถานะ

ตารางที่ 2 ตารางความน่าจะเป็นในการถ่ายเทโหลดสำเร็จของแต่ละจุดเชื่อมต่อที่มีขนาดการถ่ายเท โหลดได้จุดละ 3 MW จำนวน 2 จุดเชื่อมต่อ

state	Capacity In (MW)	Capacity Out (MW)	Probability state	Probability state
1	6	0	${}^2C_0 \cdot (0.8)^2 \cdot (0.2)^0$	0.64
2	3	3	${}^2C_1 \cdot (0.8) \cdot (0.2)$	0.32
3	0	6	${}^2C_2 \cdot (0.8)^0 \cdot (0.2)^2$	0.04

ตารางที่ 3 ตารางความน่าจะเป็นของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของฟีดเดอร์หนึ่งของสถานีไฟฟ้า ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ 8 MW

state	Capacity In (MW)	Capacity Out (MW)	Probability state	Probability state
1	8	0	${}^1C_0 \cdot (0.96)^1 \cdot (0.04)^0$	0.96
2	0	8	${}^1C_1 \cdot (0.96)^0 \cdot (0.04)^1$	0.04

จากตารางความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้า ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 นำมาสร้างตาราง COPT ของระบบที่พิจารณาโดยการรวมตารางทั้ง 2

ในการรวมตารางทั้งสองนั้นสามารถทำได้โดยค่ากำลังงานไฟฟ้าเกิดจากการรวมกันของทั้งสองตาราง และค่าความน่าจะเป็นของแต่ละสถานะเกิดจากการคูณกันของสถานะนั้นๆ ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตาราง COPT ที่เกิดจากการคำนวณความน่าจะเป็นในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของฟีดเดอร์ และแต่ละจุดเชื่อมต่อของฟีดเดอร์ข้างเคียงที่สามารถถ่ายเทโหลดได้

state	Capacity In (MW)	Capacity Out (MW)	State Probability	Cumulative Probability
1	8	0	0.96	1
2	6	8	0.64•0.04	0.04
3	3	11	0.32•0.04	0.0144
4	0	14	0.04•0.04	0.0016

5. แบบจำลองโหลด (Load Model)

แบบจำลองโหลดที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือ LOLE จะเป็นค่าโหลดสูงสุดในแต่ละวัน ค่าโหลดถูกบันทึกไว้จะอยู่ในรูปค่าเฉลี่ยของทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 31 วัน ซึ่งยกตัวอย่างจำนวน 19 วัน ตั้งแต่เวลา 00:00 น. ถึง 03:00 น. ซึ่งแสดงตัวอย่างค่าที่บันทึกจริงให้เห็นอยู่ในตารางที่ 5

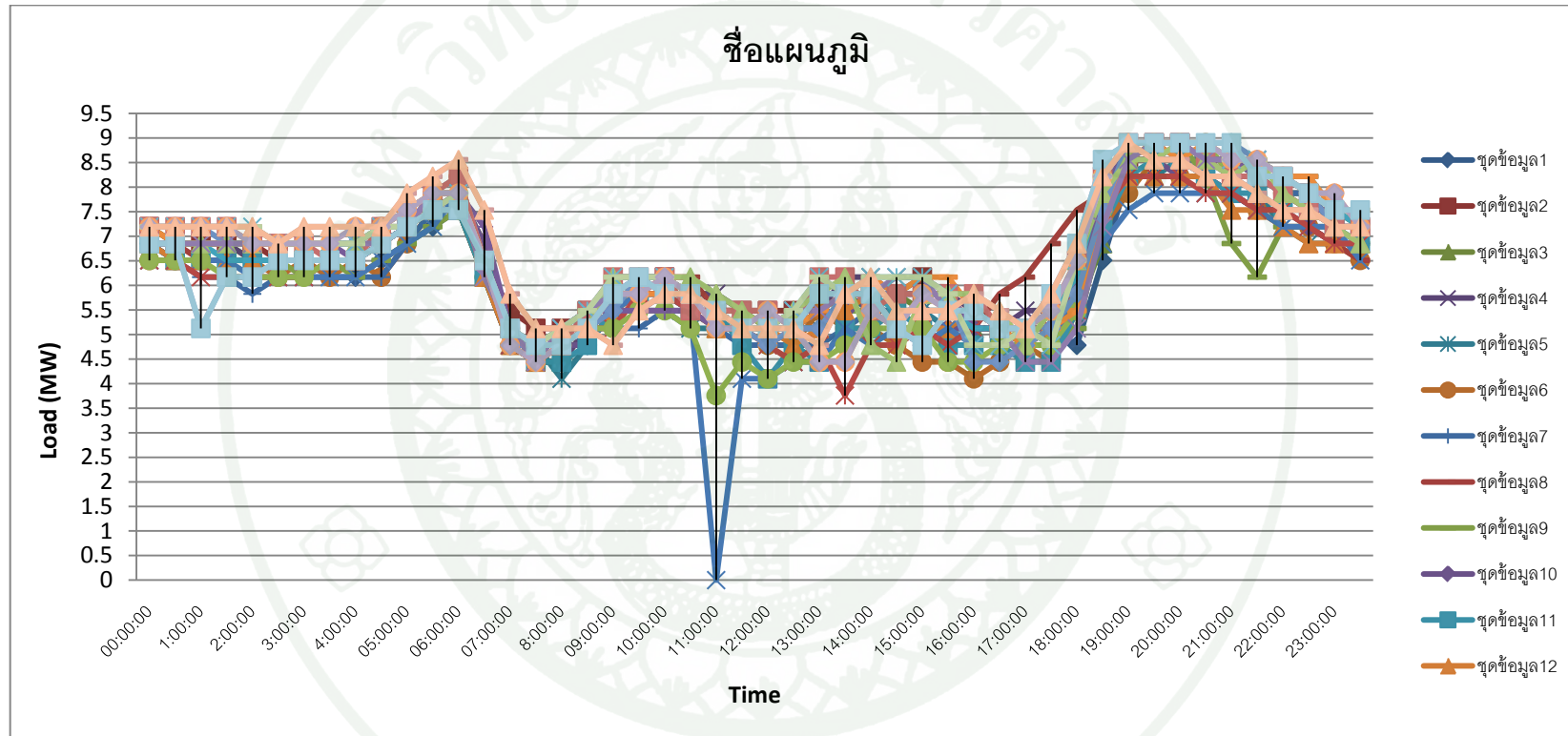
ตารางที่ 5 ตัวอย่างตารางการเก็บค่าโหลดของแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน วันที่ 1 ถึงวันที่ 19 เวลา 00:00 น. ถึง 03:00 น.

วัน/เวลา	00:00:00	0:30:00	1:00:00	1:30:00	2:00:00	02:30:00	3:00:00
1	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259
2	7.193434	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.510259	6.510259
3	7.193434	6.851847	6.851847	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259
4	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259
5	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259

ตารางที่ 5 (ต่อ)

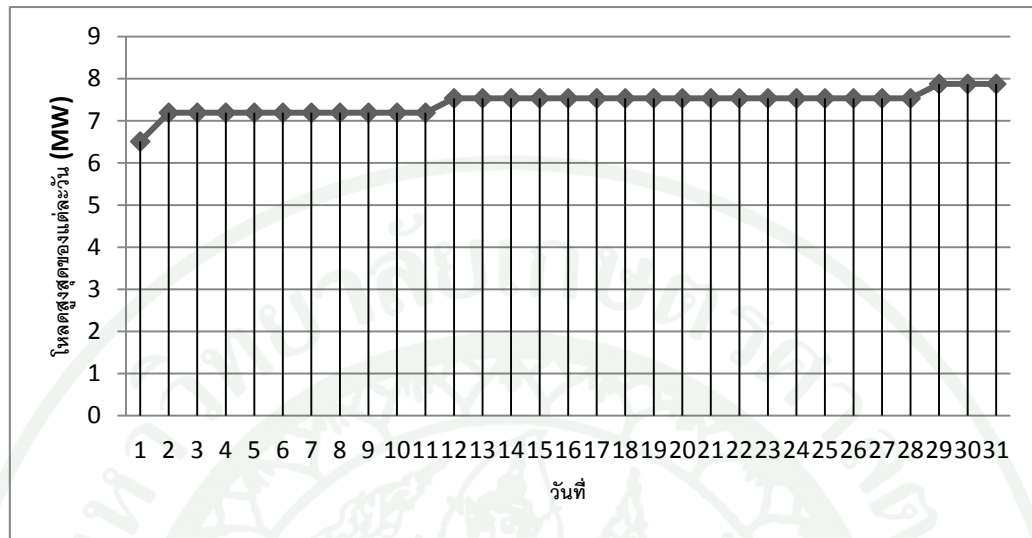
วัน/เวลา	00:00:00	0:30:00	1:00:00	1:30:00	2:00:00	02:30:00	3:00:00
6	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.168672	6.510259
7	6.510259	6.510259	6.168672	6.168672	5.827084	6.168672	6.168672
8	6.851847	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259
9	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.168672
10	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259
11	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259
12	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259
13	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259	6.168672	6.168672	6.168672
14	6.510259	6.510259	6.168672	6.168672	6.168672	6.168672	6.168672
15	6.510259	6.510259	6.510259	6.168672	6.168672	6.168672	6.168672
16	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847
17	6.851847	6.851847	6.851847	6.510259	6.510259	6.510259	6.510259
18	7.193434	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847
19	7.193434	7.193434	7.193434	6.851847	6.851847	6.851847	6.851847

ซึ่งจะเฉลี่ยค่าไหลตทุทุกๆ 30 นาที แล้วหาค่าไหลสูงสุดของแต่ละช่วงเวลา แสดงในรูปกราฟได้ดังภาพที่ 12 พิจารณาได้ว่าไหลตในแต่ละวันจะมีลักษณะคล้ายกันในช่วงเวลาเดียวกัน โดยส่วนใหญ่จะสูงที่ช่วงเวลา 19:00 น. ถึง 21:00 น.



ภาพที่ 12 ภาพแสดงค่าโหลดของแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวัน

หาค่าสูงสุดของแต่ละวันได้ แสดงอยู่ในรูปของกราฟ Load Curve ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กราฟแสดงค่าโหลดสูงสุดในแต่ละวัน

กราฟที่แสดงค่าโหลดสูงสุดในแต่ละวันคือ Load Curve ซึ่งหมายถึงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหลด (KW หรือ MW) และเวลา (วัน เดือน ปี)

เมื่อนำมาสรุปค่าสูงสุด กับจำนวนวันได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าโหลดสูงสุดกับจำนวนวันที่เกิดขึ้น

โหลดสูงสุดในแต่ละวัน (MW)	6.51	7.19	7.54	7.88
จำนวนวัน	1	10	17	3

6. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

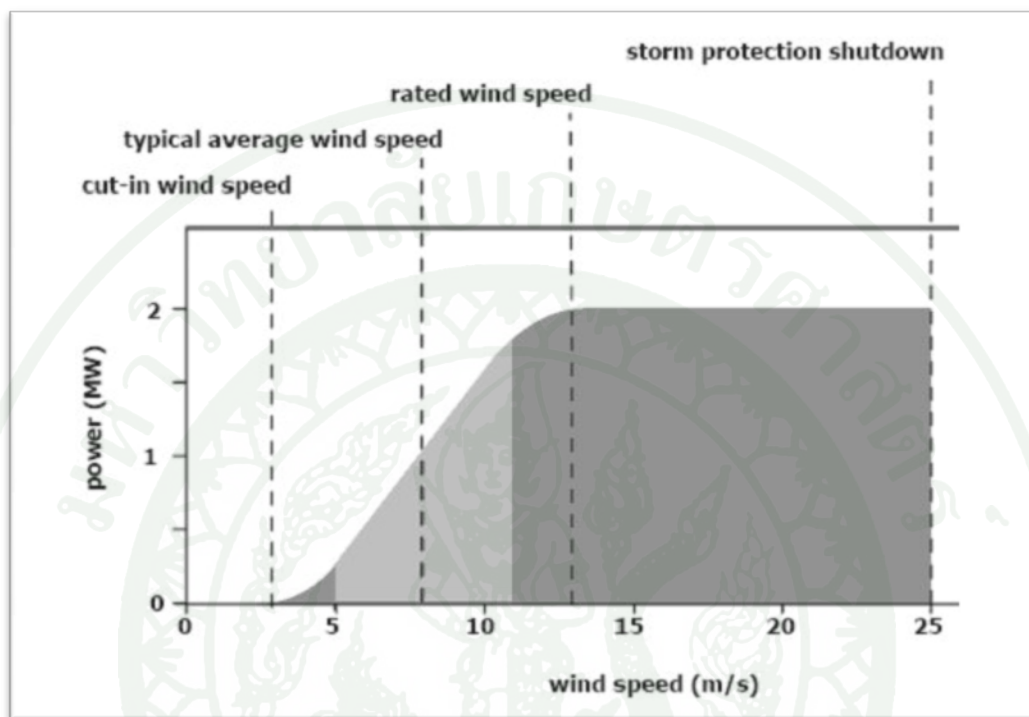
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ต่อเข้ากับระบบที่พิจารณากำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับความเร็วลม และตำแหน่งที่ติดตั้ง โดยที่มีกรับบันทึกค่าสถิติความเร็วลมที่ความสูงระดับติดตั้งกำหนดเป็นเวลามา 1 ปี สามารถหาค่าความน่าจะเป็นของความเร็วลมที่เกิดขึ้นได้ตลอดทั้งปี เนื่องจากค่าที่บันทึกนั้นจะบันทึกทุกๆ 30 นาทีค่าความน่าจะเป็นที่หามาได้นั้นเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งสามารถสรุปค่าความน่าจะเป็นตามช่วงความเร็วลมตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตารางแสดงความน่าจะเป็นความเร็วลมที่ระดับความเร็วที่แตกต่างกัน

state no (X)	wind speed(m/s)	power output (W)	Probability
1	≤ 4 และ < 5	0	0.494479
2	≥ 5 และ < 6	213927.2	0.167274
3	≥ 6 และ < 7	354543.8	0.123046
4	≥ 7 และ < 8	548850	0.074055
5	≥ 8 และ < 9	799026	0.050907
6	≥ 9 และ < 10	1115492.7	0.035216
7	≥ 10 และ < 11	1502699.5	0.026336
8	≥ 11 และ < 12	1965346.3	0.016697
9	≥ 12 และ < 13	2494222.1	0.008747
10	≥ 13 และ < 14	3138584.7	0.002391
11	≥ 14 และ < 15	3863711.6	0.000626
12	≥ 15 และ ≤ 30	4443068.1	0.000228

ค่าความน่าจะเป็นของความเร็วลมในระดับต่าง ๆ นั้นบ่งบอกความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมในตำแหน่งนั้นๆ ว่าสามารถผลิตได้มากน้อยอย่างไร มีความน่าจะเป็นในการผลิตได้เท่าใด ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมนั้น

ไม่มีมีความแน่นอน และไม่เป็นเชิงเส้น ลักษณะของพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น แบ่งตามช่วงของความเร็วลม โดยเป็นไปตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ลักษณะของพลังงานที่ผลิตได้เมื่อความเร็วลมแตกต่างกัน

ที่มา: wikipedia

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมจะเป็นไปตามสมการที่ (8)

$$Power\ Output = \begin{cases} 0 & ; v < v_{cut\ in} \\ \frac{1}{2} \rho A v^3 & ; v_{cut\ in} < v \leq v_{rate} \\ \frac{1}{2} \rho A v_{rate}^3 & ; v_{rate} \leq v \leq v_{cut\ off} \end{cases} \quad (8)$$

โดยที่	P	คือ	กำลังงานที่ผลิตได้ (Watts)
	ρ	คือ	ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.225 kg/m^3 ที่ระดับน้ำทะเล
	A	คือ	turbine rotor swept area, exposed to the wind (m^2)
	V	คือ	ความเร็วลม (m/s)

โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ที่ติดตั้งในสถานีไฟฟ้าระโนดมีคุณสมบัติสำคัญดังต่อไปนี้

โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีคุณสมบัติเป็นไปตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางแสดงคุณสมบัติของส่วนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

Type	Upwind with active pitch control
Direction of rotation	Clockwise
Number of blades	3
Swept area	No less than 3800 m^2
Blade material	Fiberglass/Epoxy or Better Engineering materials
Rotation speed	5-25 rpm

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีคุณสมบัติตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตารางแสดงคุณสมบัติของส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

Type	Direct-drive synchronous generator
Continuous rating	Not less than 1.5 MW 1 sets
Operating voltage	Not less than 600 V
Insulation class	F
Rated frequency	50 Hz

ลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม มีคุณสมบัติดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางแสดงลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

Cut in wind speed	Not more than 4 m/s
Rated wind speed	Not more than 15 m/s
Cut out wind speed	Not more than 30 m/s
Survival wind speed	Not more than 70 m/s

จากค่าความน่าจะเป็นของความเร็วลมใช้ในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานลมที่สามารถผลิตได้ในช่วงเวลาโหลดสูงสุดของแต่ละวัน เนื่องจากความไม่แน่นอนของความเร็วลมการสุ่มจากความน่าจะเป็นของระดับพลังงานลม ซึ่งความน่าจะเป็นที่บันทึกได้นั้นนำเสนอในรูปแบบการกระจายตัวที่ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็น ตามสมการที่ (9)

$$P_x(x) = P[X = x] \quad (9)$$

โดยที่ $P_x(x)$	คือ	ฟังก์ชันแสดงความน่าจะเป็นที่ตัวแปรสุ่มจะมีค่าเท่ากับ x
X	คือ	ตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่อง
x	คือ	ค่าสถานะของความเร็วลม

ค่าสถานะของความเร็วลมที่สุ่มมาได้นั้น จะบ่งชี้ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานลม ค่ากำลังงานไฟฟ้านี้ใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ในขั้นตอนต่อไป

7. กรณีศึกษา

จากระบบที่พิจารณาเพื่อต้องการศึกษาผลกระทบของพลังงานลมที่เข้ามาในระบบจำหน่ายในด้านของความเชื่อถือได้ในความเพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟ จึงตั้งกรณีศึกษา 3 กรณี คือ

7.1 กรณีที่ 1 กรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับฟีดเดอร์ ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สม่ำเสมอ

เนื่องจากต้องการพิจารณาในกรณีที่ระบบเดิมที่ยังไม่มีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม จะทำให้เห็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่บ่งบอกความเพียงพอต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ

7.2 กรณีที่ 2 กรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับฟีดเดอร์

ให้ฟีดเดอร์ที่พิจารณามีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ซึ่งกำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นเป็นไปตามค่าความเร็วลมที่เก็บข้อมูลได้ โดยอธิบายในรูปของความน่าจะเป็นในการผลิตกำลังไฟฟ้าจากพลังงานลม

7.3 กรณีที่ 3 กรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้า

สม่ำเสมอแทนการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

กำหนดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สม่ำเสมอแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ซึ่งจะให้เห็นความแตกต่างระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีความแน่นอนในการจ่ายกำลังไฟฟ้า

ทั้ง 3 กรณีนั้นจะใช้วิธีการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่ใกล้เคียงกัน แต่กรณีที่ 2 และ 3 จะนำกำลังงานไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเพิ่มเข้ากับระบบศึกษามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดสูงสุดที่นำมาคำนวณในกระบวนการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE

8. การคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE

ดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้นเป็นดัชนีที่แสดงถึงความเสี่ยงที่กำลังผลิตจะสามารถผลิตได้น้อยกว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถหาตามขั้นตอนดังภาพที่ 3 ซึ่งเริ่มต้นจากสร้างตาราง COPT ที่เป็นแบบจำลองในการผลิตของฟีดเดอร์ที่พิจารณา ตาราง COPT ที่ใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้นเป็นไปตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ตาราง COPT ของกรณีศึกษา

state	Capacity In (MW)	Capacity Out (MW)	State Probability	Cumulative Probability
1	8	0	0.96	1
2	6	8	0.64•0.04	0.04
3	3	11	0.32•0.04	0.0144
4	0	14	0.04•0.04	0.0016

โดยตารางที่ 11 นั้นมาจากการหาค่าความน่าจะเป็นที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ของกรณีศึกษา ที่มีจุดเชื่อมต่อเพื่อการถ่ายเทโหลด 2 จุด จุดละ 3 MW และฟีดเดอร์ที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ 8 MW จากตารางจะเห็นว่า ความน่าจะเป็นที่ไม่สามารถจ่ายกำลังผลิตได้ในปริมาณมาก ๆ นั้นมีค่าน้อย ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้นความน่าจะเป็นเหล่านี้ขึ้นอยู่กับ ความน่าจะเป็นในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของฟีดเดอร์เอง และจุดเชื่อมต่อเพื่อถ่ายเทโหลดด้วย

ขั้นตอนต่อมาของการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้น จำเป็นต้องมีค่าโหลดสูงสุด โดยค่าโหลดสูงสุดในแต่ละวันมาจากการเก็บข้อมูลทางสถิติ ในงานวิจัยนี้ จากการนำข้อมูลโหลดสูงสุดจำนวน 31 วัน เพื่อใช้ในการคำนวณซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงค่าโหลดสูงสุด ใน 31 วัน

โหลดสูงสุดในแต่ละวัน (MW)	จำนวนวัน
6.51	1
7.19	10
7.54	17
7.88	3

การคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้นจะเป็นไปตามสมการที่ (9)

$$LOLE = \sum_{i=1}^n P_i (C_i - L_i) \quad (9)$$

โดยที่	C_i	คือ	กำลังผลิตในวันที่ i
	L_i	คือ	โหลดสูงสุดที่คาดการณ์ไว้ในวันที่ i
	P_i	คือ	ความน่าจะเป็นที่จะสูญเสียโหลดในวันที่ i
	$LOLE$	คือ	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีหน่วยเป็น วัน/ช่วงเวลา

8.1 การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของกรณีที่ 1 ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับฟีดเดอร์

จาก สมการที่ (9) จะคำนวณได้ว่า

$$LOLE = 1 \cdot (P_1 \cdot (14 - 6.51)) + 10 \cdot (P_2 \cdot (14 - 7.19)) + 17 \cdot (P_3 \cdot (14 - 7.54)) + 3 \cdot (P_4 \cdot (14 - 7.88))$$

$$LOLE = 1 \cdot P_1(7.5) + 10 \cdot P_2(6.81) + 17 \cdot P_3(6.46) + 3 \cdot P_4(6.12)$$

$$LOLE = (1 \cdot 0.04) + (10 \cdot 0.04) + (17 \cdot 0.04) + (3 \cdot 0.04)$$

$$LOLE = 1.24 \%$$

ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ในกรณีที่ 1 ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับ 1.24 % ซึ่งสามารถคิดเป็นหน่วย วันต่อเดือน ดังต่อไปนี้

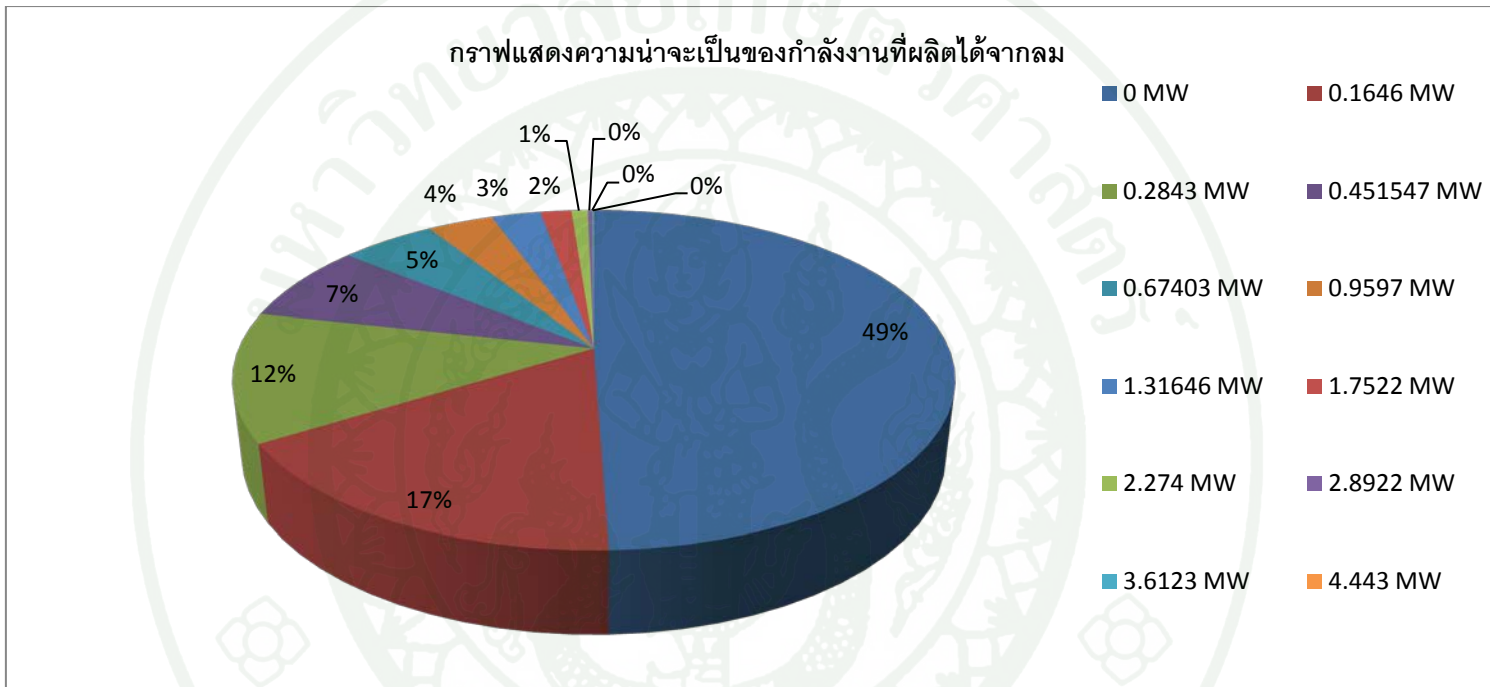
$$LOLE = \frac{1.24 \cdot 31}{100} \quad (\text{วันต่อเดือน})$$

$$LOLE = 0.3844 \quad (\text{วันต่อเดือน})$$

กรณีที่ 1 จะมีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เท่ากับ 0.3844 วันต่อเดือน

8.2 การหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของกรณีที่ 2 มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับฟีดเดอร์

ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้าสู่ฟีดเดอร์ที่พิจารณานั้น เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าที่สม่ำเสมอแน่นอนออกมาได้ เพราะความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา ทั้งนี้ในการคำนวณนั้นจำเป็นต้องใช้ค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่สามารถผลิตได้ จึงสร้างตารางความน่าจะเป็นของการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ โดยความน่าจะเป็นนี้ได้มาจากค่าสถิติของความเร็วลมเป็นระยะเวลา 1 ปี จากค่าความน่าจะเป็นที่แจกแจงแล้วนั้น จะถูกแบ่งตามความน่าจะเป็น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพภาพที่ 15 แจกแจงเป็นตารางได้ดังตารางที่ 13 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลเป็นไปตามภาคผนวก

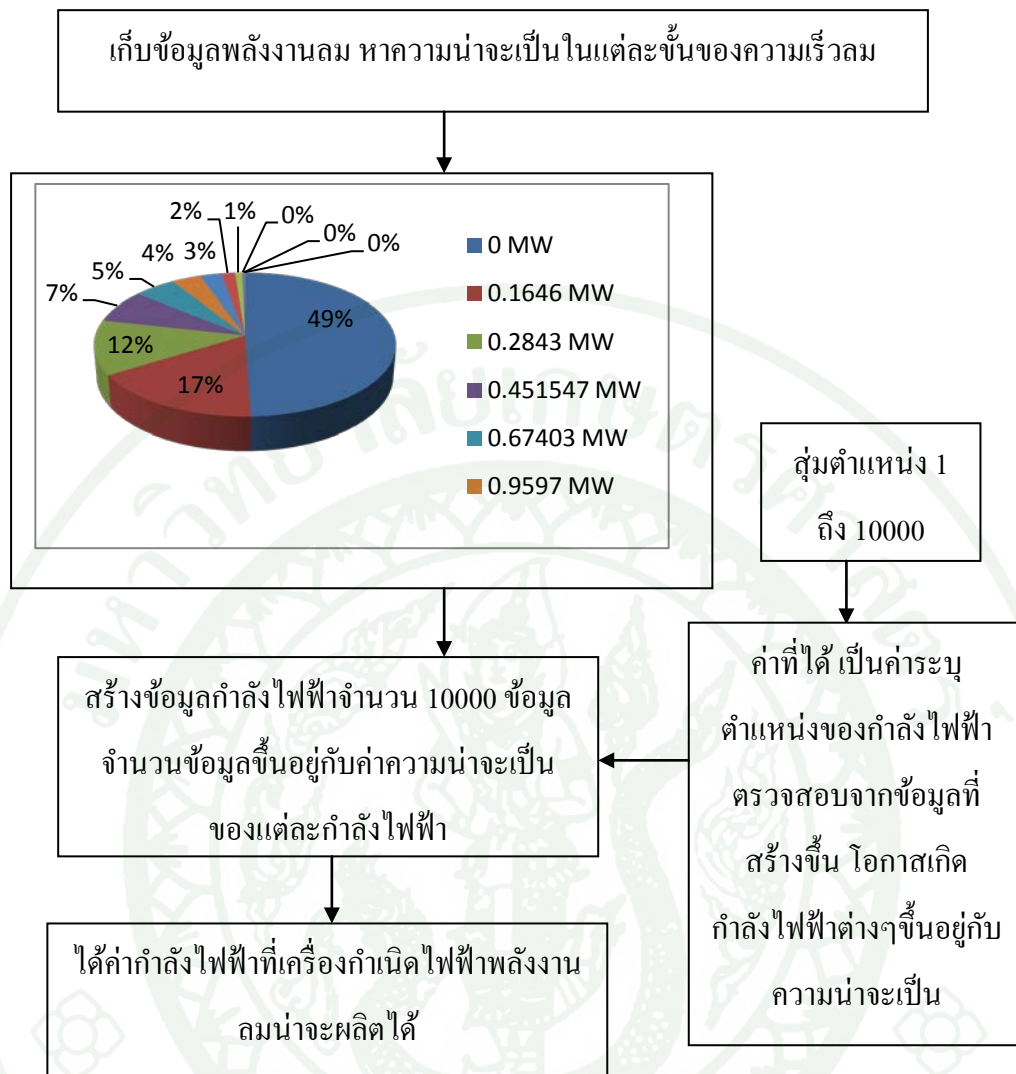


ภาพที่ 15 แผนภูมิความน่าจะเป็นของการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

ตารางที่ 13 ตารางแจกแจงความน่าจะเป็นของการผลิตกำลังไฟฟ้าในขนาดต่างๆได้

state no (X)	wind speed(m/s)	power output (W)	Probability
1	≤ 4	0	0.494479
2	≥ 5 และ < 6	213927.2	0.167274
3	≥ 6 และ < 7	354543.8	0.123046
4	≥ 7 และ < 8	548850	0.074055
5	≥ 8 และ < 9	799026	0.050907
6	≥ 9 และ < 10	1115492.7	0.035216
7	≥ 10 และ < 11	1502699.5	0.026336
8	≥ 11 และ < 12	1965346.3	0.016697
9	≥ 12 และ < 13	2494222.1	0.008747
10	≥ 13 และ < 14	3138584.7	0.002391
11	≥ 14 และ < 15	3863711.6	0.000626
12	≥ 15 และ ≤ 30	4443068.1	0.000228

จากแผนภูมิความน่าจะเป็นจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่มีค่าความน่าจะเป็นมากย่อมมีโอกาสสุ่มได้กำลังไฟฟ้านั้นมากกว่ากำลังไฟฟ้าที่มีค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าน้อย โดยหลักการคิดคิดแบบการสุ่มค่าตัวแปรซึ่งอธิบายด้วยสมการที่ (9) ในการเขียน โปรแกรมนั้นเริ่มจากการสร้างข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมซึ่งเป็นไปตามความน่าจะเป็น สมมติเช่น ที่กำลังไฟฟ้า 0.3 MW มีความน่าจะเป็นในการผลิตได้มีค่าเท่ากับ 10% ก็จะสร้างข้อมูล 0.3 MW จำนวน 10 ค่าเป็นต้น จากตารางค่าความน่าจะเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 13 นำมาสร้างข้อมูลกำลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 10000 ค่า ตามสัดส่วนความน่าจะเป็นที่เก็บสถิติไว้ จะระบุตำแหน่ง กำลังงาน ไฟฟ้าที่มีความน่าจะเป็นในการผลิตได้สูงจะมีหลายตำแหน่ง ในการสุ่มนั้นจะสุ่มตำแหน่งแล้วดูว่าตรงกับกำลังไฟฟ้าใดจึงนำค่านั้นมาใช้ในขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนในการสุ่มนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพ ภาพที่ 1



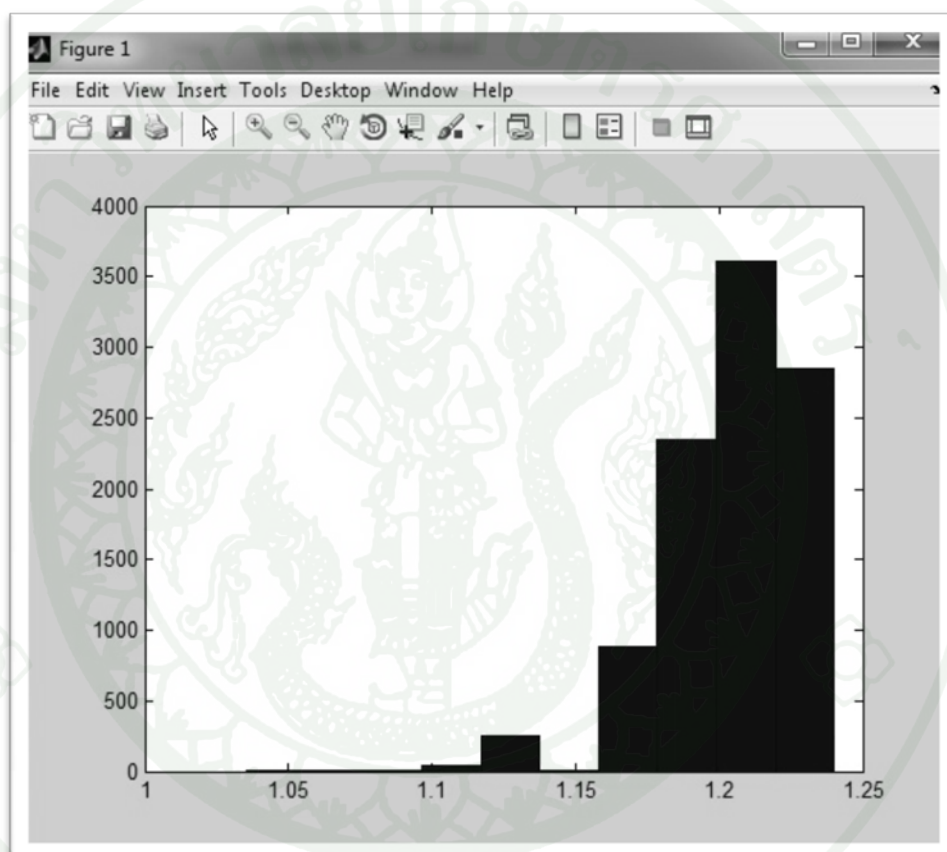
ภาพที่ 16 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสุ่มหาลำดับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้

ขั้นตอนต่อมาหลังจากได้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้แล้ว นำค่าที่ได้ไปลดจากค่าโหลดสูงสุดแล้วเก็บเป็นค่าโหลดสูงสุดใหม่ เพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ทำเช่นเดียวกันนี้ทั้ง 31 วัน แล้วนำค่าโหลดสูงสุดที่ผ่านการลดลงจากกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้แล้วมาคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ต่อไป

เพื่อแม่นยำจึงทำทั้งหมด 1000 รอบแล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE โดยขั้นตอนในการสุ่ม และหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้นได้ใช้โปรแกรม Matlab ซึ่ง

เป็นโปรแกรมทางวิศวกรรมในการช่วยหาค่าพลังงานลม และช่วยในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ซึ่งโปรแกรมนี้เป็นไปตามภาคผนวก ข

โดยค่า LOLE นั้นจะมีหลายค่าเนื่องจากการหาค่ากำลังงานไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้นั้นแตกต่างกัน เป็นไปตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของ 1000 รอบ

ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE นั้นได้มาจากค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ซึ่งในกรณีที่ 2 จะมีค่าดัชนีความเชื่อถือได้เท่ากับ 1.2144% ซึ่งเท่ากับ 0.3765 วันต่อเดือน

$$LOLE = \frac{1.2144 \cdot 31}{100} \quad (\text{วันต่อเดือน})$$

$$LOLE = 0.3765 \quad (\text{วันต่อเดือน})$$

กรณีที่ 2 จะมีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เท่ากับ 0.3765 วันต่อเดือน

8.3 กรณีที่ 3 กรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอแทนการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

ในกรณีนี้เป็นการสมมติว่าหากมีการแทนการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดสม่ำเสมอ ขนาดเท่ากับ 1.5 MW ค่าดัชนีความเชื่อถือได้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร แตกต่างกับกรณีที่ไม่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมอย่างไร โดยที่จะพิจารณาที่ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE

กรณีที่ 3 นี้ จะใช้แนวคิดเดียวกับกรณีที่ 2 ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมต่ออยู่กับระบบ โดยในที่นี้จะนำค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แน่นอนสม่ำเสมอ ลบออกจากค่าโหลดสูงสุดของแต่ละวัน โดยไม่ต้องทำการสุ่มเนื่องจากมีความแน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการวิเคราะห์จากโปรแกรม Matlab ดังภาคผนวก ข ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่ากับ 0.958% ซึ่งคิดเป็นหน่วย วันต่อเดือนได้ว่า

$$LOLE = \frac{0.958 \cdot 31}{100} \quad (\text{วันต่อเดือน})$$

$$LOLE = 0.297 \quad (\text{วันต่อเดือน})$$

เนื่องจากค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่แตกต่างกับกรณี 2 มากจึงได้คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดอื่นๆ ซึ่งการหาค่านั้นได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Matlab ดังภาคผนวก ข ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่ากำลังไฟฟ้าที่ขนาดต่างๆ ได้ผลเป็นตามตารางที่ 14 โดยมีการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ และวันต่อเดือน

ตารางที่ 14 ตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้า
สม่ำเสมอขนาดต่างๆ

ขนาดกำลังไฟฟ้า (MW)	LOLE (%)	LOLE (วันต่อเดือน)
0.1	1.24	0.3844
0.2	1.24	0.3844
0.3	1.24	0.3844
0.4	1.24	0.3844
0.5	1.24	0.3844
0.6	1.214	0.3760
0.7	1.214	0.3760
0.8	1.214	0.3760
0.9	1.214	0.3760
1.0	1.214	0.3760
1.1	1.214	0.3760
1.2	0.958	0.2970
1.3	0.958	0.2970
1.4	0.958	0.2970
1.5	0.958	0.2970
1.6	0.523	0.1620
1.7	0.523	0.1620
1.8	0.523	0.1620
1.9	0.446	0.1380
2.0	0.446	0.1380

ทั้ง 3 กรณีนี้นสามารถสรุปผลเป็นตารางเพื่อง่ายกับความเข้าใจได้ดังตารางที่ 15 ซึ่งใน
กรณีที่ 3 คัดที่สถานะที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอ 1.5 MW

ตารางที่ 15 ตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณีตัวอย่าง

กรณี	LOLE (%)	LOLE (วันต่อเดือน)	LOLE (วันต่อปี)
1	1.2400	0.38	4.56
2	1.2144	0.37	4.52
3	0.9580	0.297	3.35

8.4 Capacity Credit

Capacity Credit นั้นจำกัดความได้ว่า ความสามารถในการผลิตที่การันตีได้ในช่วงโหลดสูงสุด ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE และ LOEE เป็นต้น ค่า Capacity Credit นั้นถูกใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนก่อสร้างสถานีไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกด้วย โดยที่ Capacity Credit จะถูกพิจารณาจากกรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้พลังงานที่มีความไม่ต่อเนื่อง เช่น พลังงานลมหรือพลังงานแสงอาทิตย์กับกรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอเชื่อมต่อแทนที่ในขณะที่รักษาระดับความเชื่อถือได้ให้อยู่ในระดับเดียวกัน โดยที่ส่วนใหญ่การคิดหาค่า Capacity Credit ทำได้โดยเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้กำลังงานสม่ำเสมอเข้ากับระบบโดยขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ให้พลังงานไม่ต่อเนื่องนั้นทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่าเดิม ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอเพิ่มเข้าจะใช้เป็นค่า Capacity Credit

คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอขนาดต่างๆ โดยค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กเริ่มตั้งแต่ 0 – 2.0 MW โดยให้เพิ่มขึ้นทีละ 0.5 MW ผลของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เป็นไปตามตารางที่ 16

ค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่สถานีไฟฟ้าระโนดจะมีค่าเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สม่ำเสมอที่ทำให้มีค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่ากับ 0.3764 วันต่อเดือน เมื่อเทียบกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังงานไฟฟ้าสม่ำเสมอตามตารางที่ 16 ได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าเท่ากับกรณีที่ 2 อยู่ที่ 0.55 MW ค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมจึงมีค่าเท่ากับ 0.55 MW

ตารางที่ 16 ตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้า
สม่ำเสมอขนาดต่างๆ โดยคิดในหน่วย วันต่อเดือน

กำลังไฟฟ้า (MW)	LOLE (วันต่อเดือน)
0.0 – 0.5	0.3844
0.55 – 1.15	0.3764
1.2 – 1.5	0.297
1.55 – 1.85	0.162
1.9 – 2.0	0.1384

ผลและวิจารณ์

จากการวิเคราะห์ ทั้ง 3 กรณีศึกษาได้แก่

กรณีที่ 1 กรณีที่ไม่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับฟีดเดอร์

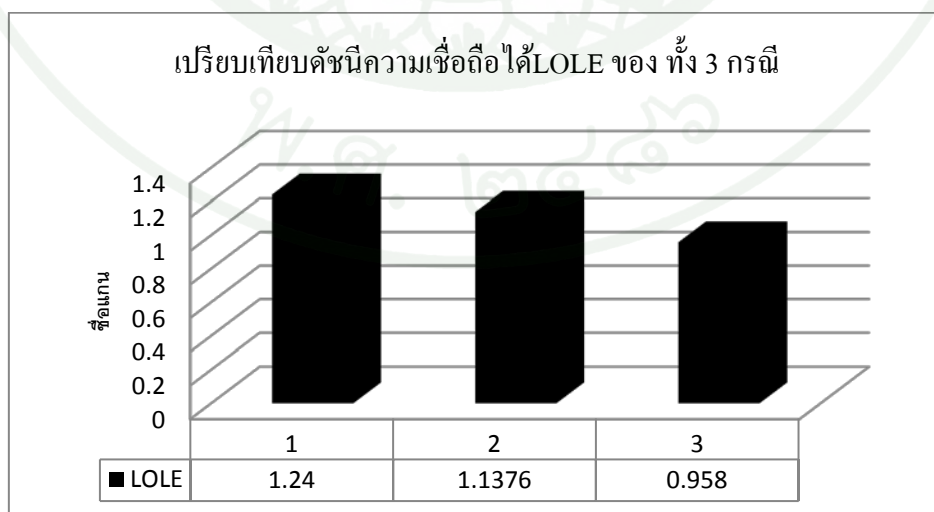
กรณีที่ 2 กรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้ากับฟีดเดอร์

กรณีที่ 3 กรณีที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอ
แทนการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

จากผลการวิเคราะห์ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เป็นดังต่อไปนี้

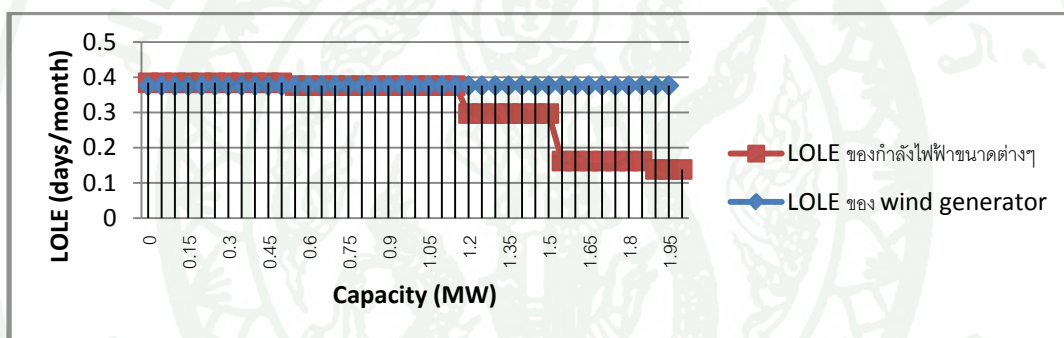
ตารางที่ 17 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณี

กรณี	LOLE (%)	LOLE (day/month)	LOLE (days/year)
1	1.2400	0.384	4.526
2	1.1376	0.376	4.518
3	0.9580	0.297	3.497



ภาพที่ 18 ภาพแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณี

จากการศึกษาการเปลี่ยนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังผลิตได้สม่ำเสมอที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าต่างๆกันออกไป ทำให้ทราบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ที่แตกต่างกัน ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่แตกต่างกันนี้ จะนำไปสู่การเปรียบเทียบค่าดัชนีของกรณีที่ 2 เพื่อหาค่า Capacity Credit ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของกรณีที่ 2 มีค่าอยู่ที่ 1.2144% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของกรณีที่ 3 ที่มีขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดต่างกัน จะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สม่ำเสมอและทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่ากับการเชื่อมต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเข้าสู่ระบบของกรณีที่ 2 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.55 MW โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้านี้เป็นค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม โดยการเปรียบเทียบเป็นไปตามภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ภาพแสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบช่วงสุดท้ายที่รับไฟจากระบบสายส่งเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟ มีความจำเป็นที่ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ไฟ เพื่อให้มีความเชื่อถือได้ที่ดี ระบบจำหน่ายมีพื้นที่กว้าง และมีความเสี่ยงในการเกิดไฟดับมาก การประเมินผลกระทบของพลังงานทดแทนที่มีต่อระบบจำหน่ายในรูปของความเพียงพอของกำลังไฟฟ้า จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจากลมนั้นช่วยลดความต้องการกำลังไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้า แต่มีความไม่แน่นอนสูงเพราะความเร็วลมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงได้ทำการวิเคราะห์

ผลกระทบดังกล่าวในรูปของดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงระยะเวลาที่จะสูญเสีย โหลดเนื่องจากการกำลังผลิตไม่เพียงพอในช่วงเวลาที่พิจารณา

ในงานวิจัยนี้ระบบที่พิจารณาคือเป็นฟีดเดอร์ 6 ของสถานีไฟฟ้าระโนด จังหวัดสงขลา ที่มีการ เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม จำลองให้ฟีดเดอร์ดังกล่าวมีจุดเชื่อมต่อกับฟีดเดอร์ อื่นจำนวน 2 จุด แต่ละจุดสามารถถ่ายเทโหลดได้ 3 MW โดยได้แสดงวิธีการหาค่าดัชนีความเชื่อถือ ได้ LOLE ผ่านกรณีศึกษา 3 กรณีด้วยกัน ในกรณีที่ 1 เป็นระบบพื้นฐานที่ไม่มี การเชื่อมต่อกับเครื่อง ก่อเกิดไฟฟ้าจากพลังงานลม ส่วนในกรณีที่ 2 มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมเชื่อมต่อเข้ากับ ระบบ ทำให้มีแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยจ่ายโหลดบางส่วน ของฟีดเดอร์ทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของระบบมีค่าลดลง แต่เนื่องจากการกำลังไฟฟ้าที่ผลิต ได้จากพลังงานลมขึ้นอยู่กับความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลาซึ่งมีความไม่แน่นอนสูงจึงทำให้ค่าดัชนี LOLE ลดลงได้ไม่มากหากเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้า ขนาด 1.5 MW คงที่อย่างสม่ำเสมอในกรณีที่ 3 แล้ว ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของระบบใน กรณีที่ 3 จะมีค่าต่ำกว่า หรือมีความเชื่อถือได้สูงกว่านั่นเอง ในกรณีที่ 3 ได้ลองเปลี่ยนค่ากำลังไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่จ่ายกำลังไฟฟ้าได้สม่ำเสมอเป็นค่าขนาดต่างๆ ผลของการ วิเคราะห์ได้เป็นไปตามตารางที่ 16 จากตารางที่ 16 นั้นจะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสม่ำเสมอที่ทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่ากับค่าดัชนีความ เชื่อถือได้ LOLE ของกรณีที่ 2 มีค่าอยู่ที่ 0.55 MW ค่ากำลังไฟฟ้านี้ถูกใช้เป็นค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม จะเห็นได้ว่าค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงาน ลมมีค่าต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้ที่ ความเร็วลมสูงสุดคือ 4.4 MW

จากการอภิปรายผลการทดสอบข้างต้น สรุปได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ของทั้ง 3 กรณี มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากผลของการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กต่างชนิดกัน ซึ่ง ในบทความนี้ได้กล่าวถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าคงที่ เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการจากสถานีไฟฟ้าลดลงต่างกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเมื่อมีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ซึ่งได้เปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายปกติ และระบบจำหน่ายที่มีการเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สมำเสมอ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมช่วยลดค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เล็กน้อยเมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สมำเสมอ ถึงแม้ว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมจะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ถึง 4.4 MW แต่ไม่สามารถช่วยลดค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ได้ดีเท่ากับการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสมำเสมอขนาด 1.5 MW เนื่องจากความไม่แน่นอนของความเร็วลมที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้า และได้มีการเปรียบเทียบค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE เพื่อหาค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม โดยพิจารณาจากค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าสมำเสมอที่ทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE มีค่าเท่ากับกรณีมีการเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม ซึ่งจะเห็นว่าค่า Capacity Credit ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมมีค่าอยู่ที่ 0.55 MW ค่า Capacity Credit นั้นจะช่วยให้มีความชัดเจนในการวางแผนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมว่ามีความเหมาะสมคุ้มค่าเพียงใด รวมทั้งยังช่วยในการวางแผนการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าเพิ่มเพื่อรองรับโหลดที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ทั้งนั้นผลงานวิจัยนี้เป็นแนวทางสำหรับวางแผนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆ ในระบบจำหน่าย ที่คำนึงถึงความเชื่อถือได้ รวมไปถึงแนวทางในการวิเคราะห์พลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ ที่ไม่มีความแน่นอนในการผลิตไฟฟ้า

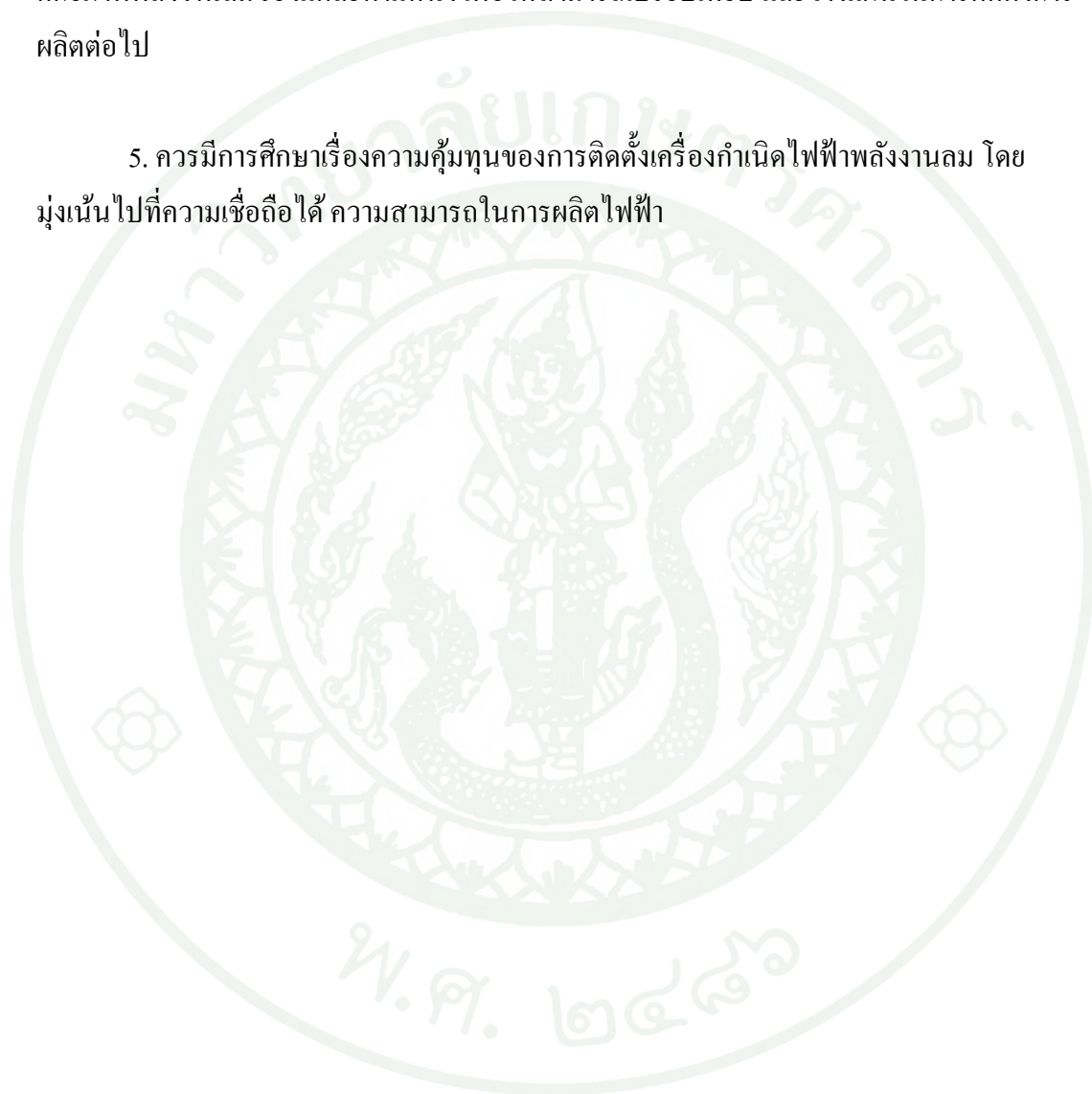
ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE ด้วยวิธีอื่นๆ เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับการคำนวณ
2. ควรมีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ LOLE สำหรับระบบอื่นๆ ได้ด้วย โดยสามารถใช้โปรแกรม และแก้ไขได้ง่าย เพื่อใช้ในการศึกษา และวางแผนระบบอื่นๆต่อไป

3. ควรมีการศึกษากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานทดแทนอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่มีต่อระบบจำหน่าย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

4. ควรศึกษาผลกระทบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมจากหลายที่ตั้งเพื่อเปรียบเทียบศักยภาพพลังงานลมของแต่ละตำแหน่ง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบ และวางแผนในการติดตั้งการผลิตต่อไป

5. ควรมีการศึกษาเรื่องความคุ้มทุนของการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม โดยมุ่งเน้นไปที่ความเชื่อถือได้ ความสามารถในการผลิตไฟฟ้า



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2548. ระบบไฟฟ้ากำลัง Power System. พิมพ์ครั้งที่ 4. บริษัทจรัสสินวิงส์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2553. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทจรัสสินวิงส์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ปานจิต ดำรงกุลกำจร. 2552. ผลกระทบจากพลังงานหมุนเวียนต่อระบบไฟฟ้า. โครงการสนับสนุนงานด้านเทคนิคเพื่อการจัดหาไฟฟ้าและพลังงานทดแทน, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน.

Atwa, Y. M., E. F. El-Saadany and Anne-Claire Guise. 2010. Supply Adequacy Assessment of Distribution System Including Wind-Based DG During Different Modes of Operation. *In IEEE Transactions on Power System* 1 (5): 78-86.

Atwa, Y. M. and E. F. El-Saadany. 2011. Probabilistic approach for optimal allocation of wind-based distributed generation in distribution systems, **Published in IET Renewable Power Generation** 1 (5): 79-88.

Billinton, R. and R.N. Allan. 1996. **Reliability Evaluation of Power Systems**. A division of Plenum Publishing Corporation, New York, America.

Conlon, M. F. and W. Carr. 2004. Generation adequacy assessment incorporating wind energy capacity, pp. 1014-1018. In **39th International Universities Power Engineering Conference on UPEC 2004**. Bristol, UK.

D'Annunzio, C., Shun-Hsien Huang and S. Santoso. 2009. Generation Adequacy Assessment of Power Systems with Wind Generation: A System Operations Perspective, pp. 1-7. *In*

Power & Energy Society General Meeting (PES'09). 26-30 July 2009. Calgary, Canada.

Haghifam, M.-R. and S. Soltani. 2010. Reliability Models for Wind Farms in Generation System Planning, pp. 436-441. *In 11th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS).* Singapore.

Luickx, P., W. Vandamme, P. S.Perez, J. Driesen and W. D'haeseleer. 2009. Applying Markov Chains For The Determination of The Capacity Credit of Wind Power, pp. 1-6. *In 6th International Conference on The European Energy Market.* 27-29 May 2009. Leuven, Belgium.

Mohod, S.W. and M. V. Aware. 2010. Wind Energy Conversion System Simulator using Variable Speed Induction Motor, pp. 1-6. *In International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India.* 20-23 December 2010. New Delhi, India.

Phoon, H. Y. 2006. **Generation System Reliability Evaluations with Intermittent Renewables.** M.S. Thesis, Strathclyde University.

Xiangyu, K., F. Dazhong. and T. S. Chung. 2008. Economy and Reliability Evaluation of Generating Including Wind Energy Systems, pp. 2653-2657. *In International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies.* 6-9 April 2008. Nanjuing, China.

Zhang, Y. and U. Sadrul. 2009. Estimation of Wind Power Availability and Capacity Credit for Multiple Wind Farms, pp. 1-5. **North American Power Symposium (NAPS)**. 4-6 October 2009. Starkville, USA.







ภาคผนวก ก
ตารางข้อมูลการวิจัย

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		00:00-00:10	00:10-00:20	00:20-00:30	00:30-00:40	00:40-00:50	00:50-01:00	01:00-01:10	01:10-01:20	01:20-01:30	01:30-01:40	01:40-01:50	01:50-02:00	02:00-02:10	02:10-02:20	02:20-02:30	02:30-02:40
2	1	2.22	2.47	3.18	3.16	2.34	1.87	1.31	1.71	1.75	1.73	1.68	1.92	1.8	2	1.59	0.89
3	2	3.08	2.94	2.82	2.91	2.07	1.35	1.12	0.9	0.75	1.96	3.15	3.47	3.33	4.26	3.84	3.61
4	3	0.96	1.5	1.52	3.55	4.4	4.32	3.02	3.23	4.15	4.73	3.58	3.75	3.18	2.92	3.08	3.68
5	4	3.39	3.72	4	4.32	3.7	3.08	2.84	3.29	2.57	2.68	2.83	1.84	2.01	1.44	1.53	1.5
6	5	1.59	1.76	1.47	2.37	2.13	2.46	2.42	2.3	2.22	2.02	2.27	2.34	2.48	1.46	1.37	1.59
7	6	1.59	0.93	0.97	1.24	0.9	0.85	0.55	0.83	1.45	1.81	1.65	1.31	1.35	1.04	1.28	1.15
8	7	4.91	4.67	4.88	4.45	3.96	4.23	4.35	5.41	5.9	5.74	5.33	4.82	4.89	4	4	4.04
9	8	6.03	5.45	5.08	5.2	4.5	4.05	3.47	2.37	1.88	2.34	3.64	4.19	5.03	4.92	4.71	3.41
10	9	1.12	1.48	1.44	1.17	1.04	1.39	1.82	1.62	1.52	1.55	1.5	1.59	2.11	2.58	2.9	3.3
11	10	3.2	2.95	2.62	2.82	3.65	2.55	2.07	2.93	3.59	3.49	2.78	1.55	1.67	1.84	2.1	2.39
12	11	1.81	1.86	1.7	1.32	1.83	2.19	1.72	1.7	1.28	1.01	0.95	1.12	1.82	2	1.8	2.02
13	12	5.31	5.26	4.16	4.31	4.8	4.87	4.71	4.73	3.88	4.22	4.14	4.48	5.1	4.28	4.84	5.48
14	13	5.95	5.41	4.61	4.78	4.54	4.33	4.22	3.77	2.95	2.16	1.48	1.55	1.79	1.77	1.56	1.54
15	14	3.14	3.6	3.61	3.09	3.13	2.68	3.46	3.22	3.37	3.01	3.11	2.37	1.5	2.15	2.25	2.08
16	15	0.96	1.27	1.39	3.38	4.47	5.4	5.47	4.72	4.76	4.23	4.12	5.02	5.26	4.87	4.08	3.42
17	16	1.9	2.06	2.64	3.38	4.08	3.57	3.68	3.18	3.38	3.65	3.54	3.48	3.16	2.68	2.89	2.68
18	17	3.67	4.27	4.83	4.7	4.86	4.94	5.11	5.25	4.62	3.94	3.63	3.82	2.36	2.59	2.88	3.4
19	18	5.38	5.24	5.25	5.34	5.02	4.65	4.83	5.17	5.01	4.92	5.39	6.2	5.92	5.36	5.19	5.82
20	19	5.1	5.5	5.56	5.32	4.72	4.97	5.1	5.48	4.86	4.26	3.59	3.47	3.72	3.53	3.69	2.99
21	20	1.79	1.99	1.5	1.65	1.69	1.66	1.67	1.44	1.43	1.14	1.18	1.03	0.41	0.23	0.46	0.62
22	21	1.03	1.94	1.77	3.49	4.19	4.39	4.41	4.29	5.15	5.1	5.21	4.46	4.17	3.89	2.59	1.73
23	22	4.16	3.9	3.62	3.93	3.59	3.32	3.72	4.23	4.04	3.48	2.79	2.53	2.6	3.09	3.44	3.76
24	23	4.62	4.43	4.05	4.01	5.03	5.07	4.65	4.69	4.47	4.71	5.28	5.64	5.61	6.25	6.03	5.4
25	24	4.84	4.49	4.22	3.13	3.33	3.07	3.49	2.9	2.49	1.71	1.99	3.3	3.92	2.69	3.09	3.33
26	25	5.61	5.58	5.62	5.56	5.5	5.58	5.68	5.04	4.82	4.75	4.81	4.43	4.06	3.6	3.13	3.65

ภาพผนวกที่ ก19 ตัวอย่างการเก็บค่าข้อมูลความเร็วลม ในหน่วย m/s โดยมีการบันทึกไว้ทุกๆ 10 นาที เป็นเวลา 365 วัน

C372		$f_x = 0.5 * 1.225 * 2149.33 * C2 * C2 * C2$															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
359	358	3.42	3.16	2.89	2.28	1.45	1.9	2.5	2.41	2.31	2.48	2.87	4.26	4.72	4.31	3.88	4.14
360	359	4.44	5.01	5.32	5.27	5.92	6.1	6.48	6.22	6.25	6.22	6.03	5.7	5.76	5.96	5.84	6
361	360	4.1	4.11	4.02	4.27	4.28	4.17	4.31	3.49	2.68	1.58	2.05	3.4	4.37	4.43	4.44	3.76
362	361	4.17	4.38	3.96	3.57	3.73	3.47	3.88	3.93	3.88	4.05	3.92	4.63	4.31	3.43	4.66	4.97
363	362	5.21	5.11	5.07	5.19	5	4.72	4.37	4.2	4.58	4.59	3.98	4.21	3.67	3.72	4.01	4.1
364	363	6.4	6.16	5.72	6.05	5.46	5.25	4.81	5.22	5.45	5.59	5.49	5.53	6.29	6.77	6.54	5.73
365	364	2.03	2.33	1.44	2.18	1.42	1.8	2.48	2.4	1.6	1.36	2.34	2.31	1.89	2.38	1.96	1.3
366	365	5.27	5.82	5.92	5.24	5.35	5.36	5.45	5.06	4.28	3.86	3.44	3.34	3.29	3.61	3.23	2.78
367																	
368																	
369																	
370																	
	00:00-00:10	00:10-00:20	00:20-00:30	00:30-00:40	00:40-00:50	00:50-01:00	01:00-01:10	01:10-01:20	01:20-01:30	01:30-01:40	01:40-01:50	01:50-02:00	02:00-02:10	02:10-02:20	02:20-02:30	02:30-02:40	
371																	
372	1	0	19838.099	42334.1217	41540.3777	16867.735	8608.6294	2959.53228	6582.6009	7055.4276	6816.28127	6242.19079	9317.78917	7677.6217	10531.717	5291.76521	928.06675
373	2	38464.61086	33454.2413	29522.7303	32440.5464	11676.703	3238.9967	1849.53801	959.702712	555.383514	9912.36779	41147.2538	55004.4236	48611.821	101774.269	74542.3134	61934.2381
374	3	1164.723646	4443.06811	4623.171	58897.1463	112141.72	106135.44	36260.1856	44362.5764	94092.1698	139313.312	60402.9672	69422.9392	42334.122	32776.1356	38464.6109	65607.3732
375	4	51287.11717	67770.0823	84253.736	106135.442	66682.883	38464.611	30155.3389	46881.0022	22346.4512	25340.4064	29837.9169	8200.92165	10690.484	3930.94231	4715.01942	4443.06811
376	5	5291.765207	7177.07025	4181.78016	17524.8469	12721.784	19598.125	18657.5791	16017.4251	14403.5027	10850.8386	15398.796	16867.7349	20080.024	4097.01695	3385.09526	5291.76521
377	6	5291.765207	1058.90754	1201.50172	2510.00305	959.70271	808.47384	219.026802	752.737359	4013.40697	7806.29426	5913.72365	2959.53228	3238.9967	1480.84366	2760.82642	2002.17814
378	7	155830.9327	134078.714	152991.978	116008.344	81751.316	99639.215	108361.988	208449.563	270374.188	248968.768	199338.332	147417.93	153934.43	84253.736	84253.736	86806.7085
379	8	288643.0667	213107.483	172583.921	185105.458	119962.84	87452.91	55004.4236	17524.8469	8747.47563	16867.7349	63491.1721	96839.2155	167537.93	156784.997	137553.585	52200.2197
380	9	1849.538013	4267.70449	3930.94231	2108.46686	1480.8437	3535.5224	7936.39651	5596.98621	4623.171	4902.34971	4443.06811	5291.76521	12366.778	22608.321	32107.2557	47309.7892
381	10	43137.91283	33796.7735	23676.2582	29522.7303	64015.89	21828.794	11676.7029	33114.0313	60910.5526	55961.001	28284.1793	4902.34971	6131.3853	8200.92165	12191.7789	17972.2684
382	11	7806.294262	8471.26029	6467.7907	3027.82651	8067.9363	13827.432	6698.76179	6467.7907	2760.82642	1356.35482	1128.70386	1849.53801	7936.3965	10531.717	7677.62169	10850.8386
383	12	197102.7832	191587.172	94773.9945	105400.095	145590.46	152053.38	137553.585	139313.312	76896.11	98934.2228	93413.6231	118370.433	174630.35	103214.45	149260.633	216646.097

ภาพผนวกที่ ก20 ภาพแสดงการแปลงค่าความเร็วลมเป็นค่าพลังงานลมหน่วยเป็น วัตต์

	A	B
1	Date	Value(Mean)
2	01.07.2012 00:00:00	5.485496
3	01.07.2012 00:30:00	5.485496
4	01.07.2012 01:00:00	5.123815
5	01.07.2012 01:30:00	5.123815
6	01.07.2012 02:00:00	5.123815
7	01.07.2012 02:30:00	5.123815
8	01.07.2012 03:00:00	5.123815
9	01.07.2012 03:30:00	5.123815
10	01.07.2012 04:00:00	5.123815
11	01.07.2012 04:30:00	5.123815
12	01.07.2012 05:00:00	5.485496
13	01.07.2012 05:30:00	5.827084
14	01.07.2012 06:00:00	6.510259
15	01.07.2012 06:30:00	5.485496
16	01.07.2012 07:00:00	4.782228
17	01.07.2012 07:30:00	4.44064
18	01.07.2012 08:00:00	4.44064
19	01.07.2012 08:30:00	4.782228
20	01.07.2012 09:00:00	4.782228
21	01.07.2012 09:30:00	4.782228
22	01.07.2012 10:00:00	4.782228
23	01.07.2012 10:30:00	4.782228
24	01.07.2012 11:00:00	4.782228
25	01.07.2012 11:30:00	4.44064
26	01.07.2012 12:00:00	4.782228
27	01.07.2012 12:30:00	4.44064

ภาพผนวกที่ ก21 ภาพแสดงค่าเฉลี่ยโพลดที่ถูกบันทึกทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 31 วัน



โปรแกรมคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ กรณี 2 ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย

```
for a =1 :10000
```

```
Prob_wind=[Data Wind Power ];
```

```
%x = rand(1000,1);
```

```
%s65 newWind = Prob_wind(1,x);
```

```
peakload = [6.51 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.54
```

```
7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54
```

```
7.54 7.54 7.88 7.88 7.88 ];
```

```
newWind = 0 ;
```

```
%newWind = 1.5 ;
```

```
for i=1:31
```

```
x = int16(rand(1)*10000)+1;
```

```
x = (int16(rand(1)*9999))+1;
```

```
newWind = Prob_wind(x);
```

```
store(i)= newWind;
```

```
peak_new(i) = peakload(i)-newWind;
```

```
end
```

```
peak_new_set=unique(peak_new);
```

```
count=hist(peak_new,peak_new_set);
```

```
hist(peak_new,size(peak_new_set,2)+5);
```

```
grid on
```

```
p=[1 0.04 0.0144 0.0016];
```

```
index=[0 8 11 14];
```

```
%Pw=0;
```

```
LOLE_pui(a) = 0;
```

```

for j = 1: size(peak_new_set,2)
    %w = 12.443068109375-peak_new_set(j);
    w = 14-peak_new_set(j);
    for k = 1 : size(index,2)
        if w<=index(k)
            Pw = p(k);
            break;
        end
    end
    LOLE_pui(a) = LOLE_pui(a) + (count(j)*(Pw));
end
LOLE_pui(a)
end
hist(LOLE_pui);
%n=size(LOLE_pui,1);
%m=size(LOLE_pui,2);
m=size(LOLE_pui,1);
n=size(LOLE_pui,2);
sumLOLE = 0.00;
for d = 1:n
    for e = 1:m
        sumLOLE = LOLE_pui(m,n)+sumLOLE ;
    end
end
end

```

โปรแกรมคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ กรณี 3 โดยมีการปรับขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม
ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าได้สม่ำเสมอ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1

for a =1 :1000

```

Prob_wind=[Wind power output];
%x = rand(1000,1);
%s65 newWind = Prob_wind(1,x);
peakload = [6.51 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.19 7.54
7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54 7.54
7.54 7.54 7.88 7.88 7.88 ];
newWind = 0 ;

%newWind = 1.5 ;
for i=1:31
x = int16(rand(1)*10000)+1;
x = (int16(rand(1)*9999))+1;
newWind = Prob_wind(x);
store(i)= newWind;
peak_new(i) = peakload(i)-newWind;
end

peak_new_set=unique(peak_new);
count=hist(peak_new,peak_new_set);

hist(peak_new,size(peak_new_set,2)+5);
grid on
p=[1 0.04 0.0144 0.0016];

```

```

index=[0 8 11 14];

%Pw=0;
LOLE_pui(a) = 0;
for j = 1: size(peak_new_set,2)
    %w = 12.443068109375-peak_new_set(j);
    w = 14-peak_new_set(j);
    for k = 1 : size(index,2)
        if w<=index(k)
            Pw = p(k);
            break;
        end
    end
    LOLE_pui(a) = LOLE_pui(a) + (count(j)*(Pw));
end
LOLE_pui(a)
end
hist(LOLE_pui);
%n=size(LOLE_pui,1);
%m=size(LOLE_pui,2);
m=size(LOLE_pui,1);
n=size(LOLE_pui,2);
sumLOLE = 0.00;
for d = 1:n
    for e = 1:m
        sumLOLE = LOLE_pui(m,n)+sumLOLE ;
    end
end
end

```

ส่วนที่ 2

```
clear;
sumLOLE = zeros(2001,2);
for i = 0:2000
    newWind = i/100;
    sumLOLE(i+1,1) = newWind;
    sumLOLE(i+1,2) = Untitled2_3MW(newWind);
end
plot(sumLOLE,'DisplayName','sumLOLE','YDataSource','sumLOLE');figure(gcf)
```

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาว ชุติมา จงอรุณงามแสง
เกิดวันที่	20 กันยายน พ.ศ.2531
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-