การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้าโดยคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

นายพัทธพล อั้นจุกฉุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DETERMINATION OF OPTIMAL BATTERY SIZE IN GENERATION SYSTEM CONSIDERING RAMP RATE OF LOAD AND RENEWABLE ENERGY GENERATION

Mr. Pattapone Unchugchun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้าโดยคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
โดย	นายพัทธพล อั้นจุกฉุน
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรชัย ชัยทัศนีย์)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. สมภพ อัษฎมงคล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พัทธพล อั้นจุกฉุน : การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในระบบผลิตไฟฟ้าโดยคำนึงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (DETERMINATION OF OPTIMAL BATTERY SIZE IN GENERATION SYSTEM CONSIDERING RAMP RATE OF LOAD AND RENEWABLE ENERGY GENERATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี, 100 หน้า.

จากความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศที่เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทำให้ภาครัฐต้องจัดหาเชื้อเพลิงเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหลัก คือ เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล อย่างไรก็ดี การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีเป็นเชื้อเพลิงที่มีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต ดังนั้นพลังงานหมุนเวียนจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยในการผลิตไฟฟ้าได้ กระทรวงพลังงานมีแผนการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนให้มีมากขึ้นทุกๆ ปี อย่างไรก็ตาม การใช้งานพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงอาจก่อให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้าได้ เช่น ปัญหาความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเฉพาะจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มากในเวลากลางวันแต่ไม่สามารถผลิตได้ในเวลากลางคืน ส่งผลกระทบทำให้ระบบไฟฟ้าขาดเสถียรภาพ ซึ่งปัญหาหนึ่งที่เห็นได้เด่นชัด คือ ปัญหาการตอบสนองของระบบผลิตไฟฟ้าต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด กล่าวคือ โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบอาจไม่สามารถตอบสนองต่อการเพิ่มและลดลงอย่างฉับพลันของโหลดได้ ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอแนวคิดของการนำแบตเตอรี่มาช่วยในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อเพิ่มความมั่นคงต่อระบบไฟฟ้าและลดปัญหาที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่สูงขึ้นจากการใช้พลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาการตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดเมื่อมีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงเข้าสู่ระบบ ทั้งนี้จะอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลของกำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ณ ปี 2579 ซึ่งเป็นปีสุดท้ายของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก และจะแบ่งการพิจารณาแยกรายพื้นที่โดยแบ่งออกเป็น 6 พื้นที่ตามลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทย โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์ จะเริ่มจากสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพลังงานหมุนเวียนและความต้องการใช้ไฟฟ้า สำหรับในส่วนของแบตเตอรี่นั้นจะใช้แบบจำลองในสภาวะอยู่ตัวของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด

ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2559		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5870200821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: RAMP RATE / RENEWABLE ENERGY / LITHIUM ION BATTERY / OPTIMAL SIZING BATTERY

PATTAPONE UNCHUGCHUN: DETERMINATION OF OPTIMAL BATTERY SIZE IN GENERATION SYSTEM CONSIDERING RAMP RATE OF LOAD AND RENEWABLE ENERGY GENERATION. ADVISOR: ASSOC. PROF. KULYOS AUDOMVONGSEREE, Ph.D., 100 pp.

Thailand’s electricity demand is growing steadily. The main energy resource that has been used to generate the electricity in Thailand is the fossil fuel. Obviously, the fossil fuel causes an environmental problem. Thus, renewable energy is considered to be a better option for the electricity generation in term of the environmental consideration. The ministry of energy has been planning to increase the use of renewable energy. However, the high penetration of renewable energy can cause problems, such as unpredictability of power output from wind and solar, to power systems. Electrical power generated from the solar PV depends on solar intensity and ambient temperature during the day. Combining with power demand profile of Thailand, it may lead to a main problem in the future that the generation system cannot respond to the ramp rate of the (net) load. In other words, the generator in the system cannot respond to the sudden change of load. Thus, this thesis proposes the use of battery to solve this problem which makes the power system more stable and help reduce problem from high ramp rate of load from high penetration of renewable energy.

This thesis proposes the method to determine the optimal size of battery that can remedy ramp rate of load problem when there is high penetration of renewable energy connected to the power system. This thesis uses the forecasted data of Thailand’s power demand in 2036 which is the final year of the PDP2015 and AEDP2015. By considering the regions of Thailand, 6 areas based on geographical characters are of interest. For battery model, the steady state model of lithium ion battery is used. The result shown that the ramp rate change drastically.

Department: Electrical Engineering   Student's Signature ....
Field of Study: Electrical Engineering   Advisor's Signature ....
Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรชัย ชัยทัศนีย์ และดร. สมภพ อัษฎมงคล ที่ได้เสียเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจตลอดมา ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนๆทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ... จ

กิตติกรรมประกาศ ... ฉ

สารบัญ ... ช

สารบัญตาราง ... ฎ

สารบัญภาพ ... ฐ

บทที่ 1 บทนำ ... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา ... 1

1.2 วัตถุประสงค์ ... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย ... 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ... 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้า ... 4

2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม ... 5

2.1.1 แบบจำลองความเร็วลม ... 5

2.1.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม ... 6

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ... 8

2.2.1 แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ... 8

2.2.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ... 14

2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ... 17

2.3.1 แบบจำลองอัตราการไหลของน้ำ ... 19

2.3.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก ... 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวภาพ 22
2.4.1 แบบจำลองความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง 22
2.4.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวภาพ 26
2.5. โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อนแบบสูบกลับ 32
2.6 แบบจำลองความต้องการไฟฟ้า 33
2.6.1 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต 33
2.6.2 แบบจำลองความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า 38
บทที่ 3 หลักการและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ 40
3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่ 40
3.1.1 แบตเตอรี่ (Battery) 40
3.1.1.1 แบตเตอรี่ธรรมดา 40
3.1.1.2 แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (Flow Battery) 41
3.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ 41
3.2.1 คุณสมบัติทางเคมี 41
3.2.2 แรงดัน 41
3.2.3 ความจุ 42
3.2.4 พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นพลังงาน 42
3.2.5 กำลังจำเพาะ 42
3.2.6 ซี-เรต (C-rate) 42
3.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน 43
3.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวงจรแปลงกำลัง 44
บทที่ 4 การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ 45
4.1 การหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ 45

หน้า

4.1.1 การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ 46

4.1.2. ลักษณะของโหลดและขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด 47

4.1.3 ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ 49

4.1.4. สถานะของประจุ (state of charge: SOC) ในแต่ละช่วงเวลา..................................50

4.1.5. กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายและรับ...50

4.2 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่รับหรือจ่ายให้กับแบตเตอรี่ 51

4.2.1.กรณีแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าหรือคายประจุ 51

4.2.2. กรณีแบตเตอรี่รับกำลังไฟฟ้าหรืออัดประจุ...51

บทที่ 5 การทดสอบและการวิเคราะห์ผล 54

5.1 ระบบทดสอบ...54

5.2. สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ 57

5.3 ผลการทดสอบ 58

5.3.1 ผลการจำลองพลังงานหมุนเวียนและความต้องการใช้ไฟฟ้าแต่ภูมิภาค 58

5.2.2 ผลของเขื่อนแบบสูบกลับที่จ่ายให้กับระบบ 61

5.2.3 ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ 62

5.2.4 วิเคราะห์ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่...79

บทที่ 6 สรุป...82

6.1. สรุปผลการวิจัย 82

6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม..83

รายการอ้างอิง..84

ภาคผนวก 87

ภาคผนวก ก ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ..88

ภาคผนวก ข ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน..91

หน้า

ภาคผนวก ค ข้อมูลแบตเตอรี่....98

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงกำลังการผลิตของกังหันน้ำ 21

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย 23

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต่างๆ....24

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลต่างๆทั่วประเทศไทย....24

ตารางที่ 2.5 ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่เทียบกับสัดส่วนมีเทน....28

ตารางที่ 5.1 แสดงกำลังการผลิตของพลังงานทดแทน (หน่วย MW) 55

ตารางที่ 5.2 แสดงกำลังการผลิตของพลังงานทดแทน (หน่วย MW) 55

ตารางที่ 5.3 ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด (MW/15min)....62

ตารางที่ 5.4 ตารางขนาดของแบตเตอรี่ของทั้งหมด 6 ภูมิภาค 80

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงการลดขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละภูมิภาค....80

ตารางที่ ก.1 ค่าพยากรณ์ควาต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและค่าพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงาน
ไฟฟ้าที่ใช้....90

ตารางที่ ข.1 ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละเดือน ในปี พ.ศ.2548 ที่บริเวณแหลมพรหมเทพ จ.ภูเก็ต 92

ตารางที่ ข.2 ระดับความเร็วลมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลมรุ่น DeWind D6-1250....92

ตารางที่ ข.3 ความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงตามฤดูกาล 93

ตารางที่ ข.4 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงตามฤดูกาล 94

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมงตามฤดูกาล....94

ตารางที่ ข.6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง 95

ตารางที่ ข.7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมง....95

ตารางที่ ข.8 คุณสมบัติเครื่องกังหันน้ำในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยคั่ง จ.เชียงใหม่....96

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยคั่ง จ.เชียงใหม่ 96

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา 97

Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.1 ค่าตัวแปรของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน..99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม 6

ภาพที่ 2.2 ระดับความเร็วลมกับกำลังผลิตจากกังหันลม 7

ภาพที่ 2.3 ฟังก์ชั่นการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y..........11

ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชั่นการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y..........11

ภาพที่ 2.5 การกระจายตัวของคู่อันดับการแจกแจงสะสมและการแจกแจงสะสมการเปลี่ยนแปลง
ของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ช่วงเวลา 7.00 - 8.00 น. ในฤดูร้อน..................14

ภาพที่ 2.6 การกระจายตัวของคู่อันดับการแจกแจงและการแจกแจงสะสม
ของตัวแปรสุ่ม ZG และ ZT 14

ภาพที่ 2.7 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์..15

ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่ความเข้มแสงอาทิตย์...15

ภาพที่ 2.9 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี...17

ภาพที่ 2.10 โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำ 18

ภาพที่ 2.11 โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำ...18

ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างแบบจำลองความไม่แน่นอนของอัตราการไหลของน้ำ.......................................19

ภาพที่ 2.13 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ 20

ภาพที่ 2.14 ความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงชีวภาพ 25

ภาพที่ 2.15 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวลโดยใช้กระบวนการความร้อน 26

ภาพที่ 2.16 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ...28

ภาพที่ 2.17 ความสามารถในการแปลงเชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ...29

ภาพที่ 2.18 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน 30

ภาพที่ 2.19 สัดส่วนของขยะที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่อปริมาณขยะทั้งหมดที่สามารถจัดหาได้.........31

ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างการจ่ายพลังงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแบบสูบกลับในหนึ่งสัปดาห์ 33

ภาพที่ 2.21 แสดงโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดในช่วงระยะเวลา 1 ปี 34

ภาพที่ 2.22 แสดงเส้นโค้งรายชั่วโมง ปี 2556...34

ภาพที่ 2.23 สถิติและการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้า...35

ภาพที่ 2.24 ตัวอย่าง Load duration Curve ที่เกิดจากการพยากรณ์...38

ภาพที่ 3.1 แสดงการลดลงของราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 43

ภาพที่ 4.1 แสดงการหาจุดวกกลับของกราฟความต้องการใช้ไฟฟ้า 48

ภาพที่ 4.2 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้า 51

ภาพที่ 4.3 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่รับกำลังไฟฟ้า 51

ภาพที่ 4.4 แผนผังขั้นตอนการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม 53

ภาพที่ 5.1 ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าปี2556..56

ภาพที่ 5.2 ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าแยกพื้นที่ปี2556 56

ภาพที่ 5.3 การแบ่งเขตพื้นที่โดยแบ่งออกเป็น 6 ภูมิภาคตามแหล่งเชื้อเพลิง 57

ภาพที่ 5.4 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาคเหนือ...................58

ภาพที่ 5.5 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาคใต้........................59

ภาพที่ 5.6 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ...59

ภาพที่ 5.7 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาคกลาง 60

ภาพที่ 5.8 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของ..................................60

ภาพที่ 5.9 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของ..................................61

ภาพที่ 5.10 แสดงความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ...61

ภาพที่ 5.11 แสดงความต้องการไฟฟ้าของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เปลี่ยนแปลงไป 62

ภาพที่ 5.12 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคเหนือในระยะเวลา 1 วัน........................63

ภาพที่ 5.13 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคเหนือในระยะเวลา 7 วัน........................63

ภาพที่ 5.14 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่ 64

ภาพที่ 5.15 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่ 64

ภาพที่ 5.16 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี...65

ภาพที่ 5.17 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคใต้ในระยะเวลา 1 วัน..............................65

ภาพที่ 5.18 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคใต้ในระยะเวลา 7 วัน..............................66

ภาพที่ 5.19 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่ 66

ภาพที่ 5.20 ตัวอย่างของ การรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่..67

ภาพที่ 5.21 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี...67

ภาพที่ 5.22 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ในระยะเวลา 1 วัน..68

ภาพที่ 5.23 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าก่อนและหลังการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากพลังงานน้ำแบบสูบกลับ 68

ภาพที่ 5.24 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ในระยะเวลา 7 วัน..69

ภาพที่ 5.25 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ..69

ภาพที่ 5.26 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่ 70

ภาพที่ 5.27 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่ 70

ภาพที่ 5.28 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี...71

ภาพที่ 5.29 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ ของภาคกลางในระยะเวลา 1 วัน........................71

ภาพที่ 5.30 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ ของภาคกลางในระยะเวลา 7 วัน........................72

ภาพที่ 5.31 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่ 72

ภาพที่ 5.32 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่ 73

ภาพที่ 5.33 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี...73

ภาพที่ 5.34 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ ของภาคกลางฝั่งตะวันออกในระยะเวลา 1 วัน ...74

ภาพที่ 5.35 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ ของภาคกลางฝั่งตะวันออกในระยะเวลา 7 วัน ...74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 5.36 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่ 75
ภาพที่ 5.37 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่ 75
ภาพที่ 5.38 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี..76
ภาพที่ 5.39 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ ของภาคกลางฝั่งตะวันตกในระยะเวลา 1 วัน 76
ภาพที่ 5.40 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ 77
ภาพที่ 5.41 แสดง State of Charge ของแบตเตอรี่..77
ภาพที่ 5.42 แสดงการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่..78
ภาพที่ 5.43 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี..78
ภาพที่ ก.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงปีฐาน พ.ศ. 2556 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วย ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาวิธีการดำเนินงาน และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการขยายตัวของเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของประชากรในประเทศ ส่งผลให้ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทั้งนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ในประเทศจะเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล โดยข้อเสียของการใช้เชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล ก็คือ เชื้อเพลิงดังกล่าวมีจำนวนจำกัดใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคต ซึ่งส่งผลให้ราคาเชื้อเพลิงที่มีความผันผวนมีแนวโน้มสูงขึ้นในระยะยาว ทำให้ปัจจุบัน รัฐบาลหลายๆ ประเทศทั่วโลกได้ส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น นอกจากนี้ พลังงานหมุนเวียนหลายชนิดยังเป็นพลังงานที่มีต้นทุนต่ำหรือไม่มีต้นทุนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเลย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ เป็นต้น อีกทั้งการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้า ยังช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ซึ่งมีส่วนช่วยลดการเกิดภาวะโลกร้อน อันจะเป็นการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าที่มีความมั่นคง ยั่งยืน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆกัน

จากข้อมูลแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 จะมีการส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนร้อยละ 15 - 20 ในปี พ.ศ. 2579 โดยแยกออกเป็น 6 ประเภท คือ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก พลังงานขยะ พลังงานจากชีวมวล และก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะทำให้มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบไฟฟ้ามากขึ้น อย่างไรก็ดี การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนบางประเภทในสัดส่วนสูงอาจสร้างผลกระทบตามมา เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความไม่แน่นอนในการผลิตไฟฟ้าที่ขึ้นกับแสงแดด หรือพลังงานลมมีความผันผวนสูง เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจะขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่าน จึงทำให้พลังงานที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้ามีความไม่แน่นอนสูงเมื่อเทียบกับพลังงานประเภทฟอสซิลที่มีการผลิตไฟฟ้าที่แน่นอนมากกว่า

จากปัญหาความผันผวนและความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่กล่าวข้างต้น ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าต้องมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว ถ้าหากความต้องการใช้ไฟฟ้า (เมื่อหักออกด้วยปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแล้ว) มีความผันผวนสูง อาจจะทำให้เกิดปัญหาที่โรงไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระยะเวลา

สั้นหรือลดการผลิตไฟฟ้าในระยะเวลาอันสั้นได้ทัน ซึ่งจะส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าขาดเสถียรภาพและก่อให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับได้ ปัจจุบัน จึงได้มีแนวคิดของการนำเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานมาใช้ในการเพิ่มความสามารถให้ระบบผลิตไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อความผันผวนนี้ได้อย่างรวดเร็ว โดยเทคโนโลยีกักเก็บพลังงานที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำมาใช้คือแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่สูง สามารถรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าในปริมาณมากเมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ได้ ส่งผลให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้สูงขึ้น จึงมีแนวโน้มว่าแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนจะเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าในอนาคตอันใกล้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 2558 - 2579
2) เพื่อศึกษาวิธีการกำหนดขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เพื่อช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงเข้าสู่ระบบ
3) เพื่อหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เพื่อช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงเข้าสู่ระบบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยแยกตามเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยแบ่งเชื้อเพลิงออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่
    (1) พลังงานลม
    (2) พลังงานแสงอาทิตย์
    (3) พลังงานน้ำขนาดเล็ก
    (4) พลังงานชีวภาพ (ชีวมวล ก๊าซชีวภาพและขยะ)
2) พิจารณาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในสภาวะอยู่ตัว
3) พิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579
4) พิจารณาเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน
5) ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อแบตเตอรี่

6) ไม่พิจารณาฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า
7) กำหนดประเภทความต้องการกำลังไฟฟ้าหรือโหลดเป็นแบบกำลังไฟฟ้าแบบคงที่

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1) รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเชื้อเพลิงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภท
2) ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างแบบจำลองความไม่แน่นอนของเชื้อเพลิงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภท
3) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยแยกตามประเภทเชื้อเพลิง
4) ศึกษาแบบจำลองความไม่แน่นอนของความต้องการไฟฟ้า
5) ศึกษาโครงสร้างและแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน
6) ศึกษาวิธีคำนวณเพื่อเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบ
7) ทำการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อเลือกขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม
8) ทดสอบโปรแกรมกับระบบทดสอบที่กำหนด
9) วิเคราะห์และสรุปผล
10) เรียบเรียงผลเพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) วิธีการเลือกขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เพื่อลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงเข้าสู่ระบบ
2) ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้า เมื่อมีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงเข้าสู่ระบบ
3) โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการคำนวณและเลือกขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนเพื่อลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าเมื่อมีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงเข้าสู่ระบบ

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนนั้นมีความไม่แน่นอนในการผลิตไฟฟ้า ทำให้การวางแผนการผลิตไฟฟ้าล่วงหน้ามีความยุ่งยาก อันเกิดมาจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ (Partial Unpredictability) ซึ่งจะแตกต่างจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าและสามารถวางแผนกำลังผลิตไฟฟ้าล่วงหน้าได้ค่อนข้างแน่นอน อีกสาเหตุหนึ่งคือลักษณะของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนนั้นไม่สามารถควบคุมการผันแปร (Non-controllable Variable) ได้ คือการที่ไม่สามารถควบคุมปัจจัยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเช่นปัจจัยของความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือการไม่สามารถควบคุมความเร็วลมได้ส่งผลต่อการผลิตกระแสฟ้าจากพลังงานลม เป็นต้น นอกจากความไม่แน่ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแล้วนั้น ยังมีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับผู้ใช้พลังงาน แต่อย่างไรก็ตามความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้านั้นง่ายกว่าความไม่แน่นอนในการผลิตไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียน

เนื้อหาในส่วนนี้ จะประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของระบบผลิตพลังงานงานหมุนเวียน และรูปแบบความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมของประเทศไทย โดยพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะของพลังงานหมุนเวียนและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าดังนั้นในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภทจึงมีองค์ประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ

1) แบบจำลองพลังงานหมุนเวียน

2) แบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้า

โดยแบบจำลองพลังงานหมุนเวียนที่นำมาใช้จะใช้ทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็ก และกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวภาพ ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และการผลิตไฟฟ้าจากขยะ

2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมเป็นการใช้ประโยชน์จากการพัดของลมให้เปลี่ยนไปเป็นไฟฟ้า ด้วยการใช้กังหันลมทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกล แล้วนำพลังงานนั้นมาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าต่อไป โดยพลังงานลมจะมีความเร็วที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับภูมิประเทศนั้น ปกติพลังงานลมจะมีความเร็วที่ไม่แน่นอน ดังนั้นในการจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมจึงแบ่งออกมาเป็น 2 ส่วน คือ แบบจำลองความเร็วลม และ แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ดังนี้

2.1.1 แบบจำลองความเร็วลม

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองความเร็วลม ($v_{k,t}$) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังที่แสดงในสมการที่ (2.1) โดยส่วนที่หนึ่งคือความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง ณ ชั่วโมง k ($v_{trend,k}$) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูและเวลา ส่วนที่ 2 คือ ความไม่แน่นอนของความเร็วลม ($v_{noise,t}$) ที่ใช้แทนการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในช่วงสั้นๆรอบความเร็วเฉลี่ยของพลังงานลม [1]

$$v_{k,t} = v_{trend,k} + v_{noise,t} \tag{2.1}$$

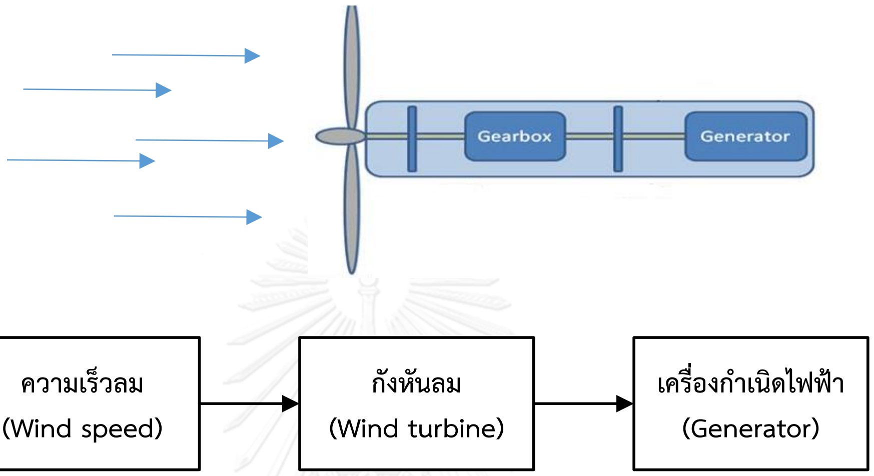
ในการสร้างแบบจำลองความเร็วลมจากข้อมูล จะกำหนดให้ ($v_{trend,k}$) มีค่าคงที่ในแต่ละชั่วโมงแต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล ส่วนค่า ($v_{noise,t}$) จะเป็นความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ ภายใน 1 ชั่วโมง ซึ่งแบบจำลองในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาความเร็วลมในระดับราย 15 นาที ค่า ($v_{noise,t}$) จะเป็นค่าแบบสุ่มได้จากกระบวนการเชิงสุ่ม (Stochastic Process) โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมใน 15 นาทีจะไม่เปลี่ยนแปลงไปจากความเร็วเฉลี่ยรายชั่วโมงมากนั้น ทำให้สามารถประมาณได้ค่าความเร็วราย 15 นาทีมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) รอบค่าเฉลี่ยของความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง

$$v_{k,t} = v_{trend,k} + Z \times \sigma_k \times v_{noise,t} \tag{2.2}$$

โดยที่			
	$v_{k,t}$	คือ	ความเร็วลมราย 15 นาทีในชั่วโมงที่ k
	$v_{trend,k}$	คือ	ความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงที่ k
	Z	คือ	ค่าสุ่มจากการแจกแจงแบบปกติมีค่าอยู่ในช่วง (-3,3)
	σ_k	คือ	ค่าความแปรปรวนของความเร็วลมในชั่วโมงที่ k
	t	คือ	จุดเวลาที่ต้องการพิจารณานับจากต้นชั่วโมงที่ k

2.1.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมมีหลักการทำงานแสดงดังภาพที่ 2.1 กล่าวคือ เมื่อมีกระแสลมพัดผ่านกังหันลมทำให้ใบพัดกังหันลมหมุน โดยที่ใบพัดของกังหันทำหน้าในการเปลี่ยนกระแสให้เป็นพลังงานกล ใบพัดจะเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำหน้าในการเปลี่ยนพลังงานกลที่ได้จากใบพัดให้เปลี่ยนไปเป็นกำลังไฟฟ้าต่อไป [1-3]



ภาพที่ 2.1 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม

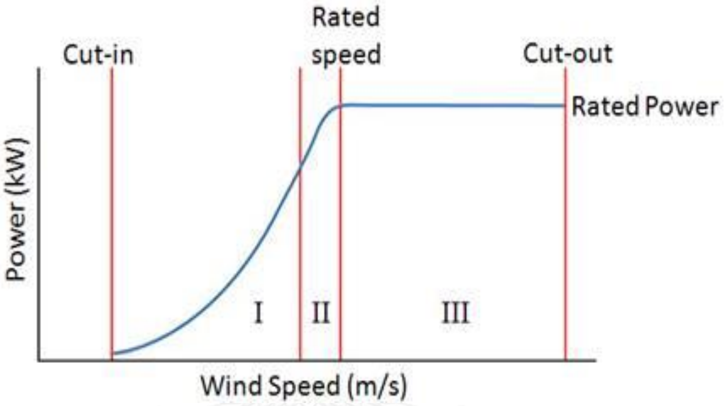
ในส่วนของแบบจำลองความเร็วลม จะเห็นความเร็วจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและมีความไม่แน่นอน แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับกังหันลมจะมีช่วงการทำงานอยู่ โดยขึ้นอยู่กับระดับของความเร็วลม ซึ่งระดับของความเร็วลมที่พัดผ่านใบพัดของกังหันลมไปผลิตไฟฟ้าจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

1) ความเร็วลมเข้าระบบ (Cut-in Wind Speed) คือ ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถเริ่มต้นทำงานและผลิตไฟฟ้าได้ โดยปกติแล้วจะมีค่าประมาณ 2.5-4 เมตรต่อวินาที ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานในแต่ละรุ่น ถ้าเกิดความเร็วน้อยกว่าความเร็วลมเข้าสู่ระบบจะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้

2) ความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด (Maximum rotor efficiency) คือ ความเร็วลมที่อยู่ในช่วงที่มากกว่าความเร็วเข้าระบบแต่น้อยกว่าความเร็วลมเต็มพิกัด โดยกำลังผลิตที่ได้จากความเร็วลมระดับนี้จะขึ้นกับมุมพิชและอัตราส่วนความเร็วยอด

3) ความเร็วลมเต็มพิกัด (Nominal or Rated Wind speed) คือ ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มพิกัดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะมีความเร็วประมาณ 12-15 เมตรต่อวินาที และเป็นระดับความเร็วลมที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งความเร็วลมเร็วกว่าค่านี้จะไม่ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้แต่จะผลิตไฟฟ้าได้เต็มพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น

4) ความเร็วลมตัดออก (Cut-out Wind speed) คือ ความเร็วลมสูงสุดที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับกังหันลมได้ ระบบจึงต้องหยุดการทำงานที่ความเร็วลมระดับนี้ โดยทั่วไปจะมีค่าตั้งแต่ 25 เมตรต่อวินาที ขึ้นไป



ภาพที่ 2.2 ระดับความเร็วลมกับกำลังผลิตจากกังหันลม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เนื่องจากในการประเมินค่ากำลังผลิตพึ่งได้ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนนั้น เป็นการพิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าในสภาวะอยู่ตัว จึงใช้สมการในการคำนวณกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม [4] ดัง สมการที่ (2.3)

$$P_w = \begin{cases} 0 & v < v_{ci}, v_{co} < v \\ \left(\frac{v^3 - v_{ci}^3}{v_r^3 - v_{ci}^3}\right) P_r & v_{ci} < v < v_r \\ P_r & v_r < v < v_{co} \end{cases} \quad (2.3)$$

โดยที่ P_w คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

P_r คือ กำลังไฟฟ้าพิกัด (วัตต์)

v_{ci} คือ ความเร็วลมเข้าระบบ (เมตรต่อวินาที)

v_r คือ ความเร็วลมเต็มพิกัด (เมตรต่อวินาที)

v_{co} คือ ความเร็วลมตัดออก (เมตรต่อวินาที)

โดยปกติแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานลมจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ Converter เพื่อช่วยรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบ และอุปกรณ์ Converter จะมีประสิทธิภาพในการจ่ายกำลังไฟฟ้าค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบได้ดังสมการ

$$P_{e,w} = P_w \times eff_w \tag{2.4}$$

โดยที่ eff_w คือ ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความเข้มแสง ดังนั้นในการจำลองการผลิตไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หนึ่งแบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิ และสองคือแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.2.1 แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ คือความเข้มแสงและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในขณะนั้น ทั้งสองปัจจัยจะถูกพิจารณาว่ามีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสภาพภูมิอากาศ กล่าวคือความเข้มแสงจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลา เช่น ในช่วงเช้าจะมีความเข้มแสงน้อยและค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จะสูงสุดในตอนกลางวัน เวลาตอนเย็นความเข้มแสงจะค่อยๆลดลง ส่วนอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและภูมิประเทศ เช่น พื้นที่สูงจะมีอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามปัจจัยทั้งสองไม่เป็นอิสระต่อกัน และอาจมีความความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ในช่วงที่มีความเข้มแสงสูงอุณหภูมิก็อาจจะสูงตามไปด้วย หรือในช่วงที่มีความเข้มแสงต่ำอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมก็อาจจะต่ำไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองดังกล่าวจะสร้างให้มีอิสระต่อกันนั้นไม่เหมาะสมนัก โดยจะแบ่งออกแบบจำลองความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จากนั้นจะอธิบายถึงแบบจำลองความสัมพันธ์ความเข้มแสงและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงตามเวลา

แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แปรตามเวลา จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง ($G_{trend,k}$, $T_{trend,k}$) และส่วนของความไม่แน่นอนของปัจจัยดังกล่าว ($G_{noise,t}$, $T_{noise,t}$) ซึ่งอธิบายได้ด้วยกระบวนการสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงตามค่าเฉลี่ยของปัจจัยและเวลา จะมีลักษณะคล้ายแบบจำลองความเร็วลมโดยสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$G_{k,t} = G_{trend,k} + G_{noise,t} \quad (2.5)$$

$$T_{k,t} = T_{trend,k} + T_{noise,t} \quad (2.6)$$

ในทำนองเดียวกับแบบจำลองความเร็วลม จากสมการข้างต้นสามารถจัดรูปแบบจะได้แบบจำลองความเข้มแสง และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนี้

$$G_{k,t} = G_{trend,k} + Z_G \times \sigma_{G,k} \times G_{trend,k} \quad (2.7)$$

$$T_{k,t} = T_{trend,k} + Z_T \times \sigma_{T,k} \times T_{trend,k} \quad (2.8)$$

โดยที่

$G_{k,t}$	คือ	ความเข้มแสงอาทิตย์รายนาทีในชั่วโมงที่ k
$T_{k,t}$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมรายนาทีในชั่วโมงที่ k
$G_{trend,k}$	คือ	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยนรายชั่วโมงที่ k
$T_{trend,k}$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมรายชั่วโมงที่ k
Z_G, Z_T	คือ	ค่าสุ่มจากการแจกแจงแบบปกติมีค่าอยู่ในช่วง (-3,3)
$\sigma_{G,k}$	คือ	ค่าความแปรปรวนของความเข้มแสงอาทิตย์ในชั่วโมงที่ k
$\sigma_{T,k}$	คือ	ค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในชั่วโมงที่ k
t	คือ	จุดเวลาที่ต้องการพิจารณานับจากต้นชั่วโมงที่ k

2) แบบจำลองความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม

ในการจำลองความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จะกำหนดให้ทั้งสองปัจจัยเป็นตัวแปรสุ่ม ดังนั้นการจำลองเหตุการณ์ก็คือ การสุ่มตัวแปร 2 ตัวที่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งตัวชี้วัดความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มที่มักใช้กันทั่วไปคือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient; ρ) โดยถ้า ρ มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กันถ้ามีค่าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ไปใน

ทิศทางเดียวกันและถ้ามีค่าใกล้ -1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ตรงข้ามกัน อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์ดังกล่าวก็บอกได้เพียงระดับของความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นเท่านั้น [4-7]

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการทางความน่าจะเป็นแบบ คอปปูลา (Copulas) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่บอกรายละเอียดของความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มมากกว่าสองตัวแปรขึ้นไปในรูปของฟังก์ชันการแจกแจงร่วม (Joint Distribution) โดยที่ตัวแปรสุ่มแต่ละตัวแปรมีการแจกแจงสะสม (Cumulative Marginal Distribution) เป็นการแจงแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) บนช่วง [0, 1] กล่าวอีกนัยหนึ่ง วิธีการคอปปูลาอธิบายทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มจากคู่อันดับการแจกแจงสะสมร่วมของตัวแปรสุ่ม โดยบริเวณที่มีความหนาแน่นมากแสดงว่าตัวแปรสุ่มมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางดังกล่าว

ทฤษฎีบทของสกลาร์ (Sklar’s Theorem) เป็นทฤษฎีบทที่สำคัญในการศึกษาคอปปูลา โดยทฤษฎีบทนี้จะกล่าวไว้ว่า H จะเป็นฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของตัวแปรสุ่มก็ต่อเมื่อมีคอปปูลา C ที่ทำให้

$$H(x, y) = C(U(x), V(y)) \tag{2.9}$$

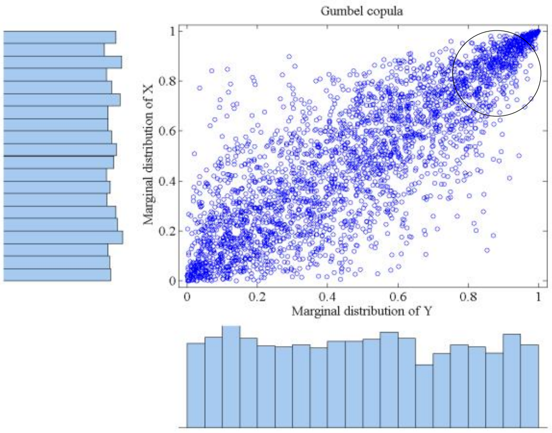
โดยที่$x, y \in R$ และ $U(x), V(y)$ เป็นการแจกแจงแบบมาร์จินัลของ xและ y ตามลำดับซึ่งมีค่าอยู่บนช่วง [0,1]

คอปปูลาที่ใช้อธิบายลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น Gumbel Copula, Clayton Copula และ Frank Copula เป็นต้น รูปแบบของคปปูลามีรายละเอียดและความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันออกไปในวิทยานิพนธ์ในจะใช้รูปแบบของคอปปูลา เพื่ออธิบานรายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิ 2รูปแบบ คือ แบบ Gumbel Copula และ Frank Copular อธิบาย ดังนี้

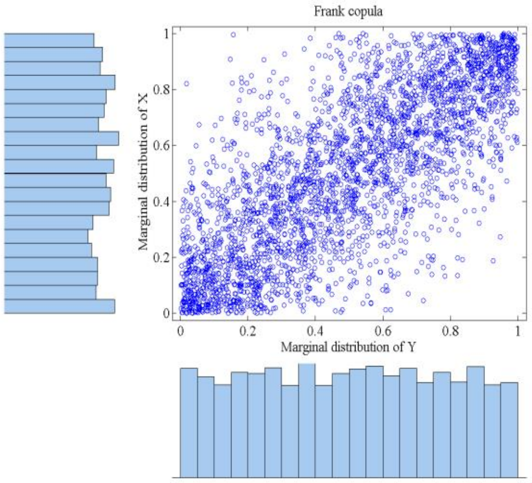
1)Gumbel Copula เป็นคอบปูลาที่มีคู่อันดับการแจกแจงสะสมกระจายตัวหนาแน่นบริเวณบน-ขวา ของแผนภาพการกระจาย ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ว่ามีทิศทางไปทางเดียวกันเมื่อการแจกแจงสะสมของตัวแปรมีค่ามาก กล่าวคือ ถ้าหากตัวแปรสุ่ม X มีค่ามากแล้วมีโอกาสที่ตัวแปรสุ่ม Y จะมีค่ามากสูงตามไปด้วย แต่หากตัวแปรสุ่ม X มีค่าน้อยแล้วมีโอกาสที่ตัวแปรสุ่ม Y จะมีค่าได้หลากหลายมีอยู่สูงแสดงดังภาพที่ 2.3

2) Frank Copula เป็นคอบปูลาที่มีคู่อันดับการแจกแจงสะสมกระจายตัวหนาแน่นบริเวณแนวทแยงจากล่าง-ซ้าย ไปยังขวา-บน ของแผนภาพการกระจายซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ว่ามีทิศทางไปทางเดียวกันตลอดการแจกแจงสะสมของตัวแปรช่วง [0, 1] กล่าวคือ ถ้า

หากตัวแปรสุ่ม X มีค่ามากแล้วตัวแปรสุ่ม Y จะมีค่ามากตาม หรือถ้าตัวแปรสุ่ม X มีค่าน้อยแล้วตัวแปรสุ่ม Y จะมีค่าน้อยด้วย แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 ฟังก์ชั่นการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Gumbel Copula



ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชั่นการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Frank Copula

ตัวแปรสุ่มที่สัมพันธ์กับการหาความเข้มแสงอาทิตย์ (Z_G) และตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับการหาอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Z_T) เป็นตัวแปรที่มีการกระจายตัวแบบปกติมาตรฐาน อย่างไรก็ดี จะต้องหาความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มทั้งสองตัวนี้โดยอาศัยทฤษฎีคอปปูลา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

กำหนดให้ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ (2.10) และ (2.11)

$$G_{k,t} \quad = G_{trend,k} + \; G_{noise,t} \tag{2.10}$$

$$T_{k,t} \quad = T_{trend,k} + \; T_{noise,t} \tag{2.11}$$

โดยที่ $G_{trend,k}$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ของชั่วโมงที่ k ตามฤดูกาล

$T_{trend,k}$ คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมของชั่วโมงที่ k ตามฤดูกาล

เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิรายนาทีจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง ตัวแปร $G_{noise,t}$ และ $T_{noise,t}$ จะมีค่าประมาณตามกระบวนการสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังนี้

$$G_{noise,t} \approx \sigma_{G,k} G_{trend,k} \sqrt{t} \times Z_G \tag{2.12}$$

$$T_{noise,t} \approx \sigma_{T,k} T_{trend,k} \sqrt{t} \times Z_T \tag{2.13}$$

จากสมการที่ (2.10) - (2.13) เมื่อให้ t มีระยะเวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมงแล้วจึงประมาณได้ว่า

$$G_k - \; G_{trend,k} \approx \sigma_{G,k} G_{trend,k} \times Z_G \tag{2.14}$$

$$T_k - \; T_{trend,k} \approx \sigma_{T,k} T_{trend,k} \times Z_T \tag{2.15}$$

ดังนั้นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $\sigma_{G,k}$ และ $\sigma_{T,k}$ จึงหาได้จากการประมาณภาวะความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ของชุดข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นจากสมการที่ (2.16) และ (2.17) ซึ่งเป็นการแจกแจงความเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ที่มีการแจกแจงแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $\sigma_{G,k}$ และ $\sigma_{T,k}$ ตามลำดับ ดังนี้

$$\left(G_k - \; G_{trend,k}\right)/G_{trend,k} \sim N\left(0, \sigma_{G,k}^2\right) \tag{2.16}$$

$$\left(T_k - \; T_{trend,k}\right)/T_{trend,k} \sim N\left(0, \sigma_{T,k}^2\right) \tag{2.17}$$

โดยที่ G_k คือ เซตของข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ ณ ชั่วโมงที่ k ของแต่ละฤดูกาล

T_k คือ เซตของข้อมูลอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ ชั่วโมงที่ k ของแต่ละฤดูกาล

ในขั้นตอนต่อมา จะทำการหาค่าการแจกแจงสะสมร่วมของข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยคอปปูลาที่เหมาะสมกับการแจกแจงของข้อมูลดังกล่าวนั้นสามารถหาได้ ดังนี้

$$H(Z_G, Z_T) = C(\Phi(Z_G), \Phi(Z_T)) \tag{2.18}$$

โดยที่ $\Phi(Z_G) = u$ คือ ฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) ของ $Z_G = (G_k - G_{trend,k})/\sigma_{G,k}G_{trend,k}$

$\Phi(Z_T) = v$ คือ ฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) ของ $Z_T = (T_k - T_{trend,k})/\sigma_{T,k}T_{trend,k}$

$C(u, v)$ คือ ฟังก์ชั่นคอปปูลาของตัวแปร uและ v

$H(Z_G, Z_T)$ คือ ฟังก์ชั่นการแจกแจงร่วมระหว่าง Z_G และ Z_T

เมื่อได้คู่อันดับความสัมพันธ์ (u, v) จากการแทนค่า (Z_G, Z_T) ลงไปในฟังก์ชั่นการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐานแล้ว จะทำการเลือกรูปแบบคอปปูลา $C(u, v)$ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มที่เหมาะสมโดยใช้วิธีประมาณค่าความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยกล่องเครื่องมือรูปแบบคอปปูลาใน MATLAB ชื่อ “copulafit”

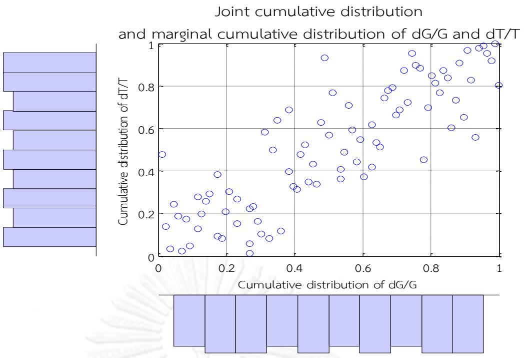
เมื่อได้รูปแบบคอปปูลาที่เหมาะสมจากรูปแบบคอปปูลามาตรฐานแล้ว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการสุ่มตัวแปร (Z_G, Z_T) ที่มีความสัมพันธ์กันกลับมาโดยอาศัยกล่องเครื่องมือรูปแบบคอปปูลาใน MATLAB ชื่อ “copularnd” ซึ่งจะให้ค่าตัวแปร (u, v) ออกมาก่อน ส่วนค่าตัวแปรสุ่ม Z_G และ Z_T นั้นสามารถหาได้โดยทำการแปลงผ่านฟังก์ชั่นผกผันของการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐาน (Inverse Standard Normal cdf) ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ใช้กล่องเครื่องมือ “icdf” ของโปรแกรม MATLAB เพื่อหาการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม Z_G และ Z_T ดังสมการต่อไปนี้

$$Z_G = \Phi^{-1}(u) \tag{2.19}$$

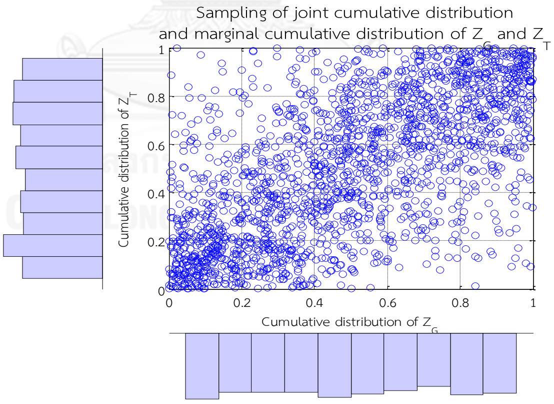
$$Z_T = \Phi^{-1}(v) \tag{2.20}$$

ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 2.5 แสดงการกระจายของคู่อันดับและการแจกแจงสะสมของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ในฤดูร้อน ณ ช่วงเวลา 7.00-8.00 น. ซึ่งมี

การกระจายที่สามารถใช้คอปปูลาประเภท Frank มาจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ ช่วงเวลานี้ได้ และภาพที่ 2.6 แสดงการกระจายของคู่อันดับของการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่ม Z_G (แกน X) และ Z_T (แกน Y) ที่ได้จากการสุ่มในช่วงเวลาเดียวกันโดยใช้คอปปูลาประเภท Frank



ภาพที่ 2.5 การกระจายตัวของคู่อันดับการแจกแจงสะสมและการแจกแจงสะสมการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ช่วงเวลา 7.00 - 8.00 น. ในฤดูร้อน

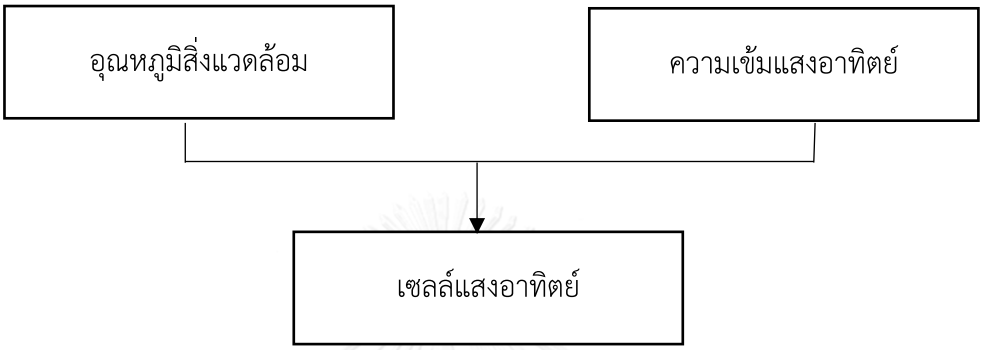


ภาพที่ 2.6 การกระจายตัวของคู่อันดับการแจกแจงและการแจกแจงสะสมของตัวแปรสุ่ม Z_G และ Z_T ที่ได้จากการสุ่ม โดยคอปปูลาประเภท Frank ช่วงเวลา 7.00 - 8.00 น. ในฤดูร้อน

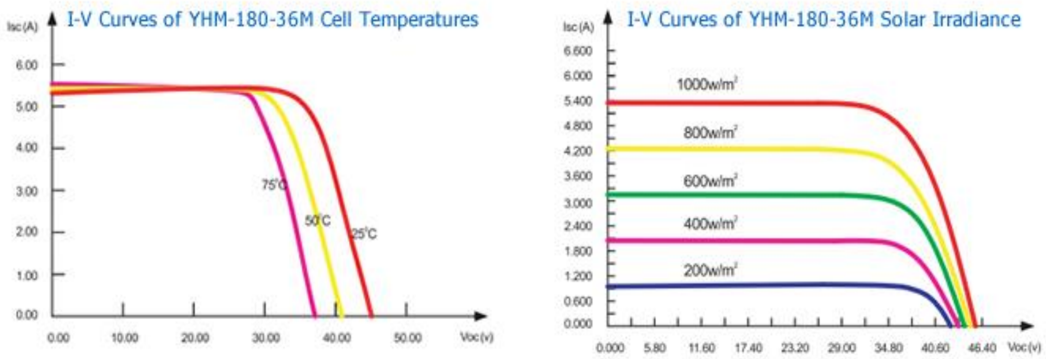
2.2.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

หลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ คือเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์รับแสงจะทำหน้าที่เปลี่ยนแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจัยที่สำคัญคือแสงอาทิตย์ที่กระทบกับเซลล์

แสงอาทิตย์ ถ้าความเข้มแสงสูงจะส่งผลให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มาก ส่วนอีกหนึ่งปัจจัยคืออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแต่ไฟฟ้าที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ภาพที่ 2.7 เป็นรูปที่แสดงแบบแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ แสดงได้ดังภาพที่ 2.8 [8]



ภาพที่ 2.7 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร กับ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ

จากปัจจัยความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาข้างต้น สมการในการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังนี้ [9]

$$P_{pv,t} = P_m \frac{G_t}{G_{STC}}(1-\gamma(T_{cell,t}-T_{STC})) \quad (2.21)$$

โดยที่ P_m คือ กำลังไฟฟ้าพิกัด (วัตต์)

G_t คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่จุดเวลา t ใดๆ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

G_{STC} คือ ความเข้มแสงที่ STC (Standard Test Condition) มีค่าเท่ากับ 1000 W/m^2

γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส$^{-1}$) มีค่าอยู่ในช่วง 0.005 – 0.003

T_{cell} คือ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ (องศาเซลเซียส)

T_{STC} คือ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

จากสมการข้างต้น การคำนวณกำลังไฟฟ้าจะต้องพิจารณาอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย สมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ [10] สามารถแสดงได้ดังนี้

$$T_{cell} = T_{amb} + (\frac{NOCT - 20^{\circ}}{800})G_t \quad (2.22)$$

โดยที่ T_{amb} คือ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

$NOCT$ คือ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดทำงาน ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 20 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเป็น 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที (Nominal Operating Cell Temperature) ซึ่งมีค่าเป็น 46 องศาเซลเซียส

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นก่อนทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักต้องมีการเชื่อมต่อกับ Converter เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับก่อน ซึ่งจะส่งผลให้มีกำลังสูญเสียใน Converter บางส่วนด้วย ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสุทธิจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีค่าเท่ากับ

$$P_{e,pv} = P_{pv} \times eff_s \quad (2.23)$$

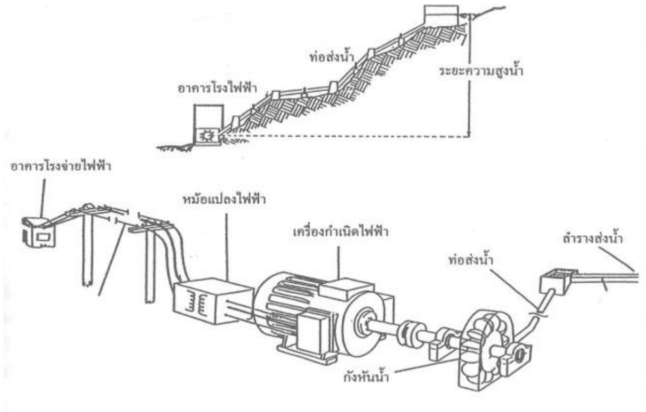
โดยที่ eff_s คือ ประสิทธิภาพของ Converter ที่เชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก

2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กในประเทศไทยนั่น มีกำลังการผลิตระหว่าง 200 กิโลวัตต์ ถึง 30 เมกะวัตต์ เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าของพลังงานน้ำขนาดเล็กนั้น มีความไม่แน่นอนในการผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำเป็นสำคัญ โดยประเภทของพลังงานน้ำขนาดเล็กแกเป็น 3 ประเภท [11-13] ตามการบังคับของน้ำ ดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีน้ำไหลตลอดปี (Run-of-river Hydro power plant)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้เป็นรูปแบบไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่สามารถควบคุมการไหลของน้ำได้ ดังนั้นระบบจะทำการผลิตไฟฟ้าตลอดเวลาตามปริมาณการไหลของกระแสน้ำ ดังภาพที่ 2.9 โดยหากน้ำไหลมามากกว่าปริมาณกระแสน้ำที่รับได้ก็จะปล่อยกระแสน้ำทิ้ง และหากกระแสน้ำไหลช้ากว่าที่กำหนด ก็ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับพลังงานลม

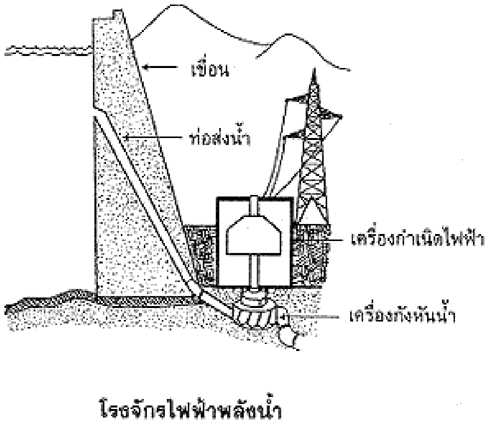


ภาพที่ 2.9 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

2. ระบบผลิตไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำ (Regulating Pond Hydro Power Plant)

โดยระบบผลิตไฟฟ้าจะบังคับน้ำที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำ ปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำจากสูงลงต่ำโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก กระแสน้ำจากการปล่อยไปหมุนกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะ

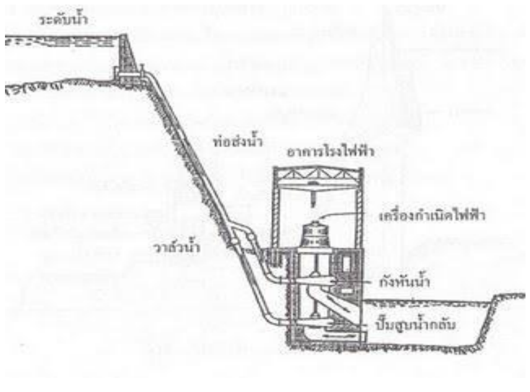
บังคับน้ำให้ไหลในช่วงสั้นๆ การผลิตไฟฟ้าจะสามารถควบคุมให้สอดคล้องกับความต้องการไฟฟ้าได้ดีกว่าโรงไฟฟ้าแบบแรก รูปแบบการผลิตไฟฟ้าจะแสดง ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำ
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

3. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydro Power Plant)

ระบบผลิตไฟฟ้าแบบสูบกลับ จะแตกต่างกับระบบผลิตไฟฟ้าจากอ่างเก็บน้ำ คือสามารถสูบน้ำกลับไปยังอ่างเก็บน้ำได้ โดยประโยชน์ของระบบผลิตนี้คือจะสามารถควบคุมได้ดีที่สุด เช่น เมื่อต้องการใช้ไฟฟ้ามากก็ปล่อยน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้า แต่ในช่วงที่เหลือไฟฟ้าก็นำไฟฟ้ามาสูบน้ำกลับสู่อ่างเก็บน้ำเพื่อสะสมไว้ใช้ในช่วงที่ต้องการไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 2.11

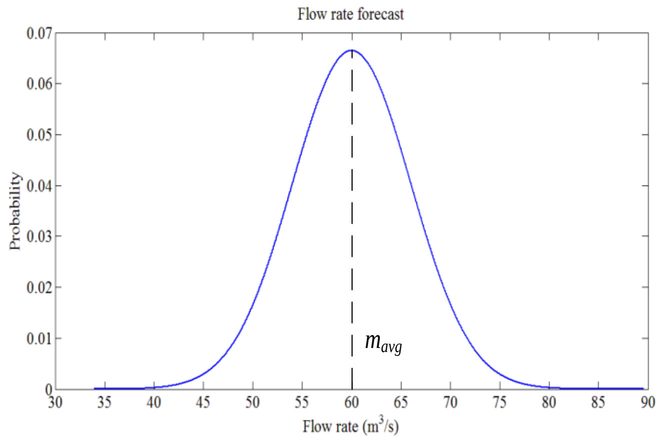


ภาพที่ 2.11 โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบมีอ่างเก็บน้ำ
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการประเมินการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี ซึ่งจะผลิตไฟฟ้าจากน้ำที่ไหลตามธรรมชาติของลำน้ำ ดังนั้นการจำลองของระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำประเภทนี้จึงแบบเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.3.1 แบบจำลองอัตราการไหลของน้ำ

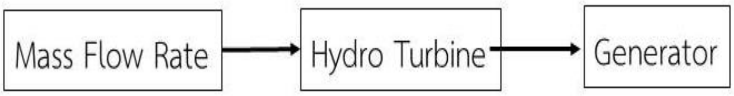
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กจะอาศัยหลักการของอัตราการไหลของน้ำในการผลิตไฟฟ้า โดยธรรมชาติที่มีการไหลของน้ำนั้นจะมีค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของน้ำค่อนข้างคงที่ตลอดลำน้ำ แต่อัตราการไหลของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและฤดูกาล วิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอแบบอัตราการไหลของน้ำเพื่อประกอบแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กอย่างง่าย โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ค่าเฉลี่ยและแปรปรวนขึ้นกับขนาดของค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของน้ำ $m_t \sim N(m_{avg}, \sigma^2)$ ทั้งนี้ตัวอย่างอัตราการไหลของลำน้ำที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 60 ลิตรต่อวินาที และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 10 ของค่าเฉลี่ยแสดงได้ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ตัวอย่างแบบจำลองความไม่แน่นอนของอัตราการไหลของน้ำ

2.3.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ท่อส่งน้ำ เครื่องกังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การผลิตไฟฟ้าจะเริ่มจากการปล่อยน้ำจากเขื่อนผ่านท่อส่งน้ำ โดยน้ำจะไหลจากระดับที่สูงกว่าไปสู่ระดับที่ต่ำกว่าโดยผ่านกังหันน้ำที่อยู่ระหว่างทางไหลของน้ำ ความเร็วของน้ำจะขับกังหันน้ำให้หมุน การหมุนของกังหันจะส่งผ่านเพลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ

ลักษณะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี จะมีลักษณะคล้ายการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม คือจะมีการผลิตไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อมีน้ำไหลผ่าน อัตราการไหลของน้ำจึงเป็นตัวกำหนดการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำจึงทำการประยุกต์ใช้สมการคำนวณกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบทั่วไปดังสมการ [14]

$$P_{out} = g \cdot m \cdot H_{net} \cdot \eta_{system} \tag{2.24}$$

โดยที่	P_{out}	คือ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
	g	คือ	ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง (9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
	m	คือ	อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อวินาที)
	H_{net}	คือ	ความสูงของหัวน้ำสุทธิ (เมตร)
	η_{system}	คือ	ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ มีค่าเท่ากับ 68.4%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ (η_{system}) ในที่นี้ประกอบไปด้วยประสิทธิภาพในส่วนของกังหันน้ำ (Hydro turbine) ระบบขับเคลื่อน (Drive system) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าประสิทธิภาพรวมอยู่ที่ 60-70% เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปีนั้นความสูงของหัวน้ำสุทธิจะมีค่าคงที่ แต่สิ่งที่มีความไม่แน่นอนคืออัตราการไหลของน้ำ และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กนั้นจะผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น เครื่องกังหันน้ำในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยคั่ง จ.เชียงใหม่ [15] ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงกำลังการผลิตของกังหันน้ำ

ประเภทกังหันน้ำ	Cross Flow	
กำลังผลิต	40	กิโลวัตต์
หัวน้ำสุทธิ	90	เมตร
อัตราการไหล	60	ลิตรต่อวินาที

กังหันน้ำเครื่องนี้เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเป็น 60 ลิตรต่อวินาที จะผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 37 กิโลวัตต์ ตามสมการที่ (2.24) ซึ่งจะใช้อัตราการไหลของน้ำค่านี้เป็นเกณฑ์ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่อัตราการไหลของน้ำค่าอื่นๆ กระบวนการดังกล่าวสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{rated} = g \cdot m_{rated} \cdot H_{net} \cdot \eta_{efficiency} \quad (2.25)$$

$$P_t = g \cdot m_t \cdot H_{net} \cdot \eta_{efficiency} \quad (2.26)$$

ซึ่งเมื่อลำน้ำมีอัตราการไหลมากเกินกว่าพิกัดของกังหันน้ำจะรับได้ ระบบก็จะตัดการทำงาน ดังนั้นแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัดส่วนกำลังการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดกำลังได้ดังสมการ

นำสมการที่ (2.25) หารด้วยสมการที่ (2.26) และจัดรูปสมการใหม่ จะได้ว่า

CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$P_t = \frac{m_t}{m_{rated}} \cdot P_{rated} \quad (2.27)$$

โดยที่ P_{rated} คือ พิกัดกำลังไฟฟ้า (วัตต์)

m_t คือ อัตราการไหลของน้ำ (ลิตรต่อวินาที)

m_{rated} คือ อัตราการไหลของน้ำสูงสุดที่กังหันสามารถรับได้ (ลิตรต่อวินาที)

เมื่อนำแบบจำลองดังกล่าวมาประกอบกันกับแบบจำลองอัตราการไหลของน้ำ ก็จะสามารถคำนวณกำลังผลิตที่ได้ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปีได้

2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวภาพ

พลังงานชีวภาพถือเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีสัดส่วนสูงที่สุดของพลังงานทดแทน โดยมีการส่งเสริมการผลิตพลังงานชีวภาพที่นำมาใช้ประโยชน์ทั้งรูปแบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งปริมาณการผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นสำคัญ โดยเชื้อเพลิงการผลิตจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะชุมชุน ซึ่งกระบวนการและเทคโนโลยีจะแตกต่างกันตามเชื้อเพลิง

ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง และความสามารถในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า ปัจจัยทั้งสองนั้นมีความไม่แน่นอนอยู่และส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงแบ่งได้เป็นสองส่วน คือ แบบจำลองความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง และ แบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวภาพ

2.4.1 แบบจำลองความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวภาพจะได้ไฟฟ้าได้มากน้อยเชื้อเพลิงเป็นสิ่งสำคัญ ปริมาณเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหนึ่งทีทำให้รู้ถึงการผลิตไฟฟ้า ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวภาพในแต่ละประเภทจะใช้เชื้อเพลิงที่มีความแตกต่างกัน ดังนี้

1) เชื้อเพลิงชีวมวล

เชื้อเพลิงชีวมวลจะมาจากวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรหรือเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากการแปรรูปของผลผลิตทางการเกษตร บางครั้งต้องผ่านเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้พร้อมต่อการใช้งาน โดยเชื้อเพลิงแต่ละชนิดมีค่าความร้อนที่แตกต่างกัน แสดงถึงศักยภาพชีวมวลของประเทศไทยในตารางที่ 2.2 ในคุณสมบัติบางอย่างส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ [16]

1.การกระจายตัวของแหล่งเชื้อเพลิงเป็นปัจจัยหนึ่งในความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้า เกิดจากการทำการเกษตรกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ

2.ความชื้นของเชื้อเพลิง ทำให้ค่าความร้อนในการเผามาค่าน้อยลง บางครั้งต้องผ่านกระบวนการลดความชื้นก่อน

3.สิ่งเจือปนของเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน ทำให้ใช้เชื้อเพลิงผลิตได้ทั้งหมด จึงต้องมีการแยกสิ่งเจือปนออกกก่อน

ตารางที่ 2.2 ศักยภาพชีวมวลของประเทศไทย

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	วัสดุเหลือใช้	ค่าความร้อน(MJ/kg)
อ้อย	68,807,800	ชานอ้อย	14.40
		ยอดและใบ	11.22
ข้าว	31,974,084	แกลบ	12.45
		ฟางข้าว	10.12
น้ำมันปาล์ม	9,032,635	ทะลายปาล์ม	8.65
		เส้นใย	17.62
		กะลา	18.46
ข้าวโพด	4,488,906	ซัง	15.65
ไม้สวนป่า	8,950,000	เศษไม้	14.98
ยูคาลิปตัส	6,800,000	ไม้ฟืน	14.98
		เปลือกไม้	12.34
<u>หมายเหตุ</u>	1.ผลผลิตทางการเกษตร จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ.2553		
	2.ค่าความร้อนวัสดุ จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและและอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ.2553		

2) เชื้อเพลิงก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดยจะหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักของสารอินทรีย์องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) โดยก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้านั้นเกิดจากการใช้เทคโนโลยีในการเปลี่ยนของเสียให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ [17] ซึ่งแหล่งกำเนิดของเสียนั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.กลุ่มปศุสัตว์ ได้จากของเสียจากฟาร์ม

2.กลุ่มอุตสาหกรรม ได้จากของเสียจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม

3.กลุ่มขยะชุมชุน ได้จากข้อเสียที่มาจากชุมชน

หากพิจารณาจากศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำเสียที่จัดทำโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ดังตารางที่ 2.3 จะพบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อนำไปผลิตไฟฟ้าถึง 530 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของระบบผลิตก๊าซชีวภาพขนาดต่างๆ

ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพต่อแห่ง (ล้าน ลบ.ม./ปี)	ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (MW)	ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพรวม	
		(ล้าน ลบ.ม./ปี)	ร้อยละ
0-5	0-1.5	139	26.2
5-10	1.5-3.0	136	25.7
10-30	3.0-9.0	255	48.1
รวม		530	100.0

3) เชื้อเพลิงขยะชุมชุน

จาการขยายตัวของเศรษฐกิจและการเพิ่มของประชากร ทำให้มีอัตราการเกิดขยะเพิ่มขึ้นในทุกปี จึงได้นำขยะมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษขยะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ขยะที่เผาไหม้ได้ (Combustible Waste) ได้แก่ ผักผลไม้ เศษอาหาร กระดาษ โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 94.43%

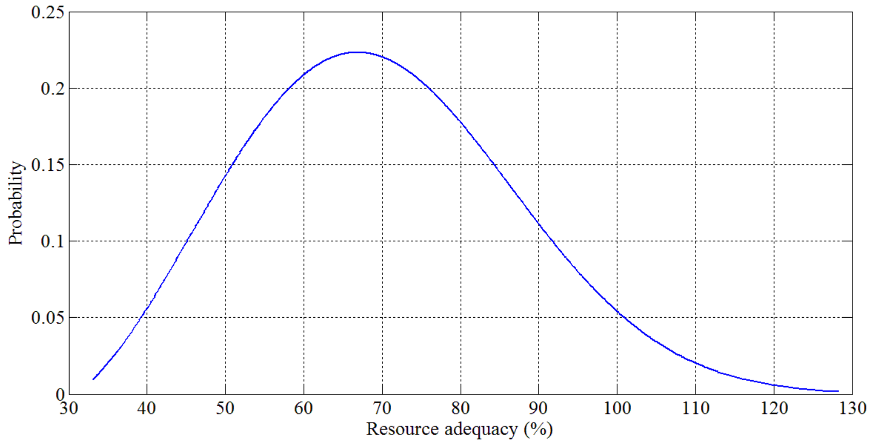
2. ขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non- Combustible Waste) ได้แก่ แก้ว โลหะ หิน มีเพียงร้อยละ 5.57%

จากการประเมินของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)จะพบว่า เทศบาลที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากขยะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 323 เมกะวัตต์จากปริมาณขยะ 21,811 ตันต่อวัน โดยมีปริมาณขยะทั้งประเทศมากกว่า 41,000 ตันต่อวัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลต่างๆทั่วประเทศไทย

พื้นที่รวบรวมขยะ	ปริมาณขยะรวม (ตัน/วัน)	ศักยภาพการผลิตไฟฟ้า (MW)
1. กรุงเทพมหานคร	9,350	158
2. เทศบาลที่มีขยะ 501-1,000 ตัน/วัน	2,219	36
3. เทศบาลที่มีขยะ 251-500 ตัน/วัน	3,829	65
4. เทศบาลที่มีขยะ 101-250 ตัน/วัน	4,429	46
5. เทศบาลที่มีขยะน้อยกว่า100 ตัน/วัน	2,074	18
รวมทั้งสิ้น	21,811	323

ปัจจัยของเชื้อเพลิงชีวภาพที่กล่าวมาข้างต้น จะส่งผลต่อความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง ดังนั้นแบบจำลองความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงจะพิจารณาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้านั้นๆ และมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาหรือฤดูกาล โดยปกติแล้วระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้ จะไม่สามารถจัดหาเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าได้เต็มค่าพิกัดของโรงไฟฟ้า เนื่องจากมีการกระจายตัวของแหล่งเชื้อเพลิง หรือมีข้อจำกัดในการรวบรวมเชื้อเพลิงตามพื้นที่ต่างๆ ตามที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้แบบจำลองความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบไวบูลล์ (Weibull distribution) ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มของการจัดหาเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยจะทำได้ง่ายในระดับหนึ่ง แต่โอกาสในการจัดหาเชื้อเพลิงให้ได้ในปริมาณมากขึ้นจากค่าเฉลี่ยจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังภาพที่ 2.14



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพที่ 2.14 ความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงชีวภาพ

$$f(x_t) = \frac{k}{\lambda}\left(\frac{x_t}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(\frac{x_t}{\lambda})^k} \quad ; \quad x_t \geq 0 \qquad (2.28)$$

โดยที่ x_t คือ ความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง ณ เวลา t

λ, k คือ พารามิเตอร์ของแบบจำลอง

จากข้อมูลแบบจำลองภาพที่ 2.14 พบว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงชีวภาพนั้นในปัจจุบันมีความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 60-70

2.4.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวภาพ

แบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวภาพจะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงชีวภาพจะแตกต่างกันไปตามเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยแบ่งเชื้อเพลิงพลังงานชีวภาพเป็น 3 ประเภท ดังนี้

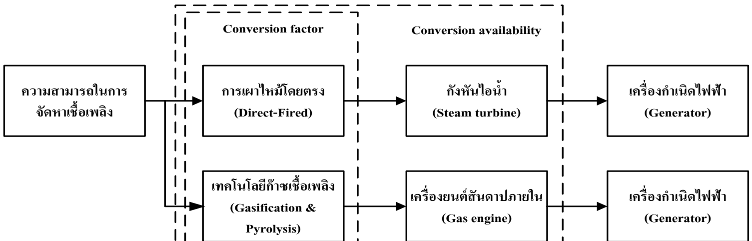
1) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) กระบวนการทางเคมีความร้อน (Thermo-chemical) เป็นการใช้ความร้อนไปทำลายโครงสร้างทางเคมีของชีวมวลเพื่อให้โครงสร้างทางเคมีของชีวมวลเปลี่ยนแปลงไป แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ

1.1 การเผาไหม้โดยตรง (Direct-fired) เป็นการนำชีวมวลไปเผาโดยตรงในหม้อไอน้ำ (Boiler) เพื่อถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นให้กับน้ำในหม้อไอน้ำจนกลายเป็นไอน้ำที่ร้อนจัดและมีความดันสูง จากนั้นไอน้ำเหล่านี้จะถูกนำไปปั่นกังหันไอน้ำ (Steam turbine) ที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.15 แต่การผลิตไฟฟ้าด้วยระบบนี้มีข้อจำกัดคือ โรงไฟฟ้าควรมีขนาดใหญ่มากกว่า 5 เมกะวัตต์ขึ้นไป เนื่องจากมีต้นทุนสูง

1.2 เทคโนโลยีก๊าซเชื้อเพลิง (Gasification & Pyrolysis) เป็นการเผาชีวมวลโดยควบคุมปริมาณอากาศเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จากกระบวนการดังกล่าวจะได้ก๊าซที่มีองค์ประกอบ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซต์ (CO) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 4.5 -5.5 เมกะจูลล์ต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะถูกนำไปใช้เดินเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Gas Engine) เพื่อผลิตไฟฟ้า ชีวมวลที่มีความเหมาะสมกับกับการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีการนี้ควรมีขนาดใกล้เคียงกันและไม่ควรเล็กมากจนเกินไปเพื่อให้อากาศสามารถผ่านได้โดยทั่วไป ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้จะมีกำลังผลิตอยู่ในช่วง 1 – 100 กิโลวัตต์



ภาพที่ 2.15 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวลโดยใช้กระบวนการความร้อน

2) กระบวนการทางเคมีชีวภาพ (Bio-chemical) เป็นการนำชีวมวลไปเข้าสู่กระบวนการทางเคมีชีวภาพ แต่ในประเทศไทยมีการใช้งานน้อยมาก แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ

2.1 การย่อยสลาย (Digestion) เป็นการย่อยสลายชีวมวลเพื่อให้ก๊าซชีวภาพ จากนั้นจึงนำไปผลิตไฟฟ้าต่อไป

2.2 การหมัก (Fermentation) เป็นการหมักชีวมวลเพื่อกลายเป็นเอทานอล

จากภาพที่ 2.15 ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้ความสามารถในการแปลงพลังงานของระบบ ($Conv.factor$) มีความไม่แน่นอนที่สามารถอธิบายได้ด้วยการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) รอบค่าเฉลี่ยค่าหนึ่ง จากส่วนประกอบของแบบจำลองดังกล่าว ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล (C_t) ณ เวลาใดๆ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$C_t = x_t \times Conv.factor \tag{2.29}$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถคำนวณกำลังผลิตที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ($P_{biomass,t}$) ณ เวลา t ใด ๆ ได้เท่ากับ

$$P_{biomass,t} = C_t \times Installed\ Capacity_{biomass} \tag{2.30}$$

โดยที่ $Conv.factor$ คือ ความสามารถในการแปลงเชื้อเพลิง

2) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ

เทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในประเทศไทยมีอยู่หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำเสียหรือของเสีย ซึ่งเทคโนโลยีแต่ละชนิดก็มีประสิทธิภาพและความไม่แน่นอนในการผลิตก๊าซชีวภาพที่แตกต่างกัน เทคโนโลยีที่ใช้งานในประเทศไทยมีดังนี้ [18]

1) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบยูเอเอสบี (Up-flow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) หรือระบบชั้นตะกอนอากาศแบบไหลขึ้น จะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แขวนลอยในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยในประเทศไทยมีการใช้เทคโนโลยี UASB ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม

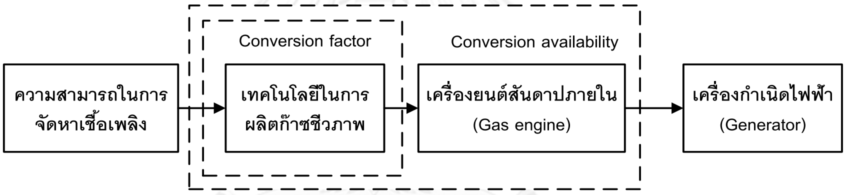
2) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film or Anaerobic Filter: AF) เป็นถังปฏิกรณ์แบบตรึงฟิล์มซึ่งมีวัสดุตัวกลางที่ใช้ คือ เชือกไนลอน ตาข่าย เป็นต้น เพื่อให้จุลินทรีย์เติบโตโดยยึดเกาะบนผิววัสดุตัวกลาง และมีน้ำเสียไหลอย่างสม่ำเสมอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (Continuous Stirred Tank Reactor: CSTR) เป็นระบบที่ใช้ถังปฏิกรณ์ในอุดมคติ (Ideal Reactor) ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในถังเท่ากันทุกจุด (Completely Mixed) แต่มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากอาจมีการกวนผสมของสารไม่ดี

4) ระบบบ่อไร้อากาศแบบคลุมบ่อ (Anaerobic Covered Lagoon) เป็นระบบที่พัฒนามาจากบ่อบำบัดน้ำเสียโดยทำการปิดคลุมพลาสติกที่ปากบ่อเพื่อกักเก็บก๊าซชีวภาพเอาไว้ และใช้หลักการของจุลินทรีย์แขวนลอยในการผลิตก๊าซชีวภาพ

สำหรับแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพนั้น จะมีลักษณะคล้ายกันกับแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล กล่าวคือ ประกอบไปด้วยส่วนของความไม่แน่นอนของความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง และความสามารถของกระบวนการผลิตไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเทคโนโลยีในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก และมีความไม่แน่นอนของส่วนผสมที่ได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ด้วย ดังนั้นแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพจึงสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



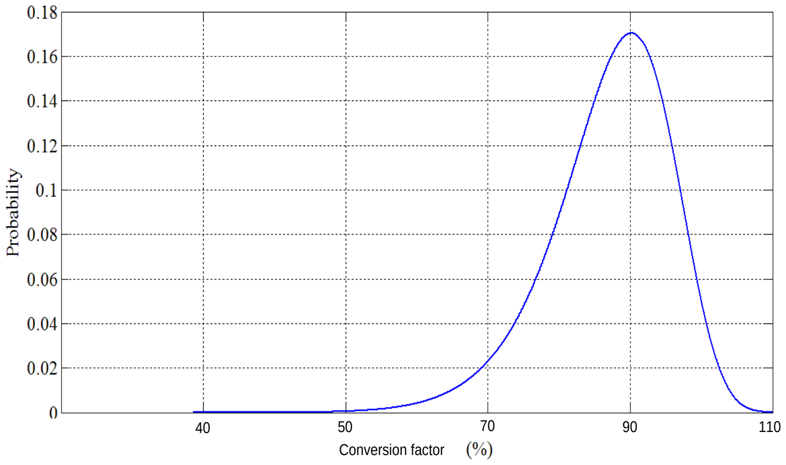
ภาพที่ 2.16 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ

จากแบบจำลองในภาพที่ 2.16 ส่วนของการแปลงพลังงานหรือการผลิตก๊าซชีวภาพ ($Conv.factor$) นั้นจะไม่ใช่ค่าคงที่ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้นั้นจะมีสัดส่วนมีเทนที่ผสมอยู่ไม่แน่นอน ซึ่งส่งผลถึงความสามารถในการนำไปผลิตไฟฟ้า โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพเทียบกับสัดส่วนมีเทนแสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพที่เทียบกับสัดส่วนมีเทน

สัดส่วนมีเทน	ค่าความร้อน (MJ/Nm3-BG)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้าต่อก๊าซชีวภาพ 1 ลบ.ม. (kWh/Nm3-BG)
50% CH_4	17.5	1.689
55% CH_4	19.3	1.858
60% CH_4	21.0	2.027

ดังนั้นในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงกำหนดให้แบบจำลองในส่วนของ $Conv.factor$ นี้ อธิบายได้ด้วยปริมาณของสัดส่วนมีเทน และกำหนดให้ค่าสัดส่วน 60% CH_4 มี $Conv.factor$ เป็น 100% ส่วนค่าสัดส่วนมีเทนค่าอื่นๆ นั้นจะหาเทียบได้กับสัดส่วนมีเทน CH_4 ที่มีในก๊าซชีวภาพ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยการกระจายตัวแบบไวบูลล์ จากนั้นเมื่อได้แบบจำลองส่วน $Conv.factor$ แล้วจึงนำก๊าซชีวภาพที่ได้เข้าสู่ส่วนแปลงพลังงาน ($Conv.availability$) เพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 2.17 ความสามารถในการแปลงเชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ (C_t) เป็นสมการได้ดังนี้

$$C_t = x_t \times Conv.factor \tag{2.31}$$

โดยที่	x_t	คือ	ความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิง (ร้อยละเทียบกับกำลังผลิตติดตั้ง)
	$Conv.factor$	คือ	ความสามารถในการแปลงเชื้อเพลิงจากก๊าซชีวภาพ (ร้อยละเทียบกับกำลังผลิตติดตั้ง)

และสามารถคำนวณกำลังผลิตที่ได้จาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ ณ เวลา t ใด ๆ ได้ดังนี้

$$P_{biogas,t} = C_t \times Installed\ Capacity_{biogas} \tag{2.32}$$

3) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะ

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะนั้น จะมีลักษณะคล้ายกันกับเทคโนโลยีที่ใช้ผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวล โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) เทคโนโลยีความร้อน (Thermal Technology)

1.1 เทคโนโลยีเตาเผาขยะมูลฝอย (Incineration)

1.2 เทคโนโลยีไพโรไลซิส/ก๊าซซิฟิเคชั่น (Pyrolysis/Gasification)

1.3 เทคโนโลยีพลาสมาอาร์ค

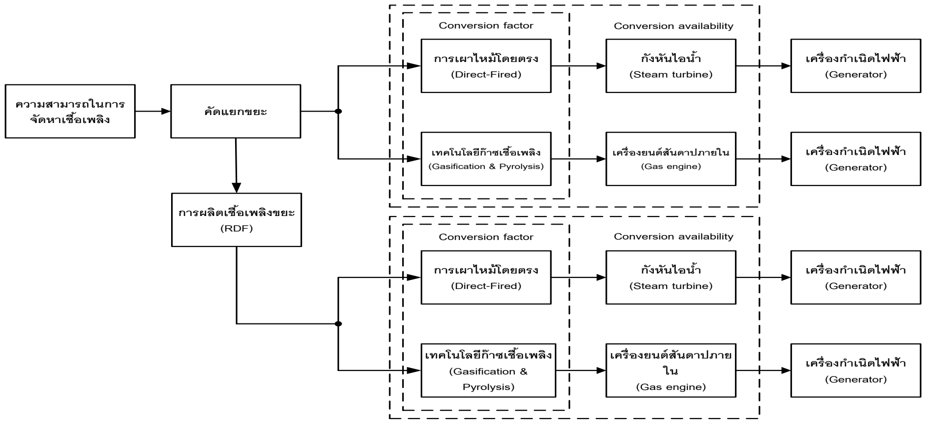
2) เทคโนโลยีชีวภาพ (Biological Technology)

2.1 เทคโนโลยีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

2.2 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบขยะ (Landfill Gas to Energy)

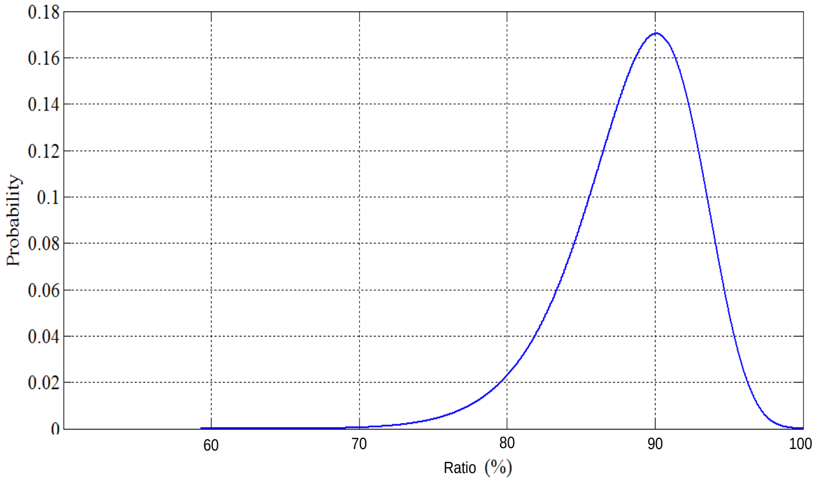
3) เทคโนโลยีการผลิตเชื้อเพลิงจากขยะมูลฝอย เป็นการแปรรูปขยะมูลฝอยโดยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขยะมูลฝอยเพื่อทำให้กลายเป็นเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel: RDF)

แบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะนั้น เนื่องจากมีการใช้เทคโนโลยีที่มีลักษณะเหมือนกันกับการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล นั่นก็คือ การใช้เทคโนโลยีความร้อนโดยการเผาโดยตรงและกระบวนการก๊าซซิฟิเคชั่น ดังนั้นแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าในส่วนนี้จึงใช้แบบจำลองเดียวกัน แต่จะเพิ่มในส่วนของกระบวนการคัดแยกขยะและส่วนของการผลิต RDF ซึ่งมีความไม่แน่นอน จากนั้น จึงนำไปเข้าสู่กระบวนการทางความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป



ภาพที่ 2.18 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน

จากแบบจำลอง ในส่วนของการคัดแยกขยะนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยการแจกแจงแบบไวบูลล์ โดยตัวอย่างการคัดแยกขยะที่มีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนขยะที่สามารถนำไปผลิตไฟฟ้าได้อยู่ที่ 90% ของปริมาณขยะทั้งหมดที่สามารถจัดหาได้ สามารถดังแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 สัดส่วนของขยะที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่อปริมาณขยะทั้งหมดที่สามารถจัดหาได้

การใช้เทคโนโลยีเพื่อผลิต RDF นั้นเป็นการเพิ่มศักยภาพให้กับกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่า $Conv.factor$ แต่เนื่องจากการผลิต RDF นั้นมีความไม่แน่นอน ดังนั้นจึงกำหนดให้ แบบจำลองส่วน RDF นั้นมีการกระจายตัวแบบปกติรอบค่าๆหนึ่ง และในส่วนของความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงจะยังคงใช้แบบจำลองเดียวกันกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล โดยสามารถแสดงกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะชุมชน (P_{total}) ได้ดังนี้

$$C_1 = (100\% - RDF_t) \cdot (A_t \cdot x_t) \times Conv.factor_1 \quad (2.33)$$

$$C_2 = RDF_t \cdot (A_t \cdot x_t) \times Conv.factor_2 \quad (2.34)$$

$$P_{total,t} = C_{1,t} \cdot IC_1 + C_{2,t} \cdot IC_2 \quad (2.35)$$

โดยที่ C_1 คือ ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากกระบวนการเผาตรง (ร้อยละเทียบกับกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้า)

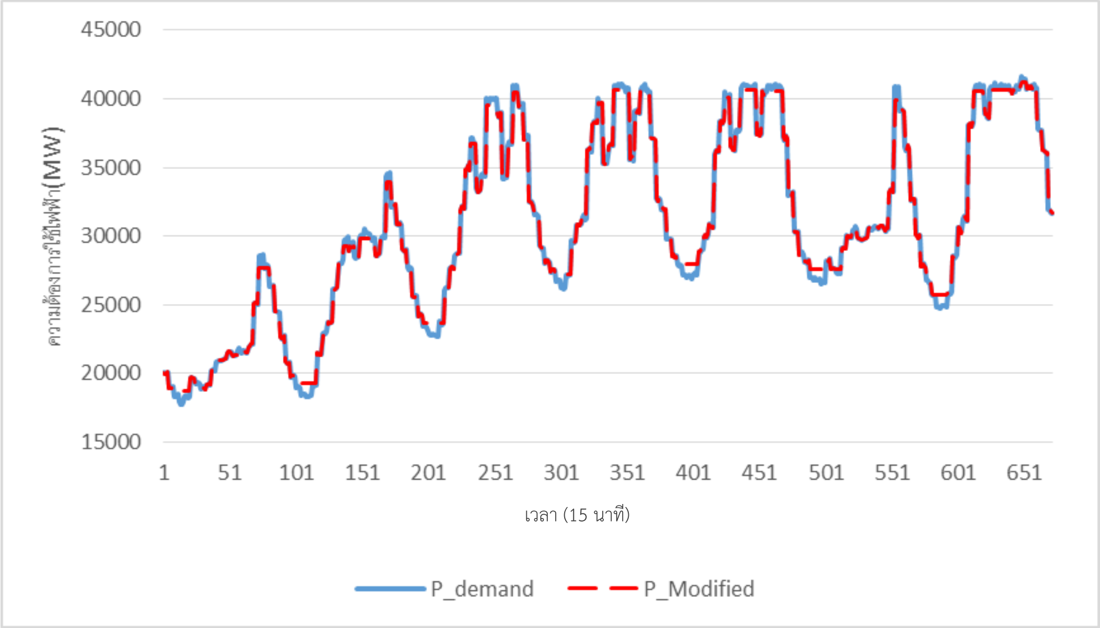
C_2 คือ ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เทคโนโลยีเชื้อเพลิง RDF (ร้อยละเทียบกับกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้า)

A_t	คือ	สัดส่วนขยะที่คัดแยกแล้วสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้เทียบกับความสามารถในการจัดหาเชื้อเพลิงขยะ (x_t)
RDF_t	คือ	ร้อยละของสัดส่วน RDF ที่ผลิตได้ต่อสัดส่วนขยะที่สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้($A_t \cdot x_t$) ซึ่งหาได้จากกระบวนการสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ
$Conv.factor_1$	คือ	ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีความร้อนกับขยะทั่วไป
$Conv.factor_2$	คือ	ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเทคโนโลยีความร้อนกับเชื้อเพลิง RDF
P_{total}	คือ	กำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะ (วัตต์)
IC_1	คือ	กำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะที่ใช้กระบวนการความร้อน
IC_2	คือ	กำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีเชื้อเพลิง RDF

2.5. โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อนแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าพลังงานแบบเขื่อน จะมีข้อจำกัดของพลังงาน เนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าจะมีค่าไม่เกินปริมาณน้ำที่มีในอ่างเก็บน้ำ โดยเขื่อนแบบสูบกลับจะใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืนเพื่อสูบน้ำกลับเข้าอ่าง ทำให้เกิดกำลังสูญเสีย และเขื่อนจะผลิตไฟฟ้าเพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงที่มีค่าสูงเท่านั้น โดยปริมาณที่สามารถผลิตไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขปริมาณที่อ่างเก็บน้ำสามารถกักเก็บได้และเงื่อนไขจากชลประทาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะสร้างแบบจำลองของการรับและจ่ายกำลังไฟฟ้าของเขื่อนแบบสูบกลับ โดยพิจารณาจากความต้องการไฟฟ้าราย 15 นาที และกำหนดให้วันจันทร์ถึงวันเสาร์มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด 3 ช่วงเวลา ส่วนในวันอาทิตย์และวันหยุดราชการณ์จะมีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด 1 ช่วง ตามรูปแบบความต้องการใช้ไฟฟ้าของไทย ในแต่ช่วงของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดจะครอบคลุมระยะเวลา 3 ชั่วโมง ทั้งนี้จะกำหนดเงื่อนไขการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีพลังงานในช่วงการสูบกลับมีค่ามากกว่าช่วงการใช้น้ำในการผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่าย และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจะมีค่าไม่เกินกำลังการติดตั้ง ส่วนของพลังงานสูงสุดไม่เกินกว่าปริมาณของน้ำที่ผลิตไฟฟ้าได้ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.20



ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างการจ่ายพลังงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแบบสูบกลับในหนึ่งสัปดาห์

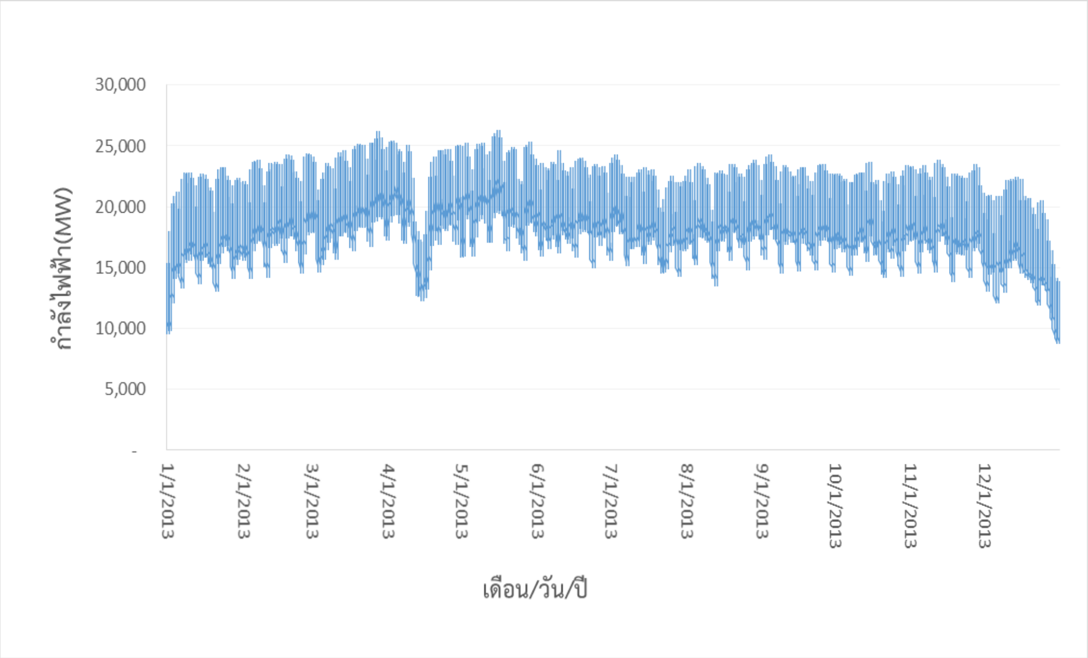
2.6 แบบจำลองความต้องการไฟฟ้า

แบบจำลองการใช้ไฟฟ้าเป็นข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำข้อมูลจริงรายชั่วโมงปี 2556 มาเป็นข้อมูลฐานในการคำนวณเพื่อนำไปหาความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต โดยจะแบ่งส่วนของแบบจำลองเป็น 2 ส่วน คือ แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต และ แบบจำลองความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า ดังนี้

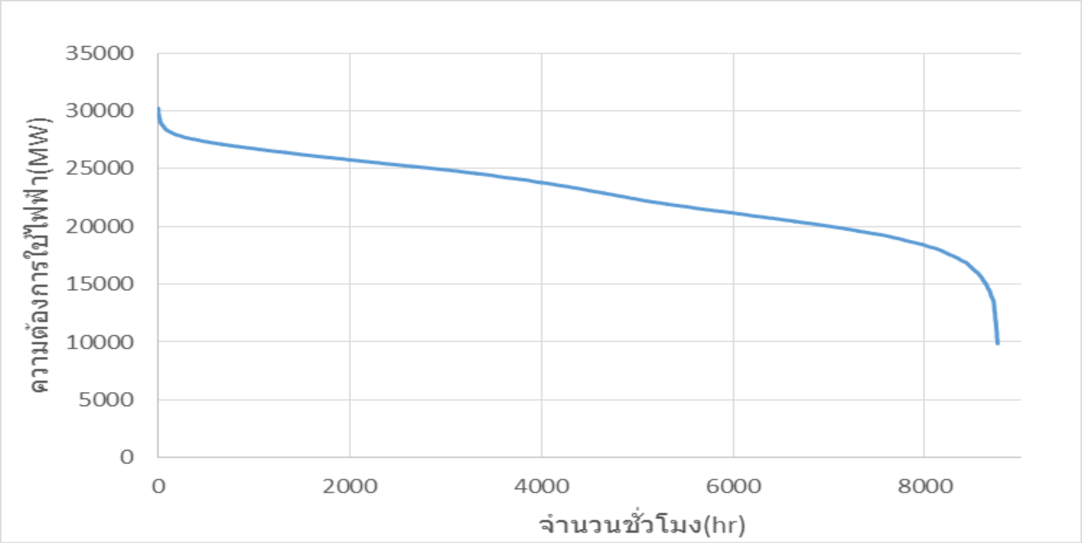
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.6.1 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต

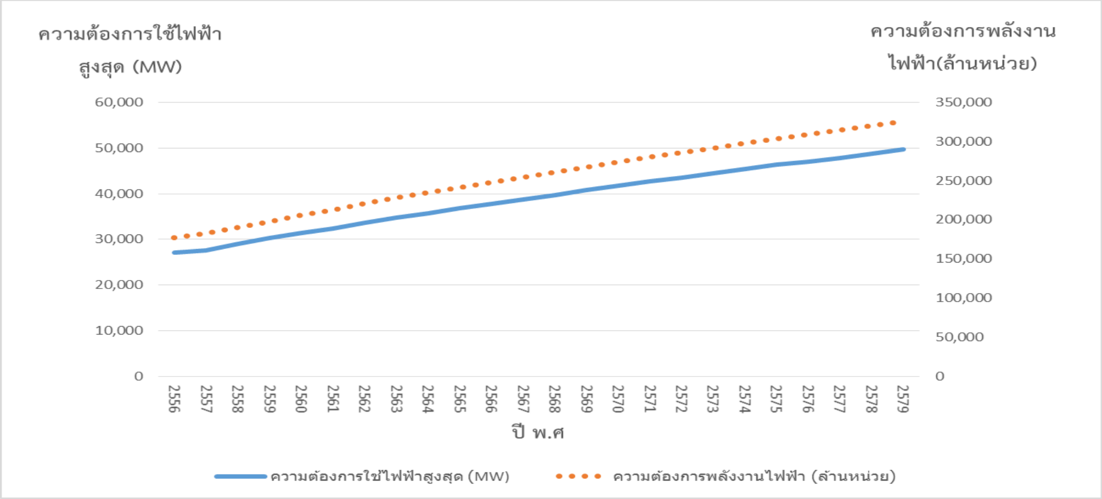
ในการสร้างความต้องการไฟฟ้าในอนาคตต้องเริ่มจากการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และความต้องการพลังงานไฟฟ้าตลอดปีในอนาคต แสดงจากภาพที่ 2.21 โดยข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าจะแสดงได้เป็นสองลักษณะ คือ เส้นโค้งโหลดรายชั่วโมงและเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลด ซึ่งทั้งสองแบบมีความสัมพันธ์กัน และสามารถแปลงกลับระหว่างกันได้



ภาพที่ 2.21 แสดงโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดในช่วงระยะเวลา 1 ปี



ภาพที่ 2.22 แสดงเส้นโค้งรายชั่วโมง ปี 2556



ภาพที่ 2.23 สถิติและการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้า

เมื่อทราบถึงข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละปีแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างลักษณะของการใช้ไฟฟ้าตามปีฐาน (ปี 2556) โดยใช้เส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดรายปีของปีฐาน มาทำการปรับค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดให้เท่ากับค่าพยากรณ์ จากนั้นแปลงโหลดแบบเส้นโค้งกลับไปเป็นเส้นโค้งหลายชั่วโมงอีกครั้ง [19] สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้

1) นำข้อมูลลักษณะหรือรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของปีฐานมาทำการพิจารณา
2) แปลงเส้นโค้งโหลดรายชั่วโมงของปีฐานให้เป็นเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลด
3) คำนวณสัดส่วนระหว่างค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของปีที่พิจารณาต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของปีฐาน ดังสมการต่อไปนี้

$$Energy\ ratio = \frac{E_{fc}}{E_{base}} \tag{2.36}$$

โดยที่ E_{fc} คือ ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าปีฐาน

E_{base} คือ ค่าพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของปีที่พิจารณา

$Energy\ ratio$ คือ สัดส่วนระหว่างค่าพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าปีที่พิจารณาต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าปีฐาน

4) นำข้อมูลเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดของปีฐานทุกจุดมาคูณด้วยค่า Energy ratio จะทำให้ได้เส้นโค้งใหม่ ดังสมการที่ 2.37

$$LDC_{temp} = Energy\, ratio \times LDC_{base} \tag{2.37}$$

โดยที่ LDC_{temp} คือ เส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดของปีฐาน

LDC_{base} คือ เส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดไม่ที่ได้

5) กำหนดค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดในปีที่พิจารณามีค่า ดังสมการที่ 2.38

$$P_{min,fc} = k \times P_{max,fc} \tag{2.38}$$

โดยที่ $P_{max,fc}$ คือ ค่าพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของปีที่พิจารณา

k คือ สัดส่วนระหว่างค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด โดยค่าตั้งต้นของสัดส่วนระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดนั้น จะกำหนดให้มีค่า 0.3625 เพื่อปรับให้เทียบเท่ากับสัดส่วนของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าปีฐาน

$P_{min,fc}$ คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดในปีที่พิจารณา

6) แบ่งเส้นโหลดเป็นสามช่วงระยะเวลาของโหลดเป็น 3 ช่วง โดยช่างแรกคือ ชั่วโมงที่ 1 ถึง 2000 ช่วงที่สองคือ ช่วงชั่วโมงที่ 2001 ถึง 6760 และช่วงสุดท้ายช่วงชั่วโมงที่ 6761 ถึง 8760
7) ทำการปรับเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดช่วงแรกด้วยสมการที่ 2.39

$$LDC_{cal}(t) = \frac{P_{max,fc} - LDC_a}{\max(LDC_{temp}) - LDC_a} \times \left(LDC_{temp}(t) - LDC_a\right) + LDC_a \tag{2.39}$$

โดยที่ LDC_a คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดชั่วโมงที่ 2000

$LDC_{cal}(t)$ คือ เส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดใหม่ที่ปรับค่าแล้ว ณ เวลา t

8) ทำการปรับเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดช่วงที่สามด้วยสมการที่ 2.40

$$LDC_{cal}(t) = \frac{P_{min,fc} - LDC_b}{\min(LDC_{temp}) - LDC_b} \times \left(LDC_{temp}(t) - \min(LDC_{temp})\right) + P_{min,fc} \tag{2.40}$$

โดยที่ LDC_b คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของเส้งโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดชั่วโมงที่ 6761

9) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของ LDC_{new} จากการปรับเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดในข้อ 7) และ 8)

10) ตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่

11) หากความคลาดเคลื่อนยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ให้ทำการปรับเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดช่วงที่สองดังนี้

-ช่วงชั่วโมงที่ 2001 ถึง 4380 ปรับด้วยสมการที่ 2.41

$$LDC_{cal}(t) = \frac{P_{new} - LDC_c}{LDC_{temp}(4380) - LDC_c} \times \left(LDC_{temp}(t) - LDC_{temp}(4830)\right) + P_{new} \qquad (2.41)$$

โดยที่ LDC_c คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดชั่วโมงที่ 2001

P_{new} คือ ผลรวมระหว่างเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดชั่วโมงที่ 4830 กับ $\frac{2 \times eror \times 1000}{4760}$

-ช่วงชั่วโมงที่ 4381 ถึง 6760 ปรับรูปแบบด้วยสัดส่วนดังสมการที่ 2.42

$$LDC_{cal}(t) = \frac{P_{new}' - LDC_d}{LDC_{temp}(4380) - LDC_d} \times \left(LDC_{temp}(t) - LDC_d(4830)\right) + LDC_d \qquad (2.42)$$

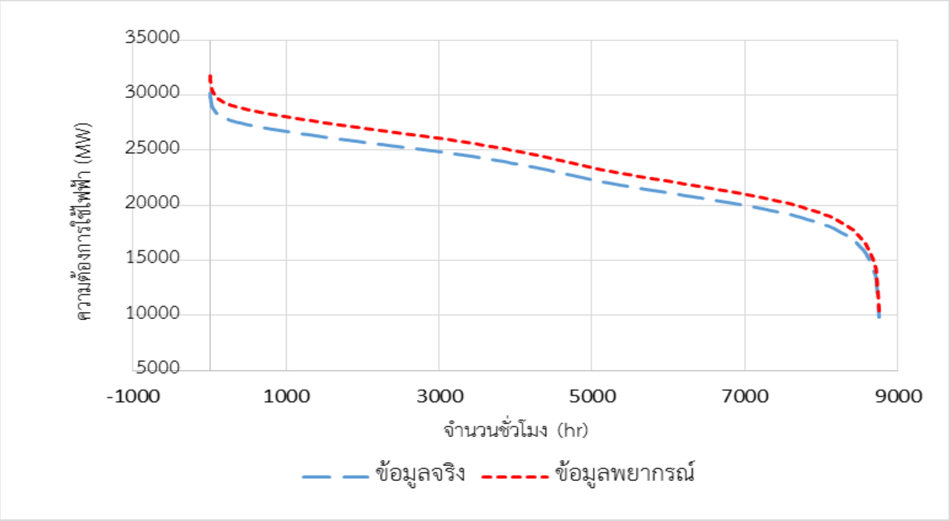
โดยที่ LDC_d คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดชั่วโมงที่ 6760

P_{new}' คือ ผลรวมระหว่างเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดชั่วโมงที่ 4831 กับ $\frac{2 \times eror \times 1000}{4760}$

12) หากความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด สิ้นสุดการคำนวณ

เมื่อคำนวณตามขั้นตอนแล้วจะได้ความต้องการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงของปีที่ต้องการพิจารณา โดยตัวอย่างของเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลดที่คำนวณตามค่าพยากรณ์แสดงได้ดังภาพที่ 2.24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.24 ตัวอย่าง Load duration Curve ที่เกิดจากการพยากรณ์

เนื่องจากในวิทยานิพนธ์นี้ พิจารณาการเลือกพื้นที่ในการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมตามพื้นที่นั้นๆ จึงแยกพื้นที่ในการพิจารณาออกเป็น 6 ภาคตามแหล่งเชื้อเพลิง ได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และส่วนภาคกลางจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ภาคกลางฝั่งตะวันออก ภาคกลางฝั่งตะวันตก และภาคกลางตอนบน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะอาศัยค่าประมาณ โดยจะทำการสร้างลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้ารายพื้นที่ในอนาคตร่วมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ และกำหนดให้ความต้องการใช้ไฟฟ้ารายพื้นที่แต่ละปีมีลักษณะสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงที่เหมือนกัน ดังนั้นค่าความต้องการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงสำหรับแต่ละพื้นที่อาจจะประมาณได้ดังสมการที่ 2.43

$$L'(k,hr) = R(k,hr) \times L(hr) \quad (2.43)$$

โดยที่ $L'(k,hr)$ คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าพื้นที่ k ชั่วโมงที่ hr ที่ได้

$R(k,hr)$ คือ สัดส่วนของความต้องการใช้ไฟฟ้าฐานพื้นที่ k ชั่วโมงที่ hr

$L(hr)$ คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศที่พยากรณ์ได้ ชั่วโมงที่ hr

2.6.2 แบบจำลองความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้าวิทยานิพนธ์นี้ จะต้องใช้การเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงราย 15 นาที จึงได้มีการทำการประมาณความต้องการ

ใช้ไฟฟ้าจากข้อมูลเบื้องต้นที่มีเป็นความต้องการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง โดยใช้สมการ (2.44) และ (2.45) ซึ่งผลของความไม่แน่นอนในการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าดังกล่าว สามารถถูกจำลองได้ด้วยการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งค่ากำลังจริงของโหลดจะเท่ากับค่าการพยากรณ์โหลดบวกกับค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ ดังนี้

$$P_j = P_j^{forecast} + Z \times \boldsymbol{\sigma_{P_j}} \tag{2.44}$$

$$\boldsymbol{\sigma_{P_j}} = \boldsymbol{\beta} \times \sqrt{P_j} \tag{2.45}$$

โดยที่ Z คือ ตัวเลขสุ่มจากการแจกแจงแบบปกติ

P_j คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เวลา $\boldsymbol{j}$

$\boldsymbol{\sigma_{P_j}}$ คือ การกระจายของการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เวลา $\boldsymbol{j}$ ซึ่งสามารถประมาณได้จากสมการที่ (2.37)

$\boldsymbol{\beta}$ คือ พารามิเตอร์การกระจายตัวของความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบซึ่งใช้ในการปรับค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load forecast error)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
หลักการและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้เบื้องต้นที่เกี่ยวกับอุปกรณ์กักเก็บพลังงานต่างๆ จากนั้นจึงจะกล่าวถึงแบตเตอรี่ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ โดยจะกล่าวถึงชนิดของแบตเตอรี่และคุณสมบัติของแบตเตอรี่

3.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับแบตเตอรี่

เนื่องจากมีการส่งเสริมให้ใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้น เพื่อลดการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล แต่พลังงานหมุนเวียนเหล่านี้มีข้อกำจัดในการผลิตไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน ทำให้ระบบกักเก็บพลังงานเข้ามามีบทบาทมากขึ้น โดยช่วยกักเก็บพลังงานในช่วงที่มีการผลิตไฟฟ้าที่เกินกว่าความต้องการและช่วยจ่ายไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้ามากกว่ากำลังการผลิตหรือช่วยแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของความต้องการกำลังไฟฟ้า ในปัจจุบัน ระบบกักเก็บพลังงานมีอยู่หลากหลายรูปแบบ โดยจะยกตัวอย่างได้ดังนี้

3.1.1 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่เป็นเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานรูปแบบหนึ่งใช้การกักเก็บพลังงานในรูปของพลังงานเคมี โดยแบ่งแบตเตอรี่ออกเป็น 2 ประเภทคือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิเป็นแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถกักเก็บพลังงานซ้ำได้ และแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิเป็นแบตเตอรี่ที่สามารถกักเก็บพลังงานซ้ำได้ แบตเตอรี่มีหลากหลายชนิดจึงมีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก จากลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ คือ แบตเตอรี่ธรรมดาและแบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน

3.1.1.1 แบตเตอรี่ธรรมดา

เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงานจะเหมือนกับแบตเตอรี่ที่มีใช้กันทั่วไป โดยจะใช้เซลเคมีในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมีแล้วจะถูกกักเก็บไว้ และทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อต้องการใช้พลังงาน แบตเตอรี่ธรรมดา ประกอบด้วย

1. ตะกั่ว (Lead acid batteries)
2. นิกเกิล (Nickel-electrode batteries)
3. ลิเธียมไอออน (Lithium-ion batteries)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. โซเดียม-ซัลเฟอร์ (Sodium-sulfur batteries; NaS)
5. โซเดียม-นิกเกิลคลอไรด์ (Sodium nickel chloride batteries; ZEBRA)
6. ลิเธียม – ซัลเฟอร์ (Lithium – sulfur batteries)
7. โลหะ–อากาศ (Metal – air batteries)

3.1.1.2 แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (Flow Battery)

แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน เป็นเทคโนโลยีการเก็บพลังงานที่เก็บพลังงานในรูปของพลังงานเคมีและใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี เช่นเดียวกับแบตเตอรี่ทั่วไปแบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีการไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลท์ซึ่งเป็นส่วนที่เก็บพลังงานผ่านเซลล์ไฟฟ้าเคมี ประกอบไปด้วย

1. สังกะสิ-โบรมีน (Zinc-bromine flow batteries)
2. โพลีซัลไฟด์-โบรไมด์ (Polysulfide-bromide flow batteries)
3. วานาเดียม (Vanadium Redox flow batteries)

3.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่

โดยทั่วไปแบตเตอรี่สามารถจำแนกได้ด้วยคุณสมบัติมีหลายองค์ประกอบ ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมี แรงดัน ขนาด พลังงานจำเพาะหรือความจุของแบตเตอรี่ สถานะของประจุ (State-Of-Charge; SOC) เป็นต้น [20-22]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.1 คุณสมบัติทางเคมี

วัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่มีหลายชนิด ได้แก่ ตะกั่ว นิกเกิล และลิเธียม ซึ่งความแตกต่างของวัสดุทำให้คุณสมบัติทางเคมีมีความแตกต่างกันไปรวมถึงการอัดประจุและคายประจุก็แตกต่างกันด้วย

3.2.2 แรงดัน

แรงดันในที่นี้หมายถึงแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ (Terminal Battery Voltage) ซึ่งค่าแรงดันนี้จะแปรตามวัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่และจำนวนของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาต่ออนุกรมกัน โดยแรงดันที่ขั้วขณะเปิดวงจรจะมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ระบุ (Nominal Battery Voltage) เล็กน้อย ส่วนแรงดันที่ขั้วขณะต่อโหลดหรืออัดประจุ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการใช้งาน ณ ขณะนั้น

3.2.3 ความจุ

ความจุของแบตเตอรี่ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณประจุที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ ก่อนที่แบตเตอรี่จะปล่อยประจุเต็มที่ หน่วย SI ของความจุแบตเตอรี่คือคูลอมบ์ (C) แต่หน่วยทั่วไปของความจุแบตเตอรี่คือแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) เมื่อกำหนดให้แบตเตอรี่มีความจุ 20 Ah แสดงว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสคงที่ 20 A ได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง จ่ายกระแสคงที่ 2 A ภายใน 10 ชั่วโมง หรือจ่ายกระแสคงที่ 1 A ภายใน 20 ชั่วโมง

3.2.4 พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นพลังงาน

พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) หมายถึง ความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) ส่วนความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density) หมายถึง ความสามารถในการจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ต่อหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร (Wh/l) แบตเตอรี่ที่มีพลังงานจำเพาะหรือความหนาแน่นพลังงานสูงจะใช้ระยะเวลานานในการคายประจุจนหมด ดังนั้นพลังงานจำเพาะหรือความหนาแน่นพลังงานจึงมีความหมายเปรียบเสมือนความจุของแบตเตอรี่

3.2.5 กำลังจำเพาะ

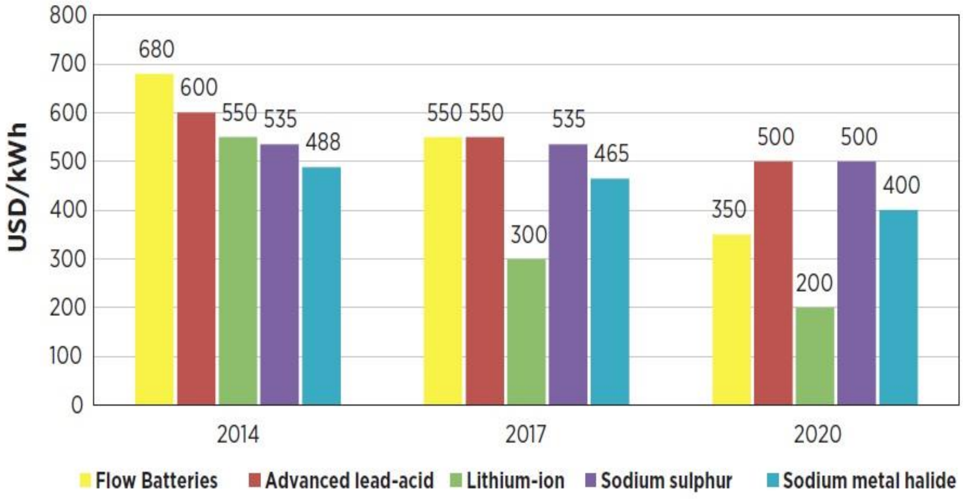
กำลังจำเพาะ (Specific power) หมายถึง ความสามารถในการจ่ายโหลด หรือปริมาณไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ ซึ่งแสดงถึงค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ กล่าวคือ หากกำลังจำเพาะสูง ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าน้อย แต่ในทางตรงกันข้าม หากกำลังจำเพาะต่ำ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่ามากด้วย

3.2.6 ซี-เรต (C-rate)

ซี-เรตเป็นค่าที่บอกอัตราส่วนระหว่างกระแสคายประจุเทียบกับขนาดความจุของแบตเตอรี่ ตัวอย่างเช่น การคายประจุที่ 1C คือ แบตเตอรี่จ่ายกระแสคายประจุในปริมาณที่เท่ากับค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ได้นานติดต่อกันได้ 1 ชั่วโมงจนประจุหมด หรือการคายประจุที่ 0.5C คือ แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสลดลงครึ่งหนึ่งเป็นเวลา 2 ชั่วโมงจนประจุหมด เป็นต้น ในขณะที่ถ้าเป็นการอัดประจุแล้ว 1C จะหมายถึง แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุเต็มได้ภายใน 1 ชั่วโมง และ 0.5C หมายถึง การอัดประจุจนเต็มจะต้องใช้เวลา 2 ชั่วโมง เป็นต้น

3.3 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน

วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูง มีรอบการเก็บพลังงานที่มาก จำนวนหน่วยพลังงานต่อเซลที่สูง และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในสัดส่วนสูงได้ ส่วนราคาจะมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างรวดเร็วในอนาคตอีกด้วย [23] แสดงดังภาพที่ 3.1 ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกแบตเตอรี่ประเภทลิเธียมไอออนมาใช้ในการแก้ปัญหาของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด



ภาพที่ 3.1 แสดงการลดลงของราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
ที่มา: IRENA International Renewable Energy Agency

แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดจะชื่อตามสูตรทางเคมีของธาตุที่ใช้ในการผลิตแบตเตอรี่ ดังต่อไปนี้ [24]

1. แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Cobalt Oxide; $LiCoO_2$) แบตเตอรี่ชนิดนี้จะนิยมใช้กับโทรศัพท์มือถือ โน๊ตบุ๊ค และกล้องถ่ายรูป แบตจะประกอบด้วย โคบอลต์ออกไซด์ในฝั่งแคโทล และมีแกรไฟอยู่ฝั่งแอโนด แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีลักษณะ คือ มีจำนวนรอบของแบตเตอรี่จะน้อย และมีขนาดเล็ก

2. แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมแมงกานีสออกไซ (Lithium Manganese Oxide;$LiMn_2O_4$) แบตเตอรี่เป็นแบตเตอรี่ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงแต่มีขนาดเล็ก จำนวนรอบของการแบตเตอรี่จะอยู่ประมาณ 300-700 รอบ จึงทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จะใช้ในเครื่องไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ และรถไฟฟ้า

3. แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลด์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide; $LiNiMnCoO_2$ or NMC) แบตเตอรี่ชนิดนี้จะเป็นแบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังไฟฟ้าที่สูง มีแนวโน้มว่าจะใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้มากขึ้นด้วย แบตเตอรี่ชนิดนี้จะใช้ในจักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ รถยนต์ไฟฟ้า

4. แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอรอนฟอสเฟส (Lithium Iron Phosphate; $LiFePO_4$) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความทนทานต่ออุณหภูมิได้เป็นอย่างดี มีความปลอดภัยมากเพราะแบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่สามารถติดไฟได้หรือเกิดการเผาไหม้

5. แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมนิกเคิลโคบอลด์อลูมิเนียมออกไซด์ (Lithium Cobalt Aluminum Oxide; $LiNiCoAlO_2$) เป็นแบตเตอรี่ที่มีจำนวนรอบของแบตเตอรี่ที่มากมีขนาดของแบตเตอรี่ที่ใหญ่และมีกำลังไฟฟ้าที่สูง ใช้กับรถยนต์ไฟฟ้า รถไฟฟ้า และมีราคาที่สูงมาก

6. แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไทเทเนต (Lithium Titanate; $Li_4Ti_5O_{12}$) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีจำนวนรอบที่มาก มีการชาร์จไฟที่รวดเร็ว และมีช่วงอุณหภูมิ แต่มีราคาที่สูงมาก ใช้เป็นเครื่องสำรองไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้า

3.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวงจรแปลงกำลัง

วงจรแปลงกำลังสามารถแบ่งตามลักษณะการแปลงกำลังได้ 4 ชนิด ได้แก่ วงจรแปลงไฟตรง-ไฟตรง วงจรแปลงไฟตรง-ไฟสลับ วงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรง และวงจรแปลงไฟสลับ-ไฟสลับ แต่วงจรแปลงกำลังที่ถูกนำมาใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ คือ วงจรแปลงไฟตรง-ไฟสลับ และ วงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรง เท่านั้น เนื่องจากวงจรแปลงไฟตรง-ไฟสลับมีจุดประสงค์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากการคายประจุของแบตเตอรี่ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้วจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า และในทางตรงกันข้าม วงจรแปลงไฟสลับ-ไฟตรงมีจุดประสงค์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับจากระบบไฟฟ้าไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจ่ายให้กับแบตเตอรี่เพื่ออัดประจุไฟฟ้ากลับคืน [25, 26]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

การคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เพื่อช่วยในการลดขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดให้มีขนาดไม่เกินกว่าค่าที่โรงไฟฟ้าสามารถรองรับได้ โดยวิธีการหาขนาดของแบตเตอรี่จะใช้วิธีการคำนวณด้วยวิธี The Generalized Reduce Gradient Method (GRG) ในโปรแกรม Solver ใน MS Excel เพื่อคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

4.1 การหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่

เมื่อมีพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบไฟฟ้า จะทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่รวดเร็วการตอบสนองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอาจไม่ทันการ จึงได้นำแบตเตอรี่เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงการกำลังไฟฟ้าให้มีความมั่นคงมากขึ้น

ดังนั้นการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่เข้ามาช่วยในการลดความผันผวนนั้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญ ถ้าเลือกขนาดที่ใหญ่เกินไปจะส่งผลให้มูลค่าการลงทุนสูง แต่ถ้าหากเลือกขนาดเล็กเกินไปจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการใช้งาน ดังนั้นต้องเลือกขนาดให้เหมาะสมต่อการใช้งาน

โดยจะหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะหาจากขนาดของแบตเตอรี่ที่สามารถรองรับการจ่ายและการรับกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ได้ กำหนดให้หาขนาดแบตเตอรี่เป็นไปตาม สมการที่ (4.1)

$$Min \quad \boldsymbol{E_{ESS}} \tag{4.1}$$

โดยที่ $\boldsymbol{E_{ESS}}$ คือ ขนาดของแบตเตอรี่

โดยกำหนดเงื่อนไขของการหาขนาดแบตเตอรี่ทั้งหมด 4 เงื่อนไข คือ

1. ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกินค่าที่กำหนด
2. ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้
3. สถานะของประจุ (state of charge; SOC) ในแต่ละช่วงเวลาไม่เกินค่าของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน
4. กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายและรับมีขนาดเท่ากันในหนึ่งสัปดาห์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1 การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่

ในขั้นตอนแรกจะหาค่าเริ่มต้นจากการหาขนาดที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่แต่ละช่วงเวลา จะดูจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของแบตเตอรี่จากจ่ายกำลังไฟฟ้าไปเป็นรับกำลังไฟฟ้าหรือรับกำลังไฟฟ้าไปเป็นจ่ายกำลังไฟฟ้า จากสมการสมมุติ $U(t)$ ขึ้นมาเป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานของแบตเตอรี่จากการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปเป็นรับกำลังไฟฟ้าหรือรับกำลังไฟฟ้าไปเป็นจ่ายกำลังไฟฟ้า กำหนดให้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะ $U(t)$ จะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าไม่มีการเปลี่ยนสถานะ $U(t)$ จะมีค่าเท่ากับ 0 และนำค่าทั้งหมดมารวมกันจะได้จำนวนช่วงของการเปลี่ยนสถานะจากจ่ายกำลังไฟฟ้าไปเป็นรับกำลังไฟฟ้าหรือรับกำลังไฟฟ้าไปเป็นจ่ายกำลังไฟฟ้านั่นเอง สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (4.2) - (4.3)

$$U(t) = \begin{cases} 1 \ ; P_{batt}(t+1) \times P_{batt}(t) \leq 0 \\ 0 \ ; P_{batt}(t+1) \times P_{batt}(t) > 0 \end{cases} \qquad (4.2)$$

$$n = \sum_{t=1}^{T} U(t) + 1 \qquad (4.3)$$

โดยที่ n คือ จำนวนช่วงของการหาขนาดของแบตเตอรี่

หลังจากรู้ถึงจำนวนช่วงของการเปลี่ยนสถานะจากจ่ายกำลังไฟฟ้าไปเป็นรับกำลังไฟฟ้าหรือรับกำลังไฟฟ้าไปเป็นจ่ายกำลังไฟฟ้าแล้วนั้น จำเป็นต้องคำนวณว่าแต่ละช่วงมีระยะเวลา (L_n) เท่าไรจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.4) - (4.5)

$$W(t) = \begin{cases} 1; \ P_{set}(t+1) \times P_{set}(t) > 0 \\ 0; P_{set}(t+1) \times P_{set}(t) \leq 0 \end{cases} ; t = \text{เวลาใดๆ} \qquad (4.4)$$

$$L_n = \sum_{l=1}^{T} \prod_{j=t_n}^{t_n+l} W(j); n = 1,2,\dots,n \qquad (4.5)$$

โดยที่ $t_1 = 1$;

$$t_{n+1} = L_n + t_n + 1 \qquad (4.6)$$

หลังจากนั้นนำค่าที่คำนวณ (n, L_n) มาใส่ในสมการที่ (4.7) จะสามารถคำนวณหาค่าพลังงานของแบตเตอรี่แต่ละช่วงเวลาได้

$$E_n = \sum_{i=t_n}^{L_n} P_{batt}(i) \times \Delta t\,;\, n = 1,2,..,n \tag{4.7}$$

โดยที่	E_n	คือ	ค่าพลังงานที่แบตเตอรี่รับหรือจ่ายแต่ละช่วงเวลา (MWh)
	P_{batt}	คือ	ค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายหรือรับ (MW)
	Δt	คือ	ช่วงเวลาในการพิจารณา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้พิจารณาทุก 15 นาที

จากนั้นจะสามารถหาขนาดของแบตเตอรี่ที่สามารถรองรับการทำงานได้ทั้งวัน โดยหาจากค่าพลังงานที่สูงที่สุดของค่าพลังงานของแบตเตอรี่จากสมการที่ 4.8

$$E_{ESS} = \frac{\max(E_n, \frac{\max(P_{batt}(t))}{C_{rate}})}{(\eta_{batt} \times DOD)} \tag{4.8}$$

โดยที่	E_{ESS}	คือ	ขนาดของแบตเตอรี่(MWh)
	η_{batt}	คือ	ประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน $\eta_{batt} = \eta_{ch}\eta_{dis}$
	DOD	คือ	ปริมาณการใช้งานของแบตเตอรี่
	C_{rate}	คือ	หน่วยของการจ่ายและการรับกำลังฟ้าของแบตเตอรี่ โดยคิดเป็นจำนวนเท่าของความจุของแบตเตอรี่

4.1.2. ลักษณะของโหลดและขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเป้าหมาย คือ ลดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า อันเนื่องมาจากพลังงานหมุนเวียนที่เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเป็นจำนวนมากในอนาคต จากสมการที่ (4.9) นำมาหากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (P_{set}) เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$P_{set}(i) = ((P_{Load}(i) - P_{renew}(i)) - \beta_n)\alpha_n + \beta_n \tag{4.9}$$

โดยที่ P_{Load} คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้า (MW)

P_{renew} คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (MW)

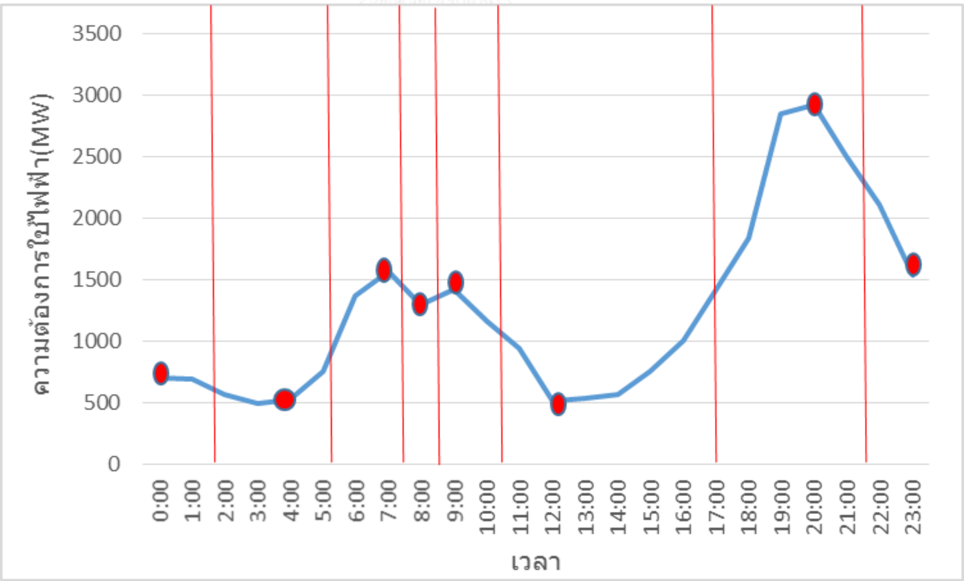
α, β คือ พารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้

โดยพารามิเตอร์ α, β เป็นตัวแปรที่ปรับค่าได้ โดยจะแบ่งช่วงเวลาที่คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม และแต่ละช่วงจะมีเงื่อนไขของพารามิเตอร์ ดังนี้

1. ค่าพารามิเตอร์ β_n: $\text{Min } P_{mod,n} \leq \beta_n \leq \text{Max}P_{mod,n}$; n=1, 2, 3, 4, 5, 6;
2. ค่าพารามิเตอร์ α_n: $0 \leq \alpha_n \leq 1$; n=1, 2, 3, 4, 5, 6;

โดยที่ P_{mod} คือ กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าที่เวลาใดๆ

วิธีการแบ่งช่วงการพิจารณา จะคำนวณจากข้อมูลของโหลดที่เป็นจุดวกกลับของกราฟ โดยนำจุดวกกลับสองจุดมาหาตำแหน่งเวลาที่อยู่กึ่งกลางระหว่างจุดวกกลับทั้งสองจุดนั้น แสดงได้จากภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงการหาจุดวกกลับของกราฟความต้องการใช้ไฟฟ้า

การหาช่วงการพิจารณา จะกำหนดให้มีไม่เกิน 6 ช่วงต่อวัน เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม Excel ถ้าช่วงในการพิจารณาเกินกว่า 6 ช่วงต่อวัน จะใช้วิธีหาผลต่างของจุดวกกลับมาพิจารณาในการลดจำนวนจุดวกกลับให้น้อยลง โดยจะลดจุดที่มีผลต่างน้อยที่สุด ด้วยวิธีการนำจุดวกทั้งสองนั้นมารวมกันให้เหลือเพียงจุดวกกลับเดียว แล้วกลับมาพิจารณาอีกครั้งหรือทำซ้ำจนกว่าจำนวนจุดวกกลับมีไม่เกิน 6 จุด จะใช้การเขียน visual basic ใน excel ช่วยในการหาจำนวนจุดวกกลับ

เมื่อได้จุดวกกลับแล้ว จะสามารถแบ่งช่วงการพิจารณาได้ โดยในแต่ละช่วงการพิจารณาของการคำนวณจะมีค่าพารามิเตอร์ α, β ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงและสามารถปรับค่าได้ เพื่อหาค่าพลังงานที่ต้องการ จากนั้นพิจารณาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ (4.10)

$$P_{mod}(t+1) = \begin{cases} P_{mod}(t) + \min\left(|P_{set}(t+1) - P_{mod}(t)|, ramp_{limit}\right); P_{mod}(t) - P_{set}(t+1) < 0 \\ P_{mod}(t) - \min(|P_{set}(t+1) - P_{mod}(t)|, ramp_{limit}); P_{mod}(t) - P_{set}(t+1) > 0 \end{cases} \quad (4.10)$$

โดยที่ P_{mod} คือ กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าที่เวลาใดๆ โดยค่า $P_{mod}(1) = P_{set}(1)$

$ramp_{limit}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่กำหนด

จากสมการจะได้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลามีค่าไม่เกินค่าที่ได้กำหนดไว้ โดยขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดจะหามาจากขนาดของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดในแต่ละภูมิภาค

4.1.3 ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีขนาดเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้

ในระบบไฟฟ้าจะมีกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับความต้องการใช้ไฟฟ้าเสมอ ดังนั้นการคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ เริ่มจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการให้ระบบแบตเตอรี่รับหรือจ่าย (P_{batt}) ในแต่ละช่วงเวลา โดยกำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จะสามารถคำนวณได้มาจากสมการที่ (4.11) โดยจะกำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (P_{mod}) เป็นกำลังผลิตที่เหมาะสมที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่เกินกว่าค่าที่เหมาะสม

$$P_{batt}(t) = P_{mod}(t) - \left(P_{Load}(t) - P_{renew}(t)\right) \quad (4.11)$$

โดยค่ากำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (P_{batt}) มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นการกักเก็บประจุ ในทางตรงกันข้าม เมื่อกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (P_{batt}) เป็นลบแสดงว่าแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

4.1.4. สถานะของประจุ (state of charge: SOC) ในแต่ละช่วงเวลา

สถานะของประจุของแบตเตอรี่ (SOC) จะต้องมีค่าไม่เกินกว่าสถานะประจุที่มากที่สุด (SOC_{max}) ของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ และไม่น้อยกว่าสถานะประจุที่น้อย (SOC_{min}) ที่สุดของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนด้วยทุกช่วงเวลา จะสามารถแสดงได้จากสมการที่ (4.12) – (4.13)

$$P_{batt}(t) \cdot \Delta t + E_{Total}(t) - SOC_{max} \cdot E_{ESS} \leq 0 \tag{4.12}$$

$$-P_{batt}(t) \cdot \Delta t - E_{Total}(t) + SOC_{min} \cdot E_{ESS} \leq 0 \tag{4.13}$$

โดยที่ E_{Total} คือ ขนาดของแบตเตอรี่ ณ เวลาใดๆ (MWh)

4.1.5. กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายและรับ

กำหนดให้กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายและรับ ($P_{total,day}$) มีค่าเท่ากัน หรือ ผลรวมมีค่าเท่ากับศูนย์จะคำนวณจากผลรวมของกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เนื่องจากจะคิดขนาดของแบตเตอรี่ในแต่ละสัปดาห์ จึงต้องทำให้ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่รับเข้าแบตเตอรี่กับจ่ายออกจากแบตเตอรี่ต้องเท่ากัน ซึ่งแบตเตอรี่จะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจากประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.14) – (4.15)

$$P_{total,day} = \sum_{i=1}^{T} P_{ch,disch}(i) \tag{4.14}$$

$$P_{ch,disch}(i) = \begin{cases} \eta_{ch} \cdot P_{batt}(i) & ; P_{batt} > 0 \\ \dfrac{1}{\eta_{dis}} \cdot P_{batt}(i) & ; P_{batt} < 0 \end{cases} \tag{4.15}$$

โดยที่ $P_{total,day}$ คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ทั้งวัน (MW)

eff_{batt} คือ ประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

$P_{ch,disch}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายหรือรับของแบตเตอรี่ (MW)

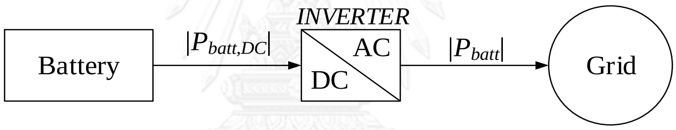
4.2 การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่รับหรือจ่ายให้กับแบตเตอรี่

เนื่องจากระบบไฟฟ้าเป็นแบบกระแสสลับ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่รับหรือจ่ายออกจากแบตเตอรี่ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงต้องถูกแปลงผ่านคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ก่อน อย่างไรก็ตาม การแปลงผ่านคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์นั้นจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าระหว่างการแปลงไฟฟ้า ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

4.2.1.กรณีแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าหรือคายประจุ

ในกรณีแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้าก็ต่อเมื่อต้องการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า หรือ $P_{batt} < 0$ โดยที่กระแสไฟฟ้าจะแปลงจากกระแสตรงไปเป็นกระแสสลับนั้นมีน้อยลงเพราะเมื่อผ่านคอนเวอร์เตอร์นั้น จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียไปดังแสดงดังภาพที่ 4.2 กำหนดค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์คือ η_{dis} จะสามารถคำนวณกำลังผลิตที่ไหลออกจากแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$P_{batt,DC} = \frac{1}{\eta_{dis}} \cdot P_{batt} \tag{4.16}$$

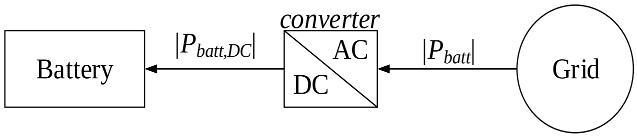


ภาพที่ 4.2 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้า

4.2.2. กรณีแบตเตอรี่รับกำลังไฟฟ้าหรืออัดประจุ

ในกรณีแบตเตอรี่รับไฟฟ้าเมื่อต้องการเพิ่มความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า หรือ $P_{batt} > 0$ โดยไฟฟ้าแปลงจากกระแสสลับไปเป็นกระแสตรง เมื่อผ่านอินเวอร์เตอร์จะทำให้กำลังไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ไม่เต็มกำลังเพราะกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงดังภาพที่ 4.3 กำหนดค่าประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์คือ η_{ch} จะสามารถคำนวณกำลังผลิตที่ไหลเข้าชุดแบตเตอรี่ได้ดังนี้

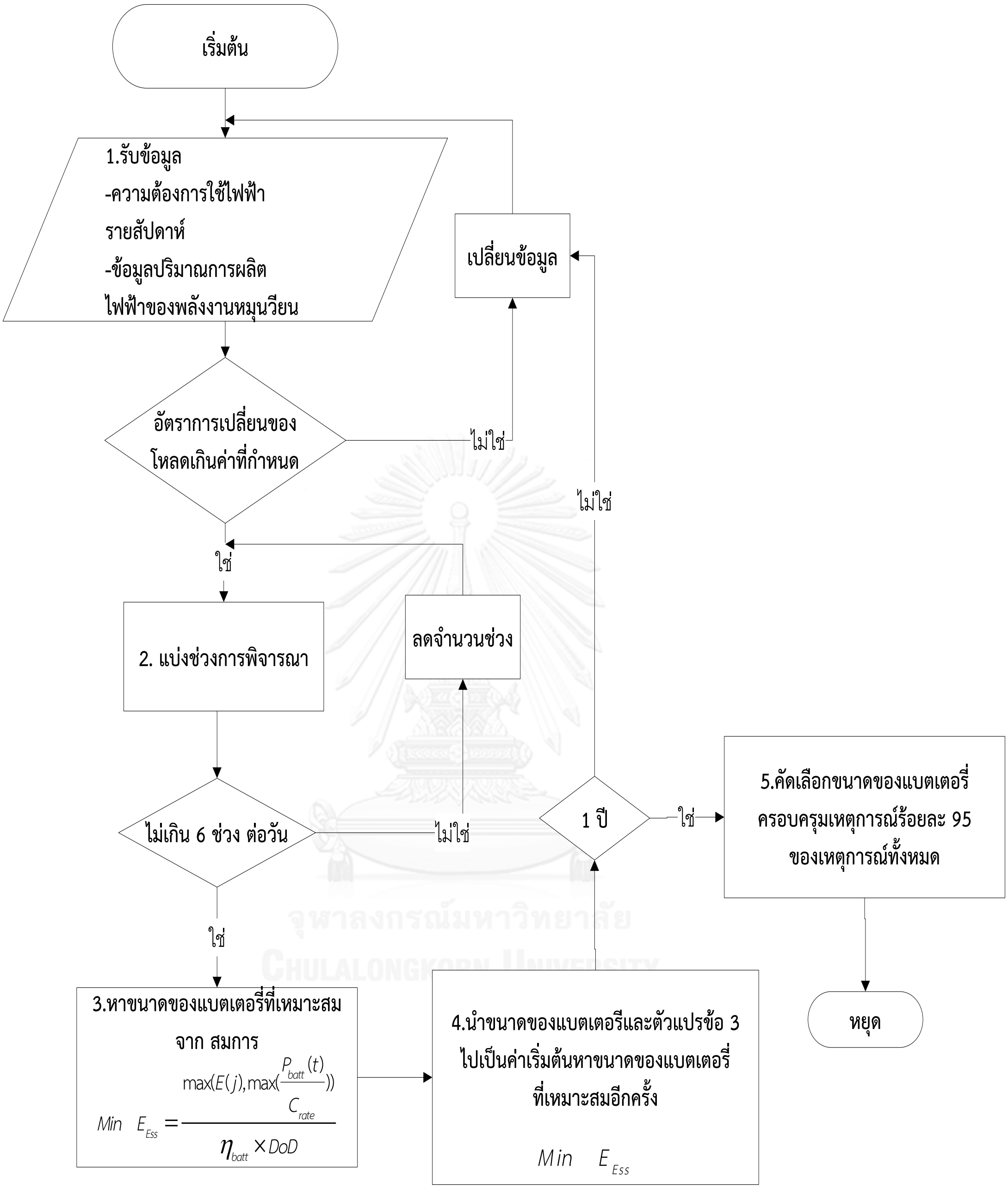
$$P_{batt,DC} = \eta_{ch} \cdot P_{batt} \tag{4.17}$$



ภาพที่ 4.3 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อแบตเตอรี่รับกำลังไฟฟ้า

วิธีการคำนวณด้วยวิธี The Generalized Reduce Gradient Method (GRG) ใน โปรแกรม Solver ใน MS Excel จะคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ 2 ครั้ง จะเริ่มจาก หาค่าเริ่มต้นด้วยวิธีหาขนาดของแบตเตอรี่จากสมการที่ (4.8) เมื่อได้คำตอบที่ขนาดของแบตเตอรี่แล้ว จะนำไปเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ในครั้งที่สองจากสมการที่ (4.1) โดยกำหนดขนาดของแบตเตอรี่เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่ง เข้าไปคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่อีกครั้ง จะได้ขนาดของแบตเตอรี่ที่มีขนาดเหมาะสมที่สุด จะคำนวณในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์ เนื่องจากเป็นข้อกำจัดของโปแกรม excel ที่กำจัดขนาดของตัวแปร และขนาดของเงื่อนไขในการคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม แสดงได้ดังภาพที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.4 แผนผังขั้นตอนการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

บทที่ 5
การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะนำเสนอระบบการทดสอบที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม โดยจะทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในปี 2579 ด้วยการแบ่งการทดสอบออกเป็น 6 พื้นที่ และพิจารณาเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ในบทนี้จะแบ่งหัวข้อออกเป็น 3 หัวข้อ คือ ระบบทดสอบ สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ และผลการทดสอบ

5.1 ระบบทดสอบ

ระบบทดสอบที่ใช้ในการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่ช่วยในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่สูงเกินค่าที่กำหนดนั้น จะอาศัยข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศและข้อมูลของพลังงานทดแทน โดยจะใช้ข้อมูลการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) โดยแยกพลังงานทดแทนเพื่อผลิตไฟฟ้า 6 ประเภท ดังนี้

1.พลังงานแสงอาทิตย์

2.พลังงานลม

3.พลังงานน้ำขนาดเล็ก

4.ชีวมวล

5.ก๊าซชีวภาพ

6.พลังงานขยะ

โดยระบบทดสอบนี้จะใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้าตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 - 2579 โดยเลือกพิจารณาที่ปี 2579 และใช้ขนาดความต้องการใช้ราย 15 นาทีของปี พ.ศ.2556 แล้วขยายไปถึงปี 2579 โดยใช้ข้อมูลการพยากรณ์ของแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ เป็นค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในการพิจารณา

1) ขนาดของกำลังผลิตของพลังงานหมุนเวียน

ขนาดของกำลังการผลิตของพลังงานหมุนจากข้อมูลแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของไทย แสดงในตารางที่ 5.1 ณ ปี 2579 นั้นมีกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 6000 MW พลังงานลม 3002 MW พลังงานน้ำ 3,282 MW พลังงานชีวมวล 5,570 MW พลังงานก๊าซ

ชีวภาพ 600 MW และ พลังงานขยะ 501 MW แต่พลังงานน้ำจะรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเขื่อนด้วย ดังนั้น พลังงานที่ใช้ในการพิจารณาจะพิจารณาจากพลังงานน้ำขนาดเล็กเท่านั้น โดยพลังงานน้ำขนาดเล็กจะมีขนาด 376MW ในปีพ.ศ. 2579

ตารางที่ 5.1 แสดงกำลังการผลิตของพลังงานทดแทน (หน่วย MW)

ปี	แสงอาทิตย์	พลังงานลม	พลังงานน้ำขนาดใหญ่	พลังงานน้ำขนาดเล็ก	ขยะ	ชีวมวล	ก๊าซชีวภาพ
2557	1,295.5	224.5	2906.40	142.01	65.7	2,541.8	311.5
2579	6,000.0	3,002.0	2906.40	376.0	500.0	5,570.0	600.0

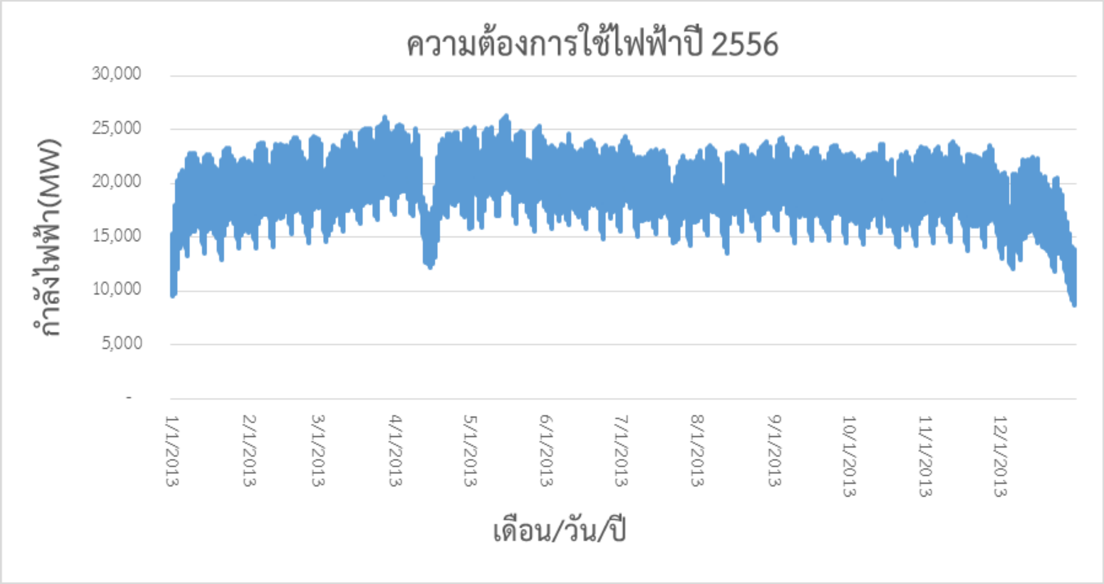
โดยแบ่งขนาดของกำลังการผลิตไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนแยกตามภูมิภาค จะแสดงข้อมูลกำลังการผลิตตาม ตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงกำลังการผลิตของพลังงานทดแทน (หน่วย MW)

ภูมิภาค	แสงอาทิตย์	พลังงานลม	พลังงานน้ำขนาดเล็ก	ขยะ	ชีวมวล	ก๊าซชีวภาพ
ภาคเหนือ	793.95	221.78	222.10	27.38	27.90	1,397.65
ภาคใต้	69.08	1,026.68	9.95	41.82	169.13	822.51
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,292.09	1,554.62	47.48	68.90	176.13	1,796.97
ภาคกลาง	2,020.64	-	27.21	246.20	65.83	409.64
ภาคกลางตะวันออก	551.24	19.56	36.40	68.30	69.97	619.37
ภาคกลางตะวันตก	1,272.98	189.36	32.87	48.30	91.05	523.86

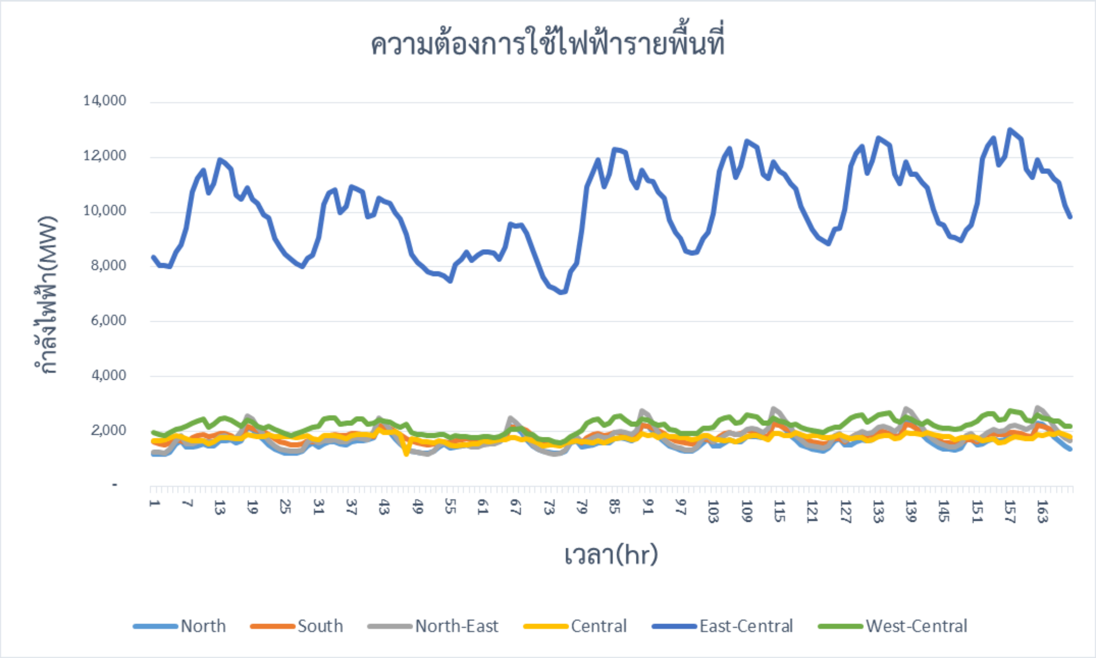
2) ความต้องการใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยรวมทั้งประเทศ โดยจะใช้ข้อมูลจริงปี 2556 เป็นข้อมูลจริงรายชั่วโมง ซึ่งต้องทำการสุ่มให้อยู่ใน 15 นาทีและพยากรณ์โหลดไปเป็นปี 2579 เป็นปีที่ใช้ในการทดสอบของระบบไฟฟ้า ตัวอย่างความต้องการใช้ไฟฟ้าในรายชั่วโมงโหลดทั้งปีสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าปี2556

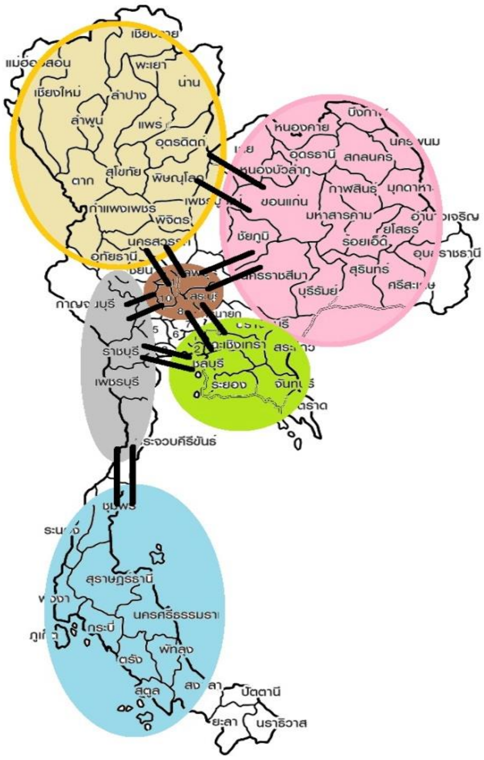
และนำมาปรับค่าพยากรณ์สูงสุดและความต้องการไฟฟ้าแยกตามพื้นที่ตามบทที่ 4 โดยการแบ่งออกเป็น 6 ภูมิภาค



ภาพที่ 5.2 ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าแยกพื้นที่ปี2556

3). แยกภูมิภาคในการพิจารณาหาขนาดแบตเตอรี่

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะพิจารณาการหาขนาดของแบตเตอรี่แยกตามภูมิภาค โดยจะแยกออกเป็น 6 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคกลางฝั่งตะวันออก ภาคกลางฝั่งตะวันตก โดยที่จะแยกการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมแยกจากกัน การแยกภาคจะแสดงได้ดังภาพที่ 5.3



Chulalongkorn University

ภาพที่ 5.3 การแบ่งเขตพื้นที่โดยแบ่งออกเป็น 6 ภูมิภาคตามแหล่งเชื้อเพลิง

5.2. สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

สมมติฐานในการทดสอบมีดังนี้

1) กำหนดโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละโรงประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง โดยมีขนาดเท่ากับกำลังการผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้านั้น
2) การคำนวณจะหาขนาดของแบตเตอรี่ไปที่ละวัน ไปเรื่อยๆ จนครบเวลา 1 ปี
3) ไม่คำนึงถึงกำลังสูญเสียของระบบส่งไฟฟ้า
4) ความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละภาคจะแยกออกจากกันไม่ส่งผลต่อกัน
5) กำลังผลิตไฟฟ้าในแต่ละภาคจะแยกออกจากกันไม่ส่งผลต่อกัน

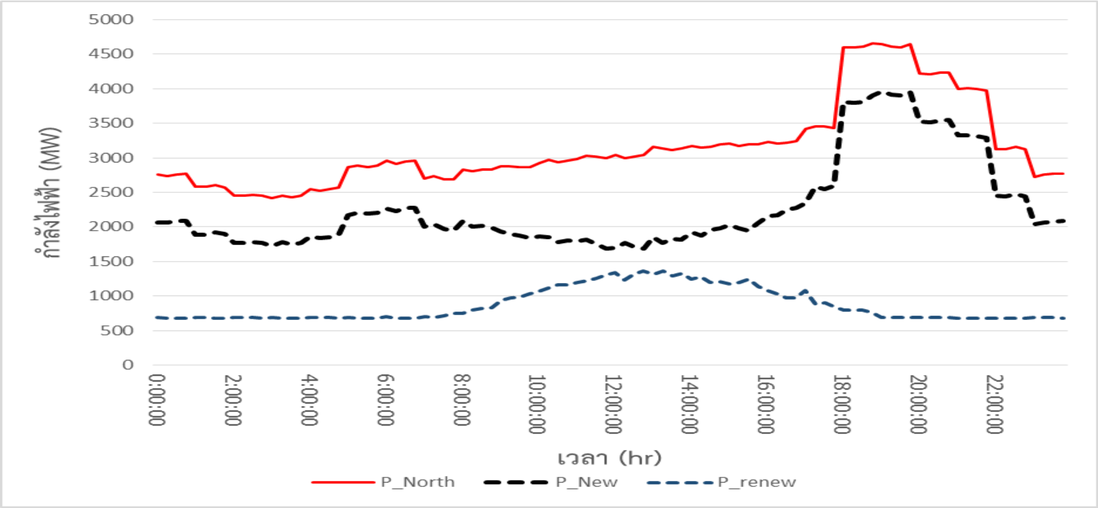
5.3 ผลการทดสอบ

ในการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้า เมื่อมีพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบ จะพิจารณาโดยอาศัยลักษณะของการผลิตไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนกับลักษณะของความต้องการใช้ไฟฟ้า และลักษณะของการอัดประจุหรือคายประจุของแบตเตอรี่ มาประเมินหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้มีการนำเสนอผลของการทดสอบที่ได้จากแบบจำลองต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

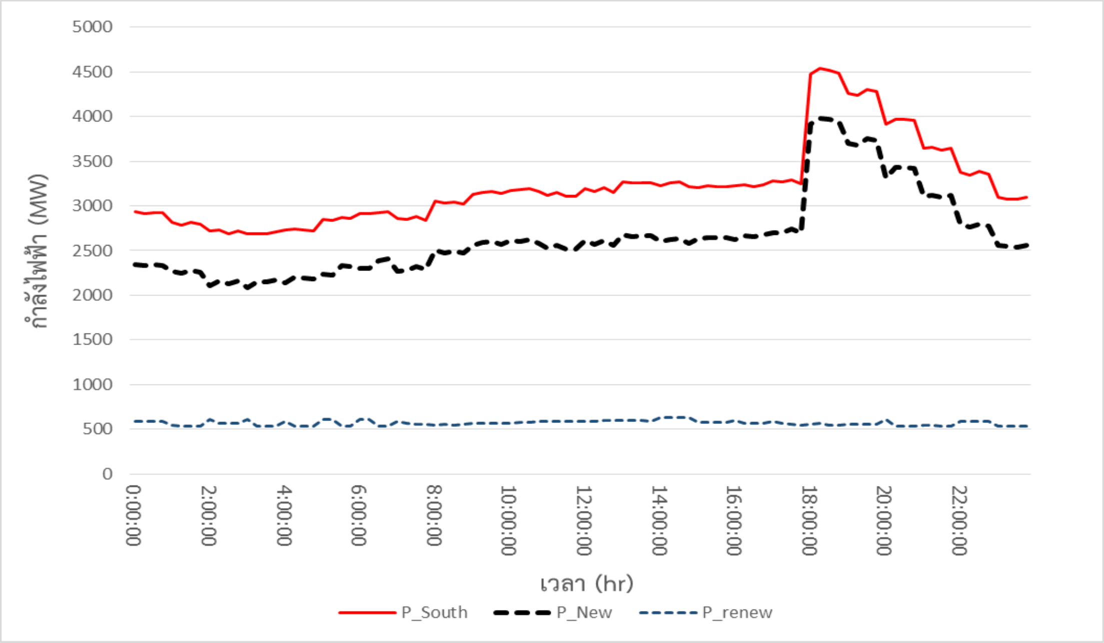
5.3.1 ผลการจำลองพลังงานหมุนเวียนและความต้องการใช้ไฟฟ้าแต่ภูมิภาค

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ข้อมูลกำลังการผลิตของพลังงานหมุนเวียน จากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 จะสุ่มข้อมูลพลังงานทดแทนแยก 6 ประเภท โดยพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมจะสุ่มราย 15 นาที พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล ก๊าซชีวภาพและขยะ จะสุ่มราย 1 วัน ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนจะแสดงในตารางที่ 5.1 และข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแยกตามพื้นที่พิจารณาเป็น 6 พื้นที่แสดงใน ตารางที่ 5.2 ส่วนความต้องการใช้ไฟฟ้าถือเป็นตัวแปรของระบบไฟฟ้าที่มีความไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอด ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ข้อมูลจริงรายครึ่งชั่วโมงในปี 2556 แต่ข้อมูลที่ใช้จะทำให้เป็นราย 15 นาที จึงทำการทดสอบการสุ่มความต้องการกำลังไฟฟ้า เมื่อกำหนดให้มีความแปรปรวนของความต้องการไฟฟ้าซึ่งสะท้อนถึงความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์โหลด (Load forecast error) มีค่าเท่ากับร้อยละ 2 โดยจะแยกพื้นที่พิจารณาเป็น 6 ภาค แสดงได้ดังภาพที่ 5.4 - 5.9 โดย P_new คือ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าหักลบกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน

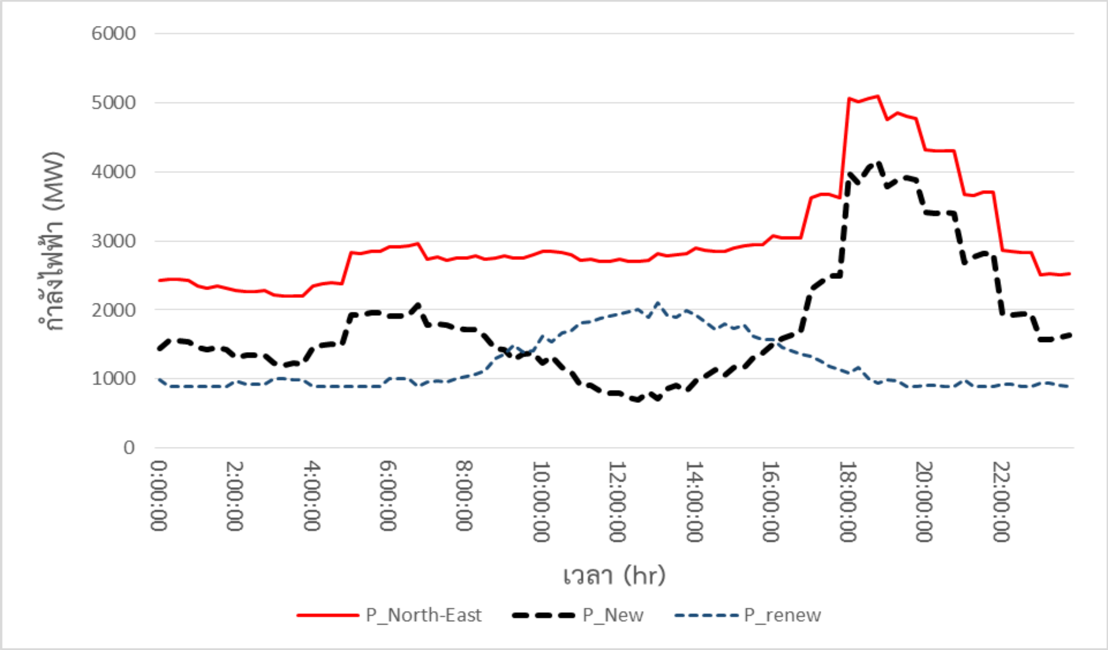
Chulalongkorn University



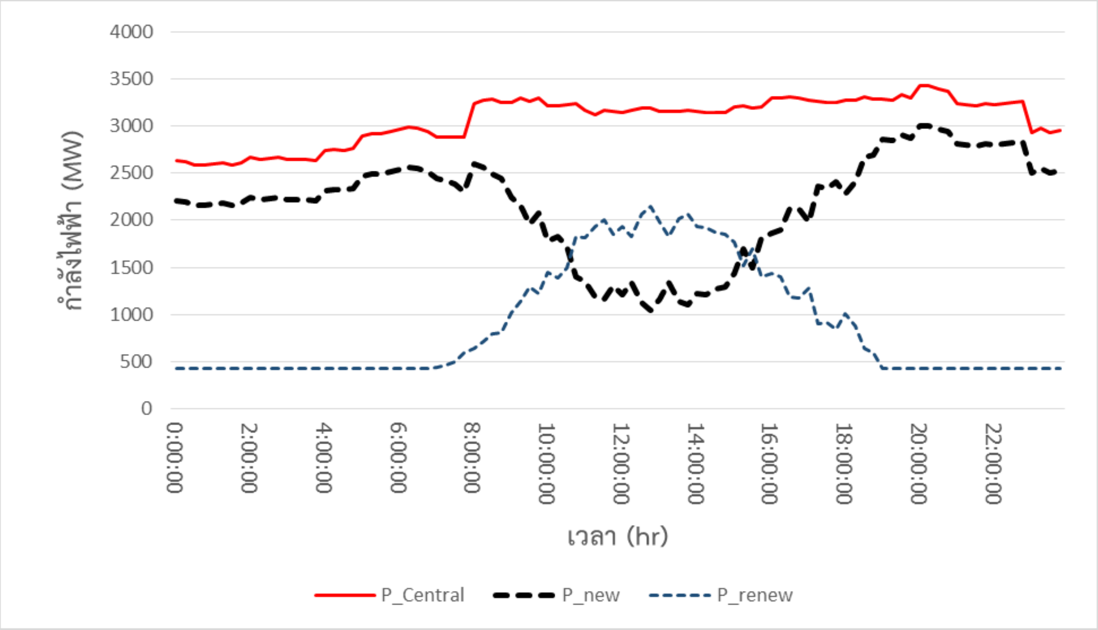
ภาพที่ 5.4 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาคเหนือ



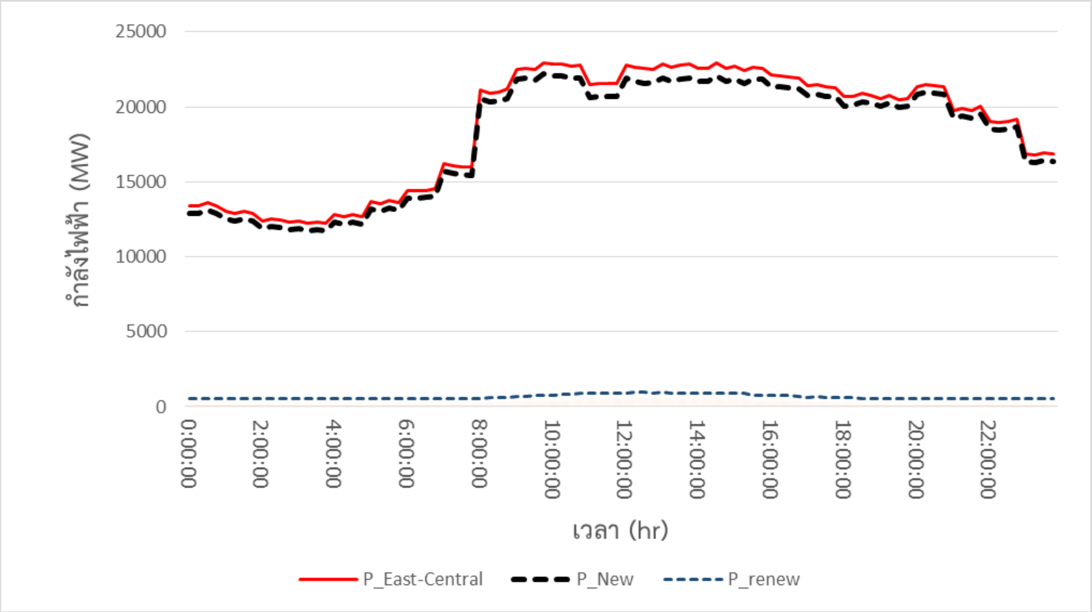
ภาพที่ 5.5 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาคใต้



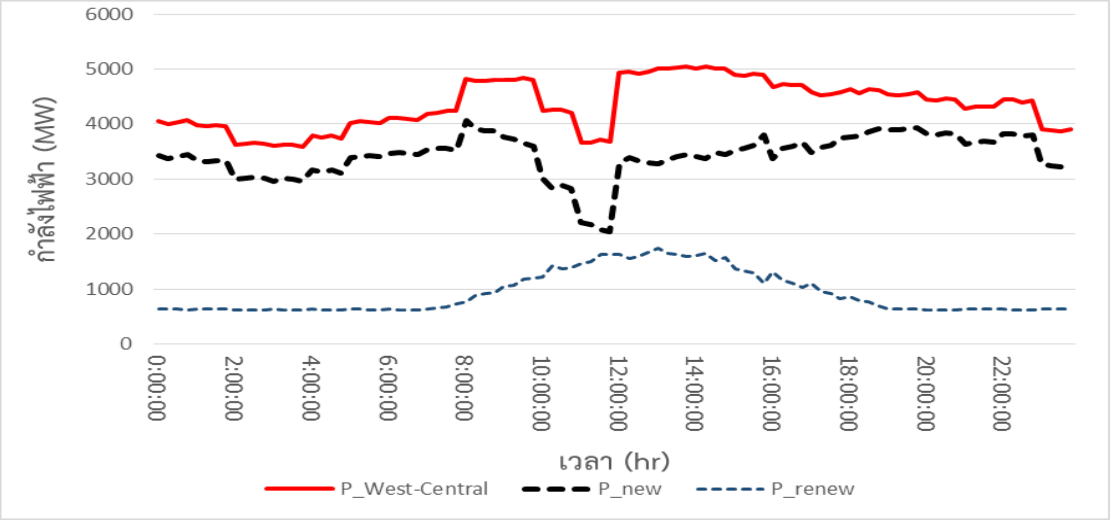
ภาพที่ 5.6 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาพที่ 5.7 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของภาคกลาง



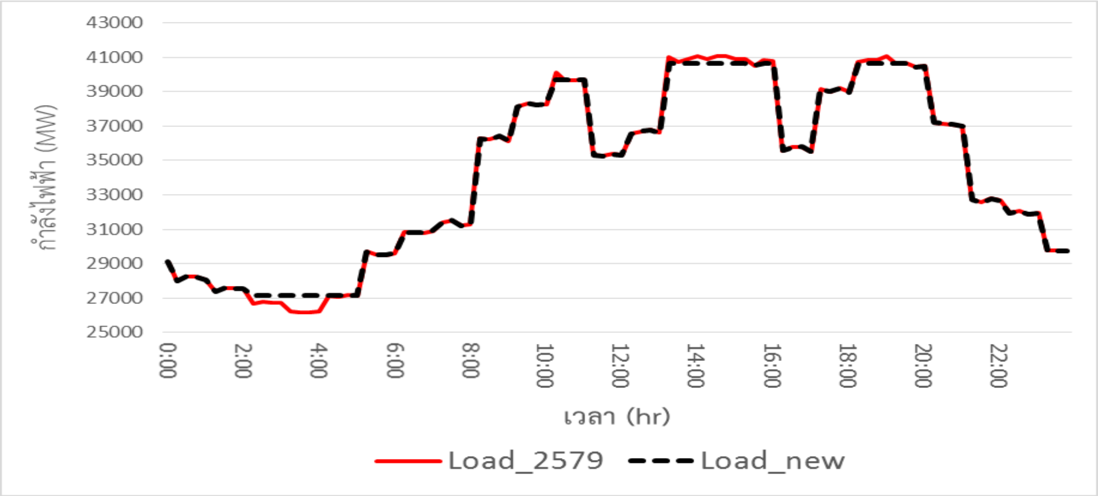
ภาพที่ 5.8 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของ
ภาคกลางฝั่งตะวันออก



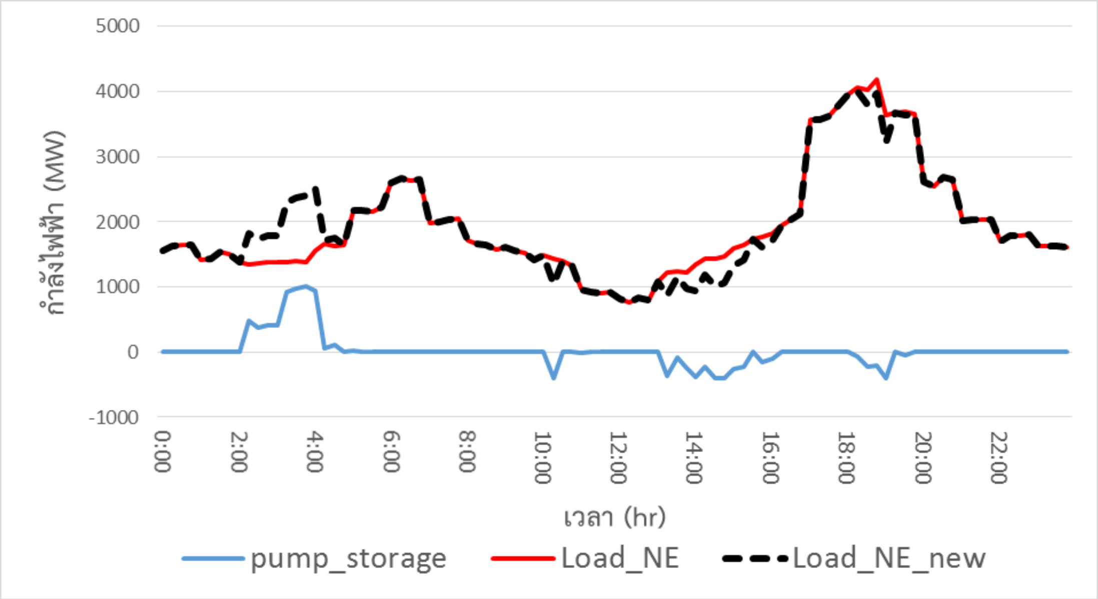
ภาพที่ 5.9 ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของ
ภาคกลางฝั่งตะวันตก

5.2.2 ผลของเขื่อนแบบสูบกลับที่จ่ายให้กับระบบ

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับจะจ่ายไฟในช่วงเวลาสูงสุดของความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยในวันอาทิตย์และวันหยุดจะมีทั้งหมด 1 ช่วง ส่วนวันธรรมดามี 3 ช่วง เนื่องจากพลังงานน้ำแบบสูบกลับลำตะคองอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้กำลังไฟฟ้าจะจ่ายเข้าสู่ภาคตะวันออกเฉียงก่อน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เอาพลังงานจากเขื่อนมารวมกับความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาคตะวันเฉียงเหนือได้ดังภาพที่ 5.10 – 5.11



ภาพที่ 5.10 แสดงความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศ



ภาพที่ 5.11 แสดงความต้องการไฟฟ้าของภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เปลี่ยนแปลงไป

5.2.3 ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่

ในการทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ เริ่มจากหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดให้มีค่าไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด โดยสมมุติฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละพื้นที่จะมีค่าประมาณเท่ากับโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในแต่ละพื้นที่ แสดงได้ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด (MW/15min)

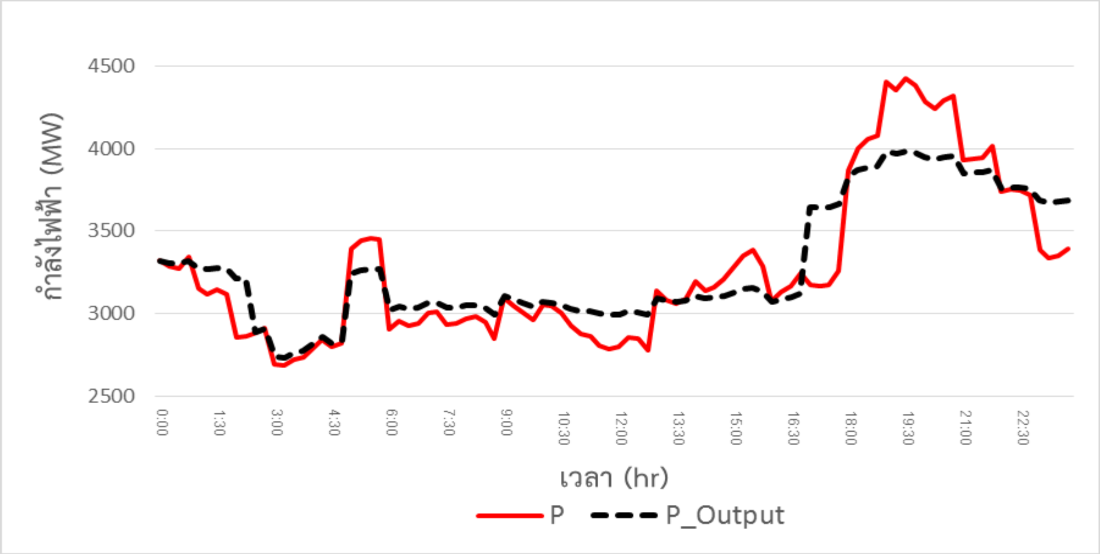
ภูมิภาค	ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลง
ภาคเหนือ	800
ภาคใต้	1,000
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	325
ภาคกลาง	800
ภาคกลางฝั่งตะวันออก	1,300
ภาคกลางฝั่งตะวันตก	720

เมื่อได้อัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดแต่ละพื้นที่แล้วนั้น จะนำค่าไปคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ โดยจะพิจารณาความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 1 ปี และขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะเลือกจากขนาดของแบตเตอรี่ที่สามารถครอบคลุมร้อยละ 95 ของขนาดของ

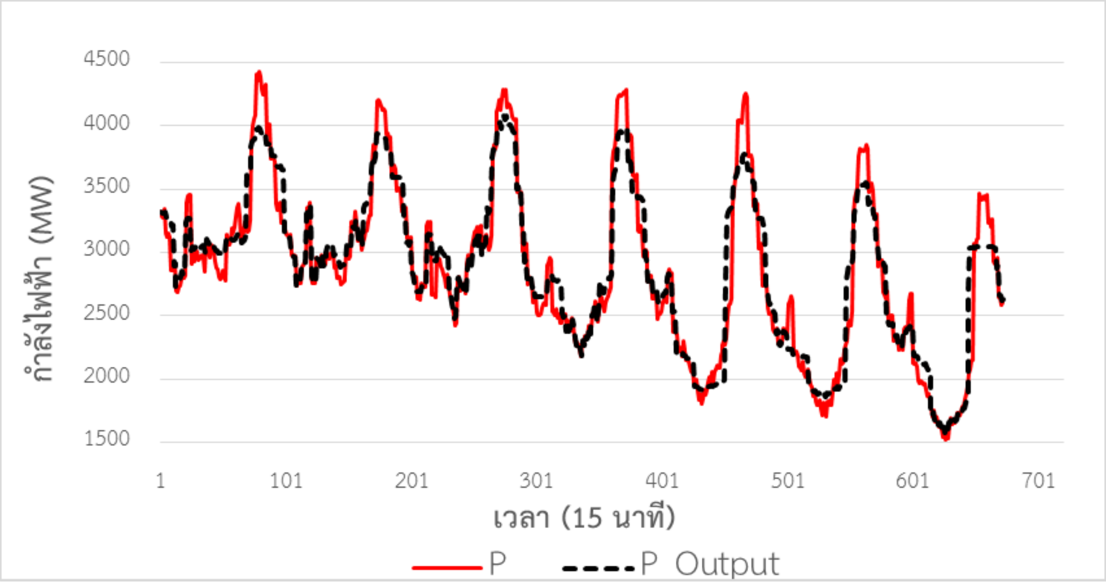
แบตเตอรี่ที่คำนวณได้ โดยจะพิจารณาความต้องการใช้ไฟฟ้าในปี 2579 และความต้องการใช้ไฟฟ้าปีเดียวกัน จะสามารถแสดงผลการหาขนาดแต่ละพื้นที่ดังต่อไปนี้

1) ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคเหนือ

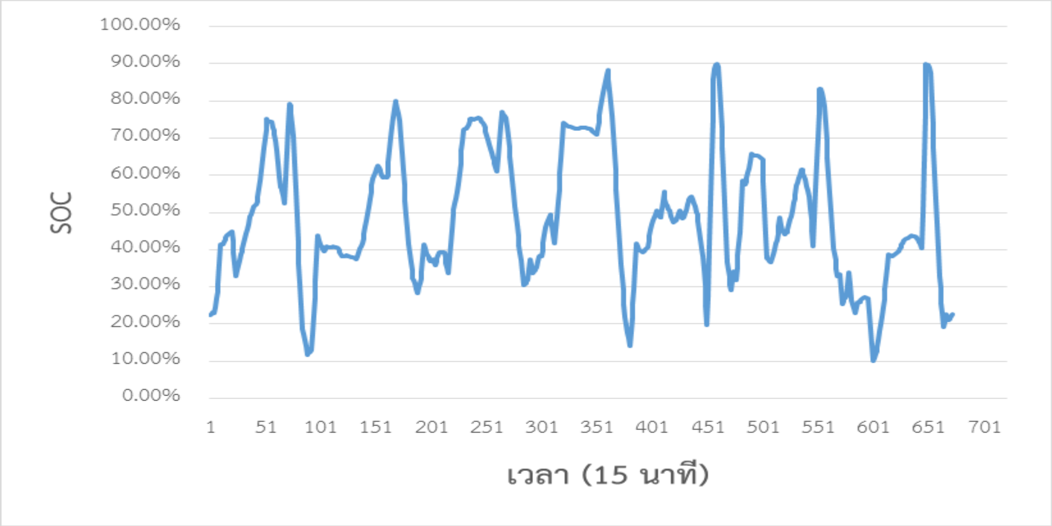
การทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคเหนือ จะกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกิน 800 MW/ 15 min จะสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังภาพที่ 5.12 – 5.15



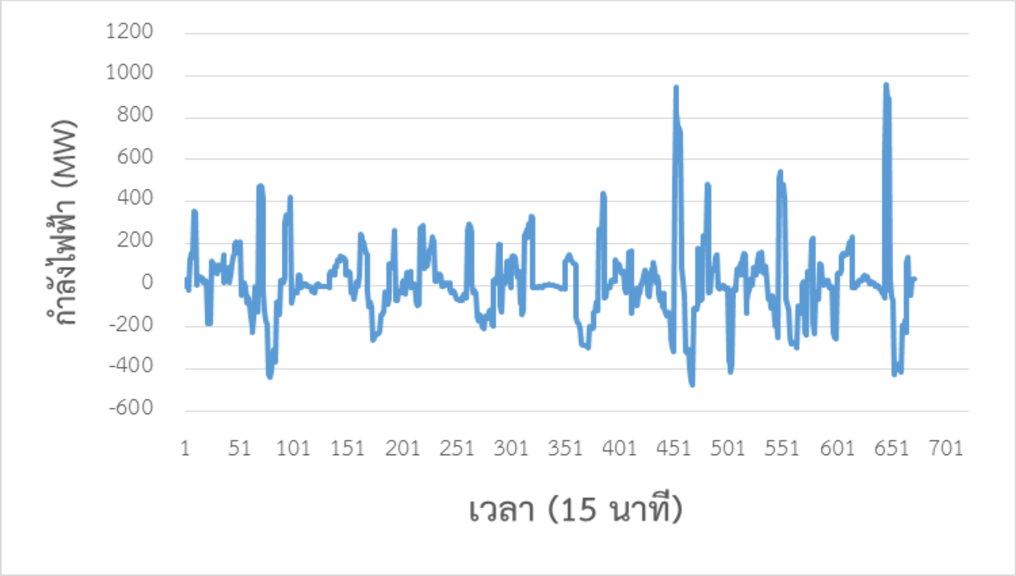
ภาพที่ 5.12 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคเหนือในระยะเวลา 1 วัน



ภาพที่ 5.13 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคเหนือในระยะเวลา 7 วัน

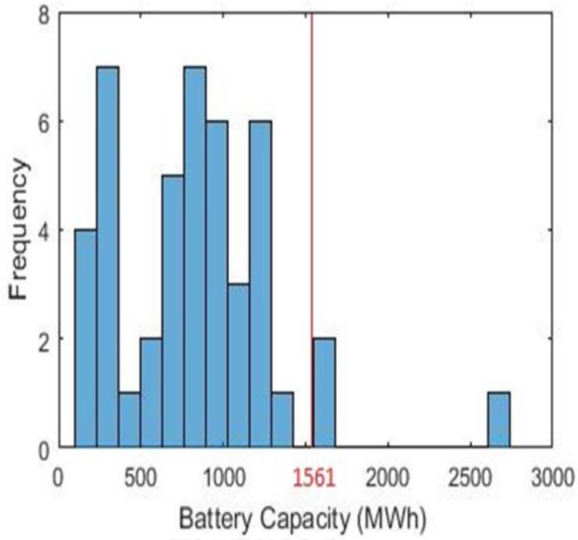


ภาพที่ 5.14 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5.15 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่

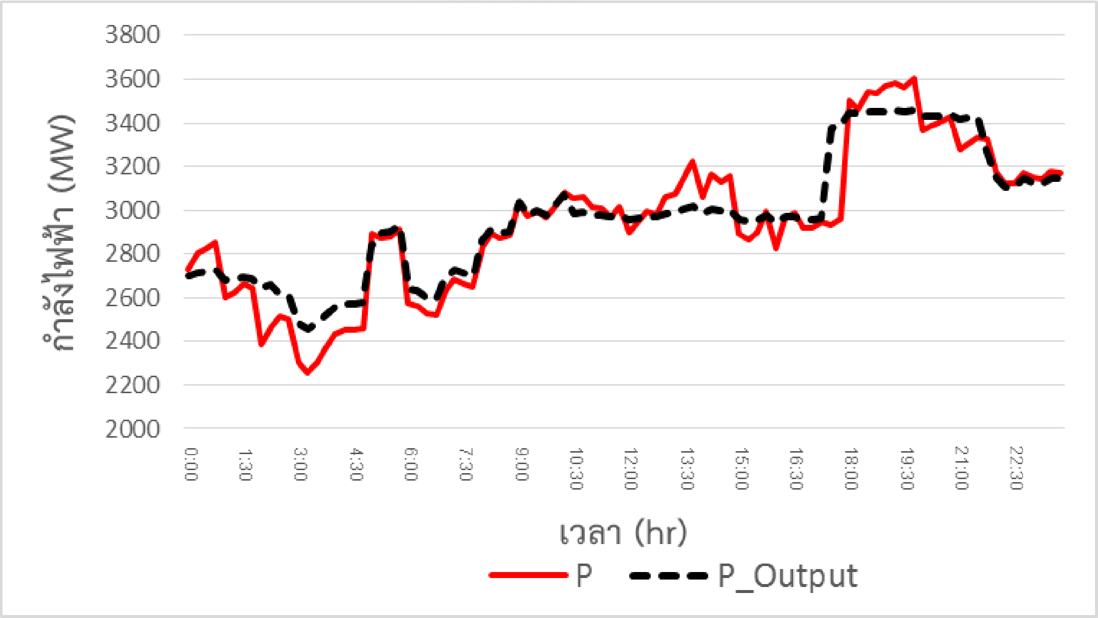
จากผลการทดสอบการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์และพิจารณาเป็นเวลา 1 ปี จะได้ขนาดที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจะพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด จะได้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม มีขนาดเท่ากับ 1561 MWh โดยขนาดของแบตเตอรี่แต่ละสัปดาห์จะแสดงดังภาพที่ 5.16



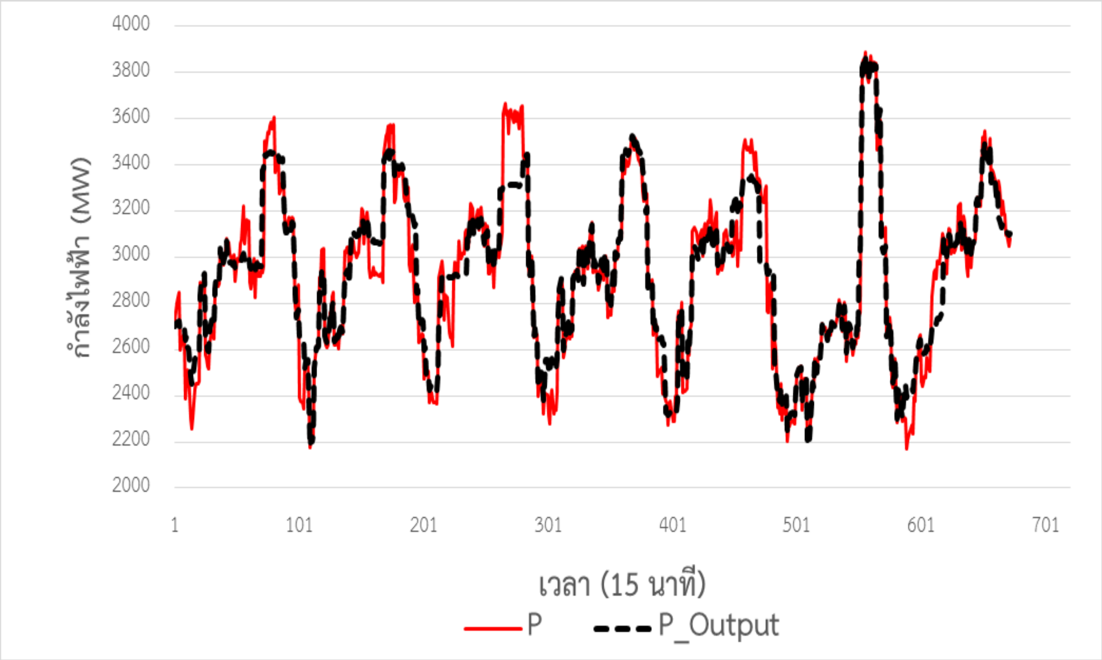
ภาพที่ 5.16 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี

2) ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคใต้

การทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคใต้ จะกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกิน 1,000 MW / 15 min จะสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังภาพที่ 5.17 – 5.20

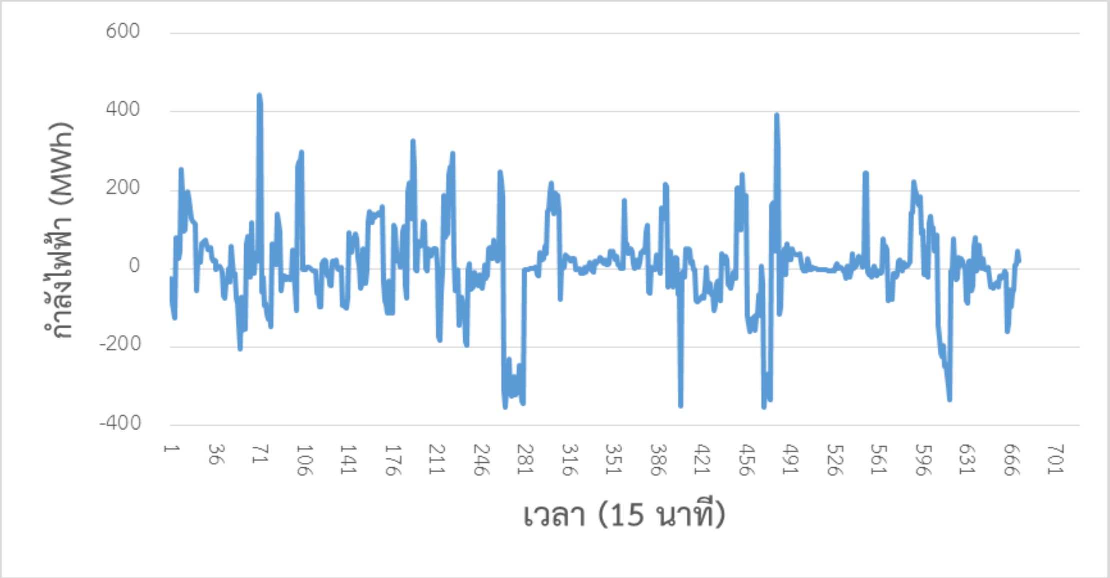


ภาพที่ 5.17 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคใต้ในระยะเวลา 1 วัน



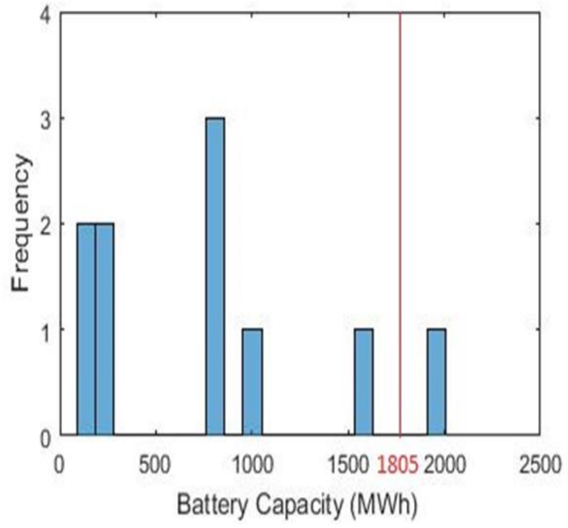
ภาพที่ 5.18 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ของภาคใต้ในระยะเวลา 7 วัน

ภาพที่ 5.19 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5.20 ตัวอย่างของ การรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่

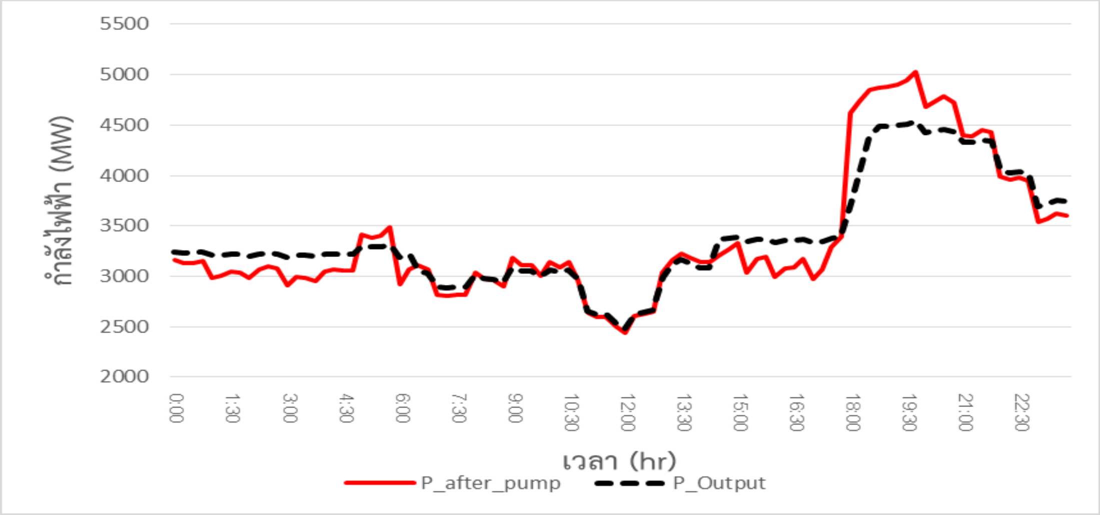
จากผลการทดสอบการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์เป็นเวลา 1 ปี จะได้ขนาดที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจะพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด จะได้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม มีขนาดเท่ากับ 1805 MWh โดยขนาดของแบตเตอรี่แต่ละสัปดาห์จะแสดงดังภาพที่ 5.21



ภาพที่ 5.21 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี

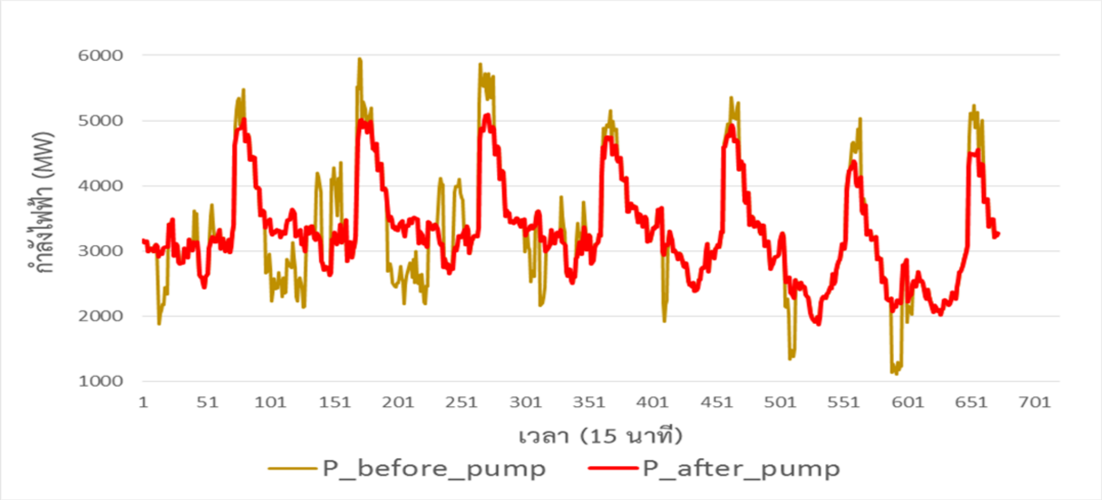
3) ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกิน 325 MW / 15 min โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีการจ่ายพลังงานของพลังงานน้ำแบบสูบกลับ ทำให้มีความแตกต่างจากภาคอื่นๆ จะสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังภาพที่ 5.22 – 5.27

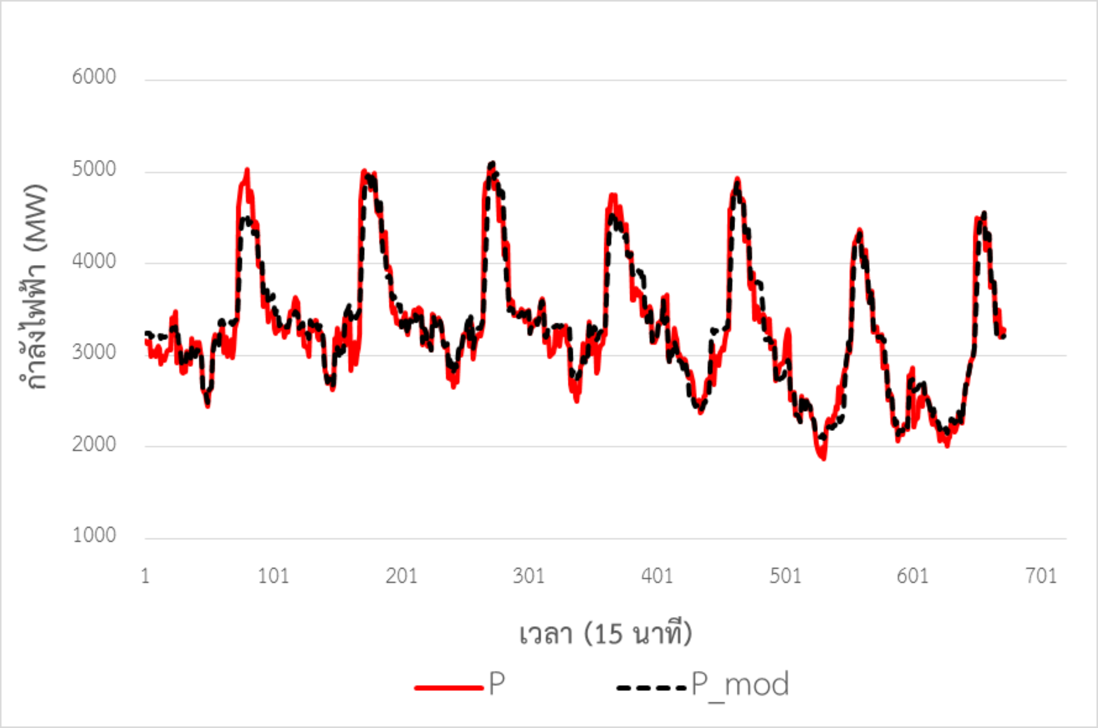


ภาพที่ 5.22 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในระยะเวลา 1 วัน

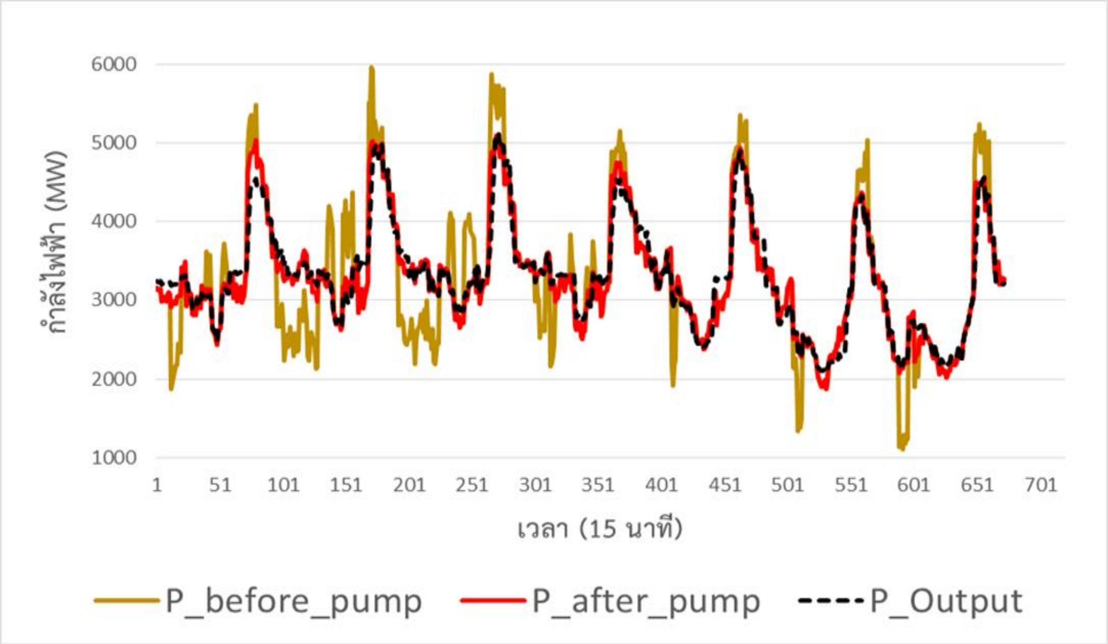
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



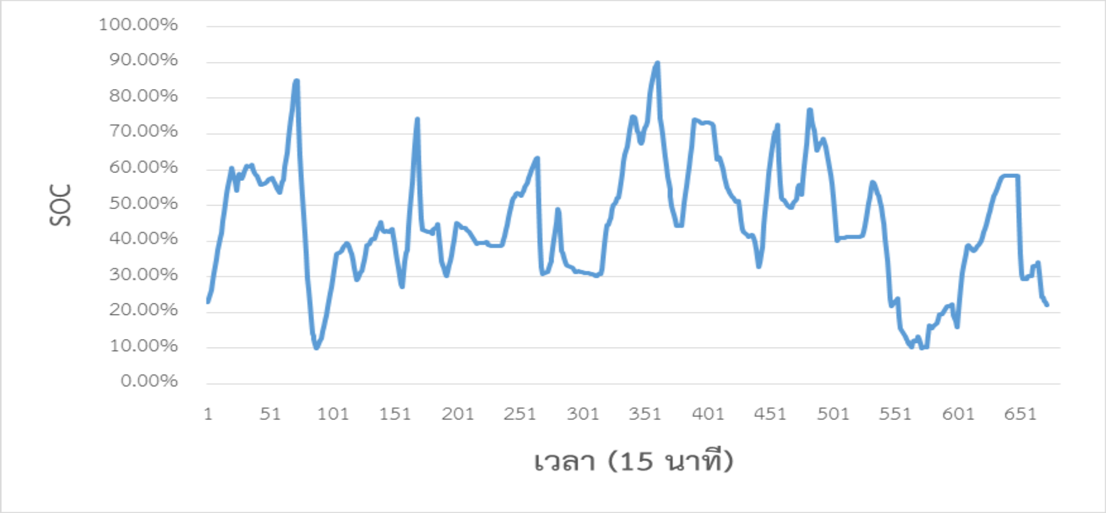
ภาพที่ 5.23 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าก่อนและหลังการจ่ายกำลังไฟฟ้า
จากพลังงานน้ำแบบสูบกลับ



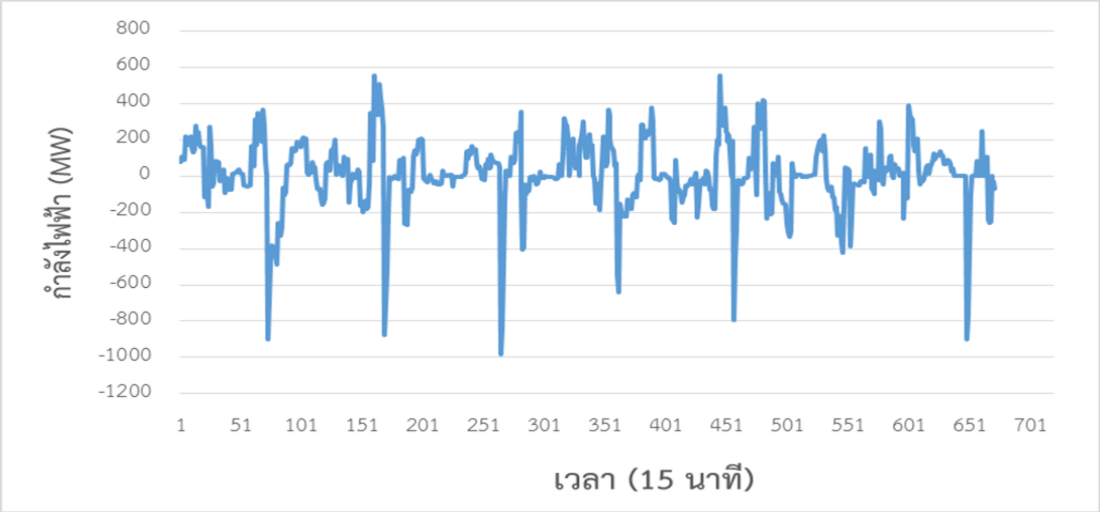
ภาพที่ 5.24 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือในระยะเวลา 7 วัน



ภาพที่ 5.25 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

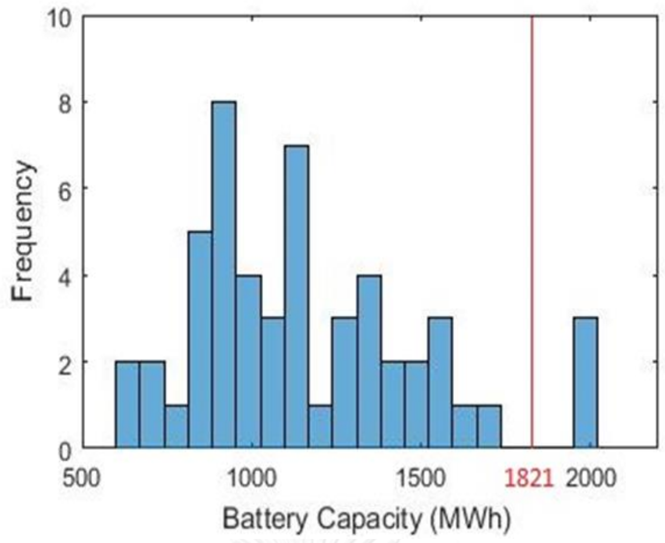


ภาพที่ 5.26 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5.27 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่

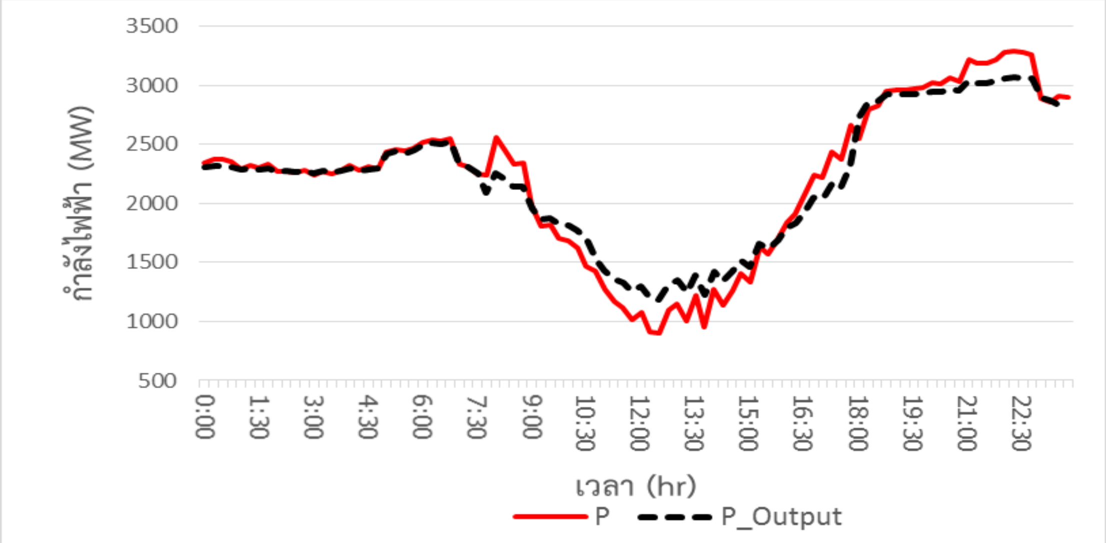
จากผลการทดสอบการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ เป็นเวลา 1 ปี จะได้ขนาดที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจะพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด จะได้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม มีขนาดเท่ากับ 1821 MWh โดยขนาดของแบตเตอรี่แต่ละสัปดาห์จะแสดงดังภาพที่ ภาพที่ 5.28



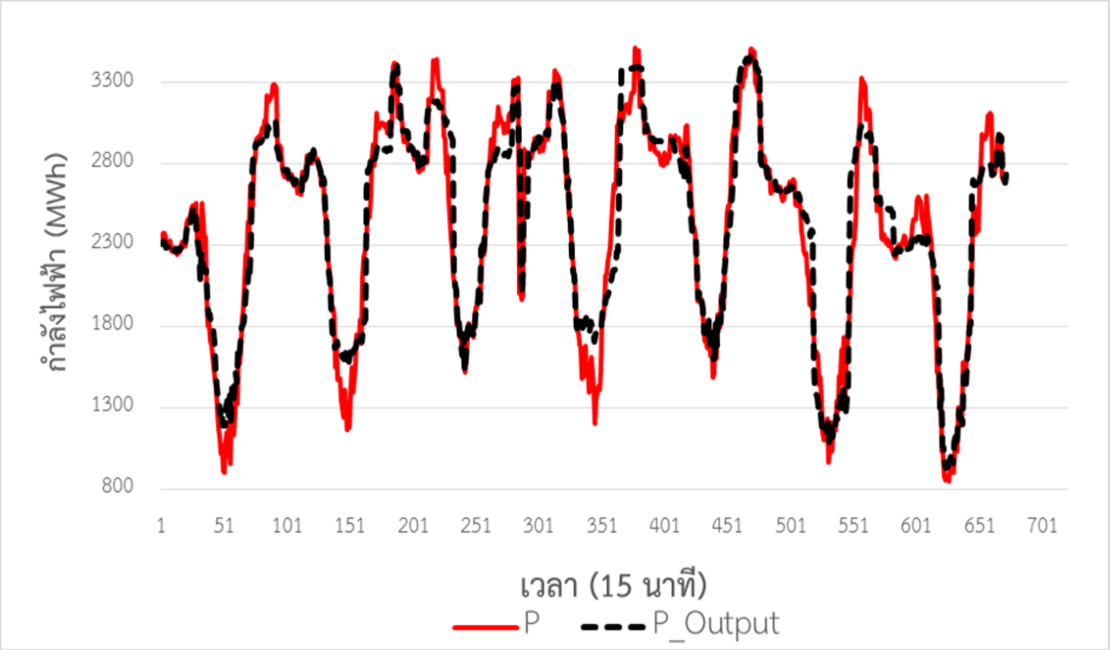
ภาพที่ 5.28 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี

4) ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคกลาง

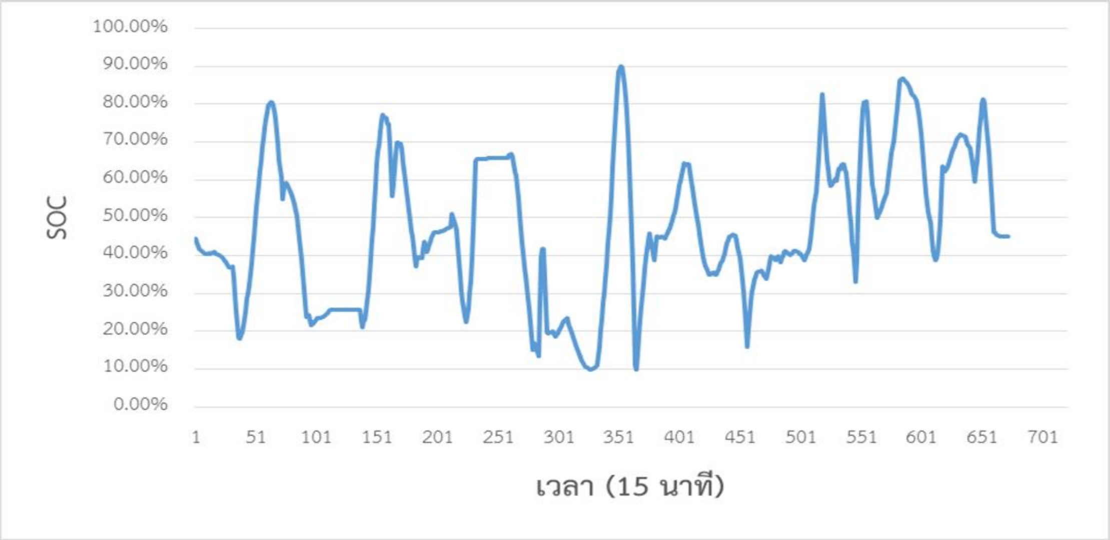
การทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคกลาง จะกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกิน 800 MW / 15 min จะสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ ผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 5.29 – 5.32



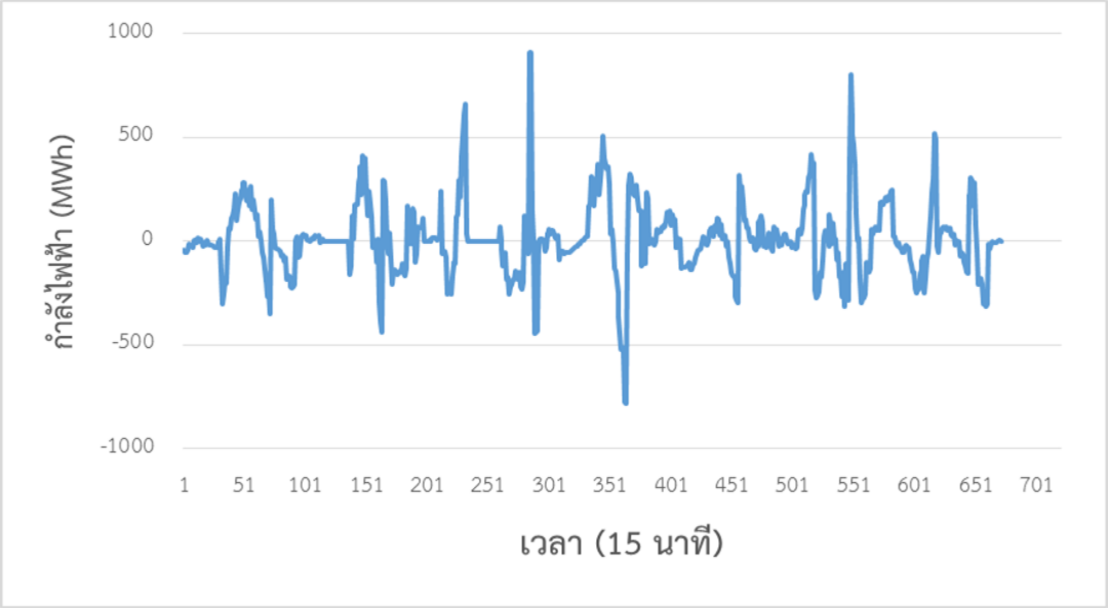
ภาพที่ 5.29 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคกลางในระยะเวลา 1 วัน



ภาพที่ 5.30 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคกลางในระยะเวลา 7 วัน

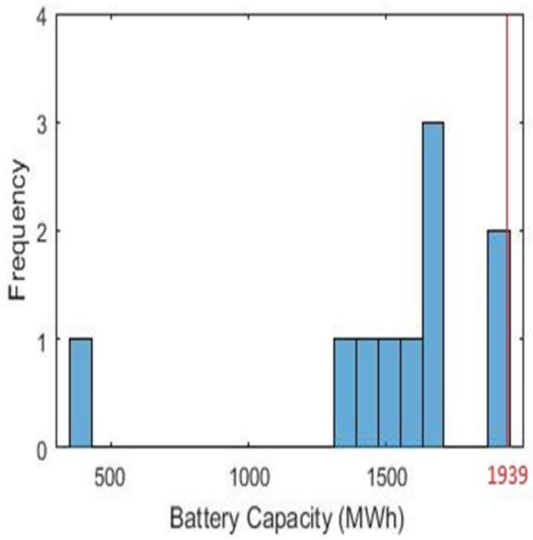


ภาพที่ 5.31 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5.32 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่

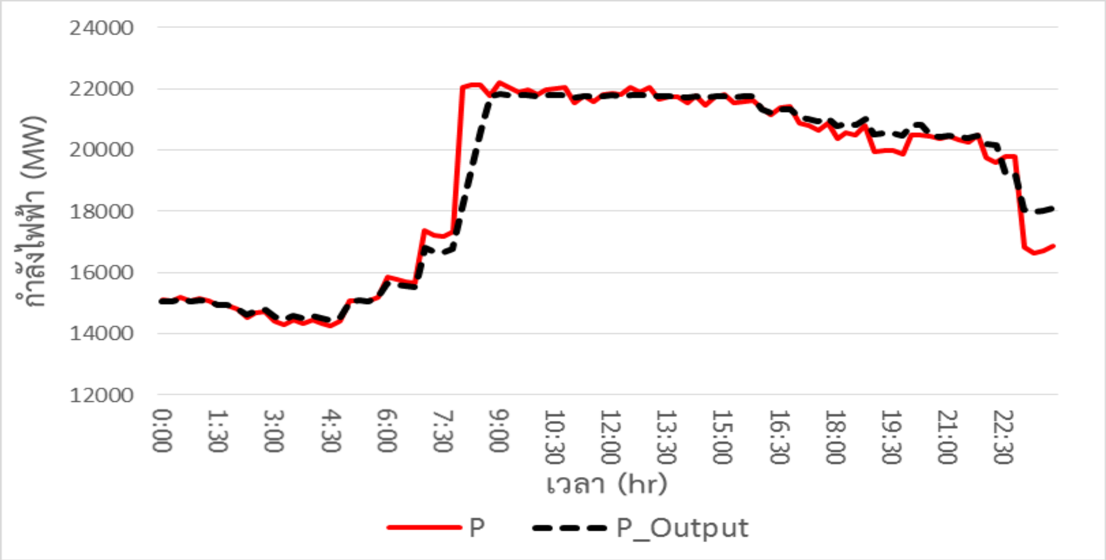
จากผลการทดสอบการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ เป็นเวลา 1 ปี จะได้ขนาดที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจะพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด จะได้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม มีขนาดเท่ากับ 1939 MWh โดยขนาดของแบตเตอรี่แต่ละสัปดาห์จะแสดงดังภาพที่ 5.33



ภาพที่ 5.33 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี

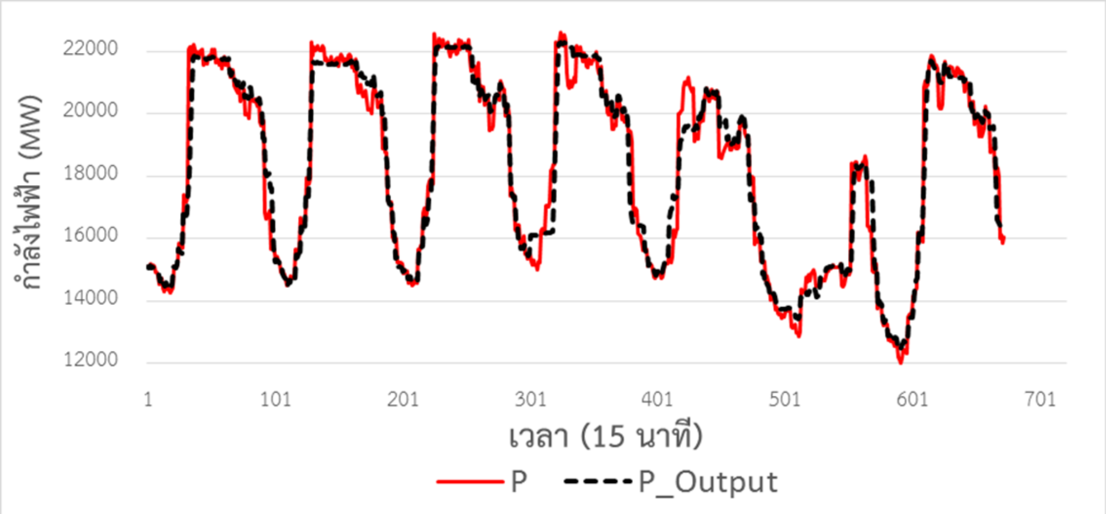
5) ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคกลางฝั่งตะวันออก

การทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคกลางฝั่งตะวันออก จะกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกิน 1,300 MW/ 15 min จะสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ ผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 5.34 – 5.37

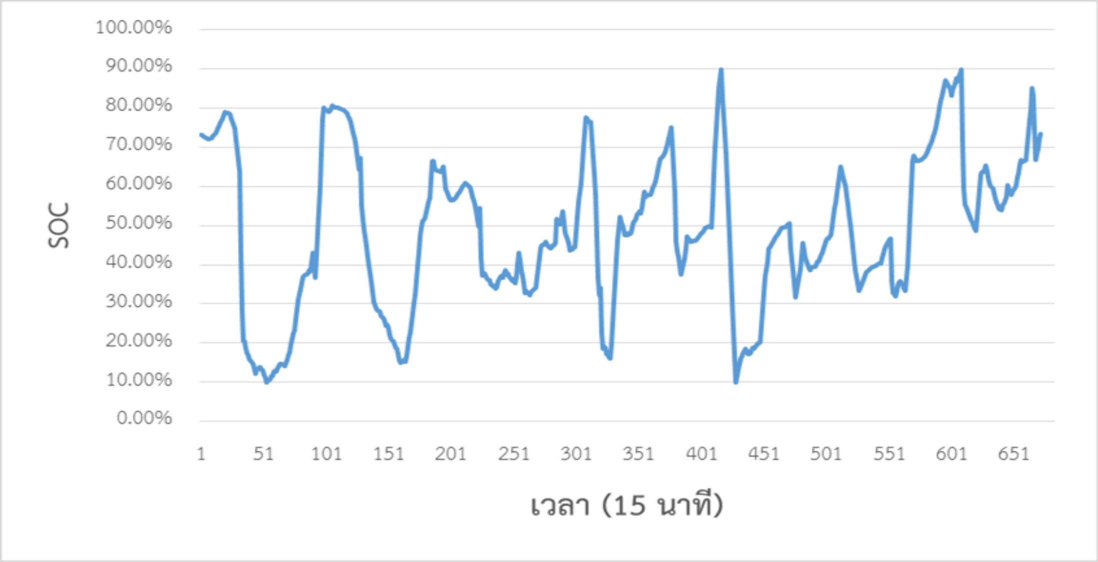


ภาพที่ 5.34 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคกลางฝั่งตะวันออกในระยะเวลา 1 วัน

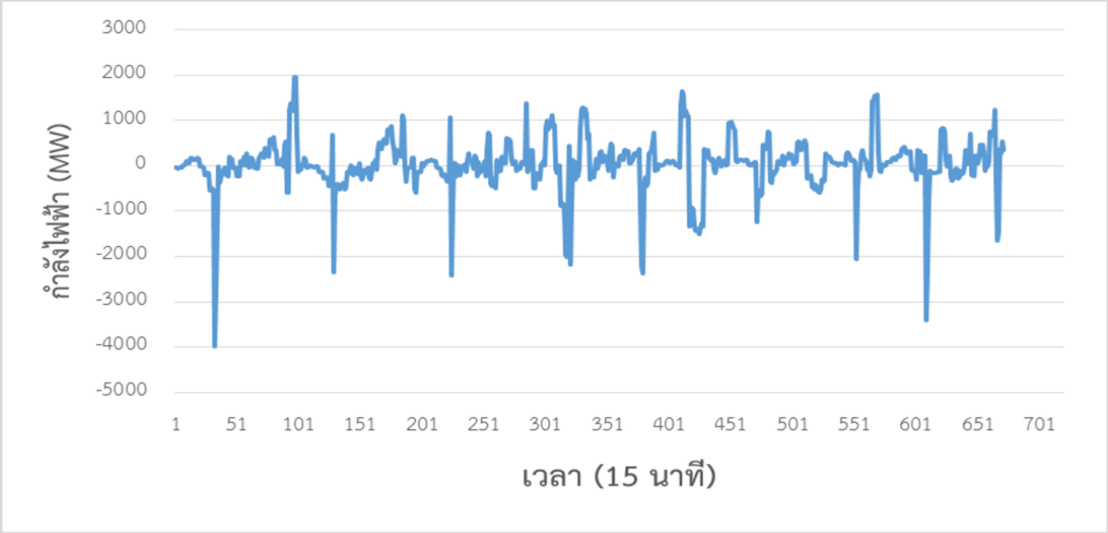
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.35 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคกลางฝั่งตะวันออกในระยะเวลา 7 วัน

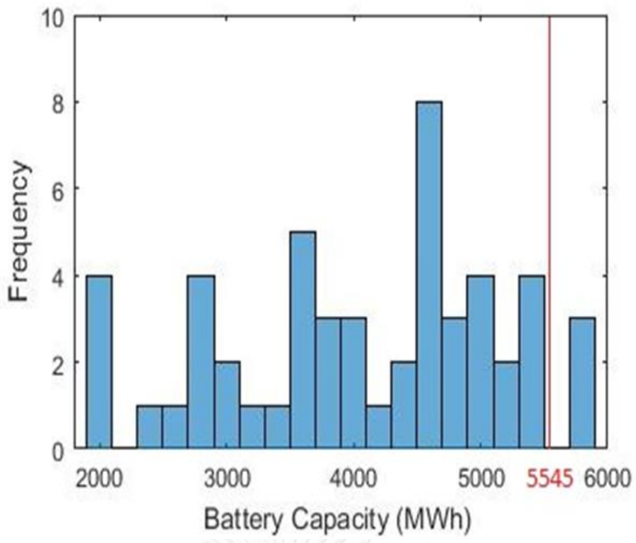


ภาพที่ 5.36 ตัวอย่างของ State of Charge ของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5.37 ตัวอย่างของการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่

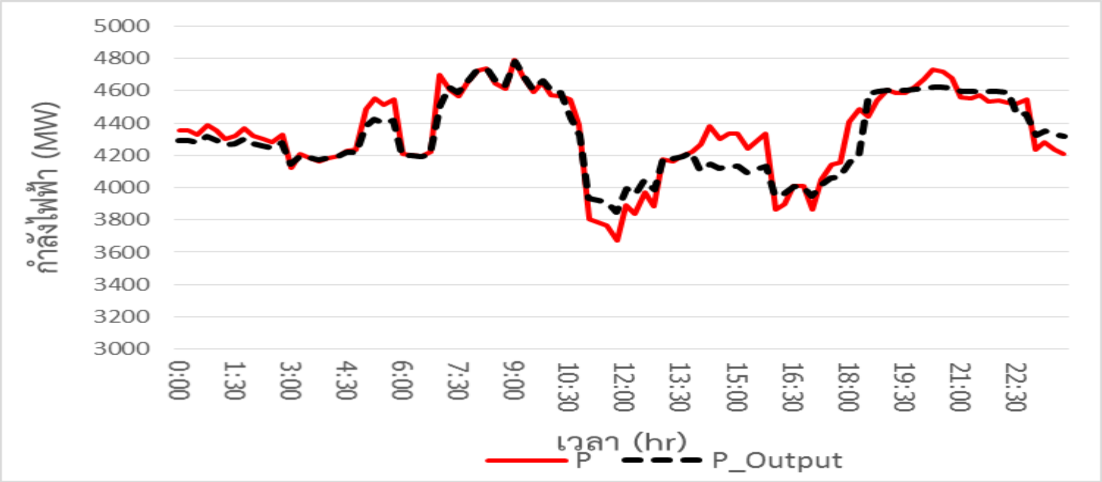
จากผลการทดสอบการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์เป็นเวลา 1 ปี จะได้ขนาดทีเหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจะพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด จะได้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม มีขนาดเท่ากับ 5545 MWh โดยขนาดของแบตเตอรี่แต่ละสัปดาห์จะแสดงดังภาพที่ 5.38



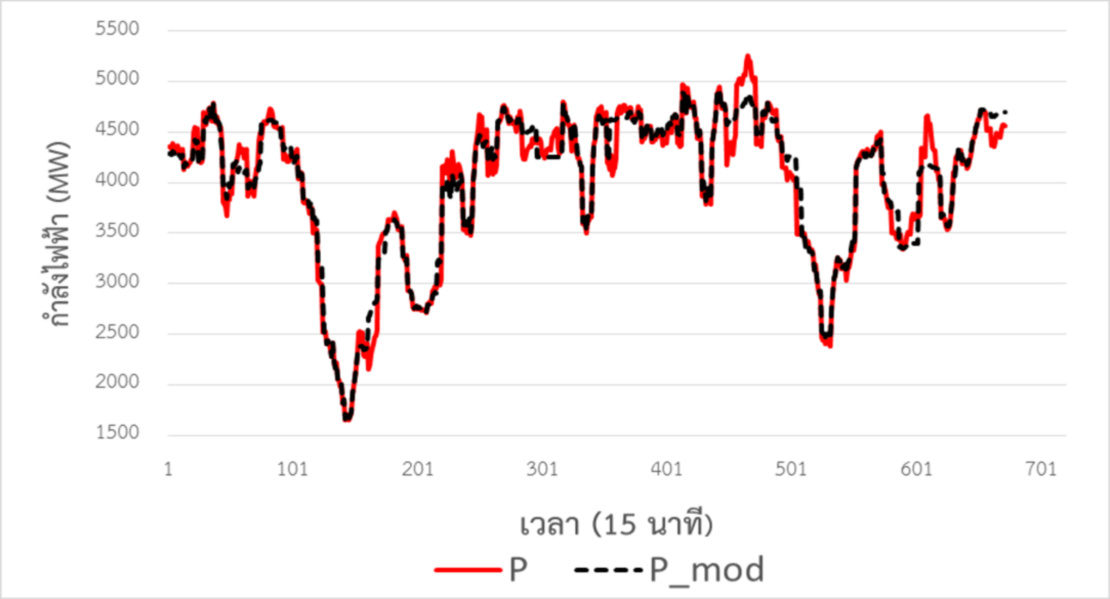
ภาพที่ 5.38 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี

6) ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคกลางฝั่งตะวันตก

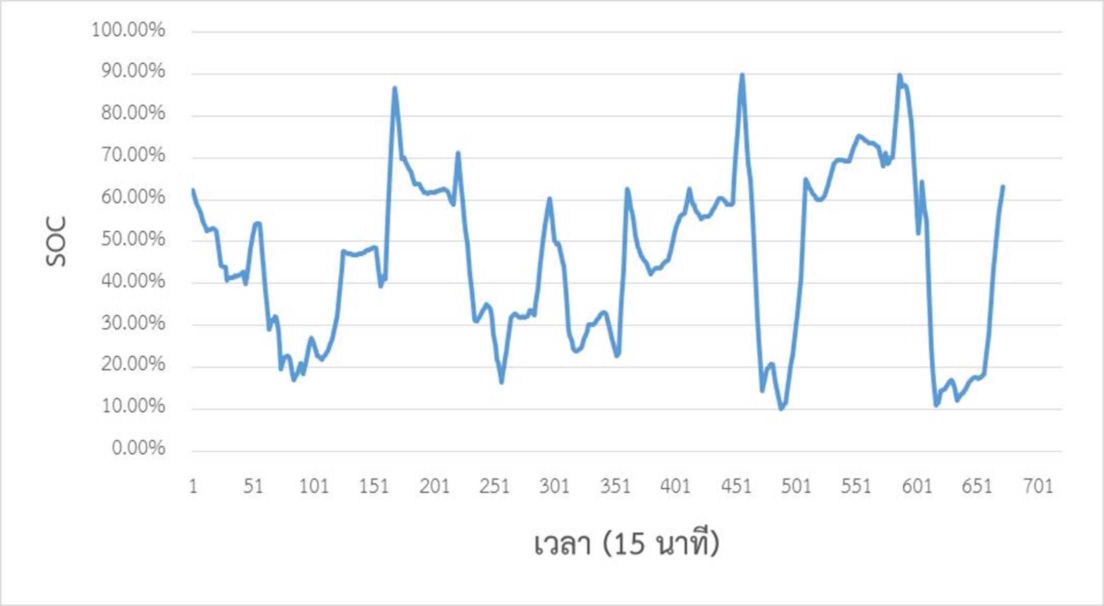
ในการทดสอบหาขนาดของแบตเตอรี่ของภาคกลางฝั่งตะวันตก จะกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกิน 720 MW/ 15 min จะสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้ ผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 5.39 – 5.42



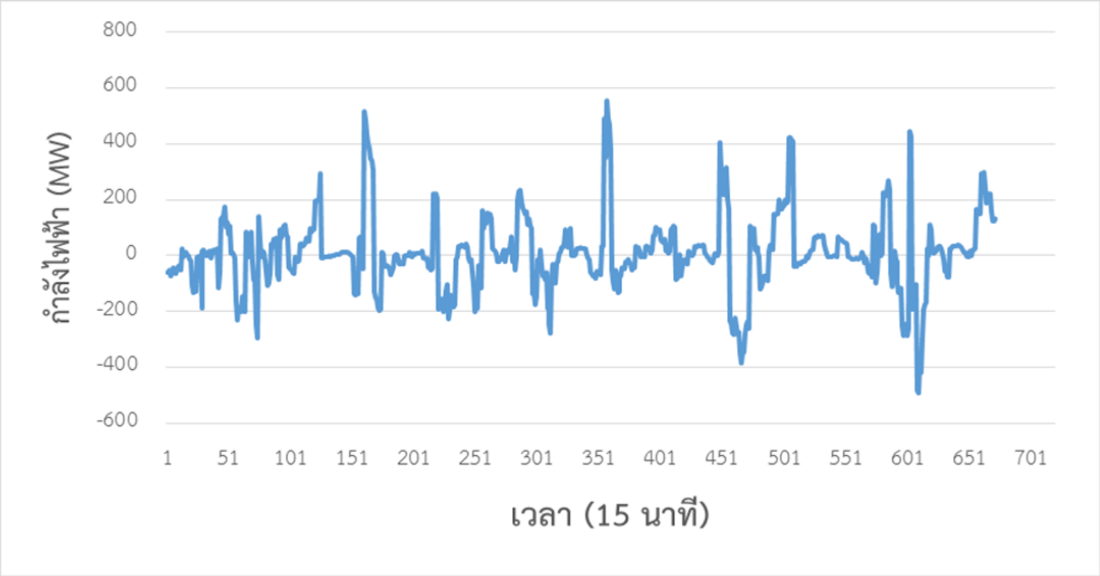
ภาพที่ 5.39 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคกลางฝั่งตะวันตกในระยะเวลา 1 วัน



ภาพที่ 5.40 ตัวอย่างของกำลังไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่
ของภาคกลางฝั่งตะวันตกในระยะเวลา 7 วัน

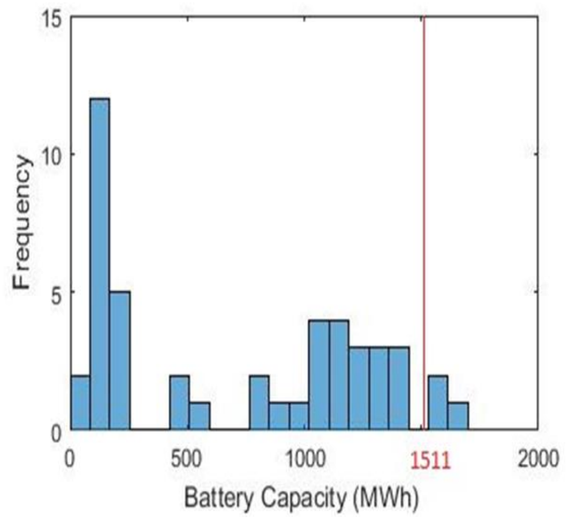


ภาพที่ 5.41 แสดง State of Charge ของแบตเตอรี่



ภาพที่ 5.42 แสดงการรับพลังงานและคายพลังงานของแบตเตอรี่

จากผลการทดสอบการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในแต่ละสัปดาห์เป็นเวลา 1 ปี จะได้ขนาดทีเหมาะสมในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งจะพิจารณาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีทำการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด จะได้ขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมมีขนาดเท่ากับ 1511 MWh โดยขนาดของแบตเตอรี่แต่ละสัปดาห์จะแสดงดังภาพที่ 5.43



ภาพที่ 5.43 การกระจายตัวของขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี

5.2.4 วิเคราะห์ผลการหาขนาดของแบตเตอรี่

การหาขนาดของแบตเตอรี่ จะเริ่มต้นจากการนำความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละภูมิภาคมาหักลบกับกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน จากนั้นมาคำนวณหาขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยลักษณะของความต้องการใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมผลการจำลองพลังงานหมุนเวียนและความต้องการใช้ไฟฟ้าแต่ภูมิภาค จะพบว่า

1.ภาคเหนือมีพลังงานหมุนเวียนทั้ง 6 ชนิดและลักษณะจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีผลจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เด่นชันขึ้นมา คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าจะมีค่ามากในเวลากลางวัน ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาคเหนือในเวลากลางลดลงมากกว่าเวลาอื่นๆ

2.ภาคใต้มีพลังงานลมมากที่สุดในพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ และมีพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด ทำให้ลักษณะของกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนจะมีความไม่แน่นอนจากผลของพลังงานลม เนื่องจากภาคใต้มีพลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่าพลังงานอื่นมาก ดังนั้นความต้องการใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงไปจากผลของพลังงานอื่นมากกว่า

3.ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพลังงานก๊าซชีวภาพ ลม และ แสงอาทิตย์ มากทำให้ผลการจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าจะมีลักษณะของพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ คือ จะมีกำลังผลิตไฟฟ้ามากในเวลากลางวัน ทำให้ลักษณะของความต้องการใช้ไฟฟ้าจะลดลงต่ำในเวลากลางวัน

4.ภาคกลางมีพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดในพลังงานอื่นๆ และไม่มีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ดังนั้นลักษณะของกำลังผลิตไฟฟ้าจากลังงานหมุนเวียนจะผลิตไฟฟ้าได้มากในเวลากลางวัน ส่งผลต่อลักษณะของความต้องการใช้ไฟฟ้าของภาคกลางจะมีลักษณะคล้ายเส้นโค้งเป็ด (Duck Curve) จากผลของพลังงานแสงอาทิตย์

5.ภาคกลางฝั่งตะวันออกมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานก๊าซชีวภาพมาก แต่กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนมีขนาดที่น้อยกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก ทำให้ลักษณะของความต้องการใช้ไฟฟ้าจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

6.ภาคกลางฝั่งตะวันตกมีกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุด ส่งผลให้ลักษณะของความต้องการใช้ไฟฟ้าที่หักลบกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแล้วนั้นมีลักษณะลดลงมากในเวลาจากกลางวันที่เป็นผลจากพลังงานแสงอาทิตย์

โดยสรุปพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้ามากทีสุด รองลงมาคือพลังงานลม ส่วนพลังงานชีวภาพและพลังงานน้ำจะมีความแปรปรวนน้อยกว่าพลังงานทั้งสอง จากการหาขนาดของแบตเตอรี่ในแต่ละภูมิภาค จะสามารถได้ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมได้ ดังแสดงจากตารางที่ 5.4 โดยเลือกขนาดของแบตเตอรี่จากขนาดของแบตเตอรี่ที่สามารถครอบคลุมเหตุการณ์ได้ร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด

ตารางที่ 5.4 ตารางขนาดของแบตเตอรี่ของทั้งหมด 6 ภูมิภาค

ภูมิภาค	ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม (MWh)
ภาคเหนือ	1,561
ภาคใต้	1,805
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,821
ภาคกลาง	1,939
ภาคกลางฝั่งตะวันออก	5,545
ภาคกลางฝั่งตะวันตก	1,511

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงการลดขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละภูมิภาค

ภูมิภาค	แบตเตอรี่	ค่าเฉลี่ย Ramp up (MW/15นาที)	ค่าเฉลี่ย Ramp down (MW/15นาที)	ค่าสูงสุด Ramp up (MW/15นาที)	ค่าสูงสุด Ramp down (MW/15นาที)
ภาคเหนือ	ไม่มี	73.09	74.73	3,321	2,776
	มี	61.18	61.78	800	800
ภาคใต้	ไม่มี	61.10	75.26	1,502	2,990
	มี	52.33	61.10	1,000	1,000
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ไม่มี	100.60	115.16	1,919	1,392
	มี	81.33	86.82	325	325
ภาคกลาง	ไม่มี	88.78	85.47	3,095	1,959
	มี	69.35	66.12	800	800
ภาคกลางฝั่งตะวันออก	ไม่มี	298.42	280.38	5,655	3,352
	มี	226.07	211.22	1,300	1,300
ภาคกลางฝั่งตะวันตก	ไม่มี	84.21	82.63	2,569	2,419
	มี	69.39	68.11	720	720

ตัวอย่างการลดขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละพื้นที่จะแสดงได้ดังตารางที่ 5.5 โดยในตารางจะแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่มากที่สุดของแต่ละภาค และแสดงถึงแบตเตอรี่สามารถช่วยลดขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดให้มีขนาดน้อยลงได้ โดยขนาดของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับขนาดการลดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลด จากตารางที่ 5.4 และ 5.5 จะสรุปอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแต่ละพื้นที่ได้ ดังนี้

1. ภาคเหนือค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนของโหลดขาลงมีค่ามากกว่าขาขึ้นเล็กน้อย ส่วนค่าสูงสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดขาขึ้นมากกว่าขาลง ขนาดของแบตเตอรี่มีขนาด 1,561 MWh ทำให้ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดไม่เกินขนาด 800 MW ทั้งขาขึ้นและขาลง

2. ภาคใต้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนของโหลดขาลงมีค่ามากกว่าขาขึ้น ส่วนค่าสูงสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดขาลงมากกว่าขาขึ้น ขนาดของแบตเตอรี่มีขนาด 1,805 MWh ทำให้ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดไม่เกินขนาด 1000 MW ทั้งขาขึ้นและขาลง

3. ภาคตะวันออกเฉียงเหนือค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนของโหลดขาลงมีค่ามากกว่าขาขึ้น ส่วนค่าสูงสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดขาขึ้นมากกว่าขาลง ขนาดของแบตเตอรี่มีขนาด 1,821 MWh ทำให้ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดไม่เกินขนาด 325 MW ทั้งขาขึ้นและขาลง โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับจ่ายเข้ามาด้วย ขนาดของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำเท่ากับ 1,000

4. ภาคกลางค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนของโหลดขาขึ้นมีค่ามากกว่าขาลงเล็กน้อย ส่วนค่าสูงสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดขาขึ้นมากกว่าขาลง ขนาดของแบตเตอรี่มีขนาด 1,939 MWh ทำให้ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดไม่เกินขนาด 800 MW ทั้งขาขึ้นและขาลง

5. ภาคกลางฝั่งตะวันออกค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนของโหลดขาขึ้นมีค่ามากกว่าขาลง ส่วนค่าสูงสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดขาขึ้นมากกว่าขาลง ขนาดของแบตเตอรี่มีขนาด 5,545 MWh ทำให้ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดไม่เกินขนาด 1,300 MW ทั้งขาขึ้นและขาลง

6. ภาคกลางฝั่งตะวันตกค่าเฉลี่ยของอัตราการเปลี่ยนของโหลดขาขึ้นมีค่ามากกว่าขาลง ส่วนค่าสูงสุดของอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดขาขึ้นมากกว่าขาลง ขนาดของแบตเตอรี่มีขนาด 1,511 MWh ทำให้ขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยลดลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดสูงสุดไม่เกินขนาด 720 MW ทั้งขาขึ้นและขาลง

บทที่ 6
สรุป

6.1. สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดอัตราการเปลี่ยนของโหลด เมื่อมีพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบเป็นจำนวนมาก โดยปัญหาที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของพลังงานหมุนเวียนเป็นจำนวนมากนั้น ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบไฟฟ้ามากมายตามมา โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำปัญหาการไม่สามารถตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ทันมาแก้ปัญหา โดยปัญหาการตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นและลดลงไม่ทันนั้น หมายถึงโรงไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระยะเวลาสั้นหรือลดการผลิตไฟฟ้าในระยะเวลาอันสั้นได้ทัน ทำให้ระบบไฟฟ้าเกิดปัญหาเสถียรภาพได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำแบตเตอรี่มาช่วยแก้ปัญหา โดยที่เลือกแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่สูง สามารถรับหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าในปริมาณมากเมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ได้ ส่งผลให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้สูงขึ้น และแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนยังมีแนวโน้มว่าจะเป็นนิยมมากขึ้นในอนาคต

การหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะว่า ถ้าขนาดของแบตเตอรี่ที่มีค่าน้อยเกินไปก็ไม่สามารถตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ทัน หรือถ้าขนาดของแบตเตอรี่มากเกินไป จะส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าที่อาจจะสูงเกินไป ดังนั้นการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการใช้งาน

ขั้นตอนในการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสม จะเริ่มจากการจำลองขนาดกำลังไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนและจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าในปี 2579 ในราย 15 นาที ต่อจากนั้นนำความต้องการใช้ไฟฟ้ามาหักลบกับพลังงานหมุนเวียน จากนั้น กำหนดช่วงของข้อมูล โดยจะแบ่งช่วงจากจุดวกกลับของข้อมูล นำสองจุดวกกลับมาหาตำแหน่งกึ่งกลางเป็นตำแหน่งของเส้นแบ่ง หลังจากนั้นกำหนดพารามิเตอร์ 2 ตัว ในแต่ละช่วงเพื่อนำมาคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อไป โดยผ่านเงื่อนไข 4 ข้อ คือ 1.สถานะประจุ (SOC) ไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด 2. อัตราการเปลี่ยนแปลงไม่เกินค่าที่กำหนด 3.กำลังไฟฟ้ารวมที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่มีขนาดเท่ากัน 4.พารามิเตอร์ไม่เกินกว่าช่วงที่กำหนดไว้

หลังจากนั้นจะคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่เป็นไปตามสมการ และคำนวณด้วยวิธี the generalized reduce gradient method (GRG) ใน โปรแกรม Solver ใน MS Excel จะสามารถหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมได้ในแต่ละวัน ถ้าวันไหนอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดไม่เกินกว่าค่าที่กำหนดก็จะไม่คำนวณหาขนาด แต่ถ้าวันไหนเกินก็จะคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ โดยคำตอบ

สุดท้ายของแบตเตอรี่จะมาจากการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ที่ครอบคลุมเหตุการณ์ร้อยละ 95 ของเหตุการณ์ทั้งหมด

ผลการทดสอบหาพบว่า การติดตั้งแบตเตอรี่จะช่วยลดขนาดของอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูงเกินไป ส่งผลให้โรงไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ทัน และขนาดที่ติดตั้งในแต่ละภาคเป็นดังนั้น 1. ภาคกลางขนาดของแบตเตอรี่เท่ากับ 1,939 MWh 2. ภาคเหนือขนาดของแบตเตอรี่เท่ากับ 1,561 MWh 3. ภาคใต้ขนาดของแบตเตอรี่เท่ากับ 1,805 MWh 4. ภาคกลางฝั่งตะวันตกเท่ากับ 1,511 MWh 5.ภาคกลางฝั่งตะวันออก 5,545 MWh 6.ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขนาดของแบตเตอรี่เท่ากับ 1,821 MWh

6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้แบบจำลองของพลังงานหมุนเวียนบางประเภท คือ แบบจำลองความเร็วลมและแบบจำลองความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ถูกสร้างโดยอาศัยคุณสมบัติของพลังงานหมุนเวียน แต่แบบจำลองการหาเชื้อเพลิงของพลังงานชีวภาพและแบบจำลองอัตราการไหลของน้ำเป็นจำลองจากความน่าจะเป็นทำให้ค่าอาจจะคาดเคลื่อนจากความเป็นจริง ต้องใช้ค่าสถิติของจริงมาใช้ในการคำนวณหา

2) ปัจจุบันการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของระบบไฟฟ้ามีแค่ผลรวมของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งระบบ ไม่มีการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดแต่ละพื้นที่ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การประมาณจากสัดส่วนของความต้องการใช้ไฟฟ้าฐานของทั้งระบบไฟฟ้า ซึ่งในทางปฏิบัติความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละพื้นที่อาจจะแตกต่างจากการผลที่สามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ได้

3) วิธีการหาขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะคำนวณจากขนาดที่เหมาะสมที่ใน 1 สัปดาห์จากระยะพิจารณาทั้งหมด 1 ปีที่คำนวณ ทำให้ขนาดของแบตเตอรี่อาจจะใหญ่เกินไป ถ้าสามารถคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ใน 1 ปี ได้นั้น อาจจะได้ขนาดที่เล็กกกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] A. Prapassornpittaya and K. Audomvongseree, "Determining optimal battery capacity of wind generator with power fluctuation consideration," in *The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand - Conference 2011*, 2011, pp. 820-824.

[2] ช. อาภาพิพัฒน์, "การหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเมื่อพิจารณาถึงการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและความถี่," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

[3] N. Instrument. (2008, 10 Dec 2016). *Wind Turbine Control Methods*. Available: http://www.ni.com/white-paper/8189/en/#top

[4] ก. เหลืองสมบูรณ์, "คอปปูลาของตัวแปรสุ่มที่ขึ้นต่อกัน," โครงงานปริญญาบัณฑิต, ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[5] A. Wilson, and Ghahramani, Z., "Copula Process," Department of Engineering, University of Cambridge, 2010.

[6] P. Embrechst, "Copulas: a personal view," Department of Mathematics, ETH Zurich, Switzerland, 2009.

[7] U. Cherubimi, Luciano, E., and Vecchiato, W. , *Copula Method in Finance* (West Sussex: John Wiley & Son Ltd). 2004.

[8] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, "Identification of Photovoltaic Source Models," *IEEE Transactions on Energy Conversion,* vol. 26, no. 3, pp. 883-889, 2011.

[9] M. Fuentes, G. Nofuentes, J. Aguilera, D. L. Talavera, and M. Castro, "Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates," *Solar Energy,* vol. 81, no. 11, pp. 1396-1408, 2007/11/01/ 2007.

[10] J. Machacek, Zdenek ,P., and Drapela, j., *The temperature dependant efficiency of photovoltaic modules-A long term evaluation of experimental measurements* (Renewable Energy. InTech). 2009.

[11] ป. อินทับ, "ขนาดกำลังผลิตที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กระดับหมู่บ้านในเขตภาคเหนือของประเทศไทย," สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.

[12] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554, 10 Sep). โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. Available: http://www.dede.go.th/go.th/

[13] iENERGYGURU. (2558, 10 Sep). ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ. Available: http://ienergyguru.com/2015/10/power-plant-types/

[14] R. First. (2011, September 1). *Introduction to run-of-river micro hydropow*. Available: www.renewablesfirst.co.uk/

[15] พ. ท. ป. พรรณทิพา สุขธรรม, "การฟื้นฟูโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมาก กรณีศึกษาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยคั่ง จังหวัดเชียงใหม่," สาขาวิชาพลังงานทดแทนภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2550.

[16] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (10 Sep). ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย. Available: http://www.dede.go.th/

[17] EnergyVision. (10 Sep). พลังงานก๊าซชีวภาพ. Available: http://www.energyvision.co.th/14432517

[18] มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. (2554, 20 กันยายน 2560). โอกาสและการลงทุนเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน. Available: http://www.efe.or.th

[19] ช. ไชยวุฒิเทพารักษ์, "การวางแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าโดยพิจารณาเงื่อนไขเชิงพื้นที่," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[20] I. Buchmann. *Battery definitions*. Available: http://www.batteryuniversity.com.

[21] M. e. v. team. (19 Sep). *A guide to understanding battery specifications*. Available: http://mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf

[22] ผ. บริบูรณ์. พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ Available: http://academic.udru.ac.th/~banyat/?p=158.

[23] IRENA. (15 Oct). *Battery Storage for Renewablws: Market Status ans Technology Outlook*. Available: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Battery_Storage_report_2015.pdf.

[24] I. Buchmann. (10 Oct). *Types of Lithium-ion*. Available: http://www.batteryuniversity.com.

[25] โ. อารียา, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง *1-2* (กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น). 2544.

[26] E. Acha, Agelidis, V. G., Anaya-Lara, O., and Miller, T.J.E., *Power electronic control in electrical systems.* (Oxford: Newnes). 2002.

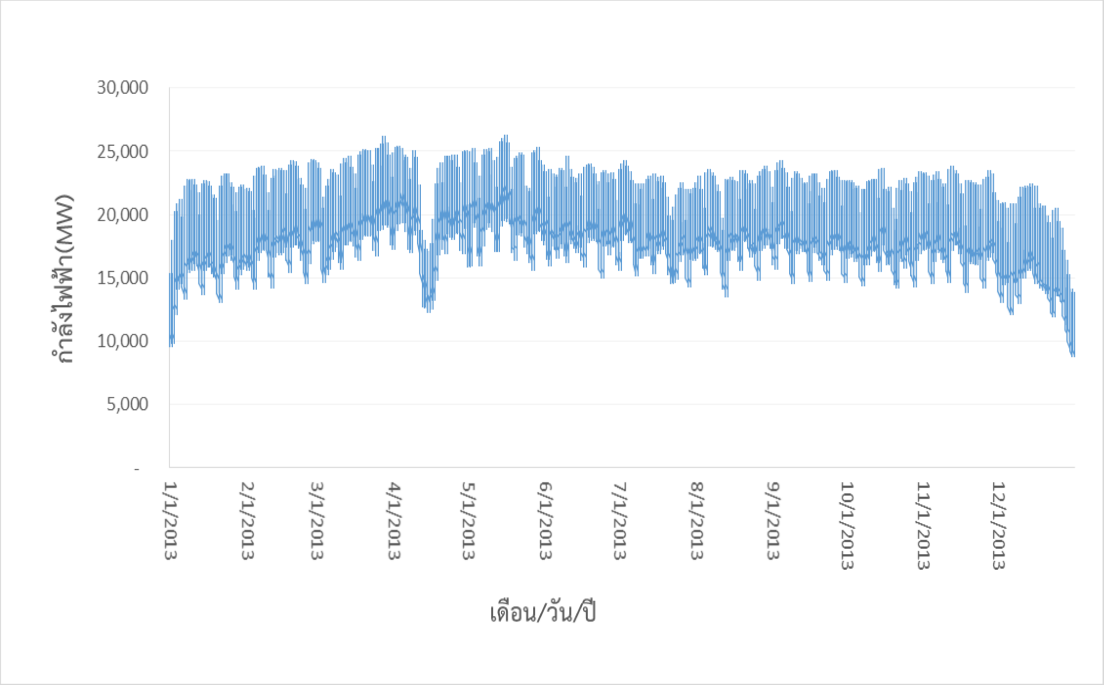
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ ก.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงปีฐาน พ.ศ. 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก.1 ค่าพยากรณ์ควาต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและค่าพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้

ปี	ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด(MW)	ความต้องการพลังงานไฟฟ้า(ล้านหน่วย)
2557	27,085	182,883
2558	27,634	190,285
2559	30,218	197,891
2560	31,385	205,649
2561	32,429	212,515
2562	33,635	220,503
2563	34,808	228,238
2564	35,775	234,654
2565	36,776	241,273
2566	37,740	247,671
2567	38,750	254,334
2568	39,752	260,764
2569	40,791	267,629
2570	41,693	273,440
2571	42,681	279,939
2572	43,489	285,384
2573	44,424	291,519
2574	45,438	298,234
2575	46,295	303,856
2576	47,025	309,021
2577	47,854	314,465
2578	48,713	320,114
2579	49,655	326,119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.1 ความเร็วลมเฉลี่ยในแต่ละเดือน ในปี พ.ศ.2548 ที่บริเวณแหลมพรหมเทพ จ.ภูเก็ต

เดือน	ความเร็วลม (m/s)	เดือน	ความเร็วลม (m/s)
มกราคม	6.03	กรกฎาคม	7.38
กุมภาพันธ์	4.80	สิงหาคม	6.39
มีนาคม	5.22	กันยายน	6.48
เมษายน	4.00	ตุลาคม	4.74
พฤษภาคม	5.24	พฤศจิกายน	4.21
มิถุนายน	7.08	ธันวาคม	5.64

ตารางที่ ข.2 ระดับความเร็วลมในการผลิตกำลังไฟฟ้าของกังหันลมรุ่น DeWind D6-1250

ระดับความเร็วลม	ความเร็วลม (m/s)
ความเร็วลมเข้าระบบ (Cut-in Speed)	2.8
ความเร็วลมเต็มพิกัด (Nominal or Rated Wind Speed)	12.5
ความเร็วลมตัดออก (Cut-out Wind Speed)	23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.3 ความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงตามฤดูกาล

ชั่วโมง	ความเร็วลมในแต่ละฤดู (m/s)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
1	5.023097	5.361823	6.114633
2	5.333031	5.107254	6.230987
3	5.021410	5.380161	5.665252
4	5.191660	5.411383	6.046494
5	5.002902	5.040668	6.354089
6	5.235122	5.393733	6.280955
7	5.291449	5.528281	6.035546
8	5.085919	5.365979	6.286418
9	5.652379	5.101217	6.325065
10	4.775389	5.56653	6.429313
11	5.317346	5.255554	6.083991
12	5.075287	5.178833	6.753120

ชั่วโมง	ความเร็วลมในแต่ละฤดู (m/s)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
13	5.273727	5.328746	6.135622
14	5.708895	5.183230	6.521348
15	5.356315	5.382313	6.146731
16	5.289101	5.634856	6.340065
17	5.087979	5.004967	6.417576
18	5.130245	5.495877	5.953362
19	5.069434	5.347554	6.536653
20	5.235235	5.169870	5.987508
21	5.197467	5.354199	6.219599
22	4.733282	5.349153	6.357155
23	5.177131	5.494930	6.298403
24	4.965493	5.367475	6.398169

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.4 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงตามฤดูกาล

ชั่วโมง	ความเข้มแสง G_{avg}(W/m^2)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
07:00 – 08:00	35.32	81.35	131.62
08:00 – 09:00	152.91	240.66	288.10
09:00 – 10:00	358.89	441.68	473.29
10:00 – 11:00	549.29	610.79	613.53
11:00 – 12:00	667.65	740.97	732.30
12:00 – 13:00	703.96	779.50	722.82
13:00 – 14:00	673.86	731.92	656.90
14:00 – 15:00	583.48	632.51	595.83
15:00 – 16:00	433.77	494.78	494.55
16:00 – 17:00	231.75	308.52	366.11
17:00 – 18:00	61.69	134.64	192.90

ตารางที่ ข.5 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมงตามฤดูกาล

ชั่วโมง	ความเข้มแสง T_{avg}(W/m^2)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
07:00 – 08:00	17.87	22.13	25.14
08:00 – 09:00	19.61	24.59	26.29
09:00 – 10:00	21.88	26.99	27.38
10:00 – 11:00	24.24	29.11	28.55
11:00 – 12:00	26.28	20.98	29.62
12:00 – 13:00	27.55	32.43	30.33
13:00 – 14:00	28.42	33.53	30.71
14:00 – 15:00	28.99	34.15	30.87
15:00 – 16:00	29.19	34.28	30.91
16:00 – 17:00	28.79	34.04	30.73
17:00 – 18:00	26.91	32.93	30.08

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.6 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง

ชั่วโมง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_G)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
07:00 – 08:00	0.9599	0.7503	0.5056
08:00 – 09:00	0.7154	0.7435	0.7321
09:00 – 10:00	0.6271	0.6320	0.6898
10:00 – 11:00	0.4522	0.4267	0.7047
11:00 – 12:00	0.3887	0.5420	0.4999
12:00 – 13:00	0.6614	0.6510	0.4704
13:00 – 14:00	0.5861	0.7537	0.6396
14:00 – 15:00	0.6378	0.7844	0.6882
15:00 – 16:00	0.5114	0.7740	0.8241
16:00 – 17:00	0.5434	0.5467	1.2463
17:00 – 18:00	0.6477	1.0306	1.0935

ตารางที่ ข.7 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมง

ชั่วโมง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_T)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
07:00 – 08:00	0.1804	0.0431	0.1852
08:00 – 09:00	0.1494	0.0523	0.1557
09:00 – 10:00	0.1177	0.0596	0.1259
10:00 – 11:00	0.0988	0.0658	0.0987
11:00 – 12:00	0.0933	0.0685	0.0818
12:00 – 13:00	0.0942	0.0703	0.0786
13:00 – 14:00	0.0977	0.0739	0.0773
14:00 – 15:00	0.0997	0.0797	0.0772
15:00 – 16:00	0.1053	0.0837	0.0820
16:00 – 17:00	0.1105	0.0778	0.0884
17:00 – 18:00	0.1118	0.0765	0.0875

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.8 คุณสมบัติเครื่องกังหันน้ำในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยคั่ง จ.เชียงใหม่

Type	Cross Flow
Output	40 kW
Net Head	90 m.
Discharge	60 Lt/sec
Speed	1,500 rpm
Runaway Speed	1,875 rpm

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโครงการไฟฟ้าพลังน้ำห้วยคั่ง จ.เชียงใหม่

Type	Induction Generator
Voltage	400 V
Frequency	50 Hz , 3 Phase
Output	37 kW
Efficiency	90%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา

กำลังการผลิตติดตั้ง	1000 MW
ปริมาณน้ำที่สามารถสูบกลับได้	9.6 ล้านลูกบาศก์เมตร
อัตราสิ้นเปลืองในการผลิตไฟฟ้า	1.2 ลูกบาศก์เมตร/หน่วย
พลังงาน	8 MWh
ประสิทธิภาพ	72%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค ข้อมูลแบตเตอรี่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.1 ค่าตัวแปรของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน

ตัวแปรของแบตเตอรี่	ค่าของตัวแปร	หน่วย
SOC_{max}	90	%
SOC_{min}	10	%
Efficiency	85	%
C rate	2	C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พัทธพล อั้นจุกฉุน เกิดวันที่ 9 มิถุนายน พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2560

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University