การศึกษาผลกระทบทางเทคนิคในระบบไฟฟ้ากับการติดตั้งแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วัชรพล วะนะสนธิ์

การศึกษารายบุคคลนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2562

A Study on the Technical Impact of Power System with Installation of Battery Energy Storage in Dan Khun Thot Substation of Provincial Electricity Authority

Watcharapol Wanasonth

A Individual Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

College of Innovative Technology and Engineering

Dhurakij Pundit University

2019

ใบรับรองการศึกษารายบุคคล

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อการศึกษารายบุคคล การศึกษาผลกระทบทางเทคนิคในระบบไฟฟ้ากับการติดตั้งแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เสนอโดย วัชรพล วะนะสนธิ์

สาขาวิชา การจัดการทางวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบการศึกษารายบุคคลแล้ว

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีรเดช วุฒิพรพันธ์)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 20 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อการศึกษารายบุคคล	การศึกษาผลกระทบทางเทคนิคในระบบไฟฟ้ากับการติดตั้งแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ชื่อผู้เขียน	วัชรพล วะนะสนธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านเทคนิคในระบบไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งใช้งานระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เพื่อบริหารจัดการพลังไฟฟ้าส่วนเกินจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (VSPP) ซึ่งผลิตไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของ กฟภ. สูงเกินกว่าความต้องการการใช้ไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า โดยทำการสร้างแบบจำลองทางระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 ซึ่งใช้ข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าและปริมาณพลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2561 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2561 โดยใช้ฐานข้อมูลจากศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา รวมถึงศึกษาเกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่างๆ โดยผลการศึกษาพบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานขนาด 6 MW / 30 MWh ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าดีขึ้นและลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. โดยมีหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลงรวม 11,196.7015 kWh/เดือน หรือคิดเป็น 134,360.4181 kWh/ปี หรือคิดเป็นเงิน 468,844.54 บาท/ปี

Individual Study Title	A Study on the Technical Impact of Power System with Installation of Battery Energy Storage in Dan Khun Thot Substation of Provincial Electricity Authority
Author	Watcharapol Wanasonth
Individual Study Advisor	Assistant Professor Aumnad Phdungsilp, Ph.D. Tekn. Dr.
Department	Engineering Management
Academic Year	2018

ABSTRACT

The objective of this study was to study the technical impact of the electrical system when installing the battery storage systems at the Dan Khun Thot Substation of the Provincial Electricity Authority (PEA) in order to manage excess power from small power producers (VSPP) which produce electricity to supply electricity to the PEA's power system is higher than the demand for electricity. Resulting in power loss in the electrical system. The study used DigSILENT PowerFactory 15.1 software to determine the amount of load data, electricity usage, and electrical power of the very small power producer (VSPP) supply to the PEA's grid. Data from 1 January 2018 to 31 May 2018 were collected from the database of the distribution dispatching center of the PEA Northeast Region 3, Nakhon Ratchasima. The analysis included studying various types of energy storage system. The study found that after installing the 6 MW / 30 MWh battery system, the voltage in the electrical system is improved and reduced the power losses in the PEA's grid with a total of 11,196.7015 kWh per month or 134,360.4181 kWh per year or 468,844.54 Baht per year

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์เรื่อง “การศึกษาผลกระทบทางเทคนิคในระบบไฟฟ้ากับการติดตั้งแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค” ได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์ ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้คำปรึกษาตลอดระยะเวลาของการวิจัย อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานสารนิพนธ์

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์จาก คุณสาธิน ผาสุข วิศวกร ระดับ 6 กองปฏิบัติการ ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา และคุณอธิษฐ์ธนัท บุญโสมรักษ์ หัวแผนกแผนกส่งเสริมผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กและพลังงานความร้อนร่วม กองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ได้ช่วยในการรวบรวมข้อมูลอีกทั้งได้ให้คำแนะนำเพื่อเพิ่มพูนความรู้ จึงทำให้สารนิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยให้การสนับสนุน รวมทั้งให้กำลังใจที่ดียิ่งแก่ผู้วิจัยตลอดจน อาจารย์ เจ้าหน้าที่และเพื่อนร่วมชั้นปริญญาโท สาขาการจัดการทางวิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้การช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากสารนิพนธ์ เป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน

วัชรพล วะนะสนธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย …….	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…….	ง
กิตติกรรมประกาศ……..	จ
สารบัญตาราง…….....……	ซ
สารบัญภาพ……..……..……..	ฌ
บทที่	
1. บทนำ……	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…….	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย……..…….	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย……..……..	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……..……...	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย……..……	4
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..…….	5
2.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า……..……	5
2.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสีย……..……...	6
2.3 รูปแบบของระบบกักเก็บพลังงาน……..……...	6
2.4 การเลือกใช้งานเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน……..……	8
2.5 เทคโนโลยีของระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่……	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..……...	21
3. ระเบียบวิธีวิจัย……..	29
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย……..……...	29
3.2 ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด……..……...	31
3.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)…….	32
3.4 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า…….	33
3.5 ขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน……	34
3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล……..…….	37

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.7 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล……..	37
3.8 การประยุกต์แบบจำลองระบบไฟฟ้าด้วยกรณีศึกษา…..……	38
3.9 การวิเคราะห์ผลศึกษา……..……	39
4. ผลการศึกษา……..…….....….....	40
4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโหลด…….	40
4.2 การวิเคราะห์ขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน…….……	45
4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเทคนิคในระบบไฟฟ้า…….	46
5. สรุปผลการวิจัย.....	61
5.1 สรุปผลการศึกษา……	61
5.2 ข้อเสนอแนะ……..	64
บรรณานุกรม……..	65
ภาคผนวก……..	67
ก. แผนผังระบบไฟฟ้า 115 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด.....	68
ข. แผนผังระบบไฟฟ้า 22 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด……	70
ค. ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด…….	72
ประวัติผู้เขียน……..	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ข้อมูล ณ วันที่ 20 พฤศจิกายน 2561…….……	2
2.1	รูปแบบการกักเก็บพลังงานตามเทคโนโลยี……	7
2.2	เปรียบเทียบข้อมูลระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานชนิดต่างๆ……..……	19
2.3	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ…….……	19
2.4	Economic and technical parameters of Li-ion, NaS and VRF batteries…...…..	20
2.5	บทสรุปประเด็นสำคัญจากงานศึกษาในอดีตที่เกี่ยวข้อง…….	26
3.1	จำนวนและปริมาณการรับไฟฟ้าทั้งหมดจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (VSPP) ที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด……..	33
4.1	ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด ช่วงเดือนมกราคม – เดือนพฤษภาคม 2561……..……	44
4.2	เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา……	51
4.3	เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา……	51
4.4	เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด……..	52
4.5	เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด……..	53
4.6	เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันธรรมดา…..	54
4.7	เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันหยุด……	58
4.8	อัตราค่าไฟฟ้าขายส่งตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU rate) ที่ กฟผ. ขายไฟให้กับ กฟภ. ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558……	60
5.1	ปริมาณโหลดเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2561….	61

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 ส่วนประกอบของ NAS Battery……...…… 9

2.2 NAS Battery ในรูปแบบของ Rack……... 10

2.3 โมเดลของ Sodium-Metal-Halide Battery…… 11

2.4 ระบบการทำงานของ Lithium-Ion Battery……... 12

2.5 ระบบการทำงานของ Zinc Bromine Battery…… 14

2.6 ระบบการทำงานของ Vanadium Redox Battery…….. 16

2.7 ส่วนประกอบของ Advance Lead Acid Battery……... 18

2.8 Project cost of Li-ion Battery……...…… 21

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย…… 30

3.2 แผนผังแสดงการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 115 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด…… 31

3.3 แผนผังแสดงการจ่ายไฟระบบจำหน่าย 22 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด…….. 32

3.4 ค่าโหลดการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงของวันธรรมดาและวันหยุดในเดือน มกราคม 2561……..……..…….. 34

3.5 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ช่วงวันที่ 1 ม.ค. 2561 - 7 ม.ค. 2561……. 35

3.6 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงส่วนเกินในเดือนมกราคม 2561……. 36

3.7 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในเดือนมกราคม 2561…….. 36

3.8 แบบจำลองระบบไฟฟ้า จากโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1……. 38

4.1 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนมกราคม 2561…….. 41

4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนกุมภาพันธ์ 2561…… 41

4.3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนมีนาคม 2561……. 42

4.4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนเมษายน 2561……..…….. 42

4.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนพฤษภาคม 2561…..……. 43

4.6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ในช่วงวันที่ 1 มกราคม - 7 มกราคม 2561…….. 44

4.7 ปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า เมื่อติดตั้งระบบแบตเตอรี่ทั้ง 3 ขนาด ให้กักเก็บพลังงานไฟฟ้า ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น…… 46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.8 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1…… 47

4.9 การตั้งค่าขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน……. 48

4.10 การตั้งค่ากำลังไฟฟ้าขาออกของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน…….…….. 48

4.11 ช่วงเวลาการ Charge และ Discharge ของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน……. 49

4.12 กำลังไฟฟ้าในช่วง Charge และ Discharge ของระบบแบตเตอรี่ กักเก็บพลังงาน……..……. 50

4.13 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อระบบ แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน……..…….. 53

4.14 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อระบบ แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน…… 54

4.15 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของวันธรรมดา ก่อนและ หลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน……..…….. 56

4.16 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อระบบ แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน……..…….. 57

4.17 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าหลังการเชื่อมต่อระบบ แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน…….. 57

4.18 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของวันหยุด ก่อนและ หลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน…… 59

5.1 ปริมาณโหลดเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2561..… 62

5.2 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ก่อนและหลังเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่ กักเก็บพลังงาน…….. 63

5.3 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนและหลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กัก เก็บพลังงาน…….. 63

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจสังกัดกระทรวงมหาดไทย มีหน้าที่ในการจัดหาและให้บริการจำหน่ายไฟฟ้าแก่ประชาชนในส่วนภูมิภาคทั้งหมด 74 จังหวัด ยกเว้นกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ ธุรกิจหลักของ กฟภ. คือ การจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่รับผิดชอบ นอกจากนี้ กฟภ. ยังให้บริการเสริมอื่นๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับการจำหน่ายไฟฟ้า เช่น การขอเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน เป็นต้น

นับตั้งแต่ปี 2532 เป็นต้นมา รัฐบาลได้มีนโยบายในการส่งเสริมให้เอกชนเข้ามามีบทบาทในการผลิตไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อเพิ่มการแข่งขันในกิจการพลังงาน ทำให้กิจการพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น และผู้บริโภคมีพลังงานใช้อย่างเพียงพอในราคาที่เหมาะสม 2) ลดภาระการลงทุนของรัฐและลดภาระหนี้สินของรัฐ/ประเทศ 3) ส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น 4) ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับบริการและคุณภาพไฟฟ้าที่ดีขึ้น 5) สนับสนุนให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการพัฒนากิจการด้านพลังงานของประเทศ 6) ช่วยพัฒนาตลาดทุน โดยการรับซื้อไฟฟ้าจากภาคเอกชนดังกล่าวอยู่ภายใต้แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (Power Development Plant : PDP) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) ซึ่งจัดทำขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้น เนื่องจากแนวโน้มการขยายตัวทางเศรษฐกิจของไทยที่ปรับตัว และแผนการลงทุนโครงสร้างพื้นฐานตามนโยบายรัฐบาล ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยโดยรวม ปัจจุบันการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) มีปริมาณค่อนข้างสูง แสดงดังตารางที่ 1.1 ซึ่งปริมาณพลังไฟฟ้าที่ VSPP จ่ายเข้าระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Demand) ประกอบกับที่ตั้งโรงไฟฟ้าของ VSPP ไม่ได้อยู่ในจุดที่เหมาะสม ทำให้เกิดความสูญเสียในระบบไฟฟ้าโดยรวมมากขึ้น

ตารางที่ 1.1 สถานะการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่เชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ข้อมูล ณ วันที่ 20 พฤศจิกายน 2561

ประเภทเชื้อเพลิง	เริ่มต้นซื้อขายไฟฟ้าแล้ว		ทำสัญญาแล้ว	
	จำนวน (โครงการ)	ปริมาณขายตามสัญญา (MW)	จำนวน (โครงการ)	ปริมาณขายตามสัญญา (MW)
ชีวมวล	167	1,048.93	20	103.94
ชีวภาพ	172	319.16	15	26.94
ขยะ	27	104.06	12	68.78
พลังงานลม	9	29.65	3	24.97
พลังงานน้ำ	5	1.17	-	-
แสงอาทิตย์	483	2,126.05	26	111.58
Cogeneration	7	41.99	1	6.8
พลังงานความร้อนเหลือ	2	4.50	-	-
ผลรวมทั้งหมด	**872**	**3,675.51**	**77**	**343.00**

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการนำเทคโนโลยีระบบกับเก็บพลังงาน (Energy Storage System) มาใช้ เพื่อช่วยในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจาก VSPP อย่างมีประสิทธิภาพ ควบคุมความผันผวนของความถี่และแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า รวมถึงลดการสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558) โดยจะศึกษาความเหมาะสมในการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด ของ กฟภ. ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าที่มี VSPP เชื่อมโยงอยู่หลายรายและมีปริมาณพลังไฟฟ้ารวมที่จ่ายเข้าระบบไฟฟ้าของ กฟภ. สูงกว่าความต้องการการใช้ไฟฟ้า (Demand)

ระบบกักเก็บพลังงานในปัจจุบันมีหลายประเภท โดยแต่ละประเภทจะใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันไปในการกักเก็บพลังงาน มีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันออกไป ดังนั้นความเหมาะสมของระบบกักเก็บพลังงานชนิดต่างๆ ในด้านการนำมาใช้งานสำหรับการกักเก็บพลังงานนั้น ควรพิจารณาจากความต้องการของระบบที่จะนำไปใช้ว่าให้ความสำคัญกับวัตถุประสงค์ด้านใดเป็นหลัก เช่น ความหนาแน่นของพลังงานต่อพื้นที่ อัตราส่วนระหว่างกำลังและพลังงานที่ได้ ราคาของ

ระบบกักเก็บพลังงาน รอบอายุการใช้งาน ค่าบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายอื่นๆ รวมไปถึงความปลอดภัยด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบทางด้านเทคนิคในระบบไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งใช้งานระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานร่วมกับระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

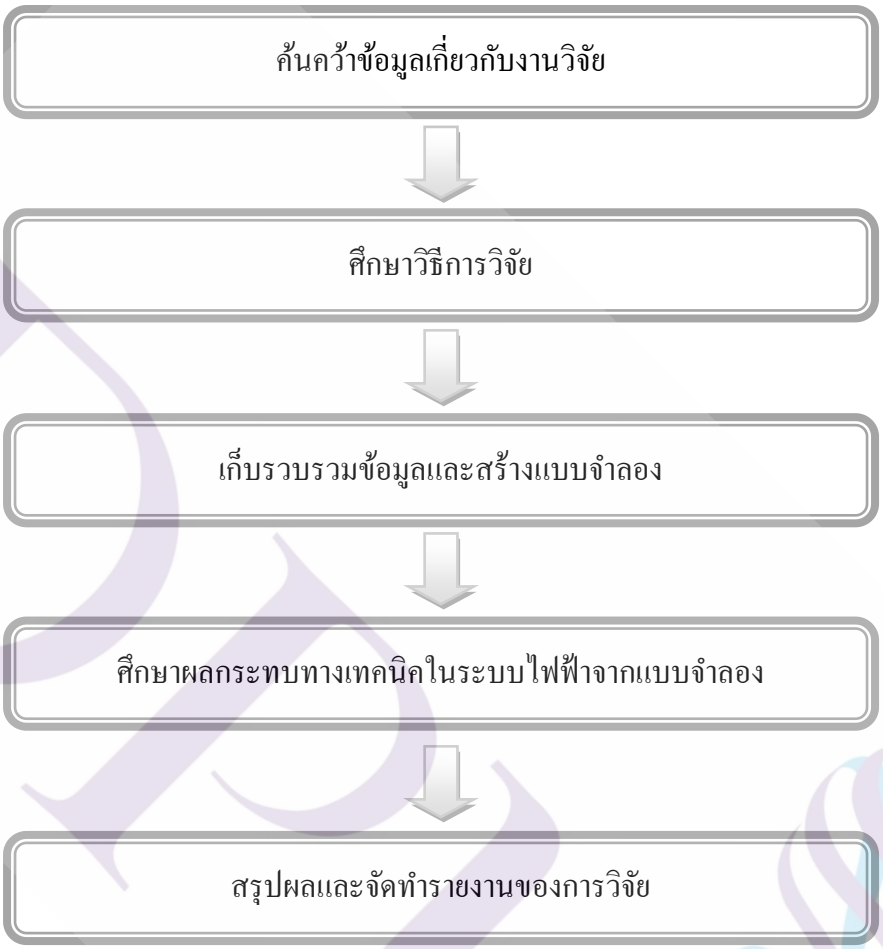
1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าและปริมาณพลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ที่จ่ายเข้าระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2561 จนถึง วันที่ 31 พฤษภาคม 2561 โดยใช้ฐานข้อมูลจากศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา
2. ศึกษาแบบจำลองระบบไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 (https://www.digsilent.de)ในการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงาน
3. ศึกษาผลกระทบในระบบไฟฟ้าจากการนำระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานมาใช้งาน โดยเปรียบเทียบความแตกต่างก่อนและหลังนำระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน มาใช้ในการบริหารจัดการพลังไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด
4. ศึกษาระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน (Battery Energy Storage System : BESS) ชนิดต่างๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด โดยติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานเพื่อบริหารจัดการปริมาณพลังไฟฟ้า และเป็นประโยชน์ต่อ กฟภ. ในการพัฒนาปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ รวมถึงสอดคล้องกับนโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล
2. ทำให้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานแต่ละชนิด

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลในด้านเทคนิค โดยจะรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) เทคโนโลยีของระบบกักเก็บพลังงาน และทำการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา

2.1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Study) คือ การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นในระบบส่งหรือระบบจำหน่าย ในสภาวะการทำงานปกติ ผลที่ได้จากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าจะประกอบด้วยค่าต่างๆ เช่น ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสหรือโหนดต่างๆ กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งหรือสายจำหน่าย รวมทั้งกำลังไฟฟ้าสูญเสียด้วย ค่าต่างๆ เหล่านี้จะนำมาใช้พิจารณาสภาวะของการทำงาน ประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของระบบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ ดังนั้นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการวางแผนและการควบคุมกำลังไฟฟ้า

2.1.1 ชนิดของบัส

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า จำเป็นต้องทราบการแบ่งชนิดของบัสในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั่วไปชนิดของบัสสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด โดยในแต่ละบัสจะประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ P_i , Q_i , $|V|$, $< \delta_i$ และแต่ละบัสจะทราบค่าอย่างน้อย 2 ค่า ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่เหลือจะได้มาจากการคำนวณ บัสทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วย

2.1.1.1 Slack bus หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Reference bus หรือ Infinite bus หรือ Floating bus โดยบัสชนิดนี้จะกำหนดขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่จ่ายออกมาจะขึ้นอยู่กับความต้องการ โดยขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากถือว่าเป็นแหล่งกำหนดขนาดใหญ่ที่สามารถให้กำลังไฟฟ้าได้มาก โดยกำหนดให้ $|V| = 1$, $< \delta_i = 0^\circ$

2.1.1.2 Generator bus โดยทั่วไปบัสนี้จะกำหนดค่าขนาดของแรงดันและกำลังไฟฟ้า P_i , $|V|$ และบางครั้งเรียกบัสชนิดนี้ว่า Voltage-Controlled bus หรือ P-V bus บัสชนิดนี้เป็นบัสที่มี

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ โดยควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ ส่วนค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟและมุมของแรงดันไฟฟ้าสามารถหาได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

2.1.1.3 Load bus บัสชนิดนี้จะกำหนดค่าเป็นจำนวนเชิงซ้อนของกำลังไฟฟ้าไว้ คือจะกำหนดในรูป $S = P + jQ$ และบางครั้งเรียกบัสนี้ว่า P-Q bus เนื่องจากจะมีโหลดต่ออยู่ที่บัสชนิดนี้ โดยจะทราบค่า P_i, Q_i ส่วนขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสนี้หาได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

2.1.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ประกอบไปด้วย ไดอะแกรมเส้นเดียวที่แสดงวงจรระบบไฟฟ้า, พารามิเตอร์ของสายตัวนำและหม้อแปลงไฟฟ้า, ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ขนาดของคาปาซิเตอร์หรือรีแอคเตอร์, กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ ที่ P-Q bus และ Load bus, กำลังไฟฟ้าจริงและขนาดแรงดันไฟฟ้า ที่ P-V bus และขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ Slack bus

2.1.3 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าของบัสที่ทุกบัส, กระแสไฟฟ้าในสายทุกสาขา และกำลังไฟฟ้าในสายและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

2.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

เนื่องจากการจ่ายไฟฟ้าในระบบส่งหรือระบบจำหน่ายต้องจ่ายผ่านอุปกรณ์ต่างๆ เล่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายตัวนำไฟฟ้า รวมทั้งจุดต่อของอุปกรณ์ อุปกรณ์เหล่านี้ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้น เนื่องจากผลของความต้านทาน (Resistance) ของอุปกรณ์แต่ละตัว ซึ่งสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียจริงได้ตามสมการพื้นฐาน

ระบบ 1 เฟส $P_L = I^2R$

ระบบ 3 เฟส $P_L = 3I^2R$

โดย P_L คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียของอุปกรณ์ที่มีความต้านทาน R

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์

R คือ ค่าความต้านทานของอุปกรณ์

2.3 รูปแบบของระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงานในปัจจุบันมีอยู่หลายรูปแบบ มีที่ทั้งพัฒนาสำเร็จแล้ว และที่ยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนา โดยแต่ละรูปแบบจะใช้เทคโนโลยีสำหรับการกักเก็บพลังงานแตกต่างกัน นอกจากนี้แต่ละเทคโนโลยียังมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันด้วย เช่น ระบบกักเก็บพลังงานศักย์ของน้ำด้วยการปั๊มขึ้นที่สูง เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่มีเสถียรภาพสูงและใช้เงิน

ลงทุนต่ำแต่มีข้อจำกัดในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากต้องการพื้นที่จำนวนมากในการกักเก็บน้ำ เป็นต้น ดังนั้นการเลือกระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการกักเก็บพลังงาน ปริมาณและระยะเวลาที่ต้องการจัดเก็บสามารถจำแนกตามรูปแบบการกักเก็บพลังงาน ได้แก่ พลังงานกล (พลังงานจลน์ และพลังงานศักย์) พลังงานไฟฟ้า ไฟฟ้าเคมี อุณหภูมิเคมี สารเคมี และความร้อน

ตารางที่ 2.1 รูปแบบการกักเก็บพลังงานตามเทคโนโลยี

รูปแบบการจัดเก็บพลังงาน	**เทคโนโลยีที่ใช้ในการกักเก็บพลังงาน**
พลังงานกล (Mechanical)	- ล้อตุนกำลัง (Flywheels) - การกักเก็บพลังงานโดยการปั๊มน้ำเก็บไว้ (Pumped Hydroelectric Storage: PHS) - การกักเก็บพลังงานโดยการอัดอากาศเก็บไว้ (Compressed Air Energy Storage : CAES)
ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical)	- แบตเตอรี่ (Batteries) - แบตเตอรี่ที่มีส่วนการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (Flow Batteries)
ไฟฟ้า (Electrical)	- ตัวเก็บประจุ (Capacitor) - ตัวเก็บประจุแบบพิเศษ (Super-capacitor) - การกักเก็บพลังงานโดยใช้สนามแม่เหล็กของตัวนำยิ่งยวด (Superconductor magnetic energy)
อุณหภูมิเคมี (Thermochemical)	- เซลล์แสงอาทิตย์
สารเคมี (Chemical)	- ไฮโดรเจน (Hydrogen) ซึ่งเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอิเล็กโตรไลเซอร์ (Electrolyser) และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell) - แก๊สชีวภาพ (Bio gas)
ความร้อน (Thermal)	- การเก็บความร้อนสัมผัส (Sensible heat) - การเก็บความร้อนแฝง (Latent heat) - การสะสมพลังงานความร้อน (Heat storage)

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558)

2.4 การเลือกใช้งานเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน

จากการที่เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานมีอยู่หลายรูปแบบและหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ในการเลือกใช้งานเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานให้มีความเหมาะสมกับความต้องการใช้งานจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอย่างรอบคอบเพื่อให้สามารถเลือกใช้งานได้ตรงตามความต้องการมากที่สุด ทั้งนี้ บางความต้องการการใช้งานไม่สามารถใช้เทคโนโลยีเดียวได้ กล่าวคือในบางครั้งอาจต้องมีการใช้เทคโนโลยีในหลายประเภทรวมกัน โดยการนำเอาข้อดีหรือจุดเด่นของเทคโนโลยีหนึ่งมาช่วยเสริมข้อจำกัด หรือจุดด้อยของอีกเทคโนโลยีหนึ่ง ดังนั้น ในการเลือกใช้เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน จึงควรเริ่มต้นที่วัตถุประสงค์ของการนำไปใช้งานเป็นหลักจากนั้นสิ่งที่ควรพิจารณาเพื่อเลือกใช้งานเทคโนโลยีคือปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) ความเติบโตของเทคโนโลยี

(2) ขนาดของกำลังและระยะเวลาของการปลดปล่อยพลังงาน

(3) ความหนาแน่นของกำลังและความหนาแน่นของพลังงาน

(4) พลังงานจำเพาะและกำลังจำเพาะ

(5) ประสิทธิภาพในหนึ่งรอบ

(6) อายุการใช้งานและจำนวนรอบของการใช้งาน

(7) การปลดปล่อยพลังงานออกเอง

(8) ราคา

(9) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยดังกล่าวเหล่านี้บางปัจจัยมีผลเกี่ยวเนื่องกัน เช่น ปัจจัยในเรื่องของอายุการใช้งานและราคา กล่าวคือ ถ้าราคาถูกแต่อายุการใช้งานน้อยก็มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์เพิ่มเติมเข้ามา รวมทั้งการต้องเสียเวลาดำเนินการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย อีกหนึ่งตัวอย่างคือ ปัจจัยในเรื่องของความเติบโตของเทคโนโลยีและประสิทธิภาพกล่าวคือ หากเทคโนโลยียังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยและพัฒนา จะแสดงให้เห็นว่ายังสามารถพัฒนาประสิทธิภาพให้เพิ่มขึ้นได้อีก เป็นต้น

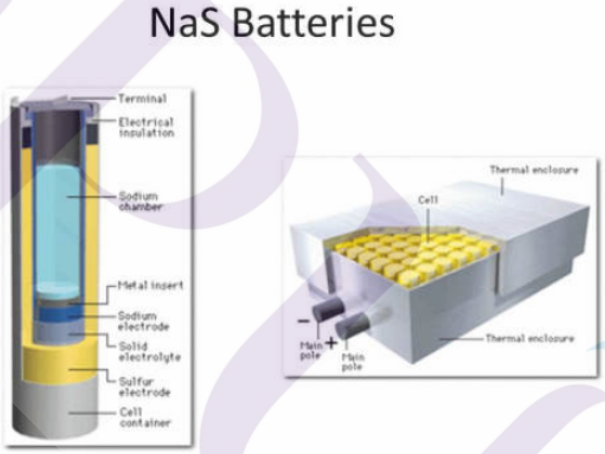
2.5 เทคโนโลยีของระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่

2.5.1 Sodium Battery (Hot Type ตระกูลเกลือ)

2.5.1.1 Sodium Sulfur Battery (NAS)

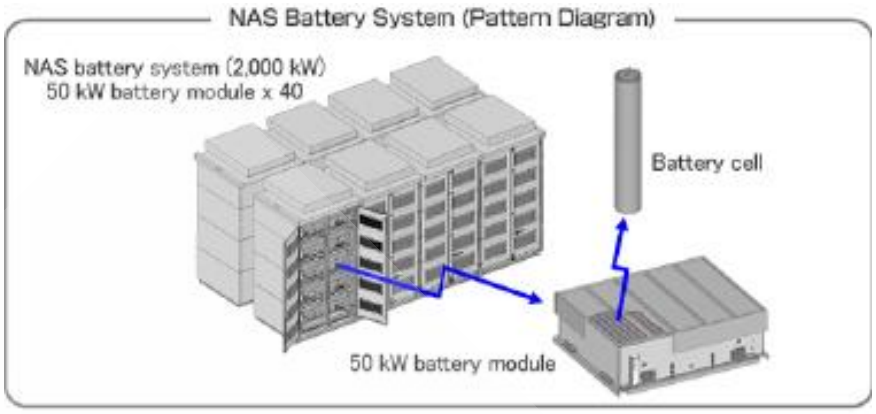
Sodium Sulfur (NAS) Batteries เดิมถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท Ford ในช่วงปี 1960 ต่อมาได้ขายเทคโนโลยีให้กับบริษัทจากประเทศญี่ปุ่น คือ บริษัท NGK ซึ่งปัจจุบัน NGK ก็ยังคงเป็นผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนี้อยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องทำงานที่อุณหภูมิสูง 300-350 °C

ส่วนประกอบของ NAS battery จะมีซัลเฟอร์เหลว (Molten Sulfur) เป็นขั้วบวก และมีโซเดียมเหลว (Molten Sodium) เป็นขั้วลบ โดยมีตัวกั้นระหว่างขั้วเป็น เซรามิค ทำหน้าที่เปรียบเสมือนเป็นอิเล็กโทรไลท์ เซรามิคจะยอมให้ประจุบวกของโซเดียมไอออนผ่านได้ เมื่อคายประจุ อิเล็กตรอนจะแตกตัว ออกจากโลหะโซเดียม เกิดเป็นโซเดียมไอออนบวกกับอิเล็กตรอน โซเดียมไอออนบวกจะไหลผ่านอิเล็กโทรไลท์ ไปยังขั้วบวก ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลผ่านวงจรไฟฟ้า และกลับมายังแบตเตอรี่ที่ขั้วบวก กระบวนการชาร์จประจุ ก็จะกลับกัน



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของ NAS Battery

จากภาพที่ 2.1 ภาพด้านซ้ายเป็นส่วนประกอบของ NAS Battery 1 Cell และนำมาต่อรวมกันเป็น 1 Module ตามภาพด้านขวา และยังสามารถนำหลายๆ Module มาเชื่อมต่อกันเป็น Rack ได้ เพื่อนำไปใช้กับงานขนาดใหญ่ตามภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 NAS Battery ในรูปแบบของ Rack

ข้อได้เปรียบของ Sodium Sulfur Battery (NAS)

Sodium Sulfur Battery (NAS) สามารถจ่ายไฟฟ้าโดย Discharge ในแบบครั้งเดียวและแบบต่อเนื่อง หรือเป็น Pulse สั้นๆ ได้ มีประสิทธิภาพสูงถึงประมาณ 90% และถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี 2538 จึงมีการติดตั้งใช้งานเป็นจำนวนมาก

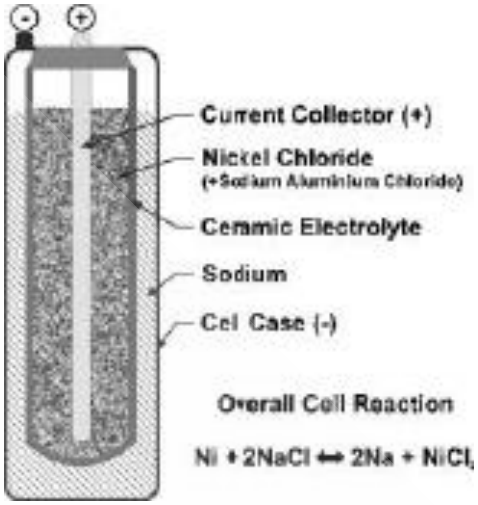
ข้อด้อยของ Sodium Sulfur Battery (NAS)

Sodium Sulfur Battery (NAS) จะต้องรักษาอุณหภูมิการทำงานให้สูงกว่า 300°C ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงานแล้วต้องประสบปัญหาการจัดการด้านความร้อนและด้านความปลอดภัยด้วย

2.5.1.2 Sodium Nickel Chloride (NaNiCl)

หลักการทำงานของ Sodium Nickel Chloride Battery

Sodium Nickel Chloride Battery ปกติจะทำงานที่อุณหภูมิ 300°C ซึ่งจะทำให้ Sodium อยู่ในสถานะของเหลว Sodium เหลวเป็นส่วนประกอบขั้วอาโนด ส่วนคาโทดจะเป็น Ni ในสถานะที่ Discharge จนหมด และเป็น $NiCl_4$ ในสถานะชาร์จเต็ม การทำงานระหว่างชาร์จ Cl จะแตกตัวออกจาก $NaAlCl_4$ รวมกับ Ni กลายเป็น $NiCl_2$ ส่วนไอออน Na ที่เหลือจะถูกเก็บเป็นอาโนด ใช้ Beta Alumina เป็นตัวกั้น ส่วนของการประจุจะเป็นกระบวนการย้อนกลับ ต่อมามีการพัฒนาเพื่อลดอุณหภูมิการทำงานลง แต่ก็ยังคงอยู่ที่ประมาณ 90°C



ภาพที่ 2.3 โมเดลของ Sodium-Metal-Halide Battery

ข้อได้เปรียบของ Sodium Nickel Chloride Battery

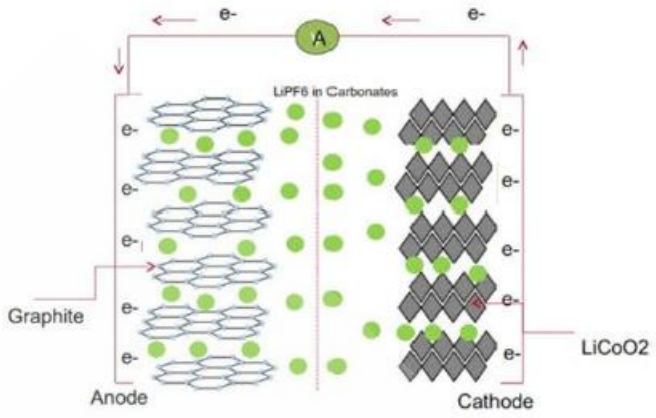
Sodium Nickel Chloride (NaNiCl) มีการดิสชาร์จภายในค่อนข้างต่ำ และมีรอบการทำงานสูง ประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่า Sodium Sulfur Battery และยังมีราคาที่ไม่สูงมากนัก

ข้อด้อยของ Sodium Nickel Chloride Battery

Sodium Nickel Chloride (NaNiCl) จำเป็นต้องทำงานที่อุณหภูมิสูง จึงมีปัญหาเรื่องของความ ปลอดภัยและจำเป็นต้องมีการป้องกันที่สูงด้วย อีกทั้งต้องมีระบบที่คอยรักษาอุณหภูมิให้สูงอยู่เสมอ ทำให้เกิดต้นทุนที่สูงในด้านนี้

2.5.2 Lithium-Ion Battery (Li-Ion)

Lithium-Ion เป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ถูกนำมาใช้งานอย่างหลากหลาย เริ่มตั้งแต่ใช้งานในอุปกรณ์ขนาดเล็ก อุปกรณ์พกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ Laptop Tablet เป็นต้น และยังถูกนำมาใช้ในด้านนวัตกรรมยานยนต์ เช่น ในรถยนต์ Hybrid หรือ ในรถยนต์ Full EV เป็นต้น รวมไปถึงการใช้งานในระบบ Micro Gird ที่ใช้งานแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ระดับเมกะวัตต์ โดยใช้งานร่วมกับแหล่งพลังงานทดแทน ทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ (PV) และพลังงานลม ทำให้ในด้านของผู้ผลิตและพัฒนาเกิดการแข่งขันกัน เพื่อให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ของตนเองดีกว่าและราคาถูกกว่าคู่แข่งในท้องตลาด ทำให้แบตเตอรี่ Lithium-Ion มีแนวโน้มที่จะราคาถูกลงอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.4 ระบบการทำงานของ Lithium-Ion Battery

<u>ส่วนประกอบหลักของแบตเตอรี่ Lithium-Ion</u>

ขั้วไฟฟ้าด้านบวกแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนนั้น สามารถแบ่งได้อีกหลายประเภท โดยแบ่งตามธาตุที่นำมาผสมกับลิเทียม ที่ใช้ในการทำขั้ว

- Lithium Cobalt Oxide
  - แรงดัน 3.0-4.2 V/cell
  - Energy density อยู่ที่ 150-200 Wh/kg
  - อายุการใช้งานประมาณ 500-1000 Cycles
  - C-rate Charge อยู่ที่ 0.7-1C ชาร์จมากกว่า 1C จะทำให้อายุการใช้งานลดลง
  - C-rate Discharge 1C ถ้าใช้งานมากกว่า 1C จะทำให้อายุการใช้งานลดลง
- Lithium Manganese Oxide (LMO)
  - แรงดัน 3.0-4.2 V/cell
  - Energy density อยู่ที่ 100-150 Wh/kg
  - อายุการใช้งานประมาณ 300-700 Cycles
  - C-rate Charge อยู่ที่ 0.7-1C สามารถเพิ่มได้ถึง 3C
  - C-rate Discharge 1C สามารถเพิ่มได้ถึง 10C และสามารถจ่ายเป็น Pulse ได้ 30C (5s)
- Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC)
  - แรงดัน 3.0-4.2 V/cell
  - Energy density อยู่ที่ 150-220 Wh/kg
  - อายุการใช้งานประมาณ 1000-2000 Cycles

- C-rate Charge อยู่ที่ 0.7-1C ชาร์จมากกว่า 1C จะทำให้อายุการใช้งานลดลง
- C-rate Discharge 1-2C

- Lithium Iron Phosphate (LFP)
  - แรงดัน 2.5-3.65 V/cell
  - Energy density อยู่ที่ 90-120 Wh/kg
  - อายุการใช้งานประมาณ 1000-2000 Cycles
  - C-rate Charge อยู่ที่ 1C
  - C-rate Discharge 1C สามารถเพิ่มได้ถึง 25C และสามารถจ่ายเป็น Pulse ได้ 40C (2s)
- Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (NCA)
  - แรงดัน 3.0-4.2 V/cell
  - Energy density อยู่ที่ 200-260 Wh/kg
  - อายุการใช้งานประมาณ 500 Cycles
  - C-rate Charge อยู่ที่ 0.7C
  - C-rate Discharge 1C มากกว่า 1C จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง
- Lithium Titanate (LTO)
  - แรงดัน 1.8-2.85 V/cell
  - Energy density อยู่ที่ 70-80 Wh/kg
  - อายุการใช้งานประมาณ 3000-7000 Cycles
  - C-rate Charge อยู่ที่ 1C สูงสุด 5C
  - C-rate Discharge 1C สามารถเพิ่มได้ถึง 10C และสามารถจ่ายเป็น Pulse 30C (5s)

ขั้วไฟฟ้าด้านลบ ในช่วงแรกใช้เป็น Graphite ซึ่งมีราคาถูกและให้ความหนาแน่นประจุที่ดี ต่อมา บริษัท Sony ได้มีการเปลี่ยนไปใช้ โลหะผสมจากดีบุกกับโคบอล ซึ่งทำให้ความจุมากกว่า Graphite และอีกหลายบริษัทผู้ผลิตก็ได้ค้นคว้าหาวัสดุอื่นๆ มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ แต่ปัจจุบันเมื่อแบตเตอรี่ ตระกูล Lithium ได้รับความนิยมมาก เกิดการแข่งขันในด้านราคามากขึ้น จึงทำให้ผู้ผลิตหันกลับมาใช้ Graphite เนื่องจากต้นทุนที่ถูกกว่า

อิเล็กโทรไลท์ สารที่ถูกนำมาใช้เป็นสารอิเล็กโทรไลท์จะเป็นส่วนประกอบของเกลือลิเธียม เช่น LiPF6 (Lithium-hexafluorophosphate), LiBF4 (Lithium-tetrafluoroborate), LiClO4 (Lithium-perchlorate) ละลายอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น Ethylene Carbonate (EC), Ethylmethyl Carbonate (EMC), Dimethyl Carbonate (DMC)

Separator จะทำจาก Polypropylene (PP) หรือ Polyethylene (PE)

ข้อได้เปรียบของ Lithium-Ion Battery (Li-Ion)

Lithium-Ion Battery (Li-Ion) มีความหนาแน่นพลังงานสูงสุดเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่เทคโนโลยีอื่นและ เป็นที่นิยมใช้ที่สุดสำหรับแบตเตอรี่รีชาร์จสำหรับอุปกรณ์พกพาต่างๆ ทำให้ในอนาคตคุณสมบัติและราคาของ Li-Ion ต้องดีขึ้นอย่างมากแน่นอน

ข้อด้อยของ Lithium-Ion Battery (Li-Ion)

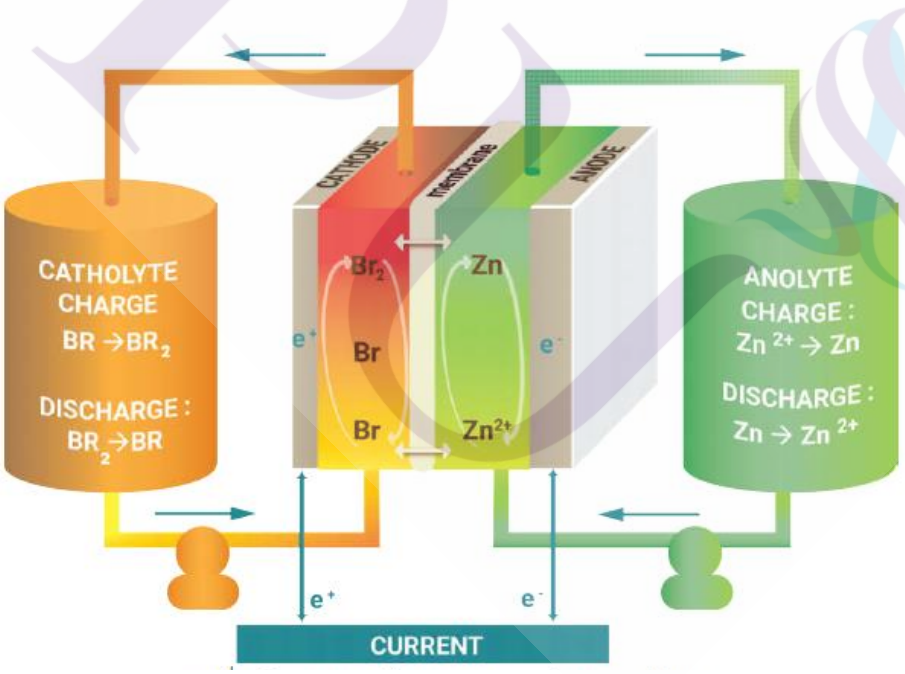
Lithium-Ion Battery (Li-Ion) มักจะมีปัญหาเรื่องความปลอดภัย ในระหว่างชาร์จไฟมีแนวโน้มที่จะเกิดความไม่เสถียรทำให้เกิดระเบิดได้ง่าย

2.5.3 Flow Battery

2.5.3.1 Zinc Bromine Battery

Zinc Bromine Battery เป็นแบตเตอรี่ชนิดไหล (Flow Batteries) โดย Zinc จะเป็นของแข็งเมื่อถูกชาร์จ และเป็นสารละลายเมื่อดิสชาร์จ ในขณะที่ Bromine ละลายอยู่ในสายละลาย Electrolyte ตลอดเวลา

การทำงานของ Zinc Bromine Battery เมื่อดิสชาร์จ Zn ที่เป็นของแข็งจะกลายเป็นสารละลาย Zn^{2+} และจ่ายอิเล็กตรอนออกมา โดยอิเล็กตรอนจะผ่าน Membrane ไปรวมกับ Br_2 กลายเป็น $2Br^-$ ตามสมการทางเคมีด้านล่าง ส่วนกระบวนการชาร์จก็จะเป็นกระบวนย้อนกลับ



ภาพที่ 2.5 ระบบการทำงานของ Zinc Bromine Battery

สมการเคมีของกระบวนการที่เกิดใน Zinc Bromine Battery ที่อิเล็กโทรดด้านลบ

$$Zn^{2+} + 2e \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} Zn^{0}$$

ที่อิเล็กโทรดด้านบวก

$$2Br^{-} \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} Br_2(aq) + 2e$$

สมการรวม

$$\underset{\text{discharged state}}{ZnBr_2(aq)} \underset{\text{discharge}}{\overset{\text{charge}}{\rightleftharpoons}} Zn^{0} + Br(aq)$$

ตามทฤษฎีศักย์ไฟฟ้าที่จะได้จากคู่เซลล์นี้ คือ 1.83 V และให้ความหนาแน่นพลังงานสูงถึง 430 Wh/kg

ข้อได้เปรียบของ Zinc Bromine Battery

Zinc Bromine Battery มีประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดที่ใช้งานอยู่ทั่วไป มีความสามารถในการดิสชาร์จได้ถึง 100% มี life cycle ไม่จำกัด ออกแบบมาให้ทำงานได้ที่อุณหภูมิ 20°C และ 50°C โดยผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการทำงานค่อนข้างต่ำ ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ

ข้อด้อยของ Zinc Bromine Battery

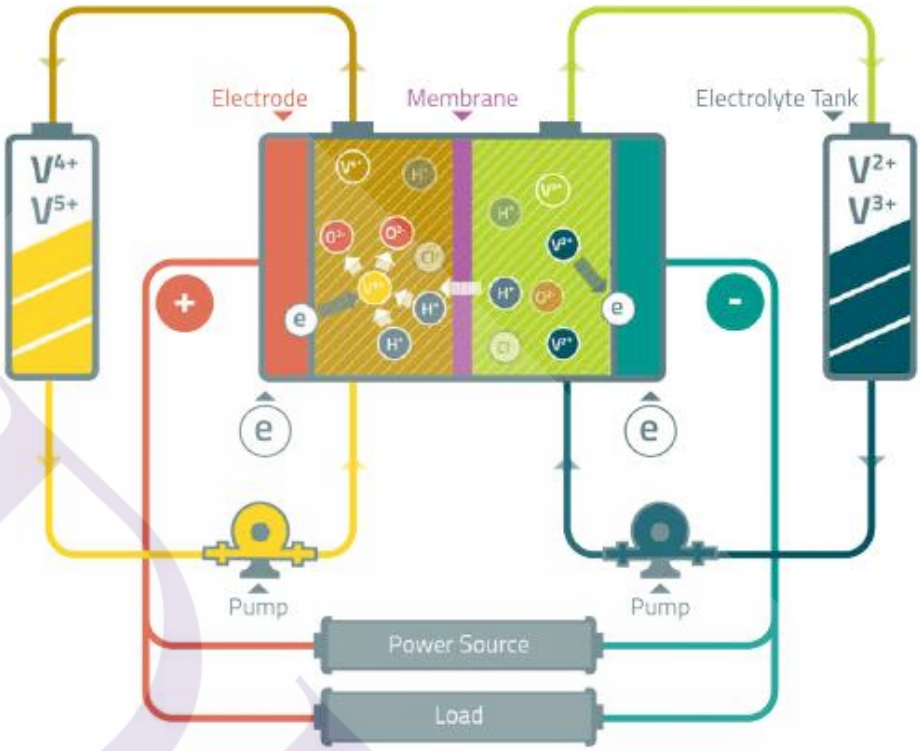
Zinc Bromine Battery มีประสิทธิภาพของระบบต่ำประมาณ 60% มีส่วนประกอบค่อนข้างมาก

2.5.3.2 Vanadium Redox Battery (VRB)

ลักษณะเด่นของ Vanadium Redox Battery คือ พลังงานไฟฟ้าจะถูกเก็บสำรองไว้ในถังที่บรรจุสารอิเล็กโตรไลท์ทั้งสองถัง ไม่ใช่ที่ Stacks ของเซลล์ เมื่อต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า อิเล็กโตรไลท์ ประจุลบและประจุบวกในถังบรรจุจะถูกปั๊มให้ไหลเวียนไปยังเซลล์ต่างๆ ภายในตัว Stacks อิเล็กโตรไลท์ ที่อยู่ในถังบรรจุทั้งสองถังจะถูกอัดประจุให้พลังงานไฟฟ้าตามค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์

การอัดประจุไฟฟ้าของอิเล็กโตรไลท์ จะเริ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าของเซลล์มีค่ามากกว่าค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกันระหว่างอิเล็กโตรไลท์ทั้งสองถัง

การคายประจุของอิเล็กโตรไลท์ จะเริ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าของเซลล์มีค่าน้อยกว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกันระหว่างอิเล็กโตรไลท์ทั้งสองถัง



ภาพที่ 2.6 ระบบการทำงานของ Vanadium Redox Battery

การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่ชนิดนี้ เขียนได้ดังนี้

$$V^{3+} + V^{4+} \longleftrightarrow V^{2+} + V^{5+}$$

ที่ขั้วอิเล็กโทรดบวก จะเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$V^{4+} \longleftrightarrow V^{5+} + e^{-}$$

ศักย์มาตรฐาน E0 = -1.00 V ณ ความเข้มข้นของวานาเดียม 1 โมลาร์

ที่ขั้วอิเล็กโทรดลบ จะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้

$$V^{3+} + e^{-} \longleftrightarrow V^{2+}$$

ศักย์มาตรฐาน E0 = -0.26 V ณ ความเข้มข้นของวานาเดียม 1 โมลาร์

ดังนั้นศักย์มาตรฐาน E0 ของเซลล์ ณ ความเข้มข้นของวานาเดียม 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 25 ^{o}C = 1.26 V

ในขณะที่ชาร์จประจุ (Charge) อิเล็กโทรไลท์ทั้งสองฝั่งที่ถูกเก็บไว้ในภาชนะบรรจุที่แยกกัน ต่างจะถูกปั๊มให้ไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดบวกและลบ ที่ผิวของอิเล็กโทรดบวก V^{4+} ในอิเล็กโทรไลท์จะปล่อยอิเล็กตรอนให้กับ คาร์บอนแล้วก็จะกลายเป็น V^{5+} จากนั้นก็จะถูกขับออกจากตัว

แบตเตอรี่ไปเก็บไว้ในภาชนะบรรจุภายนอก แบตเตอรี่ และขณะเดียวกันในอีกครึ่งเซลล์ลบ V^{3+} ในอิเล็กโทรไลท์ก็จะรับอิเล็กตรอนจากขั้วอิเล็กโทรดลบ กลายเป็น V^{2+} และถูกขับด้วยการไหลเวียนออกจากแบตเตอรี่ไปเก็บไว้ในภาชนะบรรจุอีกอันหนึ่งภายนอก แบตเตอรี่

ในขณะใช้งาน (Discharge) อิเล็กโทรไลท์ V^{5+} และ V^{2+} ทีเก็บไว้ในภาชนะบรรจุทั้งสองอันก็จะถูกปั๊มให้ ไหลเวียนเข้าไปในแบตเตอรี่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมา V^{2+} ในครึ่งเซลล์ลบก็จะปล่อย อิเล็กตรอนให้กับอิเล็กโทรดลบกลายเป็น V^{3+} อิเล็กตรอนก็จะออกจากอิเล็กโทรดลบผ่านเข้าไปใน เครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) แล้วกลับมาที่อิเล็กโทรดบวกซึ่งเป็นที่ V5+ ในครึ่งเซลล์บวกจะรับอิเล็กตรอนกลายเป็น V^{4+} อิเล็กโทรไลท์ V^{3+} และ V^{4+} ก็จะถูกขับออกจากแบตเตอรี่ไปเก็บในภาชนะบรรจุภายนอก

ข้อได้เปรียบของ Vanadium Redox Battery (VRB)

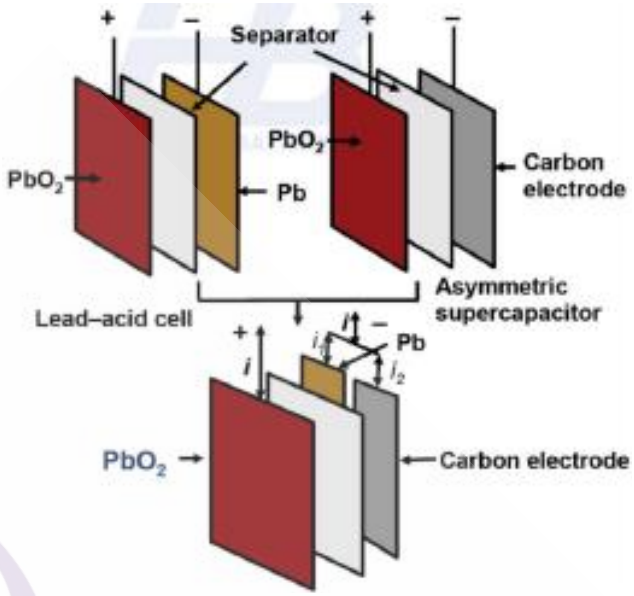
Vanadium Redox Battery (VRB) มีอายุการใช้งานสูงโดยทำงานได้มากกว่า 10,000 รอบ ซึ่งแบตเตอรี่สามารถดิสชาร์จได้หมดโดยประสิทธิภาพไม่ลดลงเหมือนแบตเตอรี่ทั่วไป และเมื่อสิ้นสุดอายุ การใช้งาน 10,000 รอบ ก็เปลี่ยนแค่ Stacks ของเซลล์เท่านั้น

ข้อด้อยของ Vanadium Redox Battery (VRB)

การใช้งาน Vanadium Redox Battery ค่อนข้างยุ่งยากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นเนื่องจากส่วนประกอบ มากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น ส่วนประสิทธิภาพก็ค่อนข้างต่ำที่ประมาณ 70% และถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์น้อย

2.5.4 Advance Lead Acid Battery

เทคโนโลยี Lead Acid Battery ในปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในยานพาหนะ หรือในการกักเก็บพลังงานจากพลังงานหมุนเวียน หลักการทำงานของ Lead Acid Battery คือ ผลิตไฟฟ้า กระแสตรงด้วยวิธีทางเคมี โดยการนำแผ่นตะกั่ว 2 ชุด มาแช่ในสารละลายไฟฟ้า ดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากสารละลายไฟฟ้าออกไปใช้งาน



ภาพที่ 2.7 ส่วนประกอบของ Advance Lead Acid Battery

ส่วนประกอบหลักของ Lead Acid Battery

ชุดขั้วบวก คือ แผ่นตะกั่วบวก ใช้ตะกั่วออกไซด์ (PbO2) ชุดตะกั่วบวกนี้จะเรียกว่า Active Material หรือ Active Plate จะทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า

ชุดขั้วลบ คือ แผ่นตะกั่วลบ ใช้ตะกั่ว (Pb) ลักษณะจะเป็นตะกั่วพรุนเป็นรูเล็กๆ ซึ่งรูนี้จะปล่อยให้อนุภาคไฟฟ้าในสารละลายลอดผ่านไปยังแผ่นตะกั่วบวกได้ง่าย

สารละลายไฟฟ้า (Electrolyte) ใช้กรดกำมะถันเจือจาง (H2SO4)

หลังจากมีการพัฒนา Lead Acid Battery เป็นชนิด Advance Lead Acid Battery โดยมีการ เพิ่มคาร์บอนที่ขั้วลบ ตามภาพที่ 2.7 ทำให้มี Cycles การทำงานที่สูงขึ้น มี Self-Discharge ต่ำลง มีอัตราส่วนของพลังงานต่อน้ำหนักแบตเตอรี่สูงขึ้น

<u>ข้อได้เปรียบของ Advance Lead Acid Battery</u>

มี Self-Discharge ต่ำกว่า Lead Acid Battery ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพและอัตราส่วนของพลังงานต่อน้ำหนักแบตเตอรี่สูงขึ้น

<u>ข้อด้อยของ Advance Lead Acid Battery</u>

ยังถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ค่อนข้างน้อย เนื่องจากยังมีราคาสูง

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อมูลระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานชนิดต่างๆ

เทคโนโลยี	ข้อดี	ข้อเสีย	เงินลงทุนในการติดตั้งระบบ($/kWh สำหรับกำลังไฟฟ้า 1 kW)
1) Sodium Battery - Sodium Sulfur Battery (NAS)	- ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิสูง - มีการใช้งานอยู่มากในประเทศญี่ปุ่น	- อุณหภูมิใช้งานสูง - อาจจะมีปัญหาเรื่องความปลอดภัย	455-555
- Sodium Nickel Chloride (NaNiCl)	เหมือนกับ NAS แต่ประสิทธิภาพสูงกว่า	มีการใช้งานน้อย	470
2) Lithium-ion Battery (Li-ion)	- มีประสิทธิภาพสูง - มีผู้ผลิตมากราย - มีแนวโน้มราคาลดลงอย่างรวดเร็ว	มีปัญหาด้านความปลอดภัย อาจเกิดความไม่เสถียรขณะชาร์จ	350-1,600
3) Flow Battery - Zinc-Bromine Battery (ZnBr)	- สามารถ Discharge ได้ 100% - อายุการใช้งานยาวนาน	- มีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น - มีการใช้งานค่อนข้างน้อย	350-1,600
- Vanadium Redox Battery (VRB)	เหมือน ZnBr แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่า	ใช้งานยุ่งยากกว่า ZnBr เนื่องจากส่วนประกอบมากกว่า	750-830

ที่มา: กองแผนงานระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, (2016)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

เทคโนโลยี	**ผู้ผลิต**	**ประเทศ**	**อุณหภูมิทำงาน**	**อุณหภูมิภายนอก**	**Cycle Life**	**ประสิทธิภาพ AC-AC (%)**
NAS	NGK	Japan	300 to 320	-40 to 60	4,500 @ 90 DOD	75
NaNiCl	FIAMM	Switzerland	250 to 350	-40 to 60	3,000 @ 80 DOD	85
NaNiCl	GE	USA	300	-40 to 60	4,500 @ 80 DOD	85

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

เทคโนโลยี	ผู้ผลิต	ประเทศ	อุณหภูมิทำงาน	อุณหภูมิภายนอก	Cycle Life	ประสิทธิภาพ AC-AC (%)
ZnBr	Premium Power	USA	30	-40 to 60	>10,000 @ 100 DOD	65
Vanadium Redox	Prudent	USA, China	40	-35 to 45	>10,000 @ 100 DOD	70
Vanadium Redox	Cellenium	Thailand	40	to 45	>10,000 @ 100 DOD	70
Vanadium Redox	MN	China	10 to 50	-30 to 50	20,000 @ 80 DOD	70
Li-ion Nanophos	A123	China/USA	60	10 to 35	4,500 @ 80 DOD	90
Li-ion	DOW Koham	USA	60	10 to 35	4,500 @ 80 DOD	90
Li-ion	Toshiba, Mitsubishi	Japan	50	10 to 35	4,000 @ 70 DOD	90
Advance Lead Acid	Hitachi, Mitsui	Japan	40	10 to 35	4,500 @ 70 DOD	85

ที่มา: กองแผนงานระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, (2016)

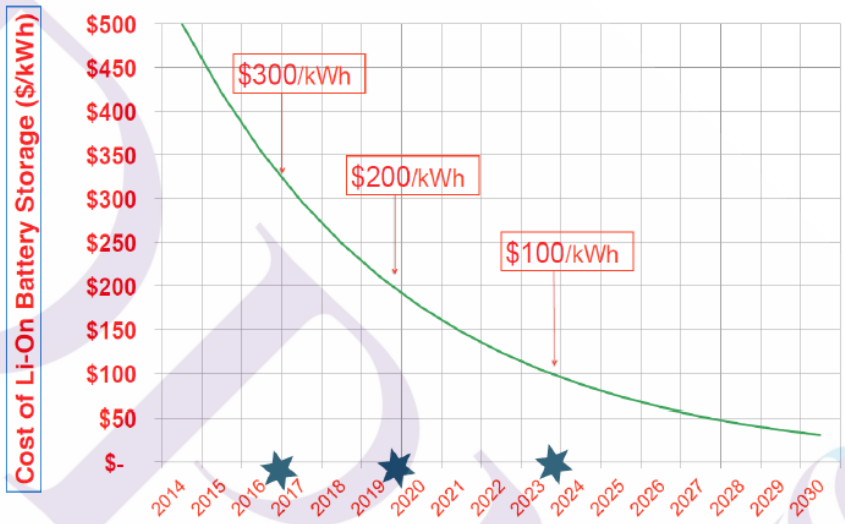
ตารางที่ 2.4 Economic and technical parameters of Li-ion, NaS and VRF batteries

Parameter	Li-ion		NaS		VRF	
	2016	2025	2016	2025	2016	2025
Specific energy storage investment costs (€/kW h)	450	250	300	225	250	100
Specific power conversion investment costs (€/kW)	175	100	175	100	400	300
Overhead investment cost (% of total investment costs)	20	20	20	20	30	30
Annual operational and maintenance costs (% of total investment costs)	1	1.5	2	2.5	2	2.5
Battery system roundtrip efficiency AC to AC (%)	85	90	80	85	75	80
Depth of discharge (%)	80	85	90	90	100	100
Average cycle life (number of full cycles)	5,500	10,000	4,500	6,000	12,000	25,000
Calendar life (years)	12	20	15	20	20	20
Self-discharge of battery cells (%/day)	0.1	0.04	0	0	0	0
Degradation (%/year)	1.5	1	1.3	1	0	0

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

Parameter	Li-ion		NaS		VRF	
	2016	2025	2016	2025	2016	2025
Cell voltage (V)	3.7	-	2.0	-	1.4	-
Cell capacity (W h)	92.5	-	1,536	-	-	-

ที่มา: P.Lombardi, F.Schwabe, (2017)



ภาพที่ 2.8 Project cost of Li-ion Battery

ที่มา: Clean disruption

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการศึกษานั้น จะเป็นการศึกษางานวิจัยจากต่างประเทศและงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงานในประเทศไทย

Masoud Zebarjadi, Alireza Askarzadeh (2016) “Optimization of a reliable grid-connected PV-based power plant with/without energy storage system by a heuristic approach” ทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการผลิตไฟฟ้าจาโซล่าร์เซลล์ที่เชื่อมต่อกับกริด โดยการเปรียบเทียบในกรณีเชื่อมต่อกริดกับโซล่าร์เซลล์ปกติ และกริดที่เชื่อมต่อโซล่าร์เซลล์ที่มีระบบกัก

เก็บพลังงาน เพื่อวิเคราะห์ว่าระบบกักเก็บพลังงานจะทำให้ระบบ พลังงานมีความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพมากขึ้นหรือไม่ โดยกรณีศึกษาที่เมืองในประเทศอิหร่าน ซึ่งงานวิจัยข้างต้น ทำการแบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ที่ 1 ไม่มีระบบกักเก็บพลังงานในการออกแบบระบบ สถานการณ์ที่ 2 มีระบบกักเก็บพลังงานเข้าร่วมในระบบ แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ทางเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าจากการอ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าปัจจุบัน ประเทศอิหร่าน พบว่าการใช้ไฟฟ้าจากกริดเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้นยังไม่เหมาะสมในการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ แต่หากอัตราค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก ปัจจุบัน 3.8 เท่า การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบจะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นสำหรับในสถานการณ์ที่ 2 แบบกริด เชื่อมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และมีระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วย งานวิจัยระบุว่าในกรณีอัตราค่าไฟ มีค่าต่ำ การมีระบบกักเก็บพลังงานยังไม่ทำให้ประสิทธิภาพ ของระบบดีขึ้น แต่หากอัตราค่าไฟเพิ่มขึ้นจากเดิม การใช้ PV- storage hybrid จะช่วยให้มีความคุ้มค่าของระบบมากขึ้น เพราะเมื่อสร้างพลังงานจากพลังงานหมุนเวียนมากกว่าความต้องการโหลด พลังงานส่วนเกินจะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ พลังงานที่เก็บไว้นี้จะนำไปใช้ในกรณีความต้องการโหลดทั้งหมดไม่พอ แบตเตอรี่จะเป็นหน่วยที่สำรองไฟ เพื่อตอบสนองกับความการใช้ไฟฟ้าที่มากกว่าการผลิตจาก PV เพียงอย่างเดียวแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ PV-storage hybrid

Claudia Rahman, Benjamin Mac-Clure, Vijay Vittal และ Felipe Valencia (2017) “Break-Even Points of Battery Energy Storage Systems for Peak Shaving Applications” ทำการศึกษาหาจุดคุ้มทุนของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบกักเก็บพลังงานโดยแบตเตอรี่เพื่อการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยศึกษาปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดกำไรก็คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ อายุการใช้งาน (จำนวนรอบในการชาร์จและดิสชาร์จ) ของแบตเตอรี่ และ ราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ โดยมีเป้าหมายในการหาระดับราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดนั่นควรอยู่ในระดับไหนที่จะทำให้มีกำไรจากการลงทุนอย่างเหมาะสมผลจากการศึกษา คือ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ที่ร้อยละ 75 และอายุการใช้งานการชาร์จ 3,000 รอบ จะพบว่าระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่นั้นมีต้นทุนอยู่ที่ 400 USD/kW และ 200 USD/kWh ซึ่งสอดคล้องกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและสังกะสีโบรมีนที่มีอยู่ในปัจจุบัน

International Renewable Energy Agency (2017) “Electricity storage and renewables : costs and markets to 2030” ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงานที่จะเริ่มมีบทบาทที่สำคัญและโดดเด่นมากๆในระบบไฟฟ้ารวมไปถึงระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนประเภทพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์แถมยังเป็นการช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากการผลิตไฟฟ้าได้ด้วย

ระบบกักเก็บพลังงานจะเป็นหัวใจสำคัญ ของการเปลี่ยนแปลงในวงการพลังงานตลอดห่วงโซ่มูลค่าของระบบไฟฟ้า เพราะระบบกักเก็บพลังงานนั้นสามารถลดข้อจำกัดใน grid ลง และช่วยเลื่อนการลงทุนการขยายระบบ grid ได้ แถมยังสามารถช่วยให้ผู้บริโภคไฟฟ้าสามารถจัดการกับค่าใช้จ่ายให้ลดลงได้ เช่น การลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลง (peak shaving), เพิ่มการใช้งานพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นเองสำหรับระบบที่มีการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

แนวโน้มของการใช้งานหลักในปี ค.ศ. 2030 คาดว่าน่าจะเป็นการใช้ระบบกักเก็บพลังงาน เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดลงหรือการเปลี่ยนเวลาในการบริโภค (time shift) เพื่อหลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายจากความต้องการพลังงานสูงสุดสำหรับทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม

ทีมงานผู้วิจัยคาดว่าในปี ค.ศ. 2030 ราคาของแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Li-ion) จะลดลงมาอีกประมาณร้อยละ 54 ถึงร้อยละ 61 ซึ่งที่ผ่านมาระหว่างปีค.ศ. 2010 ถึง 2016 จะพบว่าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน มีราคาที่ลดลงมาถึงร้อยละ 73

ในเรื่องของการใช้งานแบตเตอรี่เพื่อลดความต้องการสูงสุดของการใช้ไฟฟ้า (peak shaving) จากการศึกษาพบว่าแบตเตอรี่ประเภทตะกั่วกรด (lead-acid) และแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Li-ion) ทุกประเภท เหมาะสมที่จะนำมาติดตั้งในระบบกักเก็บพลังงานไว้เพื่อปลดปล่อยมาใช้งานในช่วงที่มีการใช้งานสูงเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้า

หากนำแบตเตอรี่ทั้งสองประเภทมาเปรียบเทียบกัน แล้วจะพบว่ามีแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด และ ไม่ต้องมีการบำรุงรักษา, ไม่มีการปลดปล่อยแก๊ส, ติดตั้งง่าย, สามารถแขวนติดผนังได้, ประสิทธิภาพในการใช้งานสูงกว่า และมีต้นทุนในความเป็นเจ้าของที่ต่ำกว่าหากพิจารณาที่อายุการใช้งานและประสิทธิภาพในการใช้งาน

ธีระภัทร์ แมนมิตร, ปานจิตร ดำรงกุล กำจร (2558) “ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน” ทำการวิจัยเพื่อการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบขนาดระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยสมมติฐานคือ ให้ผู้ใช้ไฟมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สม่ำเสมอตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา โดยมีเป้าหมายลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดโดยการชาร์จแบตเตอรี่ในช่วงที่มีความต้องการพลังงานต่ำ และ ดิสชาร์จในช่วงเวลาความต้องการสูง เพื่อการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่าเมื่อผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำแบตเตอรี่ เข้ามาบริหารจัดการพลังงานเพื่อควบคุมปริมาณ

ความต้องการกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ระบบกักเก็บพลังงานจะพยายามควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ของแต่ละเดือน และช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำระบบกักเก็บพลังงานจะชาร์จพลังงานเพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงรอบถัดไป ผู้ใช้ไฟจะได้รับผลตอบแทนทางการเงินที่มากขึ้น จากค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือนเมื่อเทียบกับกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

ในการพิจารณาผลตอบแทนทางการเงินเป็นหลัก ขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสม ไม่จำเป็นต้องสามารถครอบคลุมการชดเชยพลังงานที่เกินจากค่าเป้าหมายการใช้งานไฟฟ้าสูงสุดให้ได้ทุกกรณี เนื่องจากการเพิ่มขนาดระบบกักเก็บพลังงานให้ครอบคลุมการใช้งานทุกกรณีจะมีสัดส่วนของค่าติดตั้งที่เพิ่มขึ้นมากกกว่าการลดลงของค่าไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558) “โครงการศึกษาแนวทางผสานพลังงานหมุนเวียนกับระบบไฟฟ้าและพัฒนานโยบายการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่” ทำการศึกษาหาแนวทางการนำเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานในการผสมผสานพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงและวิเคราะห์รูปแบบการส่งเสริมเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานเพื่อสนับสนุนนโยบายพลังงานหมุนเวียนของไทยและความต้องการระบบกักเก็บพลังงานต่อระบบไฟฟ้าที่ทำให้ระบบไฟฟ้าภายใต้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนสัดส่วนสูงยังคงมีเสถียรภาพ

จากการศึกษาพบว่าระบบกักเก็บพลังงานนั้นมีประโยชน์อยู่หลายด้าน เช่น ระบบกักเก็บพลังงานจะช่วยกักเก็บพลังงาน ในช่วงที่ระบบไฟฟ้ามีปริมาณการผลิตไฟฟ้ามากเกินความต้องการของระบบ และเมื่อระบบไฟฟ้ามีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่าการผลิตไฟฟ้าระบบกักเก็บพลังงานก็จะช่วยจ่ายไฟฟ้าชดเชยปริมาณไฟฟ้าดังกล่าว โดยระบบกักเก็บพลังงานจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับชุดหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันให้เหมาะสมต่อไป สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ควรจะใช้ระบบกักเก็บพลังงานโดยแบตเตอรี่ที่ตอบสนองได้อย่างรวดเร็วและสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูง คือแบตเตอรี่ประเภท Li-ion ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมที่ไหนปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจึงมีต้นทุนการผลิตที่ลดลงจากอดีตมามาก และเริ่มมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม ส่วนประเภทของระบบกักเก็บพลังงานที่มีความเหมาะสมแก่การทำเป็นระบบไฟฟ้าสำรอง (backup system) คือ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด, แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน, แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (Flow battery), ระบบกักเก็บพลังงานชนิดพลังน้ำสูบกลับ

ในส่วนของแนวคิดนโยบายการส่งเสริมการติดตั้งเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือสำหรับระบบที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานวงเวียนและสำหรับระบบส่งไฟฟ้า

ที่สถานีไฟฟ้าหรือสถานีไฟฟ้าย่อย โดยทั้งหมดที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานวงเวียนนั้นเพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับนโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในปัจจุบัน คือ โครงการราคารับซื้อไฟฟ้าแบบพิเศษ (FiT Premium) เพื่อช่วยลดภาระการลงทุนของผู้พัฒนาโครงการ และทำให้เกิดแรงจูงใจในการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานอีกด้วย ส่วนการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้น แต่เดิมรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริม โดยมีโครงสร้างอัตราค่าไฟแบ่งเป็นสองส่วนคือ ค่าความพร้อมจ่ายและค่าพลังงานไฟฟ้า

จากผลการวิจัยจะพบว่าเมื่อมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานจะทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องมากขึ้น เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานจะปลดปล่อยพลังงานมาชดเชยในช่วงที่ พลังงานทดแทนไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เช่น ในช่วงที่เมฆบังพระอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือ ช่วงที่ไม่มีลมสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานลม

ตารางที่ 2.5 บทสรุปประเด็นสำคัญจากงานศึกษาในอดีตที่เกี่ยวข้อง

ผู้ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ข้อค้นพบที่ได้จากการศึกษา
Masoud et al. (2016)	เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าร์เซลล์ที่เชื่อมต่อกับกริด โดยการเปรียบเทียบในกรณีเชื่อมต่อกริดกับโซล่าร์เซลล์ปกติ และกริดที่เชื่อมต่อโซล่าร์เซลล์ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน เพื่อวิเคราะห์ว่าระบบกักเก็บพลังงานจะทำให้ระบบ พลังงานมีความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพมากขึ้นหรือไม่	วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางเศรษฐศาสตร์ โดยแบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ที่ 1 ไม่มีระบบกักเก็บพลังงานในการออกแบบระบบ สถานการณ์ที่ 2 มีระบบกักเก็บพลังงานเข้าร่วมในระบบ	พบว่าการใช้ไฟฟ้าจากกริดเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้นยังไม่เหมาะสมในการนำระบบ พลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ แต่หากค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก ปัจจุบัน 3.8 เท่า การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบจะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นสำหรับในสถานการณ์ที่ 2 แบบกริดเชื่อมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และมีระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วย งานวิจัยระบุว่า ในกรณีค่าไฟฟ้า มีราคาต่ำการมีระบบกักเก็บพลังงานยังไม่ทำให้ประสิทธิภาพ ของระบบดีขึ้น แต่หากค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม การใช้ PV-storage hybrid จะช่วยให้มีความคุ้มค่าของระบบมากขึ้น
Claudia et al. (2017)	ทำการศึกษาหาจุดคุ้มทุนของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับระบบกักเก็บพลังงานโดยแบตเตอรี่เพื่อการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด	ทำการหาระดับราคาต้นทุนของแบตเตอรี่ที่ใช้ในการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดนั่นควรอยู่ในระดับไหนที่จะทำให้มีกำไรจากการลงทุนอย่างเหมาะสม ซึ่งพิจารณาจาก ปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดกำไรก็คือประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ อายุการใช้งาน (จำนวนรอบในการชาร์จและดิสชาร์จ) ของแบต*เตอรี่*และราคาต้นทุนของแบตเตอรี่	พบว่าระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่นั้นมีต้นทุนอยู่ที่ 400 USD/kW และ 200 USD/kWh ซึ่งสอดคล้องกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดและสังกะสีโบรมีนที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ผู้ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ข้อค้นพบที่ได้จากการศึกษา
ธีระภัทร์ และคณะ (2558)	เพื่อการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบขนาดระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	ให้ผู้ใช้ไฟมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สม่ำเสมอตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา โดยมีเป้าหมายลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดโดยการชาร์จแบตเตอรี่ในช่วงที่มีความต้องการพลังงานต่ำและ ดิสชาร์จในช่วงเวลาความต้องการสูง	พบว่าเมื่อผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำแบตเตอรี่ เข้ามาบริหารจัดการพลังงานเพื่อควบคุมปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมโดยในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ระบบกักเก็บพลังงานจะพยายามควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าเป้าหมายการใช้ กำลังไฟฟ้าสูงสุด ของแต่ละเดือน และช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำระบบกักเก็บพลังงานจะชาร์จพลังงานเพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงรอบถัดไปผู้ใช้ไฟจะได้รับผลตอบแทนทางการเงินที่มากขึ้น จากค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือนเมื่อเทียบกับกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

ผู้ศึกษา	วัตถุประสงค์	วิธีการศึกษา	ข้อค้นพบที่ได้จากการศึกษา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย (2558)	ศึกษาแนวทางผสานพลังงานหมุนเวียนกับระบบไฟฟ้าและพัฒนานโยบายการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่	ศึกษาจากงานวิจัยต่างประเทศ และวิเคราะห์แนวทางการผสานระบบกักเก็บเข้ากับระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในสัดส่วนสูง รวมไปถึงวิเคราะห์นโยบายสนับสนุนระบบกักเก็บพลังงานในต่างประเทศ	แบตเตอรี่ประเภท Li-ion ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ที่มีความเหมาะสมที่ไหนปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจึงมีต้นทุนการผลิตที่ลดลงจากอดีตมามาก และเริ่มมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม ส่วนประเภทของระบบกักเก็บพลังงานที่มีความเหมาะสมแก่การทำเป็นระบบไฟฟ้าสำรอง (backup system) คือ แบตเตอรี่ตะกั่วกรด, แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน, แบตเตอรี่ที่มีการไหลของส่วนเก็บพลังงาน (Flow battery), ระบบกักเก็บพลังงานชนิดพลังน้ำสูบกลับ ในส่วนของนโยบาย เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับนโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในปัจจุบัน คือ โครงการราคารับซื้อไฟฟ้าแบบพิเศษ (FiT Premium)

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาผลกระทบทางเทคนิคในระบบไฟฟ้ากับการติดตั้งแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) มีวิธีการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลจำนวนและปริมาณการรับไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (VSPP) ทุกรายที่เชื่อมโยงในวงจรจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

3.1.2 ผู้วิจัยติดต่อประสานงานขอข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและแผนผังการจ่ายไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด จากศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้า กฟภ. เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา

3.1.3 ทำการศึกษาข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าและปริมาณการรับซื้อไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด และพิจารณาขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

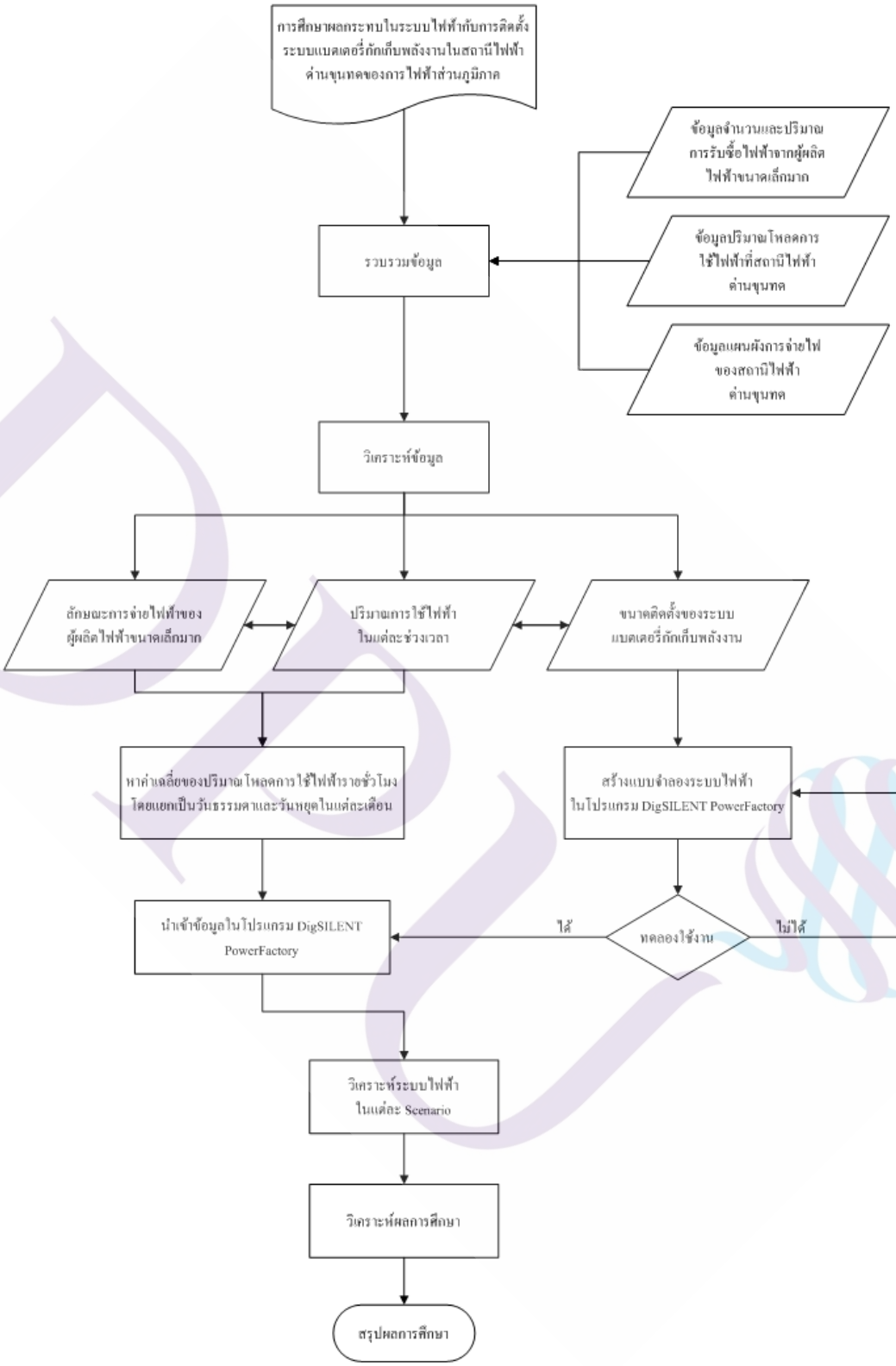
3.1.4 สร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้าในโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 และทดลองใช้งานโปรแกรม

3.1.5 นำข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าและขนาดติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ใส่ในโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1

3.1.6 ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในแต่ละกรณี และวิเคราะห์ผลการศึกษา

3.1.7 สรุปผลและจัดทำรายงานของการวิจัย

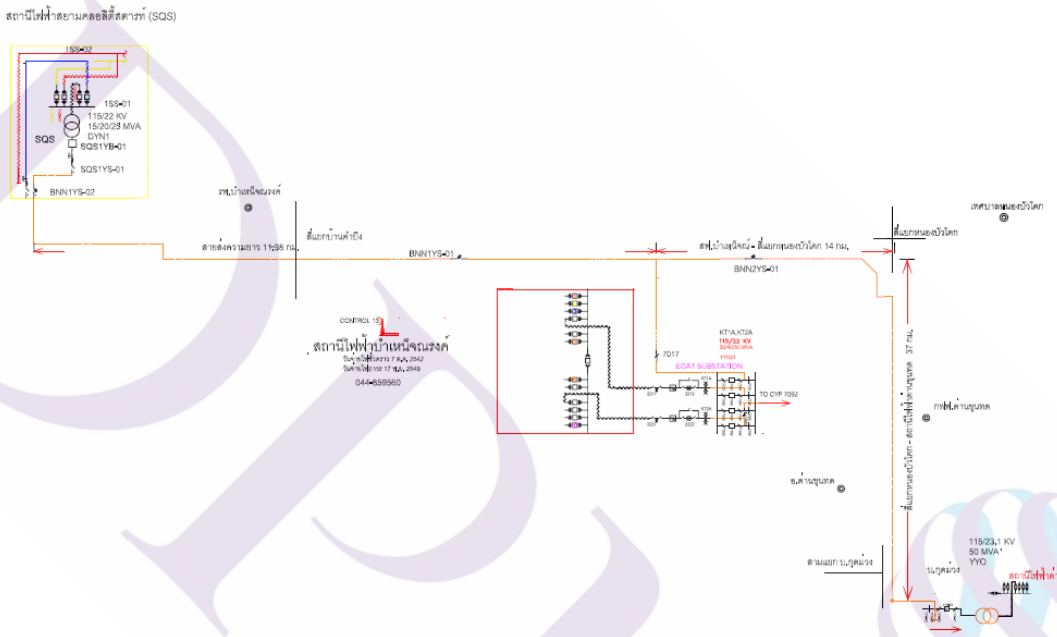
โดยรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงตามภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

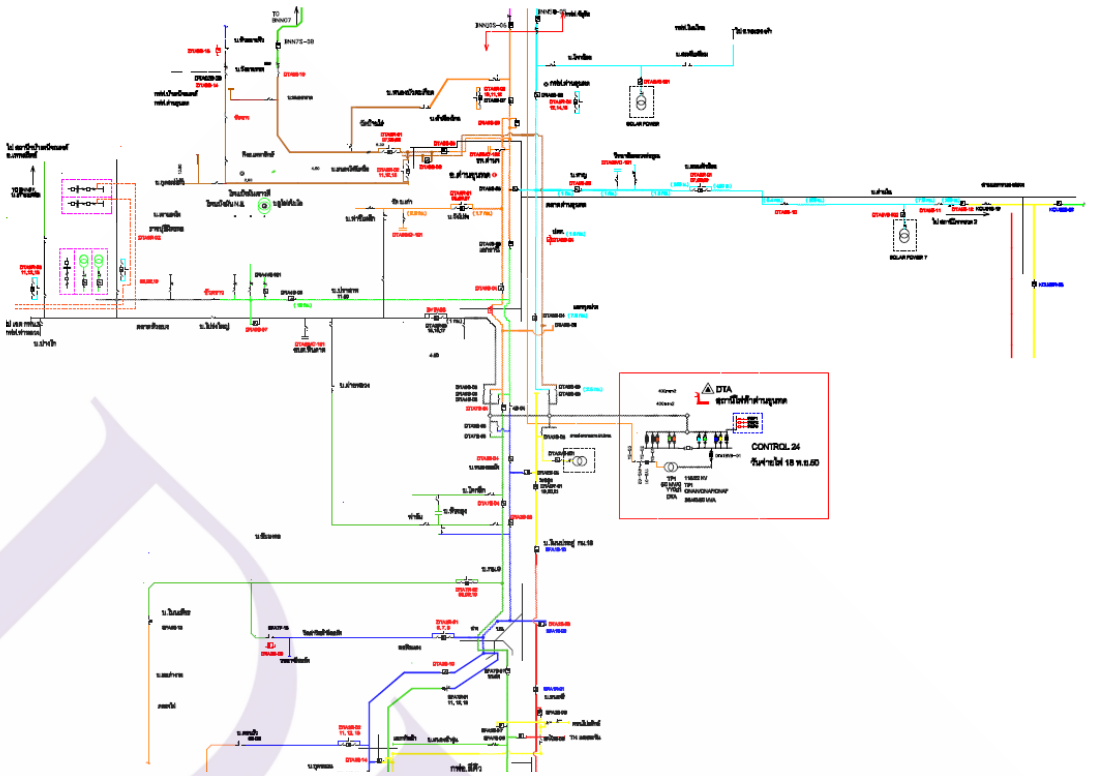
3.2 ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด ตั้งอยู่ในพื้นที่อำเภอด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา เป็นสถานีไฟฟ้าระบบ 115 kV รับไฟต้นทางจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงบำเหน็จณรงค์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อยู่ในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า 115/22 kV ขนาด 50 MVA จำนวน 1 เครื่อง แสดงตามภาพที่ 3.2 และมีวงจรจ่ายไฟระบบจำหน่าย 22 kV จำนวน 9 วงจร ตามภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 แผนผังแสดงการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า 115 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

ที่มา: กองปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา



ภาพที่ 3.3 แผนผังแสดงการจ่ายไฟระบบจำหน่าย 22 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

ที่มา: กองปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา

3.3 ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)

การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยได้พิจารณาจากจำนวนของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ที่เชื่อมโยงอยู่ในวงจรจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด และปริมาณการรับซื้อไฟฟ้ารวมทั้งหมดจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ดังกล่าว ซึ่งมีจำนวน 8 ราย และมีปริมาณรับซื้อไฟฟ้ารวมทั้งหมด 37.879 MW ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนและปริมาณการรับไฟฟ้าทั้งหมดจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (VSPP) ที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

วงจร	VSPP	ประเภทเชื้อเพลิง	ปริมาณพลังไฟฟ้าตามสัญญา (MW)
DTA02	บริษัท นครราชสีมา โซล่าร์ จำกัด	แสงอาทิตย์	6
DTA03	บริษัท บางจาก โซลาร์เอ็นเนอร์ยี จำกัด	แสงอาทิตย์	8
DTA04	บริษัท บลูไฟรไบโอ จำกัด	ก๊าซชีวภาพ	0.999
	บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด	พลังงานลม	2
DTA05	บริษัท โซล่า เพาเวอร์ จำกัด	แสงอาทิตย์	5.88
	บริษัท อีสเอนเนอร์จี จำกัด	แสงอาทิตย์	2
DTA06			
DTA07	บริษัท นครราชสีมาเพาเวอร์กรีน จำกัด	ชีวมวล	5
DTA08			
DTA09	บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด	พลังงานลม	8
DTA10			
	รวม		**37.879**

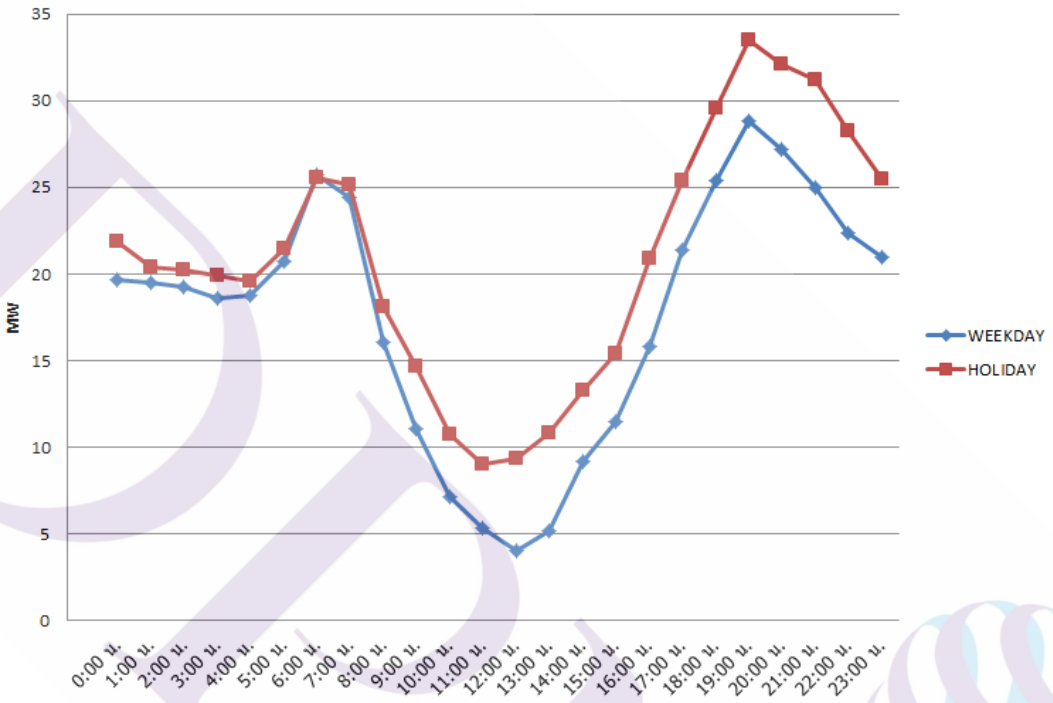
ที่มา: กองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3.4 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า

ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าสูงสุดรายชั่วโมงของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด โดยค่าดังกล่าวบันทึกจากระบบควบคุมอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-Based Substation Control System : CSCS) และถูกส่งข้อมูลไปที่ระบบควบคุมระยะไกล (Supervisory Control and Data Acquisition : SCADA) ของศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2561 รายละเอียดแสดงดังตารางในภาคผนวก โดยทำการหาค่าเฉลี่ยของโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในวันธรรมดาและวันหยุด เช่น เดือนมกราคม 2561 มีวันธรรมดา 22 วัน และมีวันหยุด 9 วัน นำค่าโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันธรรมดาและวันหยุดมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของโหลดการใช้ไฟฟ้า

รายชั่วโมงของวันธรรมดาและวันหยุดในเดือนมกราคม 2561 แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3.4 จากนั้นทำการหาเฉลี่ยในเดือนกุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2561 เช่นเดียวกัน และนำค่าเฉลี่ยของวันธรรมดาและวันหยุดในแต่ละเดือนมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้ง และนำค่าที่ได้นั้นใส่ในโปรแกรม DigSILENT Power Factory เพื่อทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า

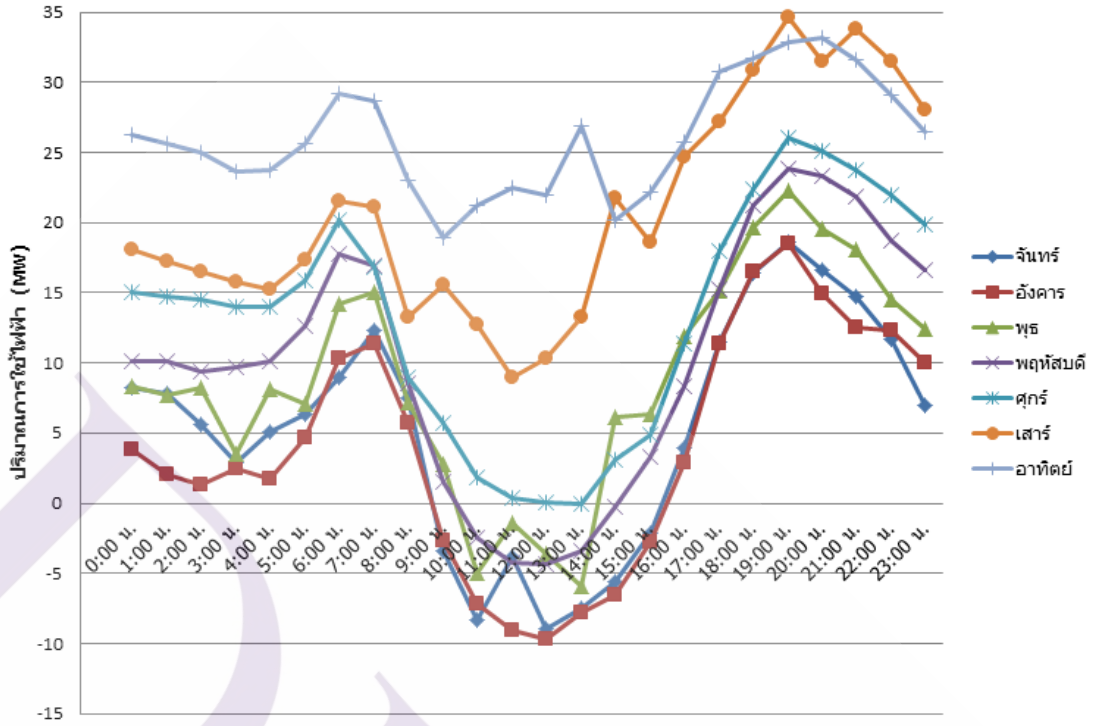


ภาพที่ 3.4 ค่าโหลดการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงของวันธรรมดาและวันหยุดในเดือนมกราคม 2561

ที่มา: กองปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา

3.5 ขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในช่วงระหว่างวันที่ 1 - 7 มกราคม 2561 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าในบางช่วงเวลาค่าโหลดการใช้ไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดมีค่าติดลบสูงสุด 10 MW ตามภาพที่ 3.5

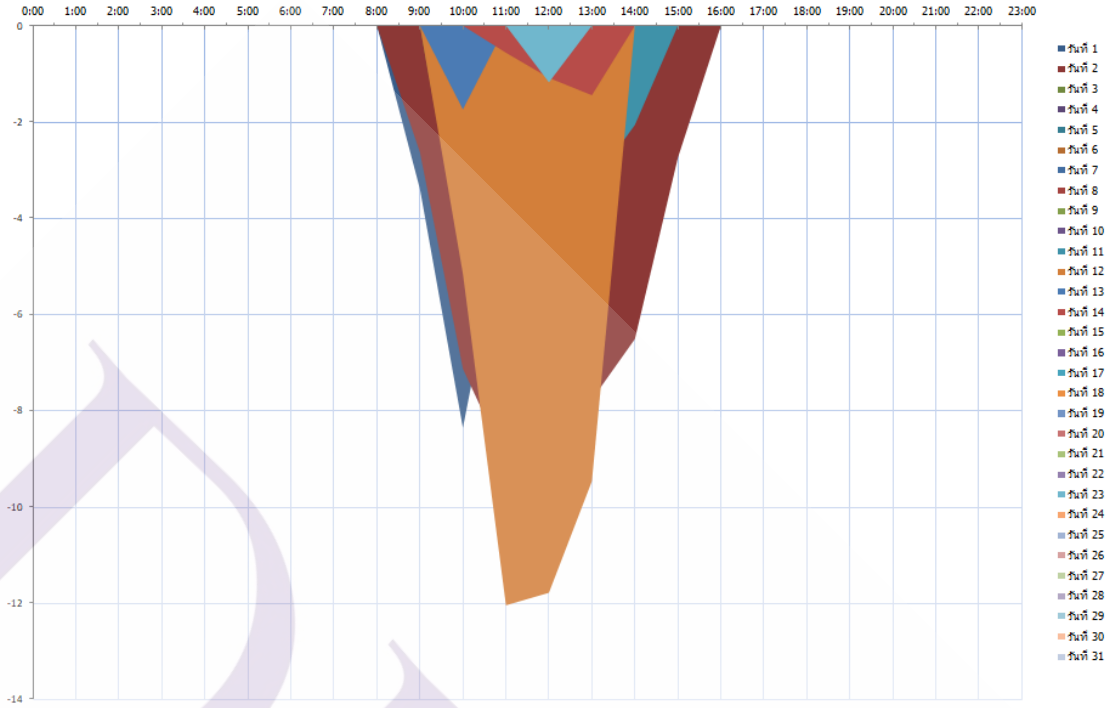


ภาพที่ 3.5 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ช่วงวันที่ 1 ม.ค. 2561 - 7 ม.ค. 2561

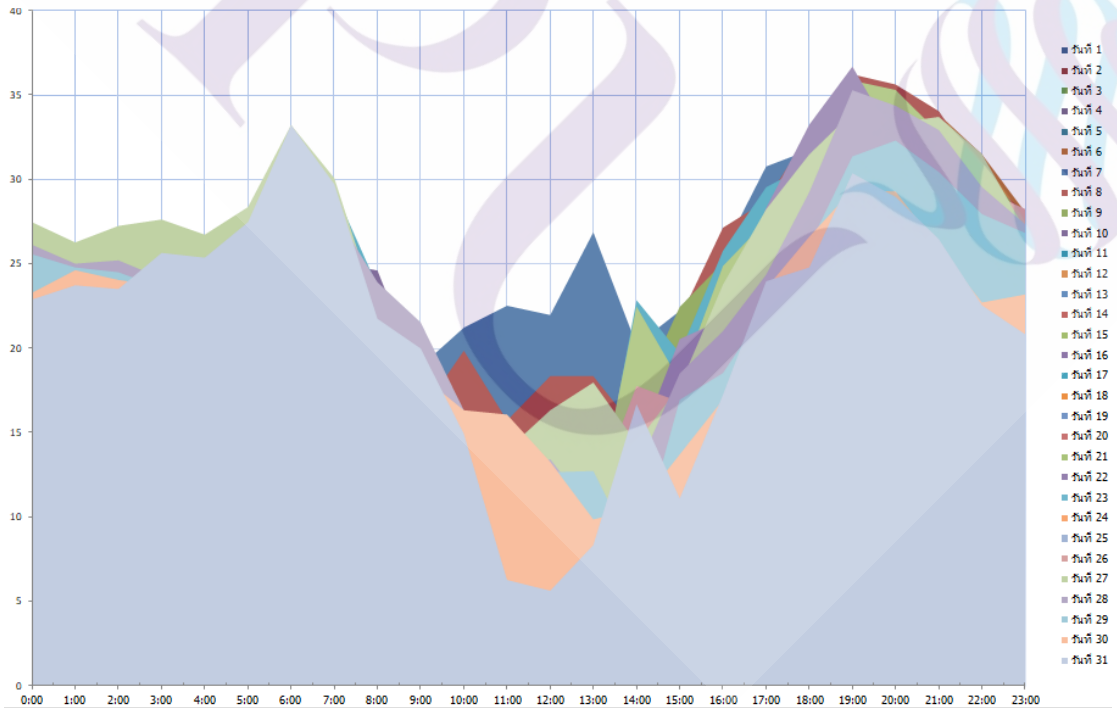
ที่มา: กองปฏิบัติการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา

และเพื่อให้การเลือกใช้ขนาดติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานมีความเหมาะสมกับปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาข้อมูลโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในเดือนมกราคม 2561 เพิ่มเติม ซึ่งพบว่าในบางวัน ช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น. จะมีปริมาณพลังไฟฟ้าติดลบ โดยในช่วงเวลา 11.00 - 12.00 น. จะมีปริมาณพลังไฟฟ้าติดลบสูงสุด 12 MW ตามภาพที่ 3.6 และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด 37 MW ในเวลา 19.00 น. ตามภาพที่ 3.7 ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกศึกษาระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน จำนวน 3 ขนาด เพื่อหาขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน และได้ตั้งค่าการทำงานของระบบแบตเตอรี่ให้ทำการกักเก็บพลังงาน (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. รายละเอียดดังนี้

1) ขนาด 2 MW สามารถจ่ายไฟได้ต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง (2 MW / 10 MWh)
2) ขนาด 4 MW สามารถจ่ายไฟได้ต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง (4 MW / 20 MWh)
3) ขนาด 6 MW สามารถจ่ายไฟได้ต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง (6 MW / 30 MWh)



ภาพที่ 3.6 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงส่วนเกินในเดือนมกราคม 2561



ภาพที่ 3.7 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในเดือนมกราคม 2561

3.6 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

3.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์

3.6.2 โปรแกรมประยุกต์ที่เกี่ยวข้อง

3.6.2.1 Microsoft Excel

3.6.2.2 DigSILENT Power Factory เวอร์ชั่น 15.1

3.6.2.3 เวปแอปพลิเคชั่นพื้นฐาน สำหรับผู้ใช้งานระบบ SCADA (SCADA Web Interface) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา

3.6.3 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์

3.6.3.1 ข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

3.6.3.2 ข้อมูลปริมาณรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) ที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

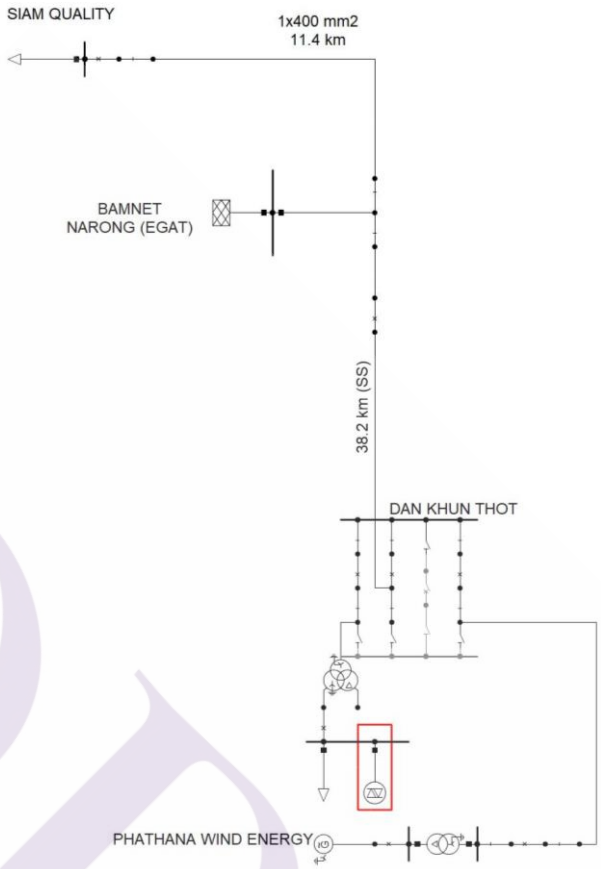
3.7 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 ศึกษารวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบไปด้วยลักษณะการจ่ายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด และขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

3.7.2 การสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า

สร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า 115 kV ด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 ตามแผนผังการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด ดังภาพที่ 3.6 จากนั้นทดลองใช้งานแบบจำลองดังกล่าว โดยการรันโปรแกรมเพื่อดูค่าแรงดันไฟฟ้า 115 kV ณ จุดต่างๆ ได้แก่ สถานีไฟฟ้าแรงสูงบำเหน็จณรงค์ สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด สถานีไฟฟ้าผู้ใช้ไฟบริษัท สยามควอลิตี้สตาร์ช จำกัด และสถานีไฟฟ้าผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด ว่าโปรแกรมสามารถทำงานได้หรือไม่



ภาพที่ 3.8 แบบจำลองระบบไฟฟ้า จากโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1

3.8 การประยุกต์แบบจำลองระบบไฟฟ้าด้วยกรณีศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้นำแบบจำลองระบบไฟฟ้าไปประยุกต์กับกรณีศึกษา เพื่อศึกษาค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า โดยแบ่งเป็น 2 กรณีหลัก คือ 1. กรณีก่อนการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน 2. กรณีหลังการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน โดยในแต่ละกรณีจะทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเป็นกรณีศึกษาย่อย ดังนี้

1) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา
2) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด
3) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดา
4) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันหยุด

3.9 การวิเคราะห์ผลศึกษา

ภายหลังจากการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในกรณีศึกษาต่างๆ แล้ว จะทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ก่อนและหลังการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในแต่ละกรณีศึกษา

บทที่ 4
ผลการศึกษา

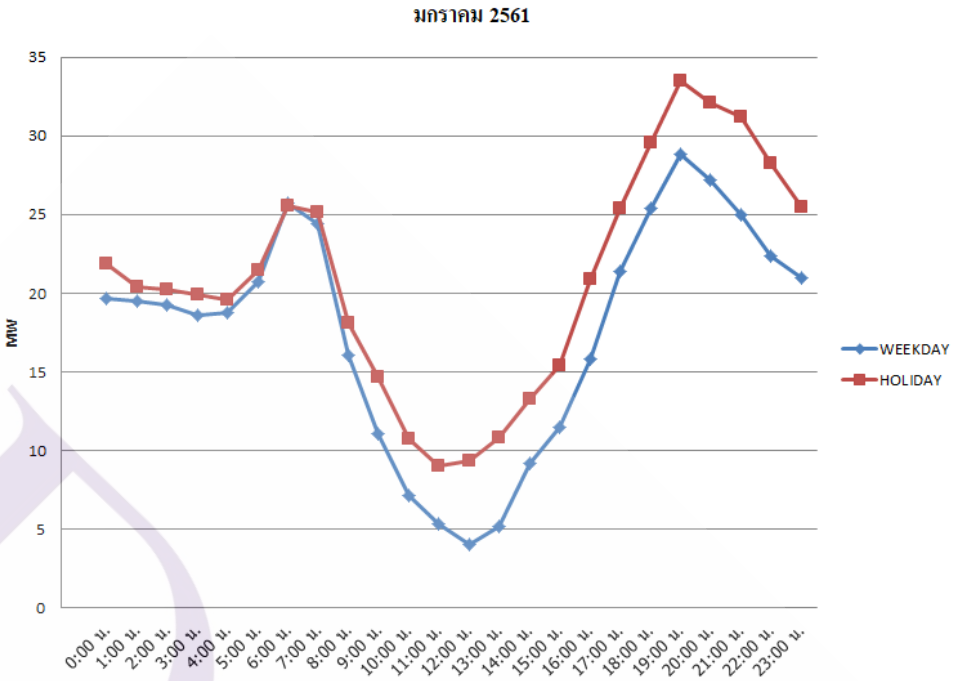
จากการศึกษาข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า และนำไปวิเคราะห์ขนาดติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบทางด้านเทคนิคในระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 เมื่อมีการติดตั้งใช้งานระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) สรุปได้ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโหลด

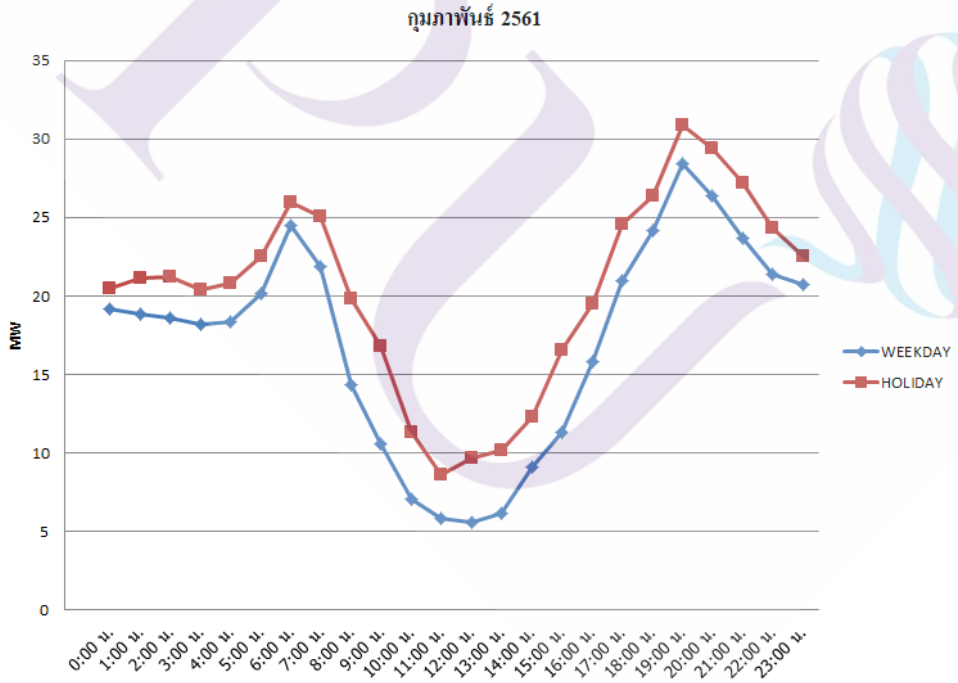
4.1.1 โหลดรายเดือน

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลโหลดการใช้ไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด จากระบบ SCDA ของ กฟภ. เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2561 ถึง เดือนพฤษภาคม 2561

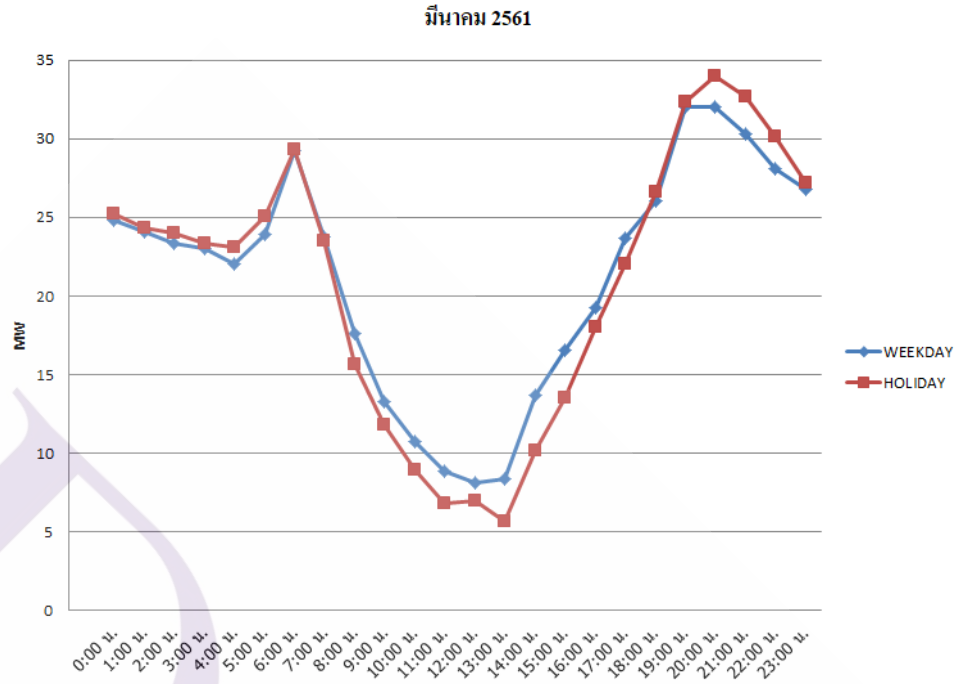
ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ค่าโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดาและค่าโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันหยุด จากนั้นนำค่าโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดาและวันหยุดทั้งหมดใน 1 เดือน มาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละชั่วโมงอีกครั้ง ซึ่งจะได้ค่าโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดาและวันหยุดในแต่ละเดือน ดังแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 4.1 ถึง ภาพที่ 4.5



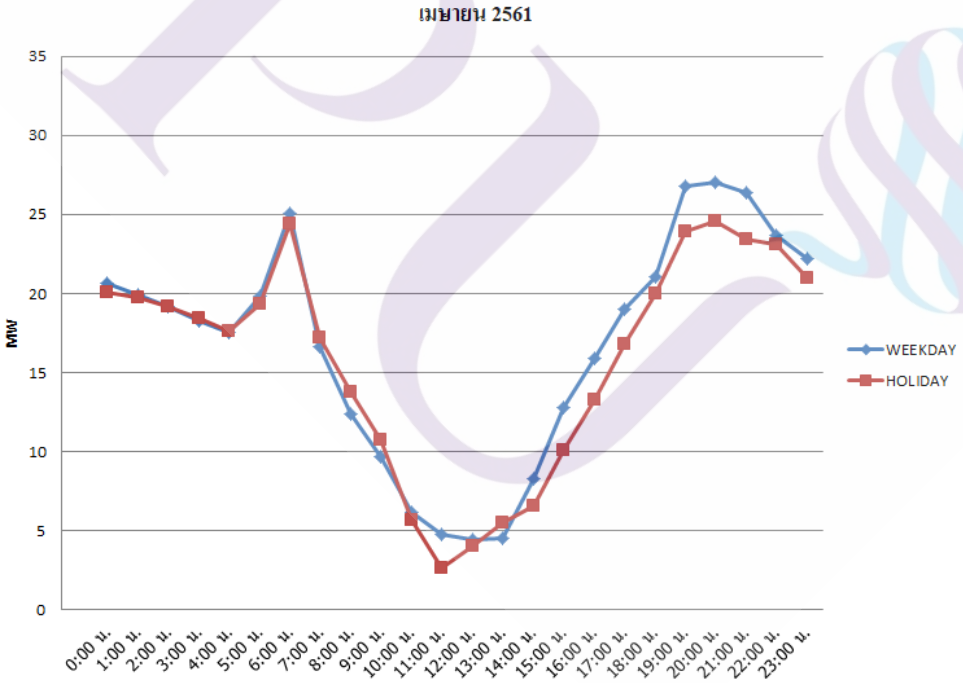
ภาพที่ 4.1 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนมกราคม 2561



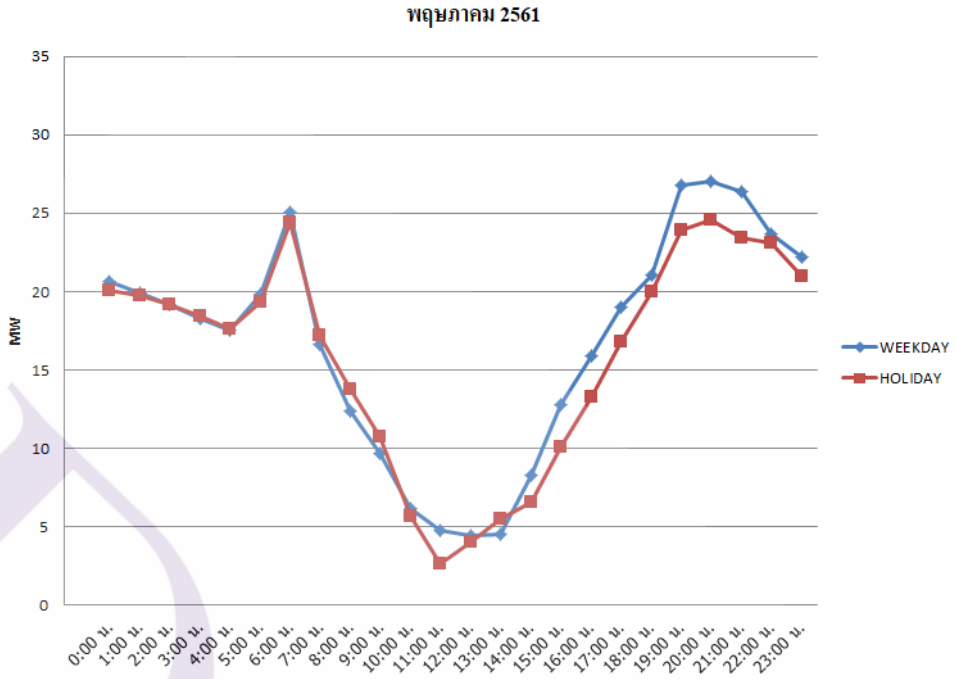
ภาพที่ 4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนกุมภาพันธ์ 2561



ภาพที่ 4.3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนมีนาคม 2561



ภาพที่ 4.4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนเมษายน 2561



ภาพที่ 4.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ย ในเดือนพฤษภาคม 2561

จากการศึกษาปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของเดือนมกราคม - เดือนพฤษภาคม 2561 ตามภาพที่ 4.1 ถึงภาพที่ 4.5 พบว่าในเดือนมกราคม - เดือนมีนาคม 2561 มีปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันหยุดสูงกว่าปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดา และในเดือนเมษายน - เดือนพฤษภาคม 2561 พบว่ามีปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดาสูงกว่าปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันหยุด

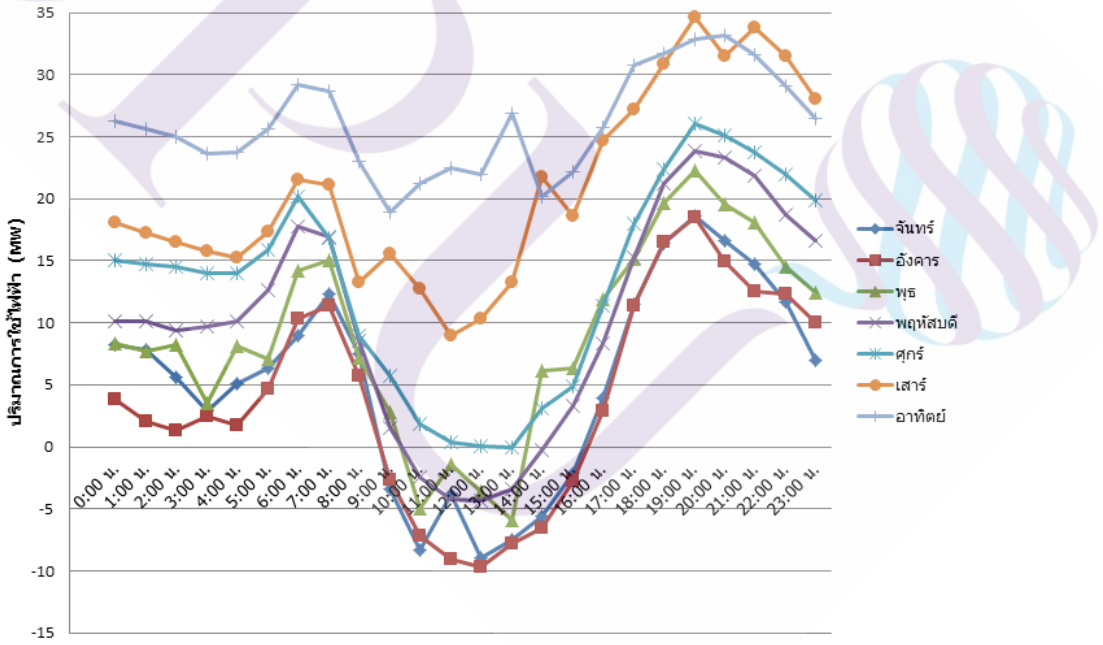
ทั้งนี้ยังพบว่ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ประมาณ 34 MW ในเดือนมีนาคม 2561 และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดที่ประมาณ 3 MW ในเดือนพฤษภาคม 2561 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยในแต่ละเดือนนั้นมี Load Pattern ที่คล้ายคลึงกัน คือ ในช่วงเช้าจะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูง จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเที่ยง และในช่วงบ่ายจะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงช่วงดึกของทุกวัน อีกทั้งยังพบว่าในแต่ละเดือนนั้นไม่มีช่วงเวลาใดเลยที่ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าติดลบ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุด ช่วงเดือนมกราคม - เดือนพฤษภาคม 2561

เดือน	ปริมาณโหลด (MW)	
	สูงสุด	ต่ำสุด
มกราคม 2561	33	4
กุมภาพันธ์ 2561	31	6
มีนาคม 2561	34	6
เมษายน 2561	28	5
พฤษภาคม 2561	27	3

4.1.2 โหลดรายสัปดาห์

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลโหลดการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2561 ถึงวันที่ 7 มกราคม 2561 มาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงใน 1 สัปดาห์ ดังแสดงรายละเอียดตามภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง ในช่วงวันที่ 1 มกราคม - 7 มกราคม 2561

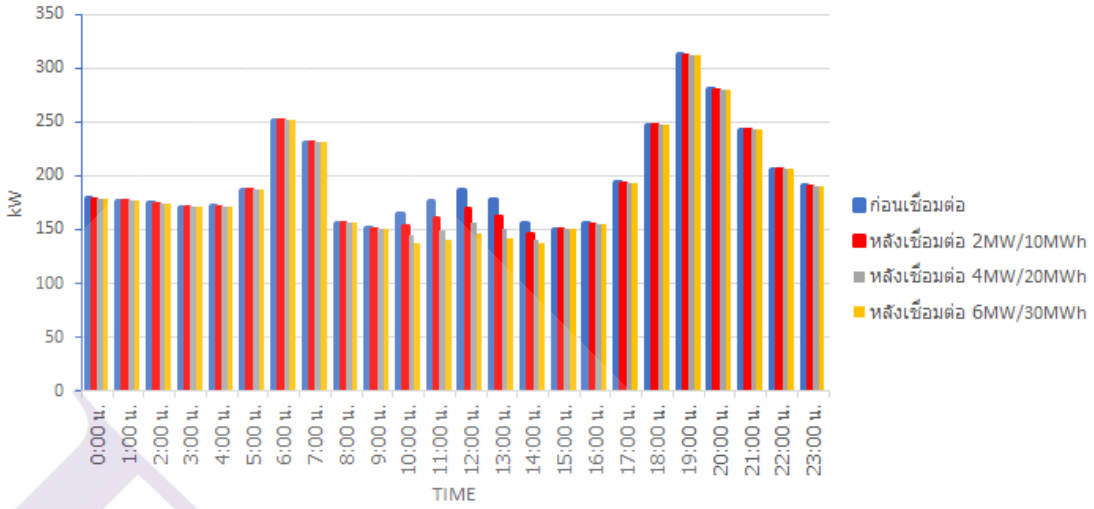
จากการศึกษาปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในรอบสัปดาห์ ช่วงวันที่ 1-7 มกราคม 2561 ตามภาพที่ 4.6 พบว่าในช่วงเวลา 9.00 -16.00 น. ของบางวันจะมีปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดมีค่าติดลบ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า มีปริมาณพลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของ กฟภ. มากกว่าปริมาณความต้องการการใช้ไฟฟ้าโดยรวมในช่วงเวลานั้นๆ ส่งผลให้มีพลังไฟฟ้าไหลย้อนผ่านระบบส่งกลับไปยังสถานีไฟฟ้าบำเหน็จณรงค์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าต้นทาง ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งของ กฟภ.

4.2 การวิเคราะห์ขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 ซึ่งมีแบบจำลองระบบไฟฟ้า ดังภาพที่ 4.7 และทำการแยกกรณีศึกษาเป็น 3 กรณี ดังนี้

1) หลังการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 2 MW / 10 MWh
2) หลังการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 4 MW / 20 MWh
3) หลังการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh

โดยในการศึกษาได้ตั้งค่าการทำงานของระบบแบตเตอรี่แต่ละขนาด ให้กักเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. เพื่อศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละกรณี ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน จะช่วยให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลงมากที่สุด ดังภาพที่ 4.7 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh เพื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเทคนิคในระบบไฟฟ้าในครั้งนี้

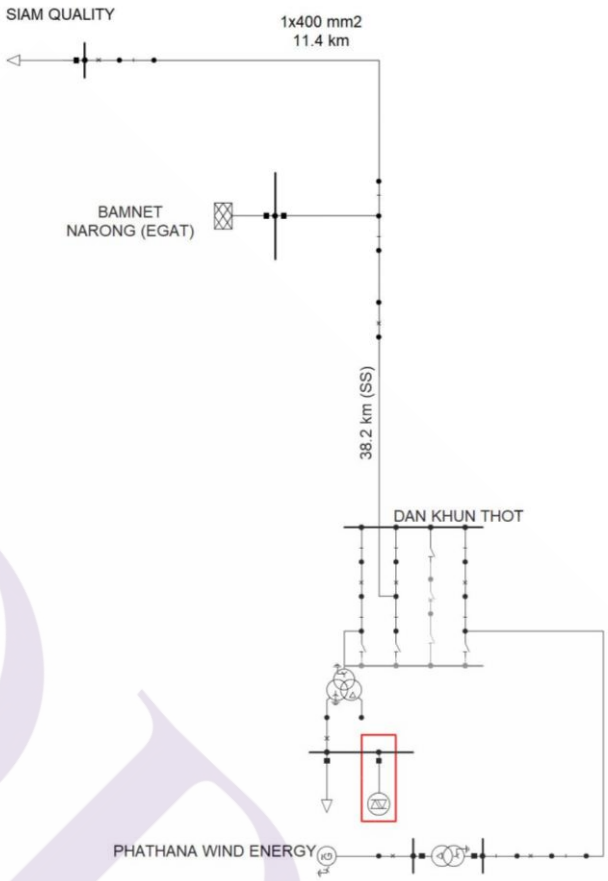


ภาพที่ 4.7 ปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า เมื่อติดตั้งระบบแบตเตอรี่ทั้ง 3 ขนาด ให้กักเก็บพลังงานไฟฟ้า ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น.

4.3 การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านเทคนิคในระบบไฟฟ้า

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 ซึ่งมีแบบจำลองระบบไฟฟ้า ดังภาพที่ 4.8 และทำการแยกกรณีศึกษาเป็น 2 กรณีหลัก คือ 1. ก่อนการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh และ 2. หลังการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh เพื่อศึกษาค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า โดยในแต่ละกรณีจะทำการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าเป็นกรณีศึกษาย่อย ดังนี้

1) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา
2) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด
3) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันธรรมดา
4) วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยของวันหยุด



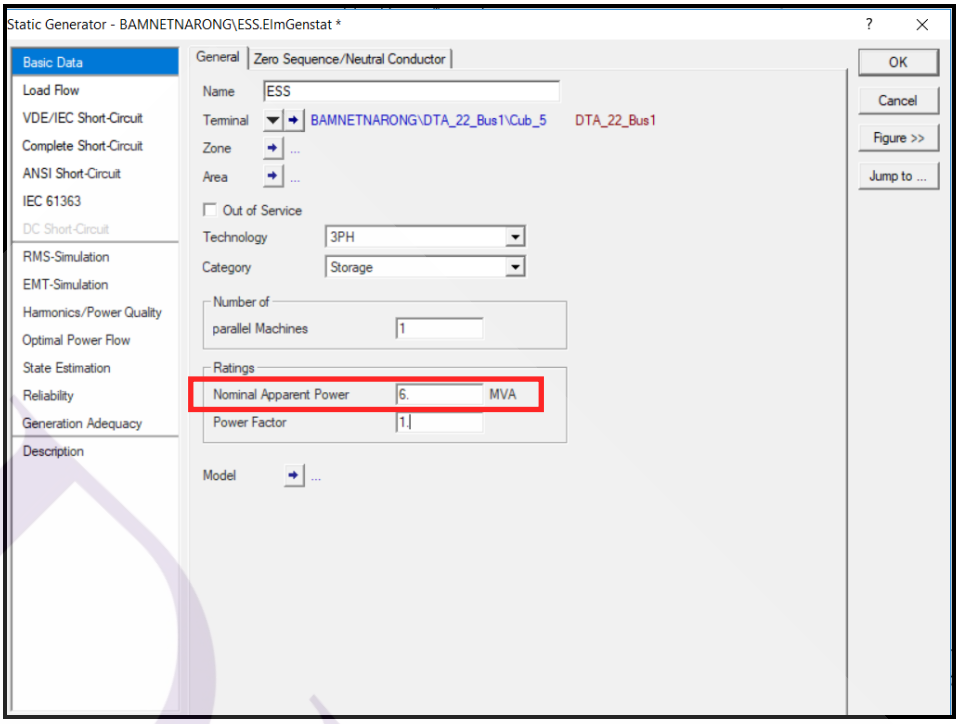
ภาพที่ 4.8 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1

4.3.1 การเลือกใช้ข้อมูลโหลด

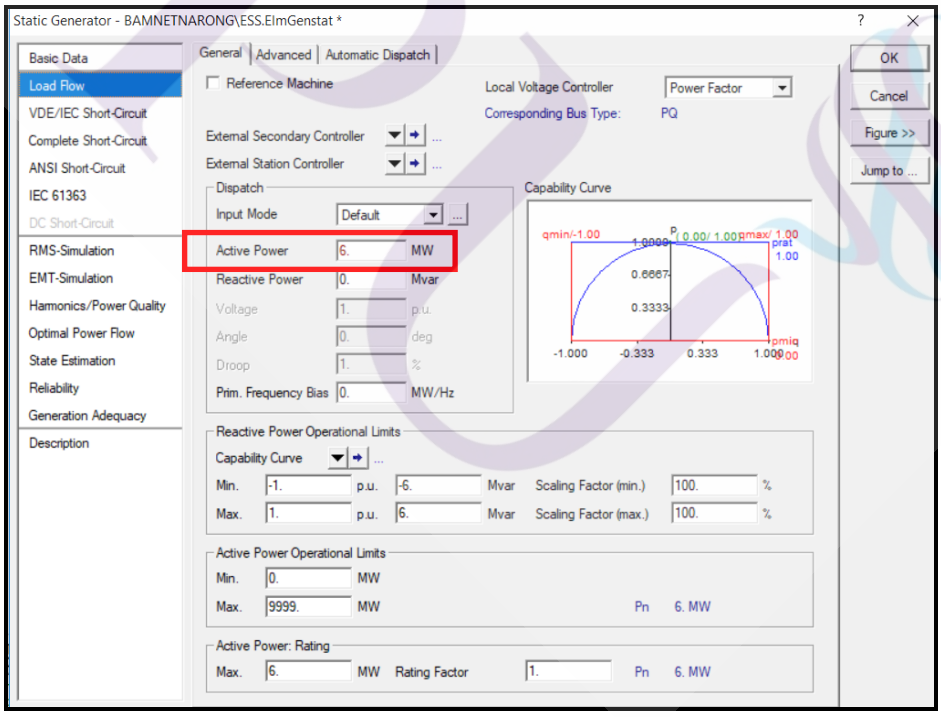
ผู้วิจัยได้เลือกข้อมูลปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยในเดือนมกราคม 2561 เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ เนื่องจากได้พิจารณาจากกราฟปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยในแต่ละเดือนแล้วพบว่า ในแต่ละเดือนนั้นมีปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าที่คล้ายคลึงกัน

4.3.2 การตั้งค่าการทำงานของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

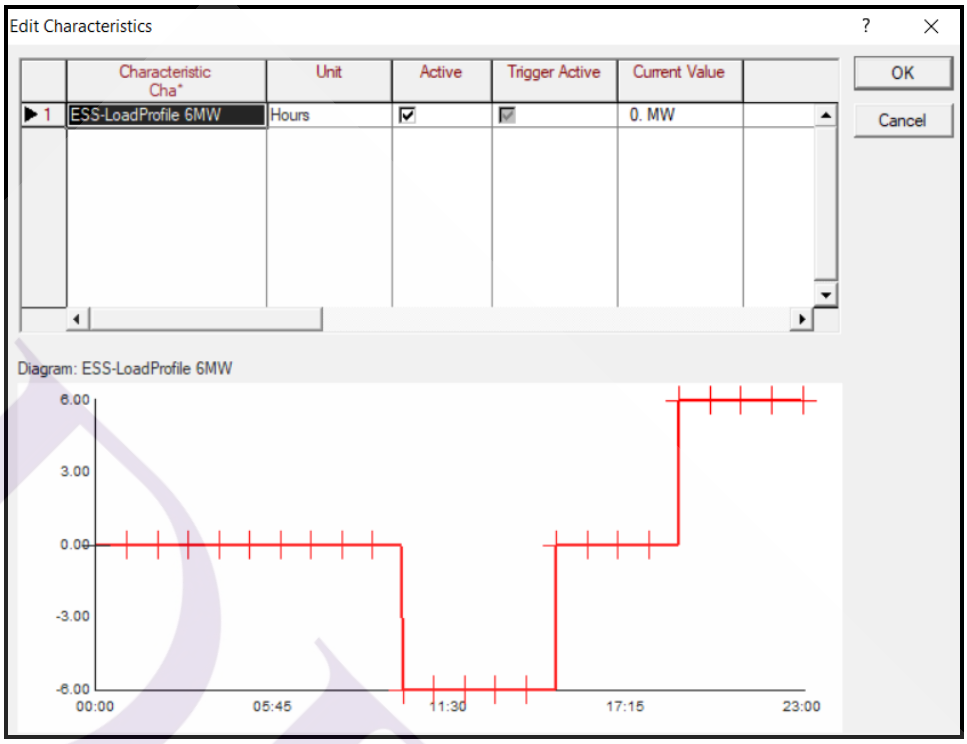
ผู้วิจัยได้เลือกใช้งานระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh โดยตั้งค่าให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น.



ภาพที่ 4.9 การตั้งค่าขนาดติดตั้งของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

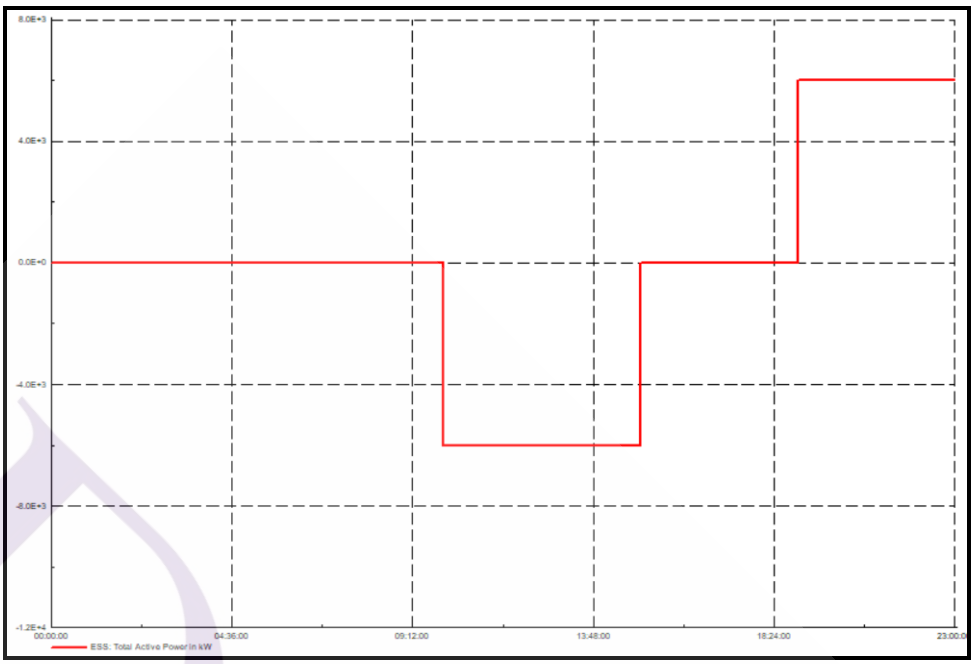


ภาพที่ 4.10 การตั้งค่ากำลังไฟฟ้าขาออกของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน



ภาพที่ 4.11 ช่วงเวลาการ Charge และ Discharge ของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

จากภาพที่ 4.9 และ 4.10 ผู้วิจัยได้ทำการตั้งค่าการทำงานของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน โดยกำหนดให้จ่ายพลังไฟฟ้าในปริมาณ 6 MW และจากภาพที่ 4.11 ผู้วิจัยได้กำหนดช่วงเวลาในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Charge) ตั้งแต่เวลา 10.00 - 15.00 น. เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อเนื่อง และกำหนดช่วงเวลาในการจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ตั้งแต่เวลา 19.00 - 24.00 น. เป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อเนื่องเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าในช่วง Charge และ Discharge ของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

ภายหลังจากที่ผู้วิจัยได้ตั้งค่าการทำงานของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานเรียบร้อยแล้วนั้น ได้ทำการรันโปรแกรมเพื่อดูการทำงานของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ผู้วิจัยได้ตั้งค่าการทำงานหรือไม่ ซึ่งพบว่า ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่กำหนด คือ กักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. ตามภาพที่ 4.12

4.3.3 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา

4.3.3.1 ค่าแรงดันไฟฟ้า

จากการศึกษาค่าแรงดันในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา ก่อนและหลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ทั้งในระบบ 115 kV และระบบ 22 kV มีค่าสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา

สถานีไฟฟ้า	ค่าแรงดันไฟฟ้า (kV)	
	ก่อนการเชื่อมต่อ	หลังการเชื่อมต่อ
บำเหน็จณรงค์ (กฟผ.)	117.3000	117.3000
ด่านขุนทด (115 kV)	115.6401	115.7976
บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด (SPP)	116.0985	116.2556
บริษัท สยามควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด (ผู้ใช้ไฟ)	117.0557	117.0560
ด่านขุนทด (22 kV)	22.68845	22.6988

4.3.3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

จากการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา ก่อนและหลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีค่าลดลงเท่ากับ 2.95 kW แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันธรรมดา

กรณีศึกษา	ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)
ก่อนติดตั้งระบบแบตเตอรี่	178.93
หลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่	175.98
ผลต่าง	2.95

4.3.4 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด

4.3.4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้า

จากการศึกษาค่าแรงดันในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด ก่อนและหลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ทั้งในระบบ 115 kV และระบบ 22 kV มีค่าสูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นผลดีต่อระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด

สถานีไฟฟ้า	ค่าแรงดันไฟฟ้า (kV)	
	ก่อนการเชื่อมต่อ	หลังการเชื่อมต่อ
บำเหน็จณรงค์ (กฟผ.)	117.3000	117.3000
ด่านขุนทด (115 kV)	115.4509	115.5125
บริษัท พัฒนาพลังงานลม จำกัด (SPP)	115.9096	115.9711
บริษัท สยามควอลิตี้ สตาร์ช จำกัด (ผู้ใช้ไฟ)	117.0553	117.0554
ด่านขุนทด (22 kV)	22.5818	22.60305

4.3.4.2 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

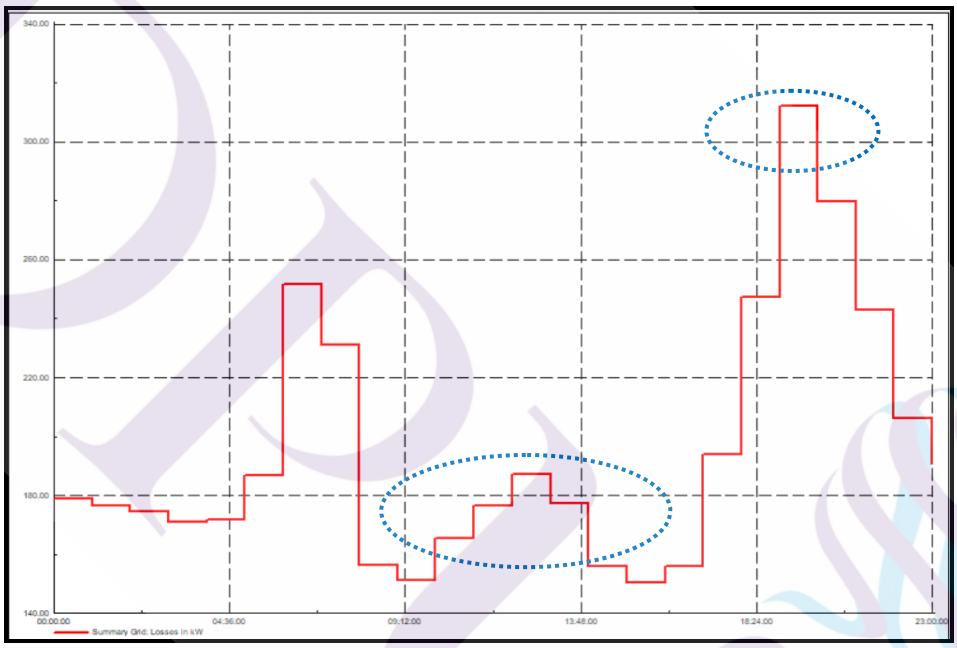
จากการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด ก่อนและหลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีค่าลดลง เท่ากับ 4.27 kW แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า ณ เวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ของวันหยุด

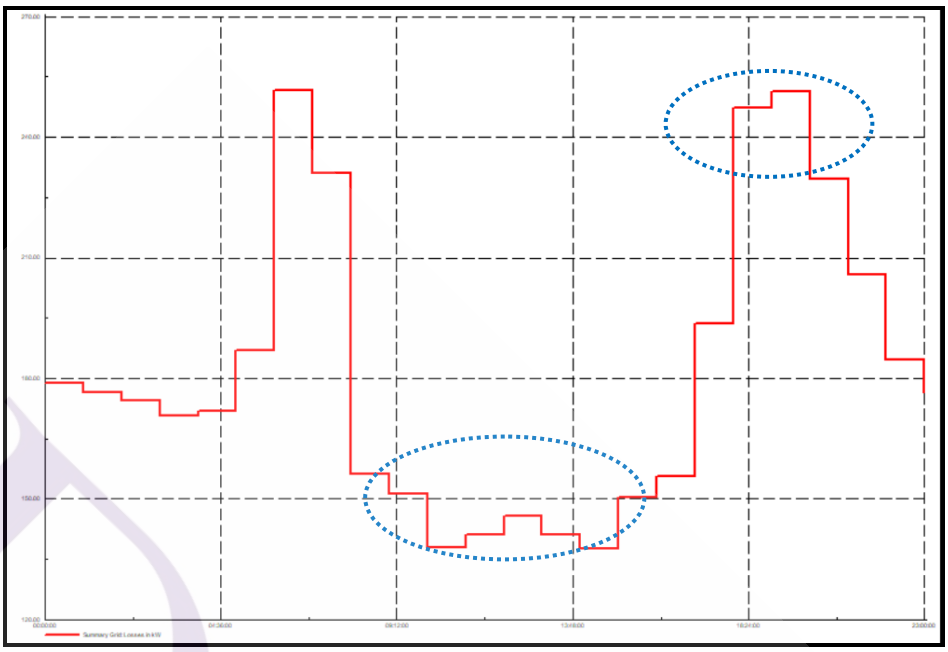
กรณีศึกษา	ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)
ก่อนติดตั้งระบบแบตเตอรี่	189.59
หลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่	185.32
ผลต่าง	4.27

4.3.5 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันธรรมดา

จากการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันธรรมดา ก่อนและหลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีค่าลดลง เท่ากับ 52.2119 kW แสดงดังตารางที่ 4.6 และจากภาพที่ 4.13 - 4.14 แสดงให้เห็นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าจากโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานทำการกักเก็บพลังไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และทำการจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. จะมีรูปร่างของกราฟที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.13 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน



ภาพที่ 4.14 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันธรรมดา

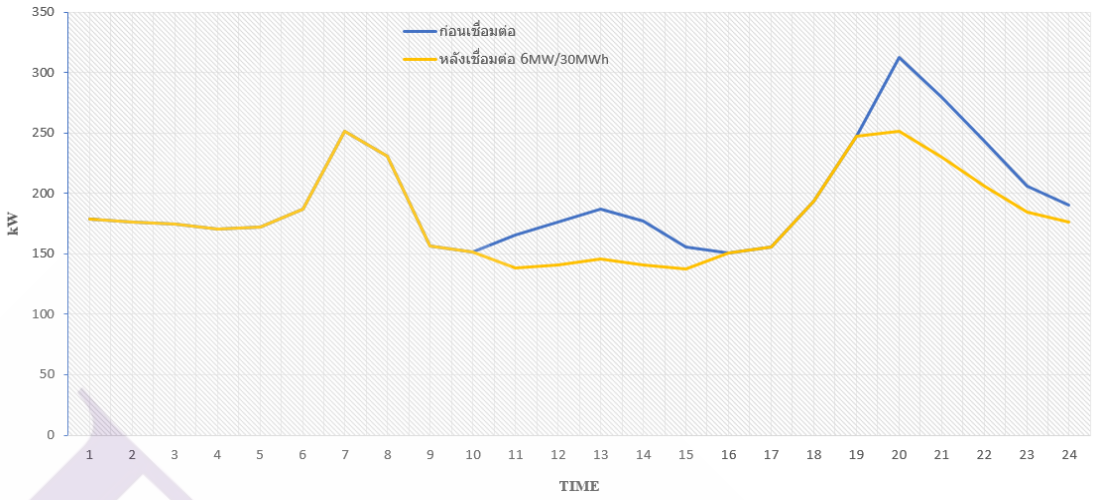
เวลา	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)	
	ก่อนเชื่อมต่อ	หลังเชื่อมต่อ
0.00 น.	178.9255	178.9255
1.00 น.	176.4616	176.4616
2.00 น.	174.6043	174.6043
3.00 น.	170.7701	170.7701
4.00 น.	171.8204	171.8204
5.00 น.	186.8245	186.8245
6.00 น.	251.6981	251.6981
7.00 น.	231.1618	231.1618
8.00 น.	156.1575	156.1575
9.00 น.	151.1896	151.1896
10.00 น.	165.2363	138.0452
11.00 น.	176.2963	140.9865

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

เวลา	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)	
	ก่อนเชื่อมต่อ	หลังเชื่อมต่อ
12.00 น.	186.9544	145.8014
13.00 น.	177.2907	141.2046
14.00 น.	155.7503	137.7392
15.00 น.	150.4997	150.4997
16.00 น.	155.7021	155.7021
17.00 น.	193.7322	193.7322
18.00 น.	247.3716	247.3716
19.00 น.	312.2342	251.4611
20.00 น.	279.8392	229.7667
21.00 น.	242.9812	205.8290
22.00 น.	205.9402	184.6867
23.00 น.	190.4910	176.4285
รวม	**4,689.9327**	**4,348.8678**

จากผลการศึกษาระบบไฟฟ้า พบว่าใน 1 วัน ก่อนที่จะติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน จะมีหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้น 4,689.9327 kWh และภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน จะมีหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้น 4,348.8678 kWh ลดลง 341.0648 kWh โดยในเดือนมกราคม 2561 มีวันธรรมดา จำนวน 22 วัน ดังนั้นจึงคิดเป็นหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงรวม 7,503.4265 kWh/เดือน

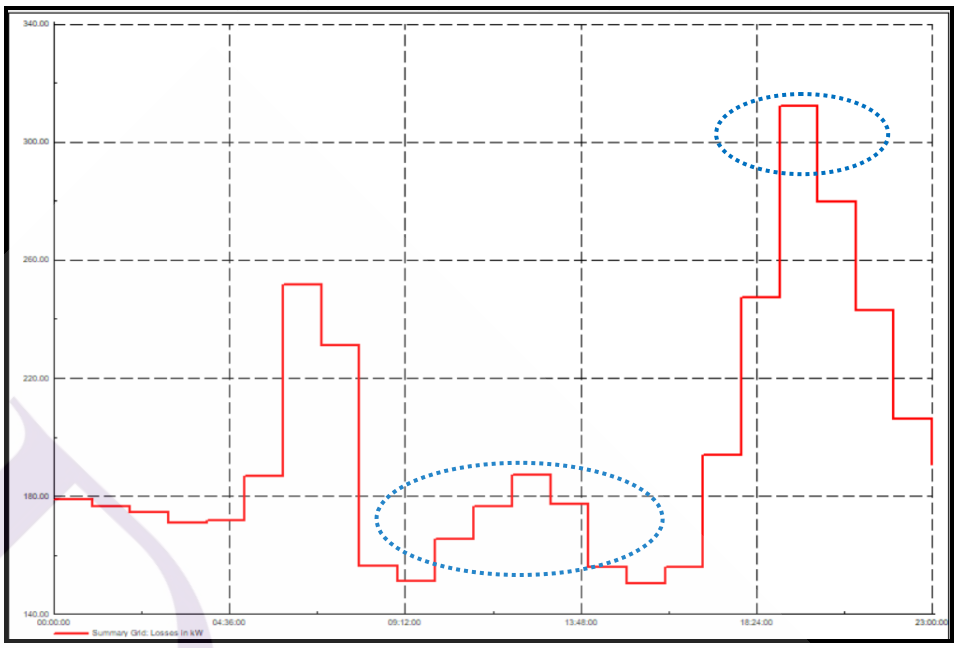
ทั้งนี้เมื่อนำผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าไปสร้างกราฟตามภาพที่ 4.15 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในช่วงเวลาที่ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานทำการกักเก็บพลังไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และทำการจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง



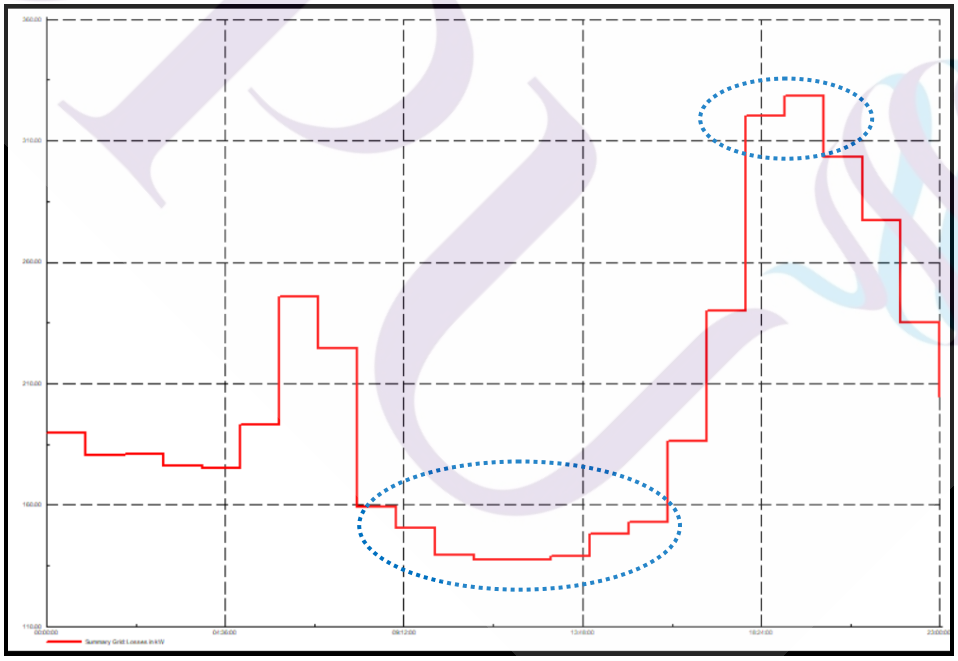
ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของวันธรรมดา ก่อนและหลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

4.3.6 วิเคราะห์ระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันหยุด

จากการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันหยุด ก่อนและหลังติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน พบว่าภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีค่าลดลง เท่ากับ 60.7716 kW แสดงดังตารางที่ 4.7 และจากภาพที่ 4.16 - 4.17 แสดงให้เห็นค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าจากโปรแกรม DigSILENT PowerFactory 15.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานทำการกักเก็บพลังไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และทำการจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. จะมีรูปร่างของกราฟที่แตกต่างกัน



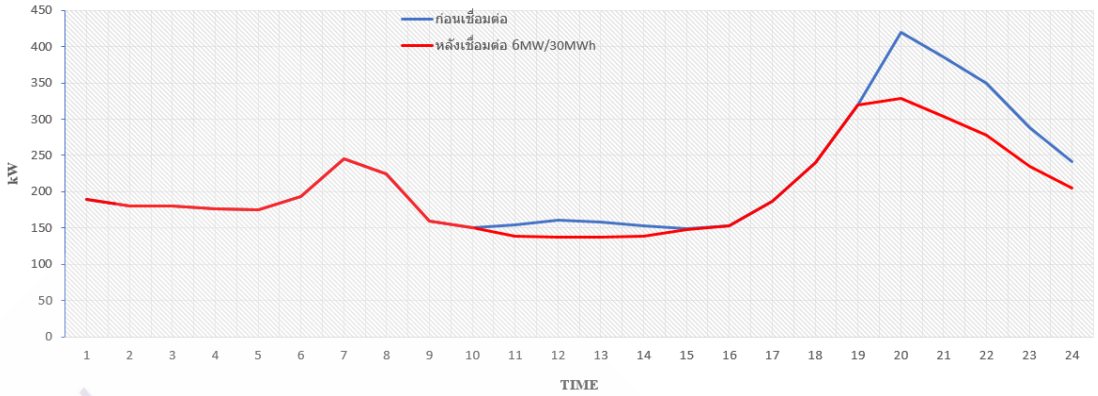
ภาพที่ 4.16 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าก่อนการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน



ภาพที่ 4.17 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าหลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันหยุด

เวลา	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (kW)	
	ก่อนเชื่อมต่อ	หลังเชื่อมต่อ
0.00 น.	189.5897	189.5897
1.00 น.	180.3197	180.3197
2.00 น.	180.8024	180.8024
3.00 น.	176.0325	176.0325
4.00 น.	175.0011	175.0011
5.00 น.	193.0889	193.0889
6.00 น.	245.9954	245.9954
7.00 น.	224.5324	224.5324
8.00 น.	159.0833	159.0833
9.00 น.	150.3332	150.3332
10.00 น.	153.9267	139.2733
11.00 น.	160.3187	137.4543
12.00 น.	158.7308	137.5563
13.00 น.	152.9254	139.0289
14.00 น.	149.3987	147.2424
15.00 น.	152.7549	148.0868
16.00 น.	186.5774	186.5774
17.00 น.	239.9956	239.9956
18.00 น.	320.1127	320.1127
19.00 น.	420.1616	328.2890
20.00 น.	385.9679	303.3718
21.00 น.	349.5945	277.4253
22.00 น.	288.0160	235.0114
23.00 น.	241.3511	204.5305
รวม	**5,234.6103**	**4,824.2464**



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าของวันหยุด ก่อนและหลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

จากผลการศึกษาระบบไฟฟ้า พบว่าใน 1 วัน ก่อนที่จะติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน จะมีหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าเกิดขึ้น 5,234.6103 kWh และภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน จะมีหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียเกิดขึ้น 4,824.2464 kWh ลดลง 410.3639 kWh โดยในเดือนมกราคม 2561 มีวันหยุด จำนวน 9 วัน ดังนั้นจึงคิดเป็นหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลงรวม 3,693.2750 kWh/เดือน

ทั้งนี้เมื่อนำผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าไปสร้างกราฟตามภาพที่ 4.18 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในช่วงเวลาที่ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานทำการกักเก็บพลังไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และทำการจ่ายพลังไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่าลดลง

4.3.7 ผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม

จากผลการศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ลดลงในวันธรรมดา เท่ากับ 7,503.4265 kWh/เดือน และมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ลดลงในวันหยุด เท่ากับ 3,693.2750 kWh/เดือน

ดังนั้นใน 1 เดือน ภายหลังจากติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลงรวม 11,196.7015 kWh/เดือน หรือคิดเป็น 134,360.4181 kWh/ปี และหากนำหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมมาคำนวณเป็นจำนวนเงิน โดยอ้างอิงจากอัตราค่าไฟฟ้าขายส่งตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU rate) ที่ กฟผ. ขายไฟให้กับ กฟภ. ณ ปลายสายส่ง 115 kV ตามตารางที่ 4.8 ที่สถานีไฟฟ้าบำเหน็จณรงค์ ของ กฟผ. จะได้

- หน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ลดลงในช่วง Peak จำนวน 7,503.4265 kWh/เดือน

คิดเป็นเงิน 30,370.87 บาท/เดือน หรือ 364,450.43 บาท/ปี (คิดที่ราคา 4.0476 บาท/ kWh)

- หน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ลดลงช่วง Off-Peak จำนวน 3,693.2750 kWh/เดือน คิดเป็นเงิน 8,699.51 บาท/เดือน หรือ 104,394.11 บาท/ปี (คิดที่ราคา 2.3555 บาท/ kWh)

หน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงภายหลังจากติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน คิดเป็นเงินรวม 468,844.54 บาทต่อปี

ตารางที่ 4.8 อัตราค่าไฟฟ้าขายส่งตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU rate) ที่ กฟผ. ขายไฟให้กับ กฟภ. ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558

ระดับแรงดันฟ้า	ค่าผลิตไฟฟ้า		ค่าบริการระบบส่ง		อัตราขายส่งรวม	
	Peak	Off-Peak	Peak	Off-Peak	Peak	Off-Peak
230 kV	3.1192	2.3316	0.2730	-	3.3922	2.3316
69-115 kV	3.1286	2.3341	0.4913	-	3.6199	2.3341
ณ ปลายสายส่ง 69, 115 kV	3.1948	2.3555	0.8528	-	4.0476	2.3555
11-33 kV	3.2017	2.3567	1.0226	-	4.2243	2.3567

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาเรื่อง “การศึกษาผลกระทบทางเทคนิคในระบบไฟฟ้ากับการติดตั้งแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานในสถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค” สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

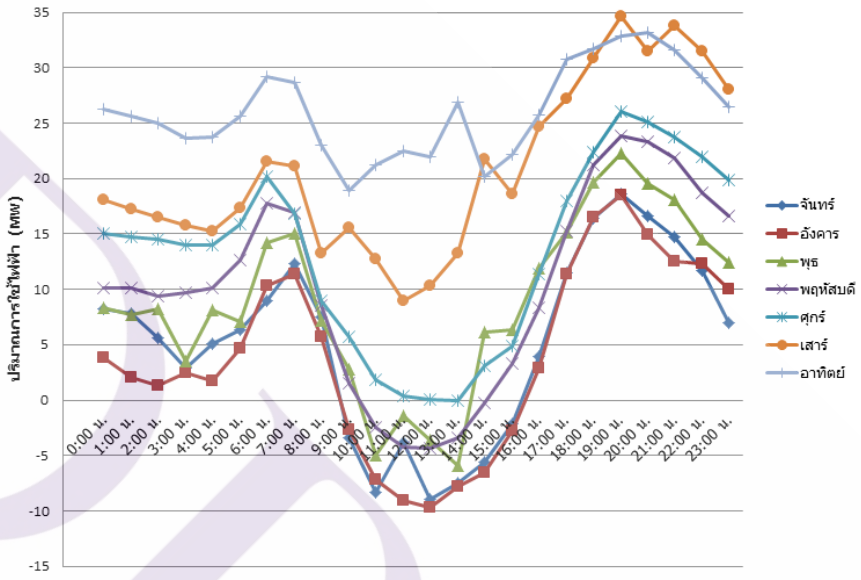
จากการศึกษาปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยช่วงเดือนมกราคม - เดือนพฤษภาคม 2561 ที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามตารางที่ 5.1 โดยการนำปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงของวันธรรมดาและวันหยุดในแต่ละเดือนไปหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงพบว่า มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ประมาณ 34 MW ในเดือนมีนาคม 2561 และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดที่ประมาณ 3 MW ในเดือนพฤษภาคม 2561 โดยในแต่ละเดือนนั้นมี Load Pattern ที่คล้ายคลึงกัน คือ ในช่วงเช้าจะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูง จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเที่ยง และในช่วงบ่ายจะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงช่วงดึกของทุกวัน

ตารางที่ 5.1 ปริมาณโหลดเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2561

เดือน	ปริมาณโหลด (MW)	
	สูงสุด	ต่ำสุด
มกราคม 2561	33	4
กุมภาพันธ์ 2561	31	6
มีนาคม 2561	34	6
เมษายน 2561	28	5
พฤษภาคม 2561	27	3

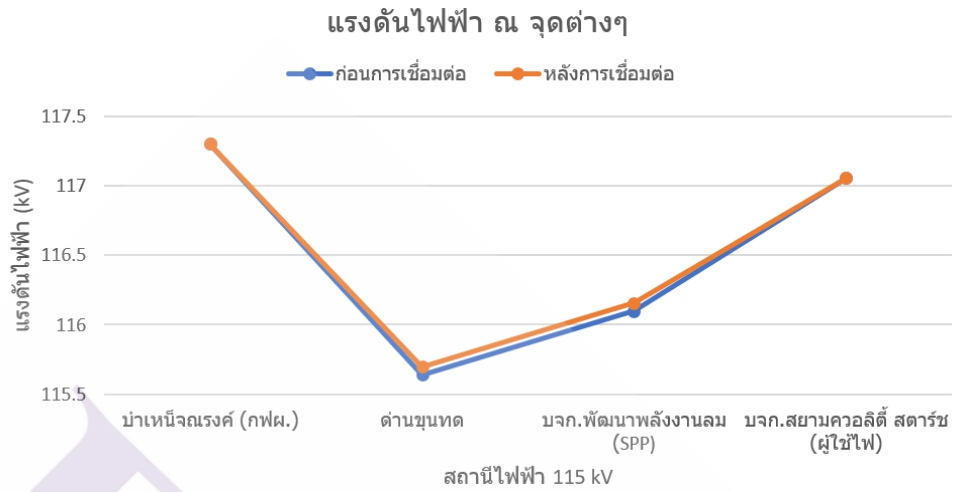
จากการศึกษาปริมาณการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงในรอบสัปดาห์ ช่วงวันที่ 1-7 มกราคม 2561 ตามภาพที่ 5.1 พบว่าในช่วงเวลา 9.00 -16.00 น. ของบางวันจะมีปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดมีค่าติดลบ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า มีปริมาณพลังไฟฟ้า

จากผู้ผลิตไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของ กฟภ. มากกว่าปริมาณความต้องการการใช้ไฟฟ้าโดยรวมในช่วงเวลานั้นๆ ส่งผลให้มีพลังไฟฟ้าไหลย้อนผ่านระบบส่งกลับไปยังสถานีไฟฟ้าบำเหน็จณรงค์ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นสถานีไฟฟ้าต้นทาง ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งของ กฟภ.

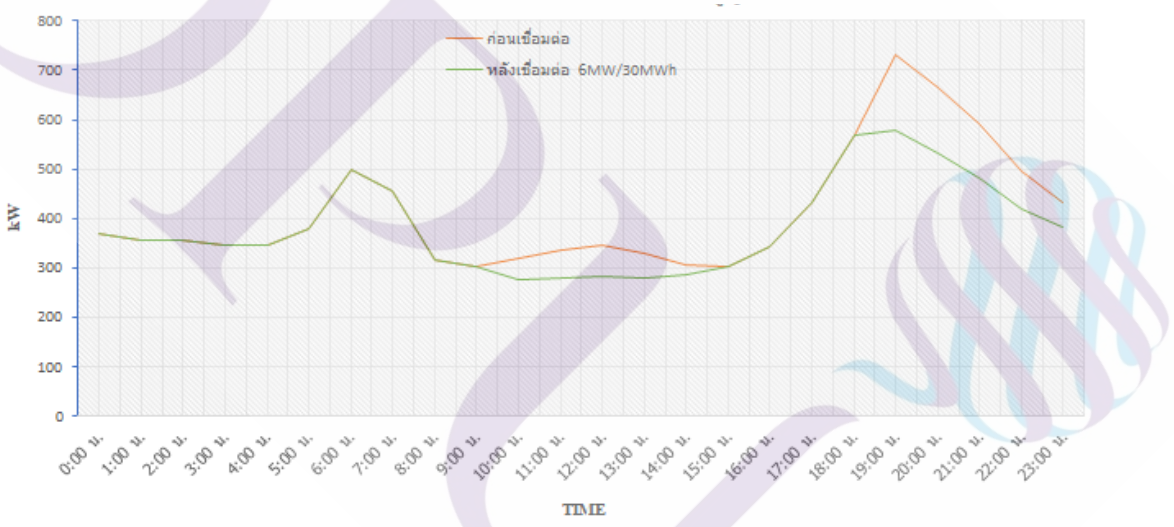


ภาพที่ 5.1 ปริมาณโหลดเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม - พฤษภาคม 2561

ภายหลังจากที่ติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh ที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด โดยให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Charge) ในช่วงเวลา 10.00 - 15.00 น. และจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Discharge) ในช่วงเวลา 19.00 - 24.00 น. ส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ในระบบไฟฟ้า 115 kV ของ กฟภ. ดีขึ้น ตามภาพที่ 5.2 และมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลง ตามภาพที่ 5.3 โดยมีหน่วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้าลดลงรวม 11,196.7015 kWh/เดือน หรือคิดเป็น 134,360.4181 kWh /ปี หรือคิดเป็นเงิน 468,844.54 บาท/ปี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการติดตั้งระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ขนาด 6 MW / 30 MWh ที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดนั้น สามารถช่วยบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าด่านขุนทดได้ และส่งผลดีต่อระบบไฟฟ้าโดยรวม



ภาพที่ 5.2 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ก่อนและหลังเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน



ภาพที่ 5.3 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ก่อนและหลังการเชื่อมต่อระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน

และจากการศึกษาเทคโนโลยีของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานพบว่า มีแบตเตอรี่หลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดี ข้อเสีย ประสิทธิภาพ และราคาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของแบตเตอรี่ และเทคโนโลยีในการกักเก็บพลังงาน ทั้งนี้พบว่ามีแบตเตอรี่ 3 ชนิด ด้วยกันที่ได้รับความนิยมและเหมาะสมในการนำมาใช้งานในระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นระบบใหญ่ คือ 1. ชนิด Lithium-ion (Li-ion) 2. ชนิด Sodium Sulfur (NaS) และ 3. ชนิด Vanadium Redox Flow (VRF)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานมีหลากหลายชนิด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ ดังนั้นการเลือกใช้งานควรจะศึกษาพื้นที่และขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมในการติดตั้ง โดยพิจารณาจากปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้า นโยบายด้านแผนพลังงานของภาครัฐ รวมถึงแผนงานโครงการปรับปรุงระบบไฟฟ้าของ กฟภ. ในอนาคตด้วย ซึ่งปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้าควรจะศึกษาข้อมูลปริมาณโหลดย้อนหลัง และการพยากรณ์โหลดในอนาคต สำหรับระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานควรประยุกต์ใช้งานหลายๆ ชนิดร่วมกัน เพราะแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน รวมถึงต้องศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ด้วย โดยอาจจะใช้โปรแกรมอื่นๆ ช่วยในการวิเคราะห์ เช่น โปรแกรม Homer Pro เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กองแผนงานระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ, (2016). *เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า.* กรุงเทพมหานคร: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558). *โครงการศึกษาแนวทางผสานพลังงานหมุนเวียนกับระบบไฟฟ้าและพัฒนานโยบายการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าขนาดใหญ่.* กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (2558) . *แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (PDP2015).*กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน

ธีระภัทร์ แมนมิตร, ปานจิตร ดำรงกุล กำจร (2558). *ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน.* วารสารวิจัยพลังงาน, 12(2), 75-94

ภาษาต่างประเทศ

P.Lombardi, F.Schwabe (2017).*Sharing economy as a new business model for energy storage system.* Applied Energy 188 (2017) 485-496

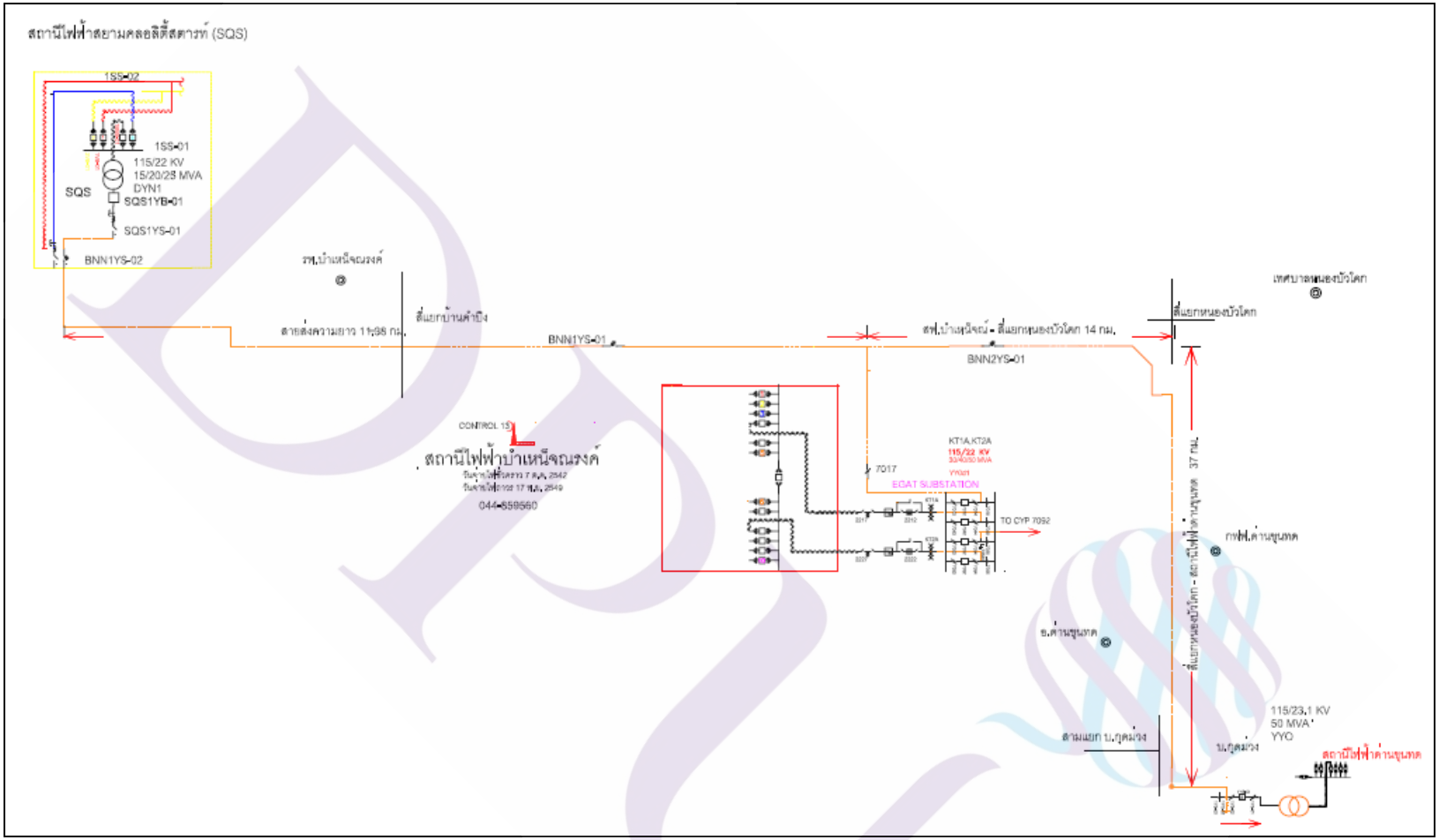
Claudia Rahman, Benjamin Mac-Clure, Vijay Vittal และ Felipe Valencia (2017). *Break-Even Points of Battery Energy Storage Systems for Peak Shaving Applications.* Energies 2017, 10(7) 833-846

Masoud Zebarjadi, Alireza Askarzadeh (2016) *Optimization of a reliable grid-connected PV-based power plant with/without energy storage system by a heuristic approach.* Solar Energy 2016, 125, 12-21

ภาคผนวก

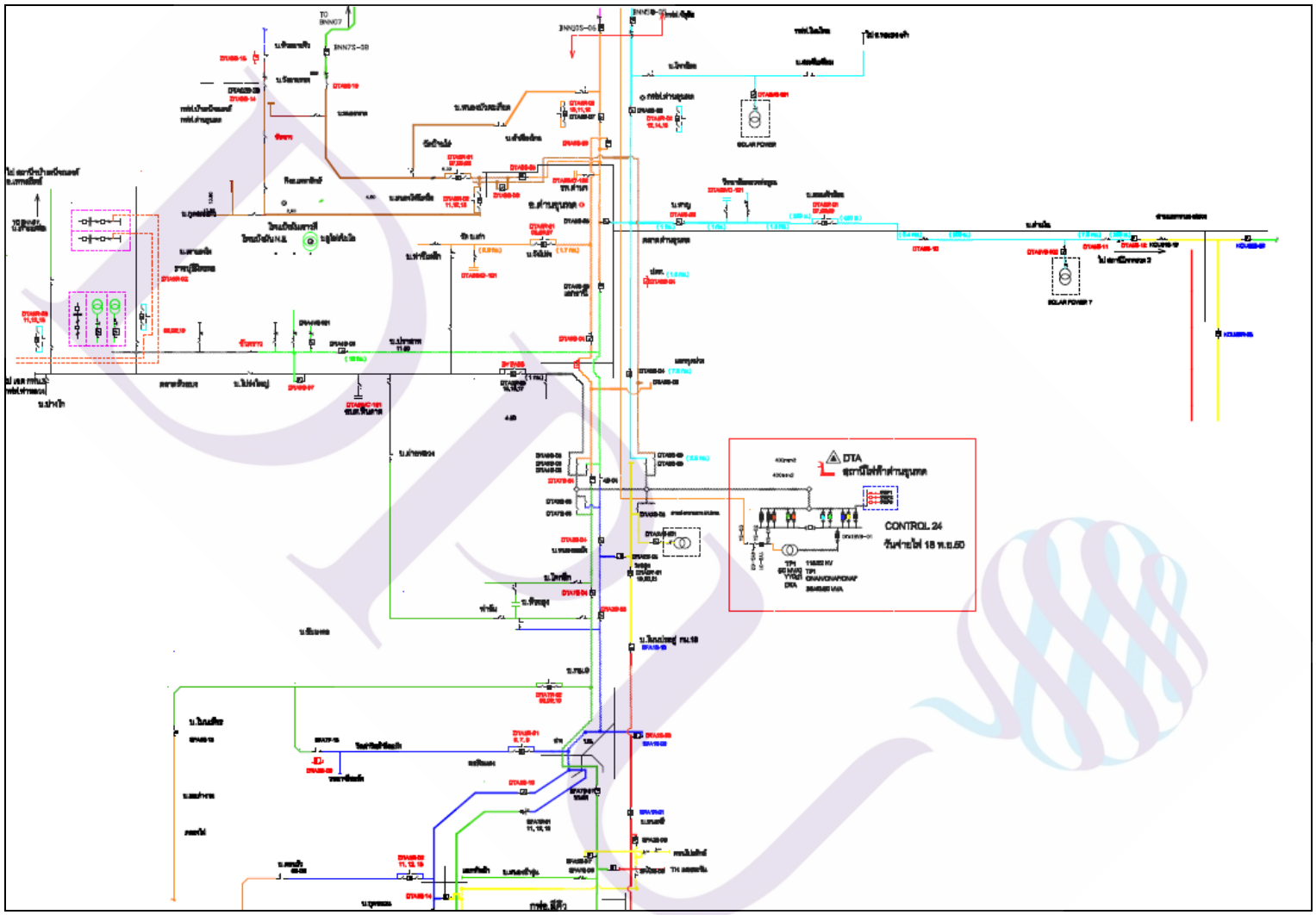
ภาคผนวก ก

แผนผังระบบไฟฟ้า 115 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด


สถานีไฟฟ้าสยามคลอสิตี้สตาร์ท (SQS)
1SS-02
1SS-01
115/22 KV
15/20/25 MVA
DYN1
SQS
SQS1YB-01
SQS1YS-01
BNN1YS-02
รพ.บำเหน็จณรงค์
สายส่งความยาว 11.98 กม.
สี่แยกบ้านค้ำยิง
BNN1YS-01
สถานีไฟฟ้าบำเหน็จณรงค์
044-859560
CONTROL 15
7017
KT1A,KT2A
115/22 KV
32/40/50 MVA
YYn0n
ECAT SUBSTATION
TO CYP 7092
BNN2YS-01
สพ.บำเหน็จณ์ - สี่แยกหนองบัวโคก 14 กม.
สี่แยกหนองบัวโคก
เทศบาลหนองบัวโคก
สี่แยกหนองบัวโคก - สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด 37 กม.
กฟภ.ด่านขุนทด
ร.ด่านขุนทด
สามแยก บ.กุดม่วง
บ.กุดม่วง
115/23.1 KV
50 MVA
YYO
สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

ภาคผนวก ข

แผนผังระบบไฟฟ้า 22 kV ของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด


DTA
CONTROL 24

ภาคผนวก ค

ปริมาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงของสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด

เดือนมกราคม 2561

เวลา / วันที่	ปริ มาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์)						
	1	2	3	4	5	6	7
0.00 น.	8.205206	3.786737	8.285775	10.12055	15.02976	18.12067	26.2508
1.00 น.	7.818842	2.036195	7.74926	10.12238	14.68001	17.20878	25.63005
2.00 น.	5.612354	1.292764	8.24366	9.366131	14.50972	16.50014	25.00931
3.00 น.	2.878506	2.429884	3.468124	9.664602	14.02997	15.76037	23.65062
4.00 น.	5.139928	1.724906	8.150274	10.08209	13.95123	15.24033	23.72021
5.00 น.	6.348461	4.68215	7.115696	12.68044	15.85925	17.37907	25.64837
6.00 น.	8.955962	10.3	14.17097	17.80023	20.1587	21.53935	29.19156
7.00 น.	12.27027	11.40965	14.99863	16.97989	16.80044	21.14017	28.6697
8.00 น.	7.483749	5.685599	7.201758	8.529313	8.944975	13.29936	23.00974
9.00 น.	-3.39671	-2.63314	2.753991	1.512497	5.676443	15.54064	18.92087
10.00 น.	-8.36085	-7.13218	-4.95499	-2.45186	1.818293	12.72988	21.20975
11.00 น.	-3.77575	-9.064	-1.43376	-4.21155	0.327769	8.96878	22.50984
12.00 น.	-8.95962	-9.6353	-3.56883	-4.32508	0.036622	10.27985	21.95868
13.00 น.	-7.51854	-7.77306	-5.95294	-3.36558	-0.08606	13.28105	26.86056
14.00 น.	-5.64531	-6.51143	6.143376	-0.21058	3.070773	21.77007	20.18983
15.00 น.	-2.11493	-2.74483	6.322825	3.323466	4.854274	18.56929	22.19855
16.00 น.	3.933226	2.894986	11.94067	8.338878	11.42064	24.72183	25.73992
17.00 น.	11.51952	11.34007	15.14145	15.21836	17.97052	27.23045	30.76083
18.00 น.	16.41957	16.50014	19.70092	21.19877	22.35969	30.85971	31.73864
19.00 น.	18.60958	18.47041	22.26997	23.88867	26.02008	34.6501	32.90139
20.00 น.	16.65945	14.96017	19.55992	23.30088	25.14847	31.46031	33.22001
21.00 น.	14.77889	12.53029	18.11884	21.8891	23.75134	33.84991	31.62877
22.00 น.	11.6715	12.28126	14.49873	18.71944	21.96966	31.48045	29.10001
23.00 น.	6.945402	9.966735	12.38929	16.65944	19.82177	28.05994	26.4687

เดือนมกราคม 2561 (ต่อ)

เวลา / วันที่	ปริ มาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์)						
	8	9	10	11	12	13	14
0.00 น.	24.64126	26.47053	24.55153	13.86151	11.40965	11.47191	20.27955
1.00 น.	23.96924	26.10981	24.48927	13.20963	7.727287	8.838771	19.76135
2.00 น.	23.08115	25.60991	24.71084	13.24076	8.417615	7.796869	18.63888
3.00 น.	22.57027	23.49132	23.05002	11.08005	8.047731	7.553331	15.34104
4.00 น.	22.92001	22.29011	22.38166	12.75918	8.543962	8.98526	14.44014
5.00 น.	24.32997	25.35905	22.87973	12.90933	10.32014	10.0528	17.34977
6.00 น.	29.23917	30.47884	26.45955	19.96094	14.71114	13.70953	22.05939
7.00 น.	28.73013	29.85992	25.07889	21.07059	15.95996	14.54085	20.79043
8.00 น.	22.24982	21.77923	24.59914	12.77017	9.596851	7.306132	9.873349
9.00 น.	16.13025	16.11011	18.17011	8.35902	1.790826	3.574328	2.202826
10.00 น.	19.84924	10.87863	14.76974	7.002167	-5.1619	-1.73956	0.653707
11.00 น.	15.71093	11.4005	13.44035	0.223396	-12.0487	0.598773	-0.56215
12.00 น.	18.33857	11.96081	11.03244	-5.16739	-11.7887	0.357067	-1.08402
13.00 น.	18.33857	14.7203	12.79031	-3.28684	-9.4705	3.241066	-1.44658
14.00 น.	15.13047	16.87002	14.98947	-2.06366	1.600391	4.004639	1.490524
15.00 น.	21.77923	22.44026	15.28977	2.349315	3.345439	6.756798	6.848354
16.00 น.	27.12973	25.06058	18.71944	8.236335	6.126896	13.85968	12.22999
17.00 น.	28.73012	28.0398	22.09967	11.85827	11.88025	19.06919	19.18088
18.00 น.	32.7604	32.67983	25.35905	15.88122	17.14103	24.04065	27.9812
19.00 น.	36.2212	35.28916	28.00867	17.37907	18.78903	30.23164	30.69857
20.00 น.	35.61876	33.70891	20.00855	16.34999	16.39027	30.22981	28.01965
21.00 น.	34.04035	33.21085	17.34062	12.47902	16.84988	27.96838	26.69942
22.00 น.	30.27924	30.98056	13.09976	11.94983	15.57909	24.30067	22.98044
23.00 น.	28.02881	27.49962	13.05033	12.66396	15.41063	21.42949	19.87854

เดือนมกราคม 2561 (ต่อ)

เวลา / วันที่	ปริ มาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์)						
	15	16	17	18	19	20	21
0.00 น.	17.42119	21.59978	22.85958	22.54097	23.26975	20.32899	25.01114
1.00 น.	18.29096	20.86001	22.18024	24.02051	23.06101	16.34999	24.32081
2.00 น.	18.50887	21.12919	21.69866	23.95093	22.64901	18.40083	23.4199
3.00 น.	17.16849	21.01932	21.77007	23.94909	22.96945	20.94974	24.00952
4.00 น.	17.95953	21.75909	22.18024	23.85022	22.66915	19.81994	23.85022
5.00 น.	21.29948	24.25855	24.58083	25.30961	22.9017	21.18961	25.70879
6.00 น.	26.89901	28.3401	29.9295	29.56877	26.06952	25.8388	29.66033
7.00 น.	26.89901	28.3401	29.38932	29.36003	24.83902	27.94824	29.88006
8.00 น.	17.70135	18.93918	23.66894	20.35829	15.97095	23.12876	22.26081
9.00 น.	9.430219	13.05948	17.32047	15.29893	8.750877	20.64943	17.62993
10.00 น.	6.071963	10.24873	12.27027	10.64425	4.35255	12.26478	12.12928
11.00 น.	10.57833	5.907163	9.609669	8.576922	8.208869	6.013367	8.489029
12.00 น.	4.890897	5.495163	9.1995	6.732994	0.274667	4.812159	8.847926
13.00 น.	12.91849	4.118168	9.225135	7.155981	1.677298	6.7275	9.89166
14.00 น.	14.07025	6.628621	22.83944	9.992371	4.066896	9.340495	22.4604
15.00 น.	17.61895	9.096957	19.71007	14.42915	9.351482	14.40169	18.06024
16.00 น.	18.8696	15.92151	25.76006	18.12983	13.80108	20.92959	24.86099
17.00 น.	23.33018	21.92938	29.53032	26.09882	20.96072	27.12058	27.51976
18.00 น.	24.79873	28.87845	30.87069	31.11972	25.52019	30.62899	30.83041
19.00 น.	28.49941	32.85928	34.15937	35.70116	29.14029	34.17035	35.84948
20.00 น.	27.62047	31.59032	32.74941	30.42024	29.34904	30.98972	35.29832
21.00 น.	24.74014	28.9407	29.66948	28.42982	26.38997	30.20051	32.7604
22.00 น.	21.44963	26.64998	26.64083	25.37004	22.59041	27.27989	29.94049
23.00 น.	20.59999	24.48012	22.81014	23.52977	21.95868	26.97958	26.39912

เดือนมกราคม 2561 (ต่อ)

เวลา / วันที่	ปริ มาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์)						
	22	23	24	25	26	27	28
0.00 น.	24.42152	22.41829	21.82134	24.01868	26.01825	27.46116	26.12079
1.00 น.	25.04044	23.00058	20.66042	24.5204	26.1391	26.25996	25.00015
2.00 น.	24.49843	23.70006	20.00122	24.75845	25.8388	27.24143	25.20157
3.00 น.	23.78063	24.60097	19.67895	24.04065	25.00015	27.61864	24.13953
4.00 น.	23.68175	23.42174	20.63845	22.87973	25.05875	26.7214	24.01868
5.00 น.	26.34053	25.82049	24.69985	25.99994	27.57836	28.35841	25.91937
6.00 น.	31.06113	30.63997	30.06134	32.21839	31.28086	33.21818	29.20072
7.00 น.	26.4211	26.69942	28.699	28.77956	28.17896	30.07965	28.06177
8.00 น.	16.76016	13.46049	17.45964	16.89932	19.36033	22.12165	23.90149
9.00 น.	11.72094	8.68862	12.84158	13.63994	14.63973	17.55852	21.52104
10.00 น.	9.040193	1.605884	8.681295	9.768975	11.50121	12.61818	16.32069
11.00 น.	5.641652	0.005493	7.4691	8.219855	9.421064	13.95856	12.33985
12.00 น.	4.704123	-1.1774	6.271554	6.828211	7.293314	16.32069	13.42021
13.00 น.	8.289437	0.162969	7.377544	8.19422	11.03977	17.96136	10.12055
14.00 น.	13.98053	10.61861	10.57833	17.54021	17.75994	14.37971	12.69875
15.00 น.	20.53957	7.9635	13.63994	13.1016	16.81875	17.75994	18.49971
16.00 น.	21.67852	11.50121	15.93982	20.70071	21.60161	23.75866	21.00101
17.00 น.	28.29981	20.36012	22.41829	25.86078	25.42131	28.21925	24.34095
18.00 น.	33.24015	24.35926	27.34031	29.85992	30.50081	31.47862	29.24101
19.00 น.	36.67897	29.77935	30.98056	33.4196	33.19987	33.96161	35.28001
20.00 น.	32.28065	29.39848	30.50081	32.14148	31.81921	33.33903	34.36079
21.00 น.	29.46074	26.43941	28.25953	30.54109	29.51933	33.70159	32.92154
22.00 น.	27.69921	23.70006	25.12101	27.77978	29.42045	31.5006	29.54131
23.00 น.	23.38145	23.9198	26.77999	27.95923	28.24122	26.99973	27.34031

เดือนมกราคม 2561 (ต่อ)

เวลา / วันที่	ปริ มาณโหลดการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมง (หน่วยเป็นกิโลวัตต์)		
	29	30	31
0.00 น.	25.56047	23.27891	22.87973
1.00 น.	24.78042	24.61928	23.71838
2.00 น.	24.49843	24.04065	23.49864
3.00 น.	23.5609	23.65978	25.64104
4.00 น.	23.01889	22.53914	25.35905
5.00 น.	24.90127	23.70006	27.46116
6.00 น.	30.36165	29.6585	33.21818
7.00 น.	27.86035	26.01825	29.72076
8.00 น.	16.25843	17.11905	21.74078
9.00 น.	13.50078	18.40083	19.97925
10.00 น.	10.12055	16.32069	14.92172
11.00 น.	7.220069	16.06067	6.260567
12.00 น.	12.64016	13.25907	5.627003
13.00 น.	12.72073	9.849544	8.333385
14.00 น.	7.611927	10.46114	16.67959
15.00 น.	16.9396	13.69854	11.09836
16.00 น.	18.52168	16.9396	17.2216
17.00 น.	22.34138	23.53893	23.96008
18.00 น.	26.09882	26.60054	24.78042
19.00 น.	31.36143	29.38017	30.36165
20.00 น.	32.29896	29.28129	28.95901
21.00 น.	30.43855	25.95965	26.46138
22.00 น.	27.94092	22.70028	22.53914
23.00 น.	26.82028	23.18003	20.82156

ช่วงวันที่ 1 - 7 มกราคม 2561

เวลา / วันที่	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
	1	2	3	4	5	6	7
0:00 น.	8.205206	3.786737	8.285775	10.12055	15.02976	18.12067	26.2508
1:00 น.	7.818842	2.036195	7.74926	10.12238	14.68001	17.20878	25.63005
2:00 น.	5.612354	1.292764	8.24366	9.366131	14.50972	16.50014	25.00931
3:00 น.	2.878506	2.429884	3.468124	9.664602	14.02997	15.76037	23.65062
4:00 น.	5.139928	1.724906	8.150274	10.08209	13.95123	15.24033	23.72021
5:00 น.	6.348461	4.68215	7.115696	12.68044	15.85925	17.37907	25.64837
6:00 น.	8.955962	10.3000	14.17097	17.80023	20.1587	21.53935	29.19156
7:00 น.	12.27027	11.40965	14.99863	16.97989	16.80044	21.14017	28.6697
8:00 น.	7.483749	5.685599	7.201758	8.529313	8.944975	13.29936	23.00974
9:00 น.	-3.39671	-2.63314	2.753991	1.512497	5.676443	15.54064	18.92087
10:00 น.	-8.36085	-7.13218	-4.95499	-2.45186	1.818293	12.72988	21.20975
11:00 น.	-3.77575	-9.064	-1.43376	-4.21155	0.327769	8.96878	22.50984
12:00 น.	-8.95962	-9.6353	-3.56883	-4.32508	0.036622	10.27985	21.95868
13:00 น.	-7.51854	-7.77306	-5.95294	-3.36558	-0.08606	13.28105	26.86056
14:00 น.	-5.64531	-6.51143	6.143376	-0.21058	3.070773	21.77007	20.18983
15:00 น.	-2.11493	-2.74483	6.322825	3.323466	4.854274	18.56929	22.19855
16:00 น.	3.933226	2.894986	11.94067	8.338878	11.42064	24.72183	25.73992
17:00 น.	11.51952	11.34007	15.14145	15.21836	17.97052	27.23045	30.76083
18:00 น.	16.41957	16.50014	19.70092	21.19877	22.35969	30.85971	31.73864
19:00 น.	18.60958	18.47041	22.26997	23.88867	26.02008	34.6501	32.90139
20:00 น.	16.65945	14.96017	19.55992	23.30088	25.14847	31.46031	33.22001
21:00 น.	14.77889	12.53029	18.11884	21.8891	23.75134	33.84991	31.62877
22:00 น.	11.6715	12.28126	14.49873	18.71944	21.96966	31.48045	29.10001
23:00 น.	6.945402	9.966735	12.38929	16.65944	19.82177	28.05994	26.4687

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายวัชรพล วะนะสนธิ์
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยหัวหน้าแผนกส่งเสริมพลังงานชีวมวลและลม กองส่งเสริมพลังงานทดแทนและผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค