การวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการเดินเครื่องสำหรับการวางแผนล่วงหน้า 1 วัน

นายเฉลิมจิต กลั่นสุภา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Impact Analysis of Renewable Energy Generation System on Spinning Reserve and Power Plant Operating Cost for Day-Ahead Planning

Mr. Chalermjit Klansupar

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการเดินเครื่องสำหรับการวางแผนล่วงหน้า 1 วัน
โดย	นายเฉลิมจิต กลั่นสุภา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พิสิษฐ์พล จิรพงศานานุรักษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.จิระ อาชายุทธการ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เฉลิมจิต กลั่นสุภา : การวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการเดินเครื่องสำหรับการวางแผนล่วงหน้า 1 วัน (Impact Analysis of Renewable Energy Generation System on Spinning Reserve and Power Plant Operating Cost for Day-Ahead Planning) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์, 123 หน้า.

ในปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรกำลังการผลิต จากต้นทุนการผลิตของแต่ละโรงไฟฟ้าและการพยากรณ์ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้านั้นมีความผันผวนตลอดทั้งวัน ส่งผลให้การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นต้องการกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองพร้อมจ่าย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองพร้อมจ่ายและต้นทุนการผลิตไฟฟ้า โดยใช้การจัดสรรกำลังผลิตที่พิจารณาถึงต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดเหตุไฟฟ้าดับ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณากรณีที่เพิ่มการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้า และ ใช้แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จากการปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ พบว่า เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงจะส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าต้องจัดสรรกำลังผลิตให้มีกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองพร้อมจ่ายสูง ในด้านของต้นทุนการผลิตพบว่า ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยรวมของ กฟผ. จะลดลงเนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนช่วยลดความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบ อย่างไรก็ตาม กฟผ. จะมีต้นทุนในการรับซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2560

5970134121 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: ECONOMIC DISPATCH / EXPECTED OUTAGE COST / POWER GENERATION SYSTEM / RENEWABLE ENERGY PENETRATION / SPINNING RESERVE.

CHALERMJIT KLANSUPAR: Impact Analysis of Renewable Energy Generation System on Spinning Reserve and Power Plant Operating Cost for Day-Ahead Planning. ADVISOR: ASST. PROF.SURACHAI CHAITUSANEY, Ph.D., 123 pp.

Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) has been using generation unit commitment based on power plants' operating cost and forecasted electricity demand to firmly accommodate electricity demand at any time. Nonetheless, the electricity demand generally fluctuates all the time over a day leading to the requirement of flexible spinning reserve.

This thesis proposes an impact analysis of renewable energy generation system on spinning reserve and operating cost. The analysis is carried out by using economic dispatch considering the fuel costs and expected costs of power outages in case of increasing renewable energy systems to power generation system. In addition, the proposed analysis model is illustrated using Thailand's power generation system. In the experiment, the impacts of renewable energy generation systems on spinning reserve and operating cost are analyzed in various scenarios by varying installed capacity of renewable energy generation systems. The results show that fluctuations in the output of renewable energy generation systems can cause an increase of the spinning reserve. In terms of operating cost, EGAT's overall operating costs are reduced because renewable energy systems reduce the electricity demand in the system. However, EGAT's operating costs will be additionally increased by the electricity purchase from renewable energy systems.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department:	Electrical Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Electrical Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2017		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรชัย ชัยทัศนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ รศ.ดร.แนบบุญ หุนเจริญ อาจารย์ ดร.พิสิษฐ์พล จิรพงศานานุรักษ์ และ ดร.จิระ อาชายุทธการ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และขอขอบพระคุณ แผนกบริการข้อมูลการผลิตและจ่ายไฟฟ้า กองสารสนเทศและประมวลผลข้อมูลการผลิตและซื้อขายไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นผู้ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ และ จัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจตลอดจนรุ่นพี่ และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยตลอดมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 3

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ 4

1.6 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ 4

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย 6

2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน 7

2.1.2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล 14

2.2 กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve) 19

2.2.1 ความหมายของกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย 19

2.2.2 การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย 21

2.2.3 คำศัพท์ที่ใช้เรียกกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย 23

บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 28

3.1 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย 28

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.1.1 ข้อมูลสถิติการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 29
3.1.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32
3.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้า 33
3.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ 34
3.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ และ ระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำสัญญา HVDC 36
3.2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm 37
3.2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm 38
3.3 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ 39
3.3.1 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อไม่มีการติดตั้ง RE-Firm 41
3.3.2 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน แบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW 44
3.3.3 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน แบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 47
3.3.4 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน แบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบโดยให้พลังงาน เท่ากับการติดตั้ง Non-Firm ในระบบ 300 MW 51
3.3.5 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน แบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW และ ติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวน 52
3.4 แบบจำลองความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน 57
บทที่ 4 การคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการเดินเครื่อง 59
4.1 การจัดสรรกำลังผลิต 59
4.1.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้า 59
4.1.2 ข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการจัดสรรกำลังการผลิต 60

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

4.1.3 การคำนวณพลังงานที่คาดว่าจะไม่สามารถจ่ายได้ Expected Energy Not Supplied (EENS).....61
4.2 การเปลี่ยนแปลงผลการเดินเครื่อง.....66
4.2.1 กรณีเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องหยุดการเดินเครื่อง.....66
4.2.2 กรณีเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่องเพิ่ม.....67
บทที่ 5 ผลการทดสอบ.....68
5.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย.....68
5.2 การทดสอบผลกระทบด้านต้นทุนการผลิต.....71
5.3 ผลการทดสอบช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดผลกระทบมากที่สุด.....75
5.3.1 ช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงสุด.....75
5.3.2 ช่วงเวลาที่กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมีค่าต่ำสุด.....78
5.4 ผลการทดสอบเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ.....80
5.3.1 ผลการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าที่กรณีต่างกัน.....81
5.3.2 ผลของค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิที่ต่างกันระหว่างวันทำงาน และ วันอาทิตย์.....90
บทที่ 6 สรุปผล.....97
5.1 สรุปผลการวิจัย.....97
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....98
รายการอ้างอิง.....99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 123

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ปี พ.ศ. 2560 6

ตารางที่ 2.2 การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในต่างประเทศ 21

ตารางที่ 2.3 คำศัพท์ที่ใช้เรียกกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของแต่ละเขตการจ่ายไฟฟ้า..... 26

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลที่ได้รับมาจาก กฟผ. [21]..... 28

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลการเดินเครื่องในวันทำงาน เดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2560..... 29

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 31

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 32

ตารางที่ 3.5 จำนวนโรงไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้แยกตามประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า..... 34

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้..... 34

ตารางที่ 3.7 รายชื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ในประเทศ [21]..... 36

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลความเชื่อถือได้ของโรงไฟฟ้า..... 64

ตารางที่ 4.2 การคำนวณโอกาสเกิดเหตุขัดข้อง..... 64

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การจัดสรรกำลังผลิต..... 65

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์การสัดสรรกำลังการผลิตหลาก G1 เกิดเหตุขัดข้อง..... 65

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงสุด 76

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบในช่วงเวลาที่กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมีค่าต่ำที่สุด 78

ตารางที่ 5.3 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีไม่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มเติม..... 81

ตารางที่ 5.4 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE Non-Firm 83

ตารางที่ 5.5 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE-Firm 84

ตารางที่ 5.6 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE-Firm ให้พลังงานเท่ากับ Non-Firm 300 MW..... 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.7 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE-Non-Firm และ แบตเตอรี่ 87
ตารางที่ 5.8 สรุปผลกระทบด้านต้นทุนจากการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ 89
ตารางที่ 5.9 สรุปผลกระทบด้านต้นทุนจากการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ 90
ตารางที่ 5.10 ผลการเปรียบเทียบเปรียบเทียบวันทำงาน และ วันอาทิตย์ 91
ตารางที่ 5.11 อัตราสนับของทุกๆเดือนในปี พ.ศ. 2560.....93
ตารางที่ 5.12 ต้นทุนเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน [25].....93
ตารางที่ 5.13 ต้นทุนเชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติ [25].....94
ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์อัตราสนับสนุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนกรณีต่างๆ.....95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี พ.ศ. 2560 7

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมงในรอบ 1 วัน 9

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมรายชั่วโมงในรอบ 1 วัน..... 10

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กรายวันในรอบ 1 เดือน 11

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะรายวัน ในรอบ 1 เดือน .. 12

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลรายวันในรอบ 1 เดือน..... 12

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพรายวันในรอบ 1 เดือน 13

รูปที่ 2.8 โรงไฟฟ้าพลังความร้อน 14

รูปที่ 2.9 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 16

รูปที่ 2.10 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ ที่มา: [online] http://mechanical-engineering-info.blogspot.com [9] 18

รูปที่ 2.11 ระยะเวลาการตอบสนองของกำลังผลิตสำรองในการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้า..... 25

รูปที่ 3.1 กำลังการผลิตแยกตามประเภทของโรงไฟฟ้าวันทำงาน เดือน มกราคม 33

รูปที่ 3.2 กำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้แยกตามประเภทการเดินเครื่องวันทำงาน เดือน มกราคม ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 [21] 35

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเดินเครื่องระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อน..... 37

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเดินเครื่องระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm 38

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งหนึ่ง ใน 5 วัน 39

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมแห่งหนึ่ง ใน 5 วัน 39

รูปที่ 3.7 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานเดือน มกราคม พ.ศ. 2560..... 42

รูปที่ 3.8 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานเดือน เมษายน พ.ศ. 2560 42

รูปที่ 3.9 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 43

รูปที่ 3.10 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงาน 43

รูปที่ 3.11 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560 44

รูปที่ 3.12 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงาน เดือน เมษายน พ.ศ. 2560 45

รูปที่ 3.13 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงาน เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 45

รูปที่ 3.14 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงานเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 46

รูปที่ 3.15 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้งเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน มกราคม พ.ศ. 2560 47

รูปที่ 3.16 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้งเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน เมษายน พ.ศ. 2560 48

รูปที่ 3.17 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้งเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 48

รูปที่ 3.18 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้ง RE-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 49

รูปที่ 3.19 การเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิทั้ง 3 กรณี วันทำงาน 50

รูปที่ 3.20 การเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิทั้ง 3 กรณี วันทำงาน 50

รูปที่ 3.21 การเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิทั้ง 3 กรณี วันทำงาน 51

รูปที่ 3.22 การผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานหมุนเวียนในกรณีที่ 4 52

รูปที่ 3.23 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 436 MW 54

รูปที่ 3.24 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมขนาด 616 MW 54

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.25 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 436 MW และพลังงานลมขนาด 616 MW 55

รูปที่ 3.26 การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ใน 1 วัน 55

รูปที่ 3.27 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 436 MW และพลังงานลมขนาด 616 MW หลังทำการปรับด้วยแบตเตอรี่.....56

รูปที่ 3.28 ค่า SoC ของแบตเตอรี่ที่ได้จากการคำนวณใน 1 วัน.....56

รูปที่ 3.29 ตัวอย่างข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใน 5 วัน.....57

รูปที่ 3.30 ตัวอย่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ใน 5 วัน 57

รูปที่ 3.31 ค่าความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ในแต่ละเดือน 58

รูปที่ 4.1 พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่าย เมื่อระบบไฟฟ้าสูญเสียกำลังผลิต Ok 62

รูปที่ 4.2 การคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ 63

รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย.....69

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม.....70

รูปที่ 5.3ตัวอย่างการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย วันทำงาน เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 72

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ วันทำงาน เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 73

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้ายและความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ วันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560.....74

รูปที่ 5.6 ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยในวันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560 ..75

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า.....77

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า.....77

รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า.....79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตสำรอง และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า.....79
รูปที่ 5.11 แนวทางการวิเคราะห์อัตราสนับสนุนจากต้นทุนที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน สามารถลดได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้.....95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

เนื้อหาของบทนำนี้ประกอบด้วย ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน ความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละปี เนื่องจากการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและประชากร ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จำเป็นต้องจัดหาแหล่งพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้า สำหรับการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้านั้น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยไม่ได้ให้ความสำคัญแค่เพียงการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ แต่ยังให้ความสนใจกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอีกด้วย พลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่จำกัด และการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นต้นเหตุหนึ่งของมลพิษในอากาศ ทำให้ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน รวมไปถึงการใช้พลังงานหมุนเวียนต่างๆ เช่น แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (Power Development Plan: PDP2015) [1], แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015) [2] เป็นต้น ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในประเทศไทยมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม พลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง (Intermittent Sources) และไม่แน่นอน เป็นพลังงานที่มีข้อจำกัดทั้งเรื่องเวลาและสภาพอากาศ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้เฉพาะเวลากลางวันในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ หรือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมที่มีกำลังผลิตไฟฟ้าขึ้นกับความเร็วลม เป็นต้น ดังนั้นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบไฟฟ้าที่มีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคตจึงหมายความว่า แนวโน้มของกำลังผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบในอนาคตจะมีความไม่แน่นอนสูงขึ้นและอาจส่งผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้าโดยรวมของประเทศ

ความไม่แน่นอนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ตัวอย่างเช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตลดลงอย่างรวดเร็วจากการบดบังของเมฆ ทำให้โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบต้องเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าให้ทันเวลาเพื่อทดแทนกำลังไฟฟ้าที่ลดลงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความไม่แน่นอนถูกติดตั้งในระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ต้องมีความสามารถในการเร่งเครื่องเพื่อเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงระบบไฟฟ้าต้องการกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve) เพิ่มขึ้น กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย คือ กำลังผลิตสำรองจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่และสามารถสั่งเพิ่มการจ่ายไฟฟ้าได้ทันทีที่ระบบมีความต้องการ ซึ่งตามมาตรฐานต้องมีจำนวน 800 – 1,600 เมกะวัตต์ หรืออย่างน้อยมากกว่ากำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุด [3] เพื่อรองรับเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ หากเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้าหรือกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่ผันผวนอย่างรวดเร็ว ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าแห่งชาติสามารถสั่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทันทีเพื่อป้องกันปัญหาไฟฟ้าตกหรือดับ ซึ่งอาจลุกลามจนเกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง (Blackout) ได้

การที่ระบบมีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมากขึ้นหมายความว่า ระบบสามารถรองรับความผันผวนของความต้องการใช้ไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น สามารถรองรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนได้มากขึ้น สามารถรองรับเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้าได้ดีขึ้นและทำให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากเหตุไฟฟ้าดับลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องจากอาจต้องเพิ่มจำนวนโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่อง และโรงไฟฟ้าอาจถูกกำหนดให้ผลิตไฟฟ้าในค่าที่ต่ำกว่าจุดที่คุ้มค่าที่สุด (Optimal Output)

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอวิธีการประเมินกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเพื่อหากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมาะสมที่สุด และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนกับปริมาณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้า โดยใช้ระบบทดสอบคือระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยตั้งแต่ปีพ.ศ. 2558 – 2579 โดยอ้างอิงจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์

เสนอแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย(Spinning Reserve) และ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) ใช้ระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ในปี พศ. 2560.
2) พิจารณาให้กำลังผลิตสำรองต้องรองรับเหตุขัดข้องจากโรงไฟฟ้า และ ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนได้
3) พิจารณาให้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เท่านั้นที่ต้องการกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย
4) พิจารณาให้กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายคำนวณจากโรงไฟฟ้าประเภท Thermal, Combined Cycle และ Gas Turbine เท่านั้น
5) โรงไฟฟ้าประเภท อื่นๆ นอกเหนือจาก Thermal, Combined Cycle และ Gas Turbine กำหนดให้การผลิตไฟฟ้าเป็นไปตามข้อมูลในอดีต
6) กำหนดให้อัตราการใช้เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้ามีค่าคงที่
7) กำหนดให้เชื้อเพลิงมีความพร้อมใช้ตลอดเวลา

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1) รวบรวมข้อมูลที่สำคัญของระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย
2) รวบรวมข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย
3) รวบรวมข้อมูลกำลังผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมของประเทศไทย
4) ศึกษาความหมายและวิธีการกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของเขตการจ่ายไฟฟ้าต่างๆ
5) สร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าและแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทย
6) พัฒนาโปรแกรมสำหรับจัดสรรกำลังการผลิต
7) ทดสอบโปรแกรมดังกล่าวกับระบบไฟฟ้าของประเทศไทย
8) สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบ
9) เขียนบทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1) สามารถประเมินผลกระทบด้านกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นกับระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้
2) ได้มาตรการที่เหมาะสมในการลดผลกระทบและหรือควบคุมผลกระทบของการเข้ามาของ / โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนไม่ให้มากเกินกว่าที่ระบบจะรับได้

1.6 งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

ในบทความวิจัยเรื่อง “Optimizing the Spinning Reserve Requirements Using a Cost/Benefit Analysis” [4] ได้เสนอแนวคิดการกำหนดค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายและค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการตัดโหลดเมื่อเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้า โดยคำนวณจากการวางแผนการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้า (Generation Unit Commitment) และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเมื่อกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่ค่าต่างๆ เช่น ขนาดของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุด ร้อยละ 2.5, 5 และ 10 ของความต้องการใช้ไฟฟ้า ซึ่งบทความนี้ให้แนวคิดว่า การที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ (Net Demand) มีความผันผวนมากขึ้น ทำให้กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายการต้องมีปริมาณเพิ่มขึ้น หากกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมีค่ามากเกินไปจะทำให้ต้นทุนค่าเดินเครื่องโรงไฟฟ้ามีความสูงขึ้น แต่ช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องกำหนดค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายอย่างเหมาะสมที่สุดเพื่อความคุ้มค่าทางหลักเศรษฐศาสตร์ จากการศึกษาพบว่าในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลการวางแผนการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าก่อน ถึงจะสามารถคำนวณค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายได้ ซึ่งขั้นตอนการคำนวณการวางแผนเดินเครื่องโรงไฟฟ้านั้น ซับซ้อนและใช้เวลานานในการคำนวณ

ในบทความวิจัยเรื่อง “Determination of Maximum Wind Power Penetration in an Isolated Island System by Considering Spinning Reserve” [5] ได้วิเคราะห์ความสามารถในการรองรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมของระบบไฟฟ้าเกาะเผิงหู ซึ่งเป็นเกาะๆ หนึ่งของไต้หวัน โดยพิจารณาที่ช่วงเวลาหนึ่งที่ความต้องการใช้ไฟฟ้า 35 เมกะวัตต์ และพิจารณาเฉพาะสายส่งที่ยาวที่สุดสั้นที่สุด และสายส่งที่มีความอ่อนไหวต่อแรงดันไฟฟ้า (Voltage - sensitive) มากที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้บ่งบอกว่า เมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมถูกติดตั้งในระบบไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระบบต้องการกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมากขึ้น ทำให้จำนวนโรงไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่องเพิ่มขึ้น และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ส่งผลให้ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แนวคิดที่ได้รับจากงานวิจัยนี้คือการเลือกพิจารณาเฉพาะสถานการณ์ที่มีนัยสำคัญ ตัวอย่างเช่น ช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุด หรือระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนมากที่สุด เป็นต้น จากการศึกษาบทความนี้พบว่าไม่ได้มีการพิจารณาถึง ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการตัดโหลดเมื่อเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้แนวคิดจากบทความวิจัยเรื่อง “Optimizing the Spinning Reserve Requirements Using a Cost/Benefit Analysis” เป็นหลักการในการกำหนดค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเพิ่มค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายและค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการตัดโหลดเมื่อเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้าแต่จะเปลี่ยนขอบเขตเหตุการณ์ที่พิจารณาโดยเลือกเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญมาพิจารณาแทนซึ่งได้แนวความคิดจากบทความวิจัยเรื่อง “Determination of Maximum Wind Power Penetration in an Isolated Island System by Considering Spinning Reserve” เพื่อพิจารณาการเดินเครื่องเฉพาะช่วงเวลาที่สนใจ เช่น ช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนที่สุด หรือ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในระบบมีค่าต่ำสุด เป็นต้น โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการจัดสรรกำลังผลิตในช่วงเวลาที่สนใจให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งในส่วนของระบบทดสอบนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเป็นระบบทดสอบเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการเดินเครื่องของระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บท โดยแบ่งเนื้อหาเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานข้อง

บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายประเทศไทย

บทที่ 4 การคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการผลิต

บทที่ 5 ผลการทดสอบ

บทที่ 6 สรุปผล

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยคำนึงถึงผลกระทบในระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ซึ่งในบทนี้จะประกอบไปด้วย 2 หัวข้อได้แก่ ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย และ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve)

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

ปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการพัฒนาเศรษฐกิจและการดำเนินชีวิต ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องมีกำลังผลิตและกำลังผลิตสำรองมากพอเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้น โดยแหล่งพลังงานหลักสำหรับการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยในปี พ.ศ. 2560 คือเชื้อเพลิงฟอสซิลประเภทก๊าซธรรมชาติ ซึ่งมีสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 66.87% รองลงมาคือถ่านหินประมาณ 14.23% และพลังงานน้ำประมาณ 12.03% เนื่องจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีอยู่จำกัด ทำให้ราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น นอกจากนี้การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นพลังงานหมุนเวียนจึงเข้ามามีบทบาทในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับระบบผลิตไฟฟ้าประเภทต่างๆ ในประเทศไทย ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแสดงใน ตารางที่ 2.1 และ รูปที่ 2.1Error! Reference source not found.

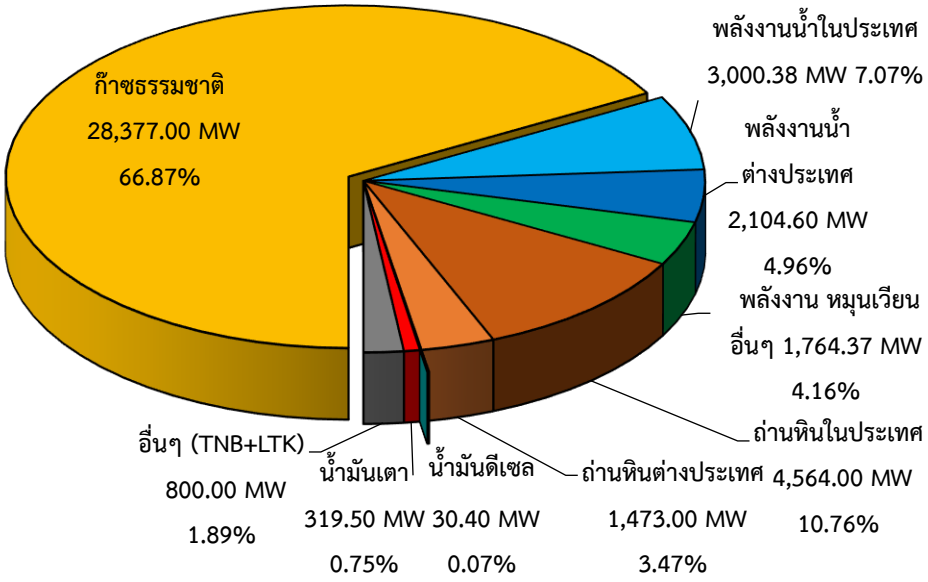
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ปี พ.ศ. 2560

แยกตามประเภทเชื้อเพลิง	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	สัดส่วน (%)
ก๊าซธรรมชาติ	28,377.00	66.87
พลังน้ำในประเทศ	3,000.38	7.07
พลังน้ำต่างประเทศ	2,104.60	4.96
พลังงานหมุนเวียนอื่นๆ	1,764.37	4.16

แยกตามประเภทเชื้อเพลิง	กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	สัดส่วน (%)
ถ่านหินในประเทศ	4,564.00	10.76
ถ่านหินต่างประเทศ	1,473.00	3.47
น้ำมันดีเซล	30.40	0.07
น้ำมันเตา	319.50	0.75
อื่นๆ (TNB+LTK)	800.00	1.89
รวม	42,433.25	100.00

ที่มา: “ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ปี 2560” [6]



รูปที่ 2.1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี พ.ศ. 2560

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2560 [6]

2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกนั้นเกือบทั้งหมดเป็นโรงไฟฟ้าประเภท Non-Firm ซึ่งไม่สามารถควบคุมการผลิตไฟฟ้าได้ ส่งผลให้ไม่สามารถลดกำลังผลิตไฟฟ้า

สูงสุดของประเทศได้ (ไม่สามารถลด Peak Load ได้) โดยกำลังผลิตไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ตามเทคโนโลยีของการผลิตไฟฟ้าดังนี้

1) พลังงานแสงอาทิตย์
2) พลังงานลม
3) พลังน้ำ
4) ขยะ
5) ชีวมวล
6) ก๊าซชีวภาพ
7) พืชพลังงาน

โดยในแต่ละโรงไฟฟ้าอาจประกอบด้วยเทคโนโลยีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ที่เหมาะสมกับเชื้อเพลิงนั้นๆ เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ด้วยระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar photovoltaic) ต้องอาศัยเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์สำหรับแปลงกระแสไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ในขณะที่การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังน้ำจะอาศัยกังหันลมหรือกังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส/เหนี่ยวนำในการผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ นอกจากนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ จะอาศัยเทคโนโลยีด้านเครื่องยนต์ลูกสูบ ระบบผลิตไอน้ำ กังหันไอน้ำ กังหันก๊าซ คอนเวอร์เตอร์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส/เหนี่ยวนำ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีที่ได้กล่าวมานั้นเป็นเพียงเทคโนโลยีพื้นฐานสำหรับการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น กล่าวคือโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละแห่งอาจมีการใช้เทคโนโลยีมากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับเทคโนโลยีที่กล่าวมาข้างต้น โดยขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี โดยได้แบ่งการผลิตกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

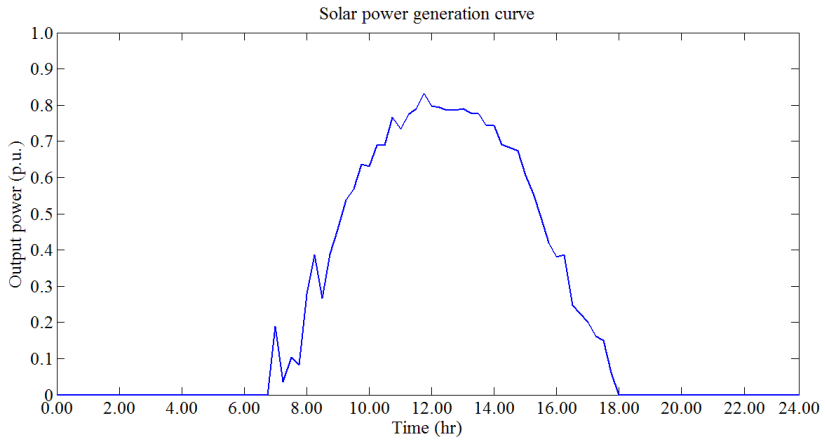
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) โรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ไม่สามารถควบคุมกำลังผลิตได้

โรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ไม่สามารถควบคุมกำลังผลิตได้จะเป็นโรงไฟฟ้าที่ไม่สามารถกำหนดหรือควบคุมปริมาณของแหล่งเชื้อเพลิง ณ เวลาที่ต้องการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้านั้นได้ ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และ โรงไฟฟ้าจากพลังงานลม

โรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

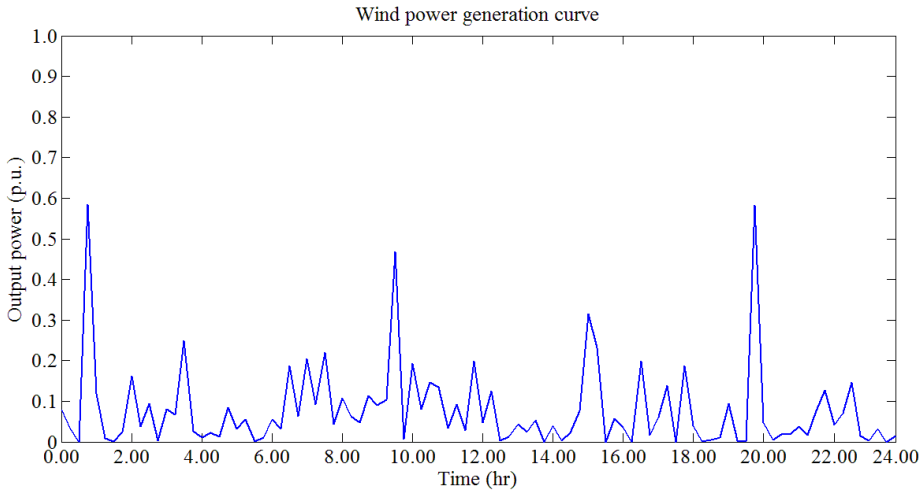
ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ผิวหนึ่งจะส่งผลต่อศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ณ บริเวณนั้น ส่งผลให้กราฟกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับเวลามีลักษณะคล้ายรูประฆังคว่ำดังรูปที่ 2.2 กล่าวคือในวันที่สภาพอากาศเป็นปกติกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวันและมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลากลางคืน อย่างไรก็ตามในวันที่สภาพอากาศแปรปรวนหรือผิดไปจากปกติก็อาจทำให้กำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมงในรอบ 1 วัน

โรงไฟฟ้าจากพลังงานลม

ปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเร็วของลมในแต่ละบริเวณ โดยพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทยจะมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมสูงเนื่องจากบริเวณภาคใต้ตอนล่างจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม และบริเวณภาคใต้ตอนบนจะได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม อย่างไรก็ตามเนื่องจากในประเทศไทยความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูงดังนั้นกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมจึงมีความไม่แน่นอนดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมรายชั่วโมงในรอบ 1 วัน

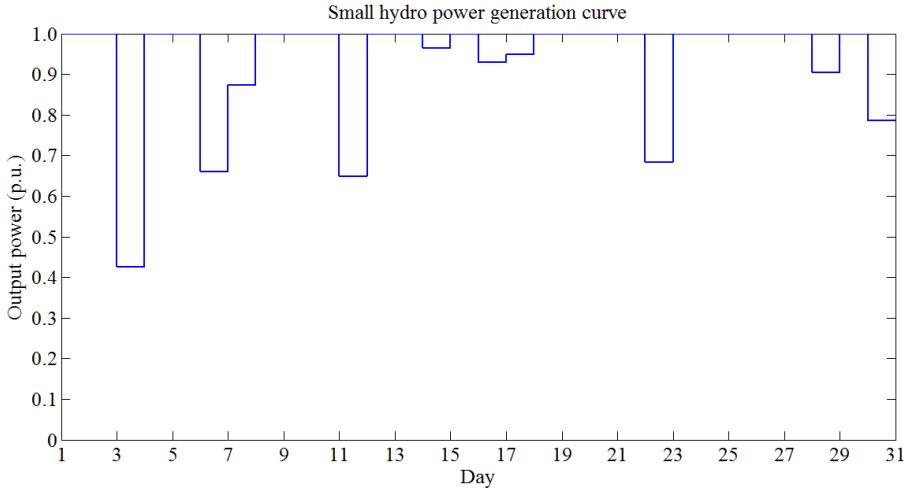
2) โรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่สามารถควบคุมกำลังผลิตได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่สามารถควบคุมกำลังผลิตได้จะเป็นโรงไฟฟ้าที่สามารถกำหนดหรือควบคุมปริมาณของแหล่งเชื้อเพลิง ณ เวลาที่ต้องการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้านั้นได้ ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ โรงไฟฟ้าจากพลังงานขยะ โรงไฟฟ้าจากชีวมวล โรงไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ และ โรงไฟฟ้าจากพืชพลังงาน โดยกำลังผลิตที่โรงไฟฟ้าแต่ละแห่งสามารถผลิตได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดหาของเชื้อเพลิงแต่ละชนิด เช่น ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมจำนวนมากทำให้สามารถจัดหาแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลได้จำนวนมากจึงทำให้โรงไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลมีศักยภาพค่อนข้างสูง เป็นต้น อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงชีวมวลประเภทต่างๆ ยังคงมีความไม่แน่นอนในแต่ละฤดูกาล หากพึ่งพาการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งชีวมวลใดมากเกินไปอาจทำให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าบางฤดูกาลมีความเชื่อถือได้ต่ำ เนื่องจากไม่สามารถจัดหาเชื้อเพลิงได้

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็ก

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำประเภทนี้ไม่มีอ่างเก็บน้ำ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ และมีความผันผวนดังรูปที่ 2.4 โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำประเภทนี้มักสร้างอยู่ในพื้นที่ที่ค่อนข้างราบ โดยมีอาคารสำหรับทดน้ำให้สูงขึ้น และมักสร้างในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมากและมีน้ำไหลผ่านตลอดปี ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำประเภทนี้ เช่น โรงไฟฟ้าเขื่อนปากมูล เป็นต้น

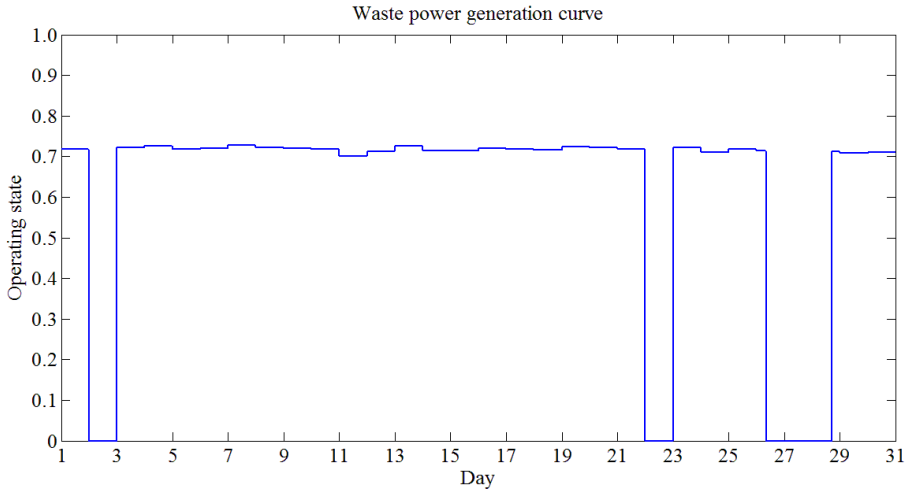


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดเล็กรายวันในรอบ 1 เดือน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานขยะ

หลักการเลือกเชื้อเพลิงขยะ เริ่มจากการคัดแยกขยะที่ไม่สามารถเผาได้ (โลหะ แก้ว เศษหิน) ขยะอันตราย และขยะรีไซเคิลออก เชื้อเพลิงขยะส่วนใหญ่ประกอบไปด้วย ขยะอินทรีย์ ไม้ ผ้า ซึ่งขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษผักผลไม้ บางส่วนอาจถูกคัดแยกไปหมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพต่อไป ส่วนขยะที่เผาได้อื่นๆ จะถูกย่อยเพื่อลดขนาดและเข้าเตาอบเพื่อลดความชื้น และถูกส่งเข้าไปในเครื่องอัดเม็ดเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงขยะอัดเม็ดที่มีขนาดและความหนาแน่นเหมาะสมกับการขนย้ายหรือเผา ซึ่งจะมีลักษณะการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 2.5

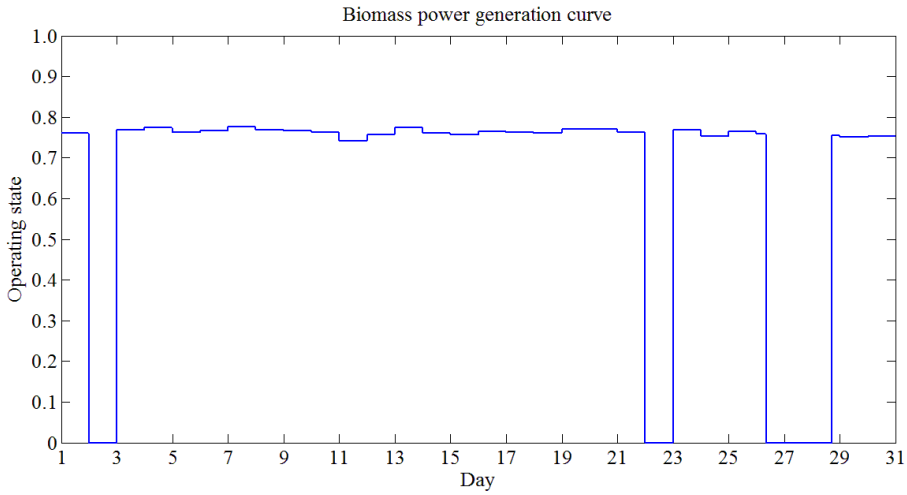
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะรายวัน ในรอบ 1 เดือน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

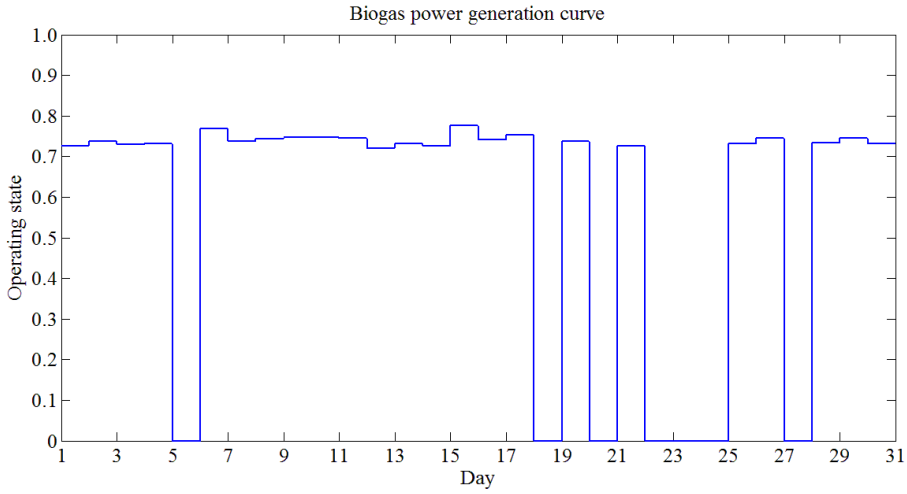
เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ ซึ่งได้มาจากพืชหรือสัตว์ต่างๆ รวมไปถึงวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เป็นต้น โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลส่วนมากมักใช้ระบบเผาไหม้โดยตรง (Direct-fired) โดยนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาเผาไหม้โดยตรงในหม้อไอน้ำ (Boiler) และถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นแก่น้ำ เพื่อให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อนำไปปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะได้ลักษณะการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลรายวันในรอบ 1 เดือน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทางเลือกที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้มีวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างหลากหลาย เช่น ของเสียจากภาคอุตสาหกรรม ภาคปศุสัตว์ และภาคชุมชน โดยปกติก๊าซชีวภาพเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกลุ่มจุลินทรีย์ มีองค์ประกอบ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ก๊าซไฮโดนเจน (H_2) ก๊าซไฮโดนเจนซัลไฟล์ (H_2S) และไอน้ำ ก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้านั้นเกิดจากกระบวนการแปรรูปเชื้อเพลิงชีวมวล ได้แก่ กระบวนการผลิตก๊าซ (Gasification) และการหมักด้วยแบคทีเรียในสภาวะไร้อากาศ (Fermentation) ซึ่งเมื่อนำก๊าซชีวภาพมาผลิตไฟฟ้าจะได้ลักษณะการผลิตไฟฟ้าดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างลักษณะการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานก๊าซชีวภาพรายวันในรอบ 1 เดือน

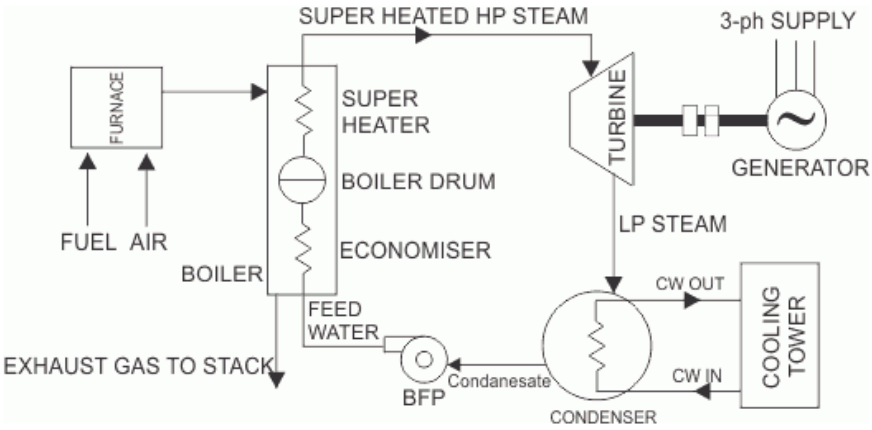
2.1.2 ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล

โรงไฟฟ้าที่พิจารณาในการวางแผนพัฒนากำลังผลิตนั้น ในขั้นตอนของการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจะมีแต่โรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิล เนื่องจากเป็นโรงไฟฟ้าที่ทาง กฟผ. สามารถควบคุมการสั่งเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องได้ ทำให้สามารถทราบได้ว่าโรงไฟฟ้าชนิดไหนที่ควรจะเดินเครื่องเพิ่มเพื่อรองรับความผันผวนของความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างเหมาะสม

โรงไฟฟ้าพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิง ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดีเซล และน้ำมันเตาในการผลิตไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยอาศัยความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อต้มน้ำ เพื่อให้ได้ไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อไปขับดันกังหันไอน้ำ ซึ่งจะมีเพลาไปต่อเชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นไอน้ำที่ผ่านกังหันไอน้ำจะผ่านเข้าเครื่องควบแน่นเพื่อกลั่นตัวเป็นน้ำ และถูกส่งกลับมาใช้รับความร้อนในหม้อน้ำอีกครั้ง โดยหลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.8 โรงไฟฟ้าพลังความร้อน

ที่มา: [online] http://expolence.com/blog/home-of-thermal-power-plant/ [7]

- ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่ใช้

ถ่านหิน เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณมาก คือ มีปริมาณสำรองที่สามารถใช้ได้อีกมากกว่า 200 ปี ส่งผลให้ถ่านหินเป็นแหล่งพลังงานที่หาได้ง่าย ราคาถูก มีความมั่นคง นอกจากนี้ ถ่านหินยังมีความปลอดภัย ขนส่งและจัดเก็บง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซธรรมชาติ แต่ข้อด้อยของถ่านหินคือ ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

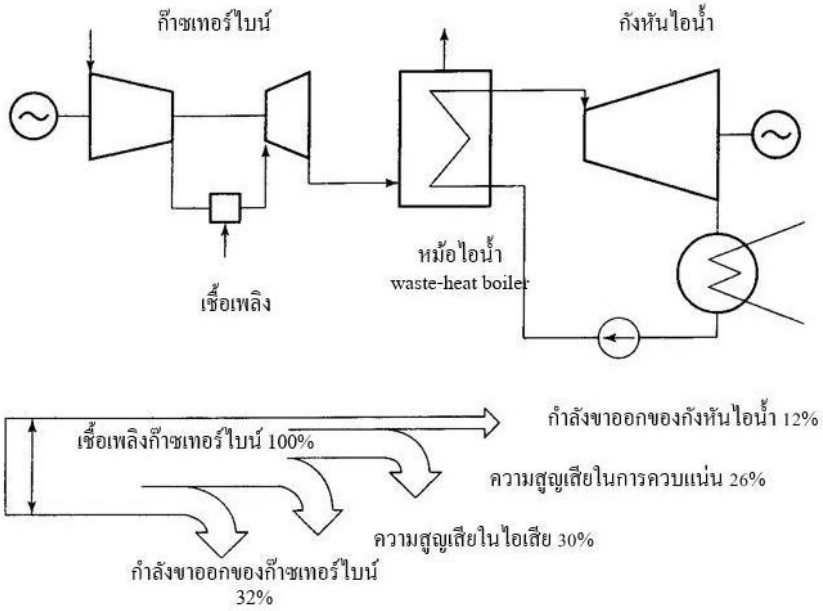
ในปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทอื่น เช่น ก๊าซธรรมชาตินอกจากนี้ยังปล่อยสารมลพิษอื่น ๆ ออกมาด้วย เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนและกำมะถัน (NOx, SOx)

- ข้อดีของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
- มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นโรงไฟฟ้าที่เป็นฐานการผลิต (Base load)
- ต้นทุนในการเดินเครื่องต่ำ
- เชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้ามีราคาถูก
- ข้อเสียของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
- การเริ่มเดินเครื่องใช้เวลานาน ประมาณ 2-3 ชั่วโมง
- มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- มีขี้เถ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหิน ต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บจำนวนมาก

2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า หลักการทำงานประกอบด้วย 2 ระบบร่วมกัน คือ ระบบของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และระบบของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ โดยอาศัยความร้อนที่เกิดจากการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงไปขับเคลื่อนกังหันก๊าซในการผลิตไฟฟ้า จากนั้นไอเสียจากกังหันก๊าซซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส จะถูกนำไปใช้ต้มน้ำในหม้อน้ำ ทำให้น้ำเดือดเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิและความดันสูง เพื่อขับดันกังหันไอน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าต่อไป ซึ่งเป็นการใช้เชื้อเพลิงได้อย่างคุ้มค่า โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะประกอบด้วยเครื่องกังหันก๊าซ 1 – 4 เครื่อง และเครื่องกันหันไอน้ำ 1 เครื่อง โดยหลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมจะแสดงดังรูปที่ 2.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.9 โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

ที่มา: [online] https://ienergyguru.com/2015/09 [8]

การกำเนิดไฟฟ้าด้วยระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle) เป็นวิธีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนได้อย่างมาก ในขณะที่การเพิ่มประสิทธิภาพความร้อนด้วยการเพิ่มอุณหภูมิและความดันเริ่มเข้าใกล้ขีดจำกัด ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีข้างต้นจึงแพร่หลายอย่างรวดเร็วในฐานะที่เป็นเทคโนโลยีที่สามารถตอบสนองความต้องการของยุคสมัยได้ ปัจจุบันกลายเป็นวิธีหลักในการผลิตไฟฟ้า กล่าวคือ การผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมนั้น แม้ใช้ก๊าซเทอร์ไบน์แบบ Simple Open Cycle ที่มีอุณหภูมิก๊าซขาเข้าเทอร์ไบน์ 1,100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพประมาณ 43% หากใช้ก๊าซเทอร์ไบน์ประสิทธิภาพสูงอุณหภูมิ 1,350 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพสูงได้ถึงประมาณ 48% ซึ่งในปัจจุบันกำลังได้มีการพัฒนาก๊าซเทอร์ไบน์รุ่นใหม่อุณหภูมิ 1,500 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมมีประสิทธิภาพสูงถึง 53%

- ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่ใช้

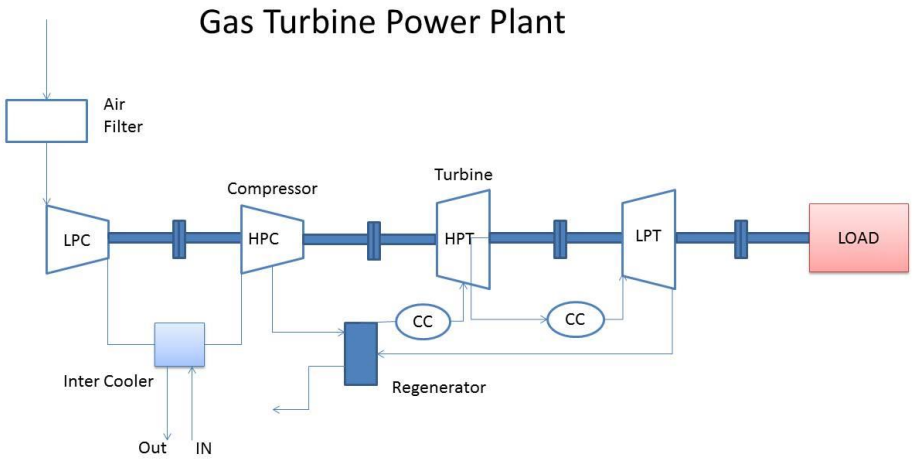
เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานง่าย มีประสิทธิภาพสูง และใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย แต่ข้อด้อยคือ แหล่งที่พบก๊าซธรรมชาติมีอยู่จำกัด พบในบางพื้นที่เท่านั้นตามสภาพทางธรณีวิทยาการจัดเก็บและขนส่งก๊าซธรรมชาติมีความเสี่ยงและมีต้นทุนสูง นอกจากนี้ ก๊าซธรรมชาติยังสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีได้มากมาย เนื่องจากก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ส่งผลให้ก๊าซธรรมชาติมี

ราคาสูงเรื่อย ๆ อนึ่ง ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการขนส่งนั้นมี สองวิธี คือ วิธีที่ 1 ขนส่งโดยระบบเส้นท่อ เช่น การขนส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งขุดเจาะในอ่าวไทยผ่านระบบเส้นท่อมาขึ้นที่สถานีบริเวณมาบตาพุด จังหวัดระยอง หรือการขนส่งก๊าซธรรมชาติจากมาบตาพุดไปยังผู้ใช้ในบริเวณจังหวัดชลบุรี (โรงไฟฟ้าบางปะกง นิคมอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง) วิธีที่ 2 ขนส่งทางเรือ วิธีการนี้จะเป็นการขนส่งจากแหล่งผลิตไปยังบริเวณที่ห่างไกลไม่สามารถขนส่งทางเส้นท่อได้ เช่น การขนส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งผลิตทางตะวันออกกลางมายังประเทศญี่ปุ่นการขนส่งโดยวิธีนี้ ค่อนข้างยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้วิธีทำให้ก๊าซธรรมชาติเป็นของเหลวก่อนโดยการลดอุณหภูมิของก๊าซลงภายใต้ความดัน บรรจุใส่ถังบรรจุที่รักษาอุณหภูมิ และขนส่งทางเรือ

- ข้อดีของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
- ช่วยประหยัดค่าเชื้อเพลิงในหน่วยผลิตไฟฟ้าในระบบกังหันไอน้ำ
- มีความเหมาะสมในการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า
- สามารถใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันเตา ในการผลิตไฟฟ้า
- ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าสูงถึง 50% ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
- ข้อเสียของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม
- ต้นทุนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าสูง
- กรณีใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ จะถูกจำกัดการใช้เชื้อเพลิงจากนโยบายของภาครัฐ
- จะต้องใช้เวลาประมาณหนึ่งในการเริ่มเดินเครื่องในโรงไฟฟ้าแต่เร็วกว่าโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ดังนั้นจึงเหมาะกับการผลิตไฟฟ้าในช่วง Base Load

3) ระบบผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซ

โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยอาศัยการอัดอากาศให้มีความดันสูง 8 – 10 เท่า และส่งไปเผาไหม้รวมกับเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ทำให้อากาศขยายตัว มีอุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นอากาศจะถูกส่งเข้าไปหมุนเครื่องกังหันก๊าซเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป โดยหลักการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้ากังหันก๊าซจะแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

ที่มา: [online] http://mechanical-engineering-info.blogspot.com [9]

- ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่ใช้

น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยากในการจัดเก็บและขนส่ง รวมถึงเครื่องยนต์ต่าง ๆ ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงนั้น ได้ถูกพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีจนอยู่ในระดับสูง แต่ข้อด้อยของน้ำมันดีเซลคือ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่มีปริมาณคาร์บอนสูง ราคาค่อนข้างสูงและราคาไม่คงตัว แหล่งสำรองน้ำมันของโลกมีจำนวนจำกัด และปริมาณน้ำมันสำรองลดลงเรื่อยๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ข้อดีของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

- สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเสริมเข้าระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องไม่นาน เหมาะที่จะทำการผลิตไฟฟ้าเมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าอยู่ในช่วง Peak Load
- ใช้เวลาในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าและติดตั้งน้อยกว่าโรงไฟฟ้าประเภทอื่น

- ข้อเสียของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

- เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามีราคาสูง ต้องจัดซื้อจากต่างประเทศ
- เครื่องกังหันก๊าซมีราคาสูง

2.2 กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง “ความหมายของกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย” และ “แนวทางการกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย” ในต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลกระทบด้านกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในประเทศไทย

2.2.1 ความหมายของกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

1) The North American Electric Reliability Corporation (NREL)

กำลังผลิตสำรองที่พร้อมจะจ่ายให้กับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เดิมขึ้น จากโรงไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าและไม่ได้เดินเครื่องที่ค่าเต็มพิกัด อ้างอิงจาก “Operating manual, NREL, 2004” [10]

2) Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE)

กำลังผลิตสำรองที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าได้ของโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่ ซึ่งต้องตอบสนองและเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าทันทีที่สั่งการ และสามารถตอบสนองได้เต็มที่ภายในเวลาไม่เกิน 10 นาที รวมไปถึงกำลังผลิตสำรองสำหรับรองรับเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้า อ้างอิงจาก “Electric Market and Utility Operation Terminology, EERE, 2011” [11]

3) Union for the Coordination of the Transmission of Electricity (UCTE)

กำลังผลิตสำรองตติยภูมิ (Tertiary Reserve) จากโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแบบสูบกลับ โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ที่เดินเครื่องไม่เต็มค่าพิกัด และต้องสามารถใช้กำลังผลิตสำรองได้ภายใน 15 นาที ถูกควบคุมโดยผู้ควบคุมระบบส่งไฟฟ้า (Transmission System Operator: TSO) อ้างอิงจาก “UCTE Operation Handbook, UCTE, 2004” [12]

4) British Electricity International

กำลังผลิตไฟฟ้าที่สามารถเพิ่มได้จากโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องไม่เต็มค่าพิกัด และสามารถจ่ายกำลังผลิตสำรองได้ภายใน 5 นาที อ้างอิงจาก “Modern power station practice: incorporating modern power system practice, B. E. International, 1991” [13]

5) California Independent System Operator Corporatio

กำลังผลิตสำรองของโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่ และพร้อมจะจ่ายเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าภายใน 10 นาที ซึ่งถูกใช้โดยผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ (Independence System

Operator: ISO) เพื่อรักษาให้ความถี่ของระบบไฟฟ้ามีค่าคงที่ในช่วงที่เกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน และ การเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ อ้างอิงจาก “Spinning Reserve due SC, C. I. S. O. Corporation” [14]

6) Indian Electricity Grid Code (IEGC)

กำลังผลิตสำรองของโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องและไม่ได้เดินเครื่องเต็มพิกัด ซึ่งมีความพร้อมที่จะเพิ่มกำลังผลิตในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อตามผลการจัดสรรกำลังการผลิต (Economic Dispatch) หรือรองรับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ตกลงอย่างฉับพลัน อ้างอิงจาก “Indian Electricity Grid Code, IEGC, 2002” [15]

7) Eric Hirst and Brendan Kirby, Unbundling Generation and Transmission Services for Competitive Electricity Markets

กำลังผลิตสำรองของโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องจ่ายไฟฟ้า และสามารถเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าได้ในทันทีเพื่อรองรับเหตุการณ์ขัดข้อง โดยสามารถเร่งผลิตไฟฟ้าให้กำลังผลิตไฟฟ้ามีค่าถึงกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดภายใน 10 นาที อ้างอิงจาก “Unbundling Generation and Transmission Services for Competitive Electricity Markets, E. Hirst, 1998” [16]

8) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

กำลังผลิตสำรองจากโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่หรือสามารถสั่งเพิ่มการจ่ายไฟฟ้าได้ทันทีที่ระบบมีความต้องการ ซึ่งตามมาตรฐานจะต้องมีจำนวน 800 – 1,600 MW หรืออย่างน้อยมากกว่ากำลังผลิตของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุด เพื่อรองรับหากเกิดเหตุการณ์ขัดข้องที่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนขนาดใหญ่ เช่น กำลังผลิต 800 MW ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าแห่งชาติสามารถสั่งจ่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทันทีป้องกันปัญหาไฟตกหรือดับ ซึ่งอาจลุกลามจนเกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง (Blackout) ได้ อ้างอิงจาก “ฝ่ายสื่อสารองค์กรการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ปี พ.ศ. 2556” [3]

2.2.2 การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve Requirement) คือ ค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของระบบที่ถูกกำหนดล่วงหน้า เพื่อให้มีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมากพอสำหรับเหตุขัดข้องในระบบไฟฟ้าที่ไม่ได้เตรียมการล่วงหน้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการจัดสรรกำลังการผลิต โดยที่การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบไฟฟ้าแต่ละระบบ เช่น กำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้า ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด เป็นต้น ดังนั้น ในแต่ละประเทศจะกำหนดค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในต่างประเทศ

เขตการจ่ายไฟฟ้า	ปริมาณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย
ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์	$\max\left(u_i^t P_i^t\right)$
UCTE	$\left(10P_d^{max}+150^2\right)^{0.5}-150$
ยูคอน (แคนาดา)	$max\left(u_i^t P_i^{max}\right)+10\%\times P_d^{max}$
PJM ใต้	$max(u_i^t P_i^{max})$
PJM ตะวันตก	$1.5\%\times P_d^{max}$
สเปน	อยู่ระหว่าง $3(P_d^{max})^{0.5}$ กับ $6(P_d^{max})^{0.5}$
ฝรั่งเศส	เช่นเดียวกับ UCTE และมีอย่างน้อย 500 MW
เบลเยียม	เช่นเดียวกับ UCTE และมีอย่างน้อย 460 MW
เนเธอร์แลนด์	เช่นเดียวกับ UCTE และมีอย่างน้อย 300 MW
แคลิฟอร์เนีย	$50\%\max\left(5\%P_{hydro}+7\%P_{other\ generation},P_{largest\ contingency}\right)+P_{non-firm\ import}$

ที่มา: “An Overview of Frequency Control as a Criterion of Power System Reliability and International Survey of Determining Operating Reserve, M. S. E. Sharif, 2017” [17]

โดยที่ UCTE หมายถึง Union for the Coordination of the Transmission of Electricity

PJM หมายถึง *Pennsylvania Jersey Maryland*

เมื่อ u_i^t คือ สถานะของการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าที่ i ที่เวลา t หากมีค่าเป็น 1 หมายถึงโรงไฟฟ้าถูกสั่งให้เดินเครื่อง หากมีค่าเป็น 0 หมายถึงโรงไฟฟ้าไม่ได้ถูกสั่งให้เดินเครื่อง

P_i^t คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ผลิตของโรงไฟฟ้าที่ i ที่เวลา t (MW)

P_d^{max} คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (MW)

P_i^{max} คือ กำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดของโรงไฟฟ้าที่ i (MW)

P_{hydro} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ (MW)

$P_{other\ generation}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ (MW)

$P_{largest\ contingency}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเมื่อเกิดเหตุขัดข้องที่รุนแรงที่สุด (MW)

$P_{non-firm\ import}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าประเภท non – firm (MW)

จากตารางที่ 2.2 พบว่าการกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในประเทศ และ เขตการจ่ายไฟฟ้าต่างๆ มีวิธีการกำหนดแตกต่างกัน ดังนี้

ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และ PJM ใต้ กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายจากกำลังผลิตไฟฟ้าที่มากที่สุดของโรงไฟฟ้า โดยที่ออสเตรเลียและนิวซีแลนด์กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลานั้น สำหรับ PJM ใต้ กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเท่ากับกำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดที่กำลังเดินเครื่อง

UTCE PJM ตะวันตก และ สเปน กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเป็นฟังก์ชันของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุด

ยูคอน (แคนาดา) กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายจากผลรวมของกำลังผลิตติดตั้งของโรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดที่กำลังเดินเครื่อง กับ 10% ของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

ฝรั่งเศส เบลเยียม และ เนเธอร์แลนด์ กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายโดยใช้เกณฑ์เดียวกัน UTCE และกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าคงตัวค่าหนึ่งที่กำหนดไว้

แคลิฟอร์เนีย กำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายตามประเภทของโรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าและการขัดข้องที่รุนแรงที่สุดของระบบไฟฟ้า และแคลิฟอร์เนียพิจารณาว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non–Firm เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ควรนำมาใช้ในการกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การกำหนดกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายส่วนมากถูกกำหนดตามประสบการณ์ของแต่ละเขตการจ่ายไฟฟ้า และ คำศัพท์ต่างๆ ที่ใช้เรียกกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของแต่ละเขตการจ่ายไฟฟ้ามีทั้งส่วนที่เหมือนกันและแตกต่างกัน โดยจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.2.3 คำศัพท์ที่ใช้เรียกกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

กำลังผลิตสำรองระหว่างดำเนินการผลิตไฟฟ้า (Operating Reserve) สามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มต่างๆ ตามเกณฑ์ดังนี้ (Frequency Control)

1) Primary Frequency Control Reserve ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสิ่งรบกวนและหยุดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของระบบไฟฟ้า เพื่อรักษาระดับความถี่ของระบบไฟฟ้าให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เป็นกำลังผลิตสำรองจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่ ซึ่งถูกควบคุมโดยอัตโนมัติจากระบบควบคุมของโรงไฟฟ้า (Governor) ซึ่งต้องตอบสนองต่อสิ่งรบกวนได้ในช่วงเวลาไม่กี่วินาที โดยมีคำศัพท์ที่ใช้เรียก เช่น Frequency Response Reserve
2) Secondary Frequency Control Reserve ทำหน้าที่รักษาความคลาดเคลื่อนของการควบคุมเขต (Area Control Error) และปรับความถี่ที่อยู่นอกช่วงที่กำหนดไว้ให้กลับมาอยู่ในที่ระดับปกติหรือ 50 เฮิร์ตสำหรับประเทศไทย เป็นกำลังผลิตสำรองจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่ ซึ่งถูกควบคุมโดยอัตโนมัติจากระบบความคุมความถี่อัตโนมัติ (Automatic Control) ซึ่งสามารถตอบสนองได้ภายในหลายวินาที โดยมีคำศัพท์ที่ใช้เรียก คือ Regulating Reserve
3) Tertiary Frequency Control Reserve ทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในระหว่างการวางแผนผลิตไฟฟ้า (Unit Commitment) และการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้า (Economic Dispatch) เป็นกำลังผลิตสำรองจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่หรือโรงไฟฟ้าที่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว ซึ่งถูกควบคุมโดยอัตโนมัติ หรือไม่อัตโนมัติจากผู้ควบคุมระบบไฟฟ้า โดยกำลังผลิตสำรองที่อยู่ในกลุ่มนี้มีหลายประเภท โดยแบ่งตามแหล่งที่มาของกำลังผลิตสำรอง เช่น Spinning Reserve, Synchronous Reserve, Non-Spinning Reserve, Quick Start Reserve หรือแบ่งตามหน้าที่ของกำลังผลิตสำรอง เช่น Ramping Reserve, Load Following Reserve, Supplemental Reserve หรือแบ่งตามระยะเวลาที่สามารถตอบสนองได้ เช่น Ten-Minute Reserve, Thirty-Minute Reserve หากแยกประเภทของกำลังผลิตสำรองประเภท Tertiary

Frequency Control Reserve ตามหน้าที่ของกำลังผลิตสำรอง สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

3.1) Ramping Reserve ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลานานโดยไม่ได้คาดคิด เช่น การขัดข้องของโรงไฟฟ้า และการลดลงอย่างต่อเนื่องของกำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ซึ่งสามารถตอนสนองได้ภายในระดับนาทีถึงชั่วโมง สามารถแบ่งได้เป็น

- Forecast Error Reserve ทำหน้าที่รองรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความต้องการใช้ไฟฟ้าหรือกำลังผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ถูกพยากรณ์ เป็นกำลังผลิตสำรองที่มาจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่
- Contingency Reserve ทำหน้าที่ทดแทนกำลังผลิตไฟฟ้าที่ลดลงอย่างไม่ได้คาดคิด เช่น การขัดข้องของโรงไฟฟ้า และการลดลงอย่างต่อเนื่องของกำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน เป็นกำลังผลิตสำรองที่มาจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่หรือโรงไฟฟ้าที่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว

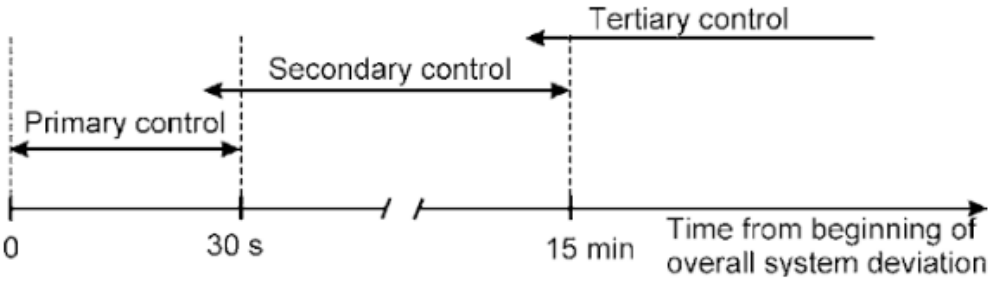
3.2) Load Following Reserve หรือ Dispatch Reserve ทำหน้าที่ปรับกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าตามแนวโน้มของความต้องการใช้ไฟฟ้า เมื่อผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าคาดว่าความต้องการใช้ไฟฟ้ากำลังจะเพิ่มขึ้น จะเตรียมกำลังผลิตสำรองคือ Load Following Reserve ไว้เพื่อเตรียมจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น หากกำลังผลิตสำรองที่เหลือมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าอาจเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเพิ่มเพื่อเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายสำหรับรองรับเหตุขัดข้องที่อาจจะเกิดขึ้น Load Following Reserve เป็นกำลังผลิตสำรองที่มาจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่หรือโรงไฟฟ้าที่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว ซึ่งสามารถตอบสนองได้ภายในระดับนาที

3.3) Supplemental Reserve หรือ Replacement Reserve ทำหน้าที่ปรับกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ถูกสั่งให้จ่ายกำลังผลิตสำรองประเภทต่างๆ กลับคืนสู่ระดับที่ก่อนถูกสั่งให้จ่ายกำลังผลิตสำรอง เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการถูกเรียกให้จ่ายกำลังผลิตสำรองครั้งถัดไป ตัวอย่างเช่น เมื่อเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้า โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่จะใช้กำลังผลิตสำรองเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ไฟฟ้า จากนั้นโรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องได้ช้าหรือต้นทุนต่ำจะถูกสั่งให้เดินเครื่องเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า เพื่อให้โรงไฟฟ้าที่จ่ายกำลังผลิตสำรองไปแล้วลดกำลังผลิตไฟฟ้าลงเพื่อเตรียมกำลังผลิตสำรองสำหรับเตรียมรองรับเหตุขัดข้องใหม่ที่อาจจะเกิดขึ้น และเป็นการจัดสรรกำลังผลิตใหม่เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำลง Supplemental Reserve เป็นกำลังผลิตสำรองที่มาจากโรงไฟฟ้าที่กำลังเดินเครื่องอยู่หรือโรงไฟฟ้าที่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว ซึ่งสามารถตอบสนองได้ภายในระดับนาที

โดยที่ระยะเวลาการตอบสนองของกำลังผลิตสำรองในการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ระยะเวลาการตอบสนองของกำลังผลิตสำรองในการควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้า
ที่มา: [online] http://top10electrical.blogspot.com/2015/10/primary-secondary-and-tertiary.html [18]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อย่างไรก็ตามประเทศ และ เขตการจ่ายไฟฟ้าต่างๆ มีคำศัพท์สำหรับเรียกกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมือนกันหรือแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คำศัพท์ที่ใช้เรียกกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของแต่ละเขตการจ่ายไฟฟ้า

เขตการจ่ายไฟฟ้า	Primary Frequency Control Reserve	Secondary Frequency Control Reserve	Tertiary Frequency Control Reserve
ENTSO-E	Frequency Response Reserve	Regulating Reserve	Load Following Reserve Supplemental Reserve
สเปน	Frequency Response Reserve	Regulating Reserve	Deviation Reserve Load Following Reserve
ไอร์แลนด์	Operating Reserve	Regulating Reserve	Replacement Reserve Contingency Reserve
CAISO	-	Regulation Reserve Regulation Up Reserve Regulation Down Reserve	Spinning Reserve Non-Spinning Reserve
NYISO	-	Regulation Reserve	10-Minute Spinning Reserve 10-Minute Non-Synchronized Reserve 30-Minute Spinning Reserve 30-Minute Non-Synchronized Reserve
PJM	-	Regulation Reserve	Contingency Reserve Synchronous Reserve Quick Start Reserve Supplemental Reserve

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา: “Project Report: A Survey of Operating Reserve Markets in U.S. ISO/RTO-managed Electric Energy Regions, J. F. Ellison, 2012” [19] และ “Operating Reserves and Wind Power Integration: An International Comparison, M. Milligan, 2010” [20]

โดยที่ ENTSO-E หมายถึง European Network of Transmission System Operators

CAISO หมายถึง California Independent System Operator

NYISO หมายถึง New York Independent System Operator

PJM หมายถึง Pennsylvania Jersey Maryland

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
การสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เนื้อหาในบทนี้ได้สรุปขั้นตอนการสร้างแบบจำลองระบบไฟฟ้า และ ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้า แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าแบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ และแบบจำลองความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์

3.1 ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์ผลกระทบในระบบผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. นั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก กฟผ. [21] โดยตัวอย่างข้อมูลที่คณะนักวิจัยขอจาก กฟผ. จะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สรุปข้อมูลที่ได้รับมาจาก กฟผ. [21]

ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (เครื่อง)	พิกัดกำลังผลิตตามสัญญา (MW)	ราคาต้นทุนต่อหน่วย (Baht/kWh)	พิกัดกำลังผลิตต่ำสุด – สูงสุด (MW)		Ramp rate เฉลี่ย (MW/min)
				ต่ำสุดเฉลี่ย	สูงสุดเฉลี่ย	
Gas turbine	8	336	9.566	15	42	3
Thermal	25	8,567	1.869	160	388	9
Combined cycle	34	20,398	1.553	365	617	15
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ	71	5,105	-	-	-	-
HVDC	-	300	-	-	-	-
SPP firm	86	5,846	-	-	-	-
SPP Non-firm	42	1,437	-	-	-	-
รวม / เฉลี่ย	**266**	**41,989**				

3.1.1 ข้อมูลสถิติการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เพื่อที่สร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณผลกระทบด้านกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และผลกระทบด้านต้นทุนการผลิตได้ คณะนักวิจัยจะต้องทราบถึง ข้อมูลกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และต้นทุนการเดินเครื่องในอดีตโดยจากการขอรับข้อมูลการเดินเครื่องราย 30 นาที ในวันทำงาน และ วันอาทิตย์ของทุกๆเดือน ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งตัวอย่างข้อมูลจะแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลการเดินเครื่องในวันทำงาน เดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2560

time/name	AAA-F	ABP1-F	ABP2-F	ABP3-F	ABP4-F	ABP5-F	ABR1-F
1/22/2017 0:30	0	59	59	56.3	59	59.4	0
1/22/2017 1:00	0	59	59	55.8	59.2	59.6	0
1/22/2017 1:30	0	59	59	53.9	59.2	59.6	0
1/22/2017 2:00	0	59	59	48.9	59.2	59.6	0
1/22/2017 2:30	0	59	59	54.1	59.2	59.6	0
1/22/2017 3:00	0	59	59	52.2	59.2	59.6	0
1/22/2017 3:30	0	59	59	53.1	59.2	59.6	0
1/22/2017 4:00	0	59	59	52.5	59.2	59.6	0
1/22/2017 4:30	0	59	59	54.6	59.2	59.6	0
1/22/2017 5:00	0	59	59	53.7	58.8	59.6	0
1/22/2017 5:30	0	59	59	53.2	59.4	59.6	0
1/22/2017 6:00	0	59	59	53.7	59.4	59.6	0
1/22/2017 6:30	0	59	59	52.7	59.4	59.6	0
1/22/2017 7:00	0	59	59	51.6	59.2	59.6	0
1/22/2017 7:30	0	59	59	55	59.2	59.6	0
1/22/2017 8:00	0	90	90	57.1	59.2	59.6	0
1/22/2017 8:30	0	90	90	54.6	59.2	59.6	0
1/22/2017 9:00	0	90	90	56.1	59.4	59.6	0
1/22/2017 9:30	0	90	90	50.6	59.4	59.6	0
1/22/2017 10:00	0	90	90	55	59.4	59.6	0
1/22/2017 10:30	0	90	90	53.3	59.4	59.6	0
1/22/2017 11:00	0	90	90	52.8	59.4	59.6	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

time/name	AAA-F	ABP1-F	ABP2-F	ABP3-F	ABP4-F	ABP5-F	ABR1-F
1/22/2017 11:30	0	90	90	53.7	59.4	59.6	0
1/22/2017 12:00	0	90	90	55.2	59.4	59.6	0
1/22/2017 12:30	0	90	90	53.3	59.4	59.6	0
1/22/2017 13:00	0	90	90	55.2	59	59.4	0
1/22/2017 13:30	0	90	90	52.6	59	59.4	0
1/22/2017 14:00	0	90	90	54.1	59	59.4	0
1/22/2017 14:30	2.0	90	90	52.6	59	59.4	0
1/22/2017 15:00	2.7	90	90	53.6	59.4	59.4	0
1/22/2017 15:30	23.2	90	90	53	59.4	59.4	0
1/22/2017 16:00	27.8	90	90	55.3	59.4	59.4	0
1/22/2017 16:30	48.5	90	90	53.3	59.4	60	0
1/22/2017 17:00	49.2	90	90	54.6	59.4	59.4	0
1/22/2017 17:30	49.2	90	90	54.3	95	96.2	0
1/22/2017 18:00	48.6	90	90	85.6	92.3	92.4	16.3
1/22/2017 18:30	48.9	90	90	85.2	92.3	91.9	18.5
1/22/2017 19:00	48.9	90	90	85.1	92.1	92.1	15.4
1/22/2017 19:30	48.5	90	90	84.6	92.1	92.3	16.4
1/22/2017 20:00	48.3	90	90	86.7	92.3	92.7	15.9
1/22/2017 20:30	0	90	90	85.9	91.5	92.1	15.6
1/22/2017 21:00	0	90	90	83.1	91.7	91.9	15.9
1/22/2017 21:30	0	90	90	88.3	92.1	92.9	0
1/22/2017 22:00	0	90	90	54.4	56.5	56.8	0
1/22/2017 22:30	0	90	59	53	58.8	59.4	0
1/22/2017 23:00	0	57	57	53.6	59.2	59.6	0
1/22/2017 23:30	0	57	57	53	59	59.4	0
1/23/2017 0:00	0	57	57	56.1	59	59.4	0

ในตารางที่ 3.2 จะแสดงถึงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องซึ่งในตารางนี้ได้แสดงเพียงส่วนหนึ่งของโรงไฟฟ้าทั้งหมดที่เดินเครื่องในวันทำงาน เดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2560 ซึ่งใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลที่ กฟผ. ให้มานั้นจะมีข้อมูลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ 255 เครื่อง โดยในตารางจะแถวบนสุดจะแสดงถึงตัวอักษรย่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ แถวซ้ายสุดจะแสดงถึงวัน และ เวลา (ตัวอย่างการอ่านข้อมูลเช่น ข้อมูลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชื่อย่อ ABP1-F เวลา 23:00 มีกำลังผลิตเท่ากับ 57 MW เป็นต้น) ซึ่งจากการสอบถามกับ กฟผ. ได้รับข้อมูลว่า หากไม่มีเกิดเหตุขัดข้อง เช่น มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ สายส่งไฟฟ้าได้รับความเสีย กฟผ. จะสั่งการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหม่ ทุกๆ 30 นาที ดังนั้นข้อมูลที่ได้รับมาจะเป็นข้อมูลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกๆ 30 นาที โดยหน่วยการผลิตไฟฟ้าที่แสดงในข้อมูลจะเป็นหน่วย MW

นอกจากนี้ในเอกสารข้อมูลฉบับนี้ ได้ให้ข้อมูลว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทใด ใครเป็นเจ้าของ อยู่เขตควบคุมใด และ ใช้เชื้อเพลิงใดในการผลิตไฟฟ้า (ตัวอย่างการอ่านข้อมูลเช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชื่อย่อ ABP1-F เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ผลิตโดย Small Power Producer (SPP) อยู่ในเขตความคุม CAC และ ใช้เชื้อเพลิงประเภทก๊าสธรรมชาติ เป็นต้น) ซึ่งตัวอย่างข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

NAME	PLANTTYPE_GROUP	PRODUCER	SUBCONTROL	FUELTYPE
AAA-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
ABP1-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
ABP2-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
ABP3-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
ABP4-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
ABP5-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
ABR1-F	CombineCycle	SPP Firm	CAC	GAS
BB-H1	Renewable	EGAT	NAC	HYDRO
BB-H2	Renewable	EGAT	NAC	HYDRO
BB-H3	Renewable	EGAT	NAC	HYDRO
BB-H4	Renewable	EGAT	NAC	HYDRO
BB-H5	Renewable	EGAT	NAC	HYDRO
GNS-C1	CombineCycle	IPP	CAC	GAS

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

NAME	PLANTTYPE_GROUP	PRODUCER	SUBCONTROL	FUELTYPE
GNS-C2	CombineCycle	IPP	CAC	GAS
GOC-T1	Thermal	IPP	CAC	COAL
GPG-C1	CombineCycle	IPP	CAC	GAS
GPG-C2	CombineCycle	IPP	CAC	GAS

3.1.2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในส่วนของข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบไปด้วย ต้นทุนเชื้อเพลิงค่าเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังผลิตต่ำสุด-สูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเดินเครื่องได้ ความสามารถในการเพิ่ม-ลดกำลังผลิต และ ความเชื่อถือได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยข้อมูลทางเทคนิคนั้น กฟผ. สามารถให้ข้อมูลเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางแห่งเท่านั้น ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ กฟผ. เป็นเจ้าของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเอกชนประเภท IPP และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำภายนอกประเทศ โดยตัวอย่างข้อมูลจะแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

name	Cost (baht/kW)	Max (MW)	Min (MW)	Ramp rate (MW/min)	FOR (%)
CHN-S22	1.29	766.8	464	26	0.01
GNS-C1	1.32	800	464	10	0.01
RPCL-C1	1.62	700	490	8	0.01
MM-T11	0.70	270	162	2.5	0.05
HSA-T2	0.77	551	286	15.6	0.1
BLCP-T1	0.94	673.25	161	9	0.05

ในตารางที่ 3.4 จะแสดงถึงข้อมูลต้นทุนค่าเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในหน่วย บาท/kWh ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ข้อมูลกำลังผลิตต่ำสุด-สูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเดินเครื่องได้ในหน่วย MW ข้อมูลความสามารถในการเพิ่ม-ลดกำลังผลิตในหน่วย MW/นาที และ ข้อมูลความเชื่อถือได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเป็นค่า Forced Outage Rate (FOR) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะแสดงค่านี้ให้อยู่ในรูปของปริมาณเปอร์เซ็นต์

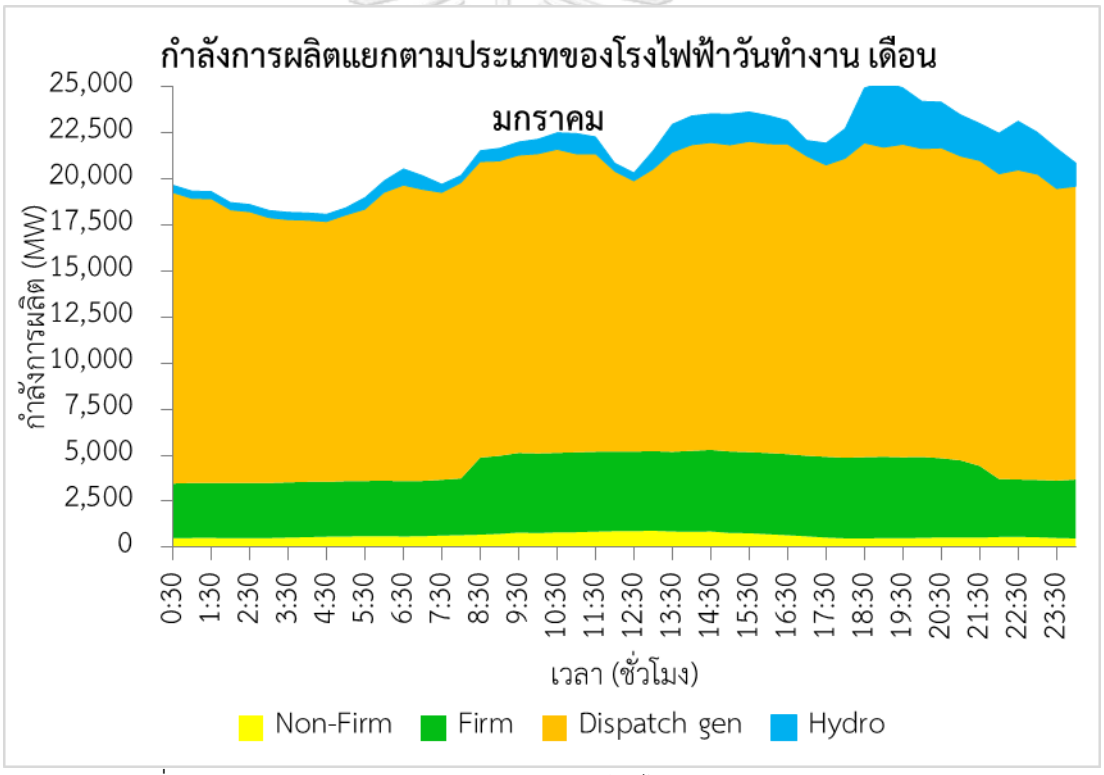
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประมาน 250-260 เครื่อง และ ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางประเภท ที่ได้รับมาจาก กฟผ. คณะนักวิจัยได้แบ่งแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) ระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้
2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ
3) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm
4) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm

ซึ่งตัวอย่างการผลิตไฟฟ้ารายวันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูก กฟผ. ได้จัดสรรกำลังการผลิตไว้จะแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กำลังการผลิตแยกตามประเภทของโรงไฟฟ้าวันทำงาน เดือน มกราคม

ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 [21]

จากรูปที่ 3.1 จะพบว่าการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้นั้นมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาจะเป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm ต่อจากนั้นจะเป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ และ สุดท้ายระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm ซึ่งแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 4 แบบจะมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้

ในแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ จะประกอบด้วยโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา และ น้ำมันดีเซล ซึ่งโรงไฟฟ้าในกลุ่มนี้ทั้งหมด ได้รับข้อมูลทางเทคนิคจาก กฟผ. โดยจะสามารถสรุปข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.5 และตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 จำนวนโรงไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้แยกตามประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ประเภทเชื้อเพลิง	จำนวนโรงไฟฟ้า	กำลังผลิตติดตั้งรวม (MW)
Gas turbine	8	336
Thermal	25	8,567
Combined cycle	34	20,398

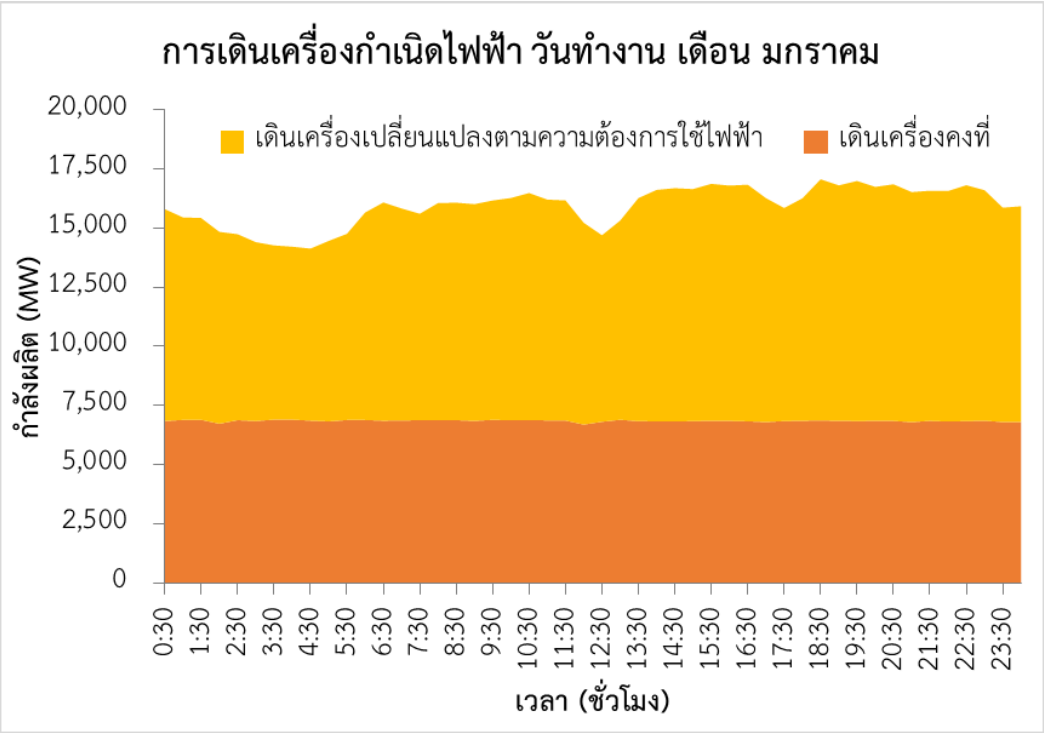
ตารางที่ 3.6 ข้อมูลทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้

ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ราคาต้นทุนต่อหน่วยเฉลี่ย (Baht/kWh)	พิกัดกำลังผลิตเฉลี่ย (MW)		Ramp rate เฉลี่ย (MW/min)
		ต่ำสุด	สูงสุด	
Gas turbine	9.566	15	42	3
Thermal	1.869	160	388	9
Combined cycle	1.553	365	617	15

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการจัดสรรกำลังผลิตนั้นมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงสูงมาก ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะทำแบบจำลองได้ตรงกับความเป็นจริง ดังนั้นเพื่อให้แบบจำลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด คณะนักวิจัยจะแบ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่เดินเครื่องคงที่ และ กลุ่มที่เดินเครื่องเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน โดยมีสมมุติฐานว่าระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้แล้วเดินเครื่องคงที่นั้น อาจติดข้อจำกัดบางอย่าง เช่น ข้อจำกัดทางด้านสายส่ง ข้อจำกัดทางด้านเชื้อเพลิง หรือ ข้อจำกัดทางด้านสัญญาการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างการแบ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ออกเป็น 2 กลุ่มจะแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้แยกตามประเภทการเดินเครื่องวันทำงาน เดือน มกราคม

ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 [21]

จากรูปที่ 3.2 จะพบว่ามีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องคงที่อยู่ประมาน 7,000 MW จากปริมาณกำลังผลิตทั้งหมดที่ระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ ต้องผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยละเอียดคณะนักวิจัยพบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องคงที่นั้น มีทั้งกรณีที่เดินเครื่องเต็มพิกัด กรณีเดินเครื่องที่กำลังผลิตต่ำสุดที่สามารถผลิตได้ และ กรณีเดินเครื่องคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่งของพิกัด โดยคณะนักวิจัยคาดว่าเหตุผลทางเทคนิคที่ กฟผ. ต้องเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเช่นนี้ในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกัน ได้แก่

- ในกรณีที่เดินเครื่องเต็มพิกัดนั้นคณะนักวิจัยพบว่ามักเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้นทุนเชื้อเพลิงต่อหน่วยต่ำกว่าโรงไฟฟ้าส่วนใหญ่
- ในกรณีที่เดินเครื่องที่กำลังผลิตต่ำสุดมักเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มาความสามารถในการเร่งกำลังผลิตสูง ส่วนในกรณีที่เดินเครื่องที่พิกัดค่าใดค่าหนึ่ง คณะนักวิจัยคาดว่าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดข้อจำกัดบางอย่าง เช่น ข้อจำกัดทางด้านสายส่ง ข้อจำกัดทางด้านเชื้อเพลิง หรือ ข้อจำกัดทางด้านสัญญาการผลิตไฟฟ้า

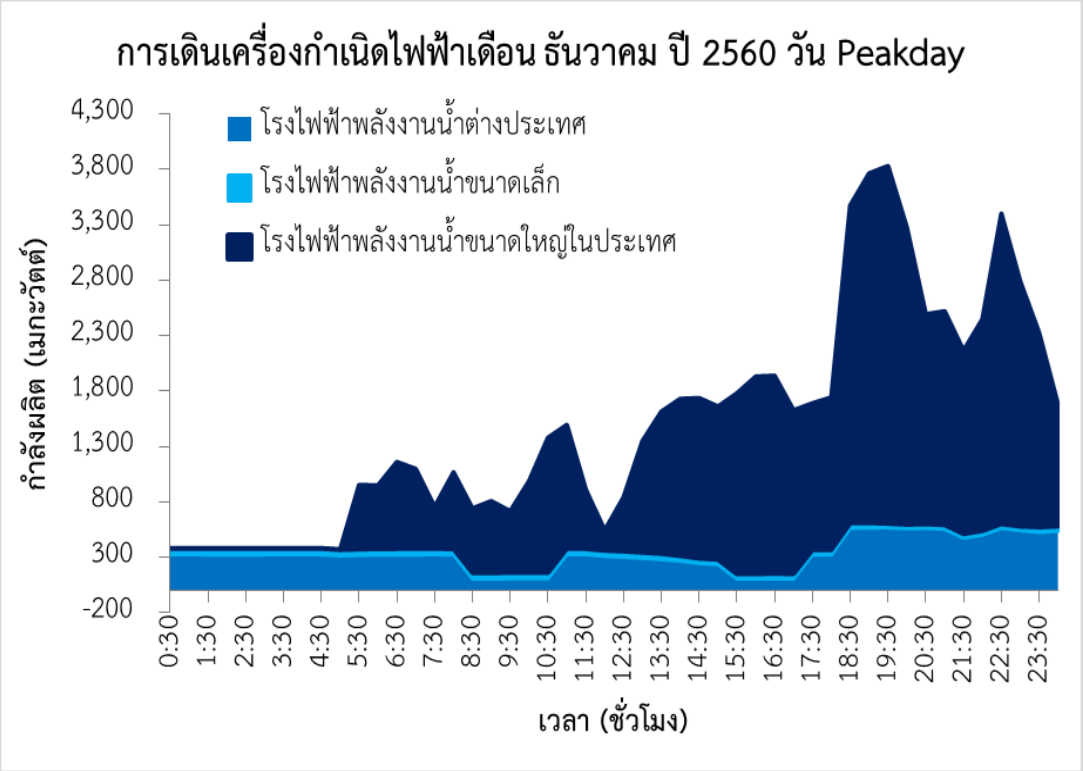
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ และ ระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำสัญญา HVDC

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำเป็นการผลิตไฟฟ้าที่ไม่มีต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า และ เป็นพลังงานสะอาด อย่างไรก็ตาม การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำมีข้อจำกัดคือ ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าถูกจำกัดด้วยปริมาณน้ำในเขื่อน และปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจากเขื่อนถูกกำหนดโดยเงื่อนไขของกรมชลประทาน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ในประเทศ ผลิตไฟฟ้าตามพลังงานที่ผลิตได้ต่อวัน และ พิกัดกำลังผลิตสูงสุดตามข้อมูลการเดินเครื่องในอดีตในอดีตโดยที่รายชื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ในประเทศตามข้อมูลในตารางที่ 3.7 ในขณะที่พลังงานน้ำจากต่างประเทศจะมีข้อจำกัดทางด้านสัญญาที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ละเลยไป ดังนั้นจะใช้รูปแบบการเดินเครื่องให้เป็นไปตามข้อมูลสถิติเลย ในส่วนสุดท้ายได้แก่พลังงานน้ำขนาดเล็กจากสมมติฐานที่ว่าพลังงานน้ำขนาดเล็กไม่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้ ดังนั้นในส่วนนี้จะใช้ข้อมูลการเดินเครื่องตามข้อมูลในอดีตเช่นเดียวกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจากต่างประเทศ ซึ่งคณะนักวิจัยได้ทำการขอรับข้อมูลจาก กฟผ. โดยตัวอย่างการเดินเครื่องระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจะแสดงดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.7 รายชื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดใหญ่ในประเทศ [21]

โรงไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าตามสัญญา (เมกะวัตต์)	
	จำนวนเครื่อง (ชุด) x พลังไฟฟ้าตามสัญญา	รวม
1. โรงไฟฟ้า กฟผ.		
1.1 โรงไฟฟ้า กฟผ. ประเภท Firm		
1.1.1 โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน		
1.1.1.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนขนาดใหญ่		
1. เขื่อนภูมิพล เครื่องที่ 1-6	6 x 82.20	493.20
เขื่อนภูมิพล เครื่องที่ 7-8	(1 x 115.00) + (1 x 171.00)	286.00
2. เขื่อนสิริกิติ์ เครื่องที่ 1-4	4 x 125.00	500.00
3. เขื่อนอุบลรัตน์ เครื่องที่ 1-3	3 x 8.40	25.20
4. เขื่อนสิรินธร เครื่องที่ 1-3	3 x 12.00	36.00
5. เขื่อนจุฬาภรณ์ เครื่องที่ 1-2	2 x 20.00	40.00
6. เขื่อนศรีนครินทร์ เครื่องที่ 1-5	(3 x 120.00) + (2 x 180.00)	720.00
7. เขื่อนวชิราลงกรณ เครื่องที่ 1-3	3 x 100.00	300.00
8. เขื่อนท่าทุ่งนา เครื่องที่ 1-2	2 x 19.50	39.00
9. เขื่อนแก่งกระจาน เครื่องที่ 1	1 x 19.00	19.00
10. เขื่อนบางลาง เครื่องที่ 1-3	(2 x 24.00) + (1 x 28.00)	76.00
11. เขื่อนรัชชประภา เครื่องที่ 1-3	3 x 80.00	240.00
12. เขื่อนปากมูล เครื่องที่ 1-4	4 x 34.00	136.00
13. เขื่อนเจ้าพระยา เครื่องที่ 1-2	2 x 6.00	12.00
14. เขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เครื่องที่ 1-2	2 x 15.00	30.00
รวม	**45 เครื่อง**	**2,952.40**



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเดินเครื่องระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อน

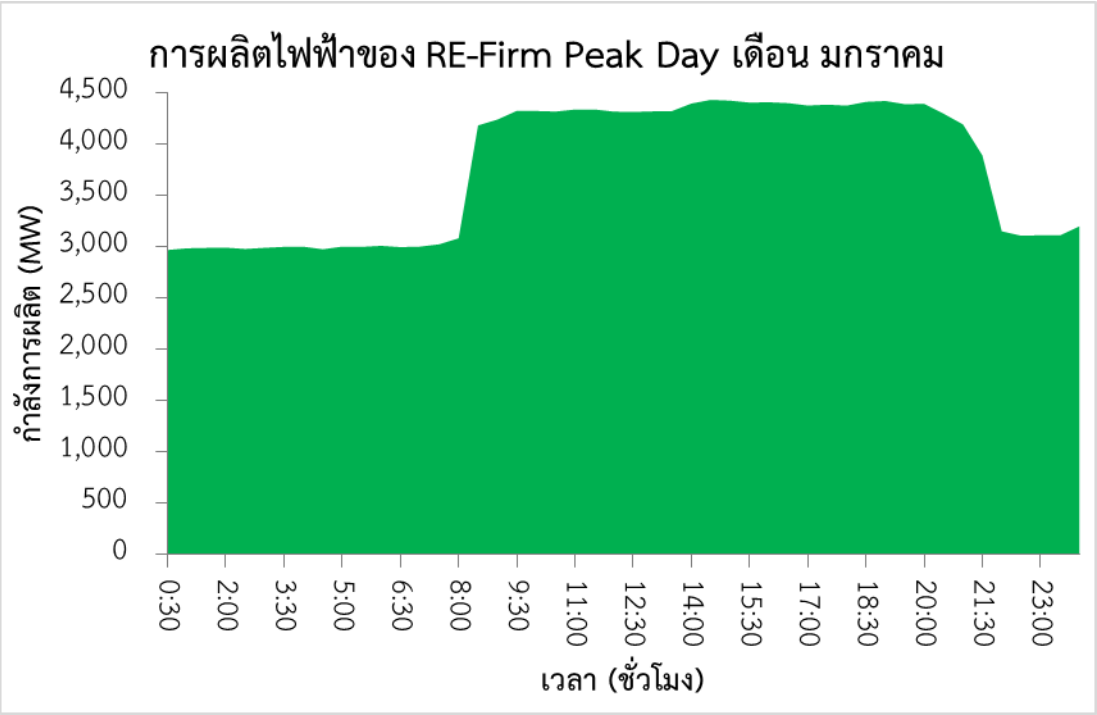
ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 [21]

ในส่วนของระบบผลิตไฟฟ้าที่ทำสัญญา HVDC จะกำหนดให้มีรูปแบบการผลิต ตามข้อมูลการผลิตจากสถิติ เนื่องจากต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่อหน่วยมีราคาที่สูง หากนำมาจัดสรรกำลังการผลิตอาจทำให้ไม่ได้ถูกสั่งเดินเครื่องเลย ต่างกับข้อมูลสถิติที่ระบุว่ามีการสั้งให้จ่ายกำลังผลิต ซึ่งคาดว่าเหตุผลที่เป็นเช่นนี้เกิดจากข้อจำกัดทางด้านสัญญา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm

โรงไฟฟ้าในกลุ่มนี้ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าที่ทำสัญญาแบบ Firm เช่น โรงไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small Power Producer: SPP) และ โรงไฟฟ้าระบบโคเจนเนอเรชัน (Cogeneration) สำหรับโรงไฟฟ้าที่ทำสัญญาแบบ Firm กฟผ. สามารถสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าล่วงหน้าได้ อย่างไรก็ตามโรงไฟฟ้ากลุ่มนี้ไม่มีบทบาทในการเร่งเครื่องโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เป็นไปตามข้อมูลในอดีต ซึ่งคณะนักวิจัยได้ทำการขอรับข้อมูลจาก กฟผ. โดยตัวอย่างการเดินเครื่องระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm จะแสดงดังรูปที่ 3.4



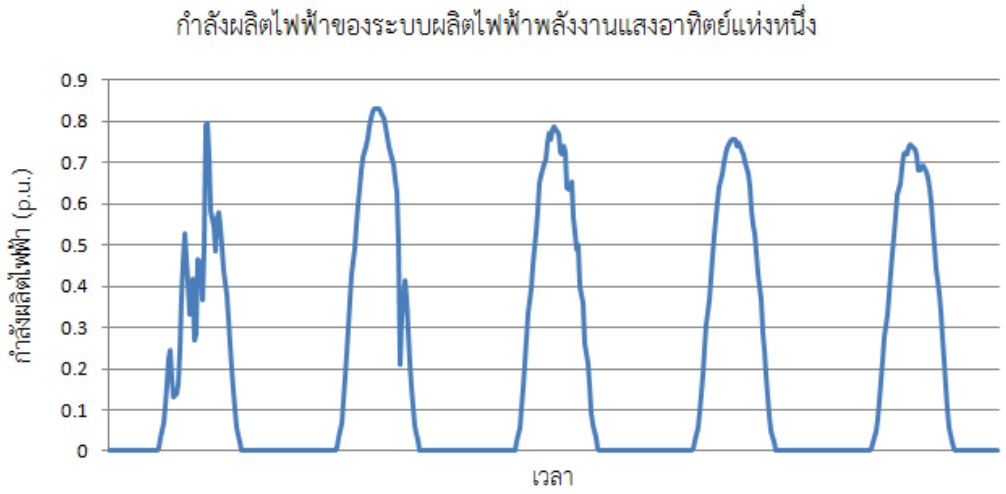
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการเดินเครื่องระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm

ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 [21]

3.2.4 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความไม่แน่นอนประกอบด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ไม่สามารถควบคุมกำลังผลิตไฟฟ้าได้ และมีความไม่แน่นอนขึ้นกับสภาพแวดล้อม ซึ่งความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ทำให้โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ต้องมีความสามารถในการรองรับความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนได้ ตัวอย่างเช่น หากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ถูกเมฆบดบังอย่างรวดเร็ว ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ต้องสามารถเร่งการเดินเครื่องเพื่อทดแทนกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตได้ กล่าวคือระบบไฟฟ้าต้องมีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เพียงพอเพื่อที่จะรองรับความไม่แน่นอนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมจะถูกสร้างจากข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าในอดีตที่มีความละเอียด (Resolution) 30 นาที ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมในจังหวัดต่างๆ ประเทศไทยทั้งปี นำมาหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เพื่อนำไปใช้คำนวณผลกระทบด้านกำลังผลิตสำรอง

พร้อมจ่าย (Spinning reserve) โดยมีตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แห่งหนึ่ง ใน 5 วัน
ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมแห่งหนึ่ง ใน 5 วัน
ที่มา: ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560

3.3 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิที่ระบบผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ทำหน้าที่รับผิดชอบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ โดยค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในแบบจำลองนี้จะ คำนวณจากผลรวม

ของกำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ โดยตัวอย่างการคำนวณจะแสดงดังรูปที่ 3.1 ในหัวข้อที่ 3.1.2 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลนี้คณะนักวิจัยได้รับความอนุเคราะห์จาก กฟผ. เป็นข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้รายครึ่งชั่วโมง ของวันทำงาน และ วันอาทิตย์ตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง เดือน ธันวาคม ปี พ.ศ. 2560

จากที่กล่าวไปข้างต้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ระบบทดสอบเป็นระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และ ผลการเดินเครื่อง ในปี พ.ศ. 2560 ดังนั้น เพื่อให้การทดสอบใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเพิ่มพลังงานหมุนเวียน โดยอ้างอิงจาก ***"ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้ารายเล็กโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบ SPP Hybrid Firm พ.ศ. 2560"*** [22] ซึ่งได้ประกาศรับซื้อไฟฟ้าทั้งหมด 300 MW เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ถึงประโยชน์ และ ผลกระทบด้านต่างๆ จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยได้แบ่งออกเป็น 4 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อไม่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มเติม หมายถึง ใช้ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเท่ากับข้อมูลกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้ในอดีต (เป็นข้อมูลสถิติการผลิตไฟฟ้าที่ กฟผ. ได้จัดสรรกำลังการผลิตไว้แล้ว)

กรณีที่ 2 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW หมายถึง การนำค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 มาลบด้วยกำลังผลิตที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm พิกัดติดตั้ง 300 MW สามารถผลิตได้

กรณีที่ 3 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW หมายถึง การนำค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 มาลบด้วยกำลังผลิตที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm พิกัดติดตั้ง 300 MW สามารถผลิตได้

กรณีที่ 4 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm โดยกำหนดให้พลังงานเท่ากับ Non-Firm 300 MW หมายถึง การกำหนดกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm โดยให้พลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าแบบ Firm ผลิตได้เท่ากับ พลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm 300 MW ผลิตได้

กรณีที่ 5 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW และ ติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวน หมายถึง การนำค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 มาลบด้วยกำลังผลิตที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm พิกัดติดตั้ง 300 MW สามารถผลิตได้ และ ทำการติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น

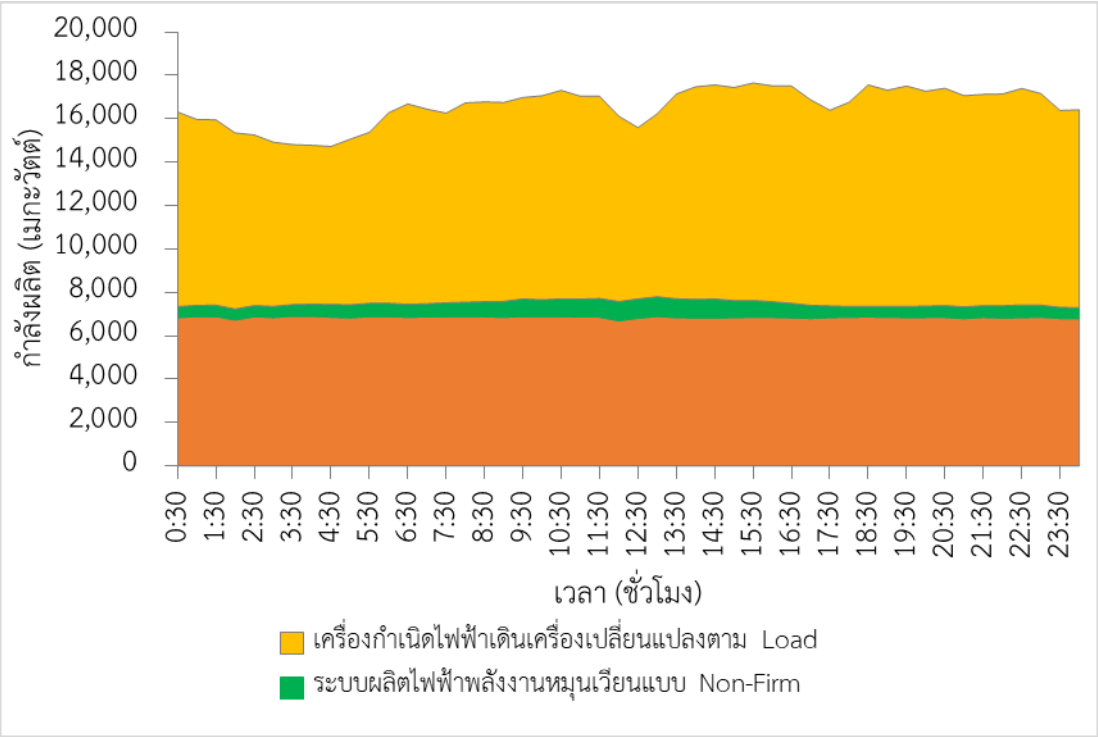
โดยเหตุผลในการกำหนดกรณีเนื่องมาจากการกำหนดกรณีที่ 1 นั้นจะทำให้ทราบถึงแนวทางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ การจัดสรรกำลังการผลิต ก่อนมีการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบ เพื่อนำเป็นกรณีฐานเปรียบเทียบกับ กรณีที่ 2-5 เพื่อให้มราบถึงผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบต่างๆ โดยในกรณีที่ 2 นั้นจะเป็นการแสดงถึงผลกระทบของเหตุการณ์ที่มีนโยบายสนับสนุนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบซึ่งเป็นกรณีที่มีแนวโน้มจะส่งกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้าในแง่ลบมากที่สุด ดังนั้นจึงมีการพิจารณากรณีที่ 3 4 และ 5 เพื่อทดสอบว่าการทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีเสถียรภาพในระดับไหนจะมีความคุ้มค่าต่อระบบผลิตไฟฟ้ามากกว่ากัน

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป้าหมายของการกำหนดกรณีทั้ง 5 กรณีนั้นทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบผลประโยชน์ และ ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีที่ต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้า หรือ เป็นแนวทางในการกำหนดคุณลักษณะระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ให้เกิดผลประโยชน์ต่อระบบผลิตไฟฟ้าสูงสุด โดยรายละเอียดของข้อมูลค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิจะแสดงดังหัวข้อต่อไปนี้

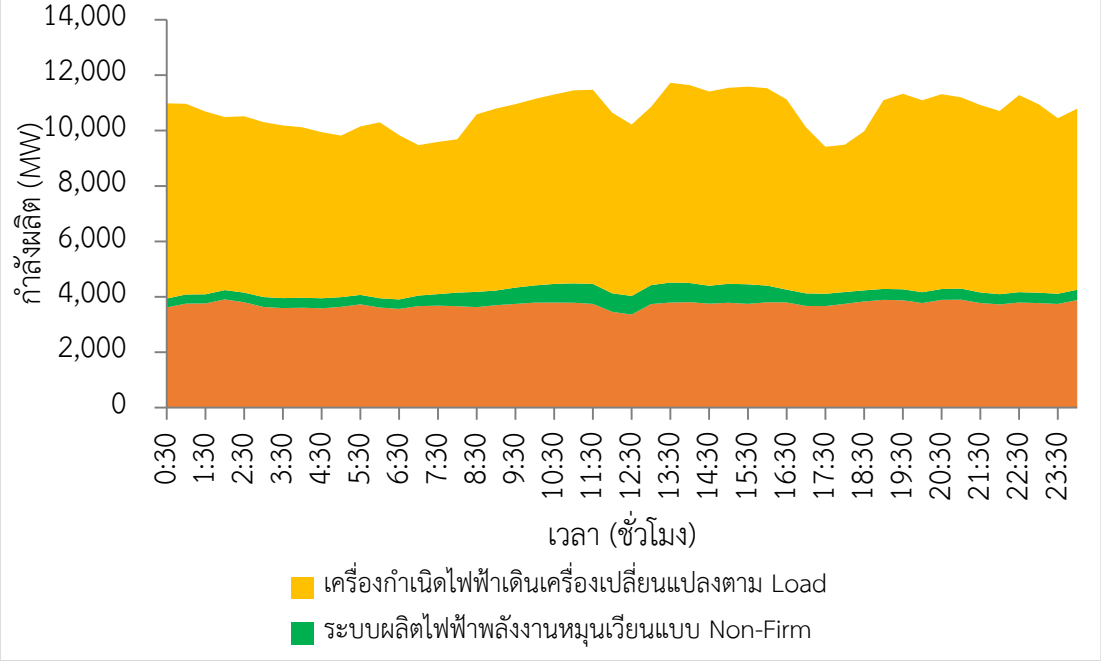
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.1 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อไม่มีการติดตั้ง RE-Firm

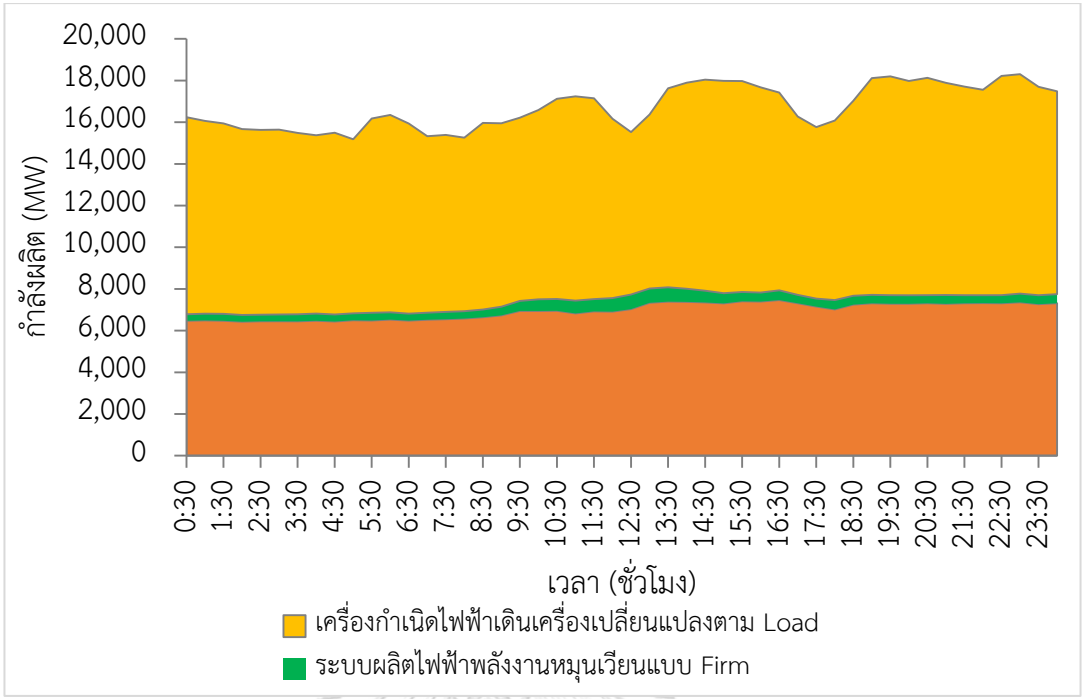
ในหัวข้อย่อยนี้จะอธิบายถึงความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เป็นกรณีฐาน และวิเคราะห์ขยายผลเพื่อค้นหาประโยชน์และผลกระทบของ Firm Renewable Energy ต่อระบบผลิตไฟฟ้าเดิมของ กฟผ. โดยจะแสดงตัวอย่างทั้งหมด 3 เดือน คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงานของเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม ดังรูปที่ 3.7 ถึง รูปที่ 3.9 ตามลำดับ และ รูปที่ 3.10 แสดงความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานทั้งสามเดือน พร้อมกัน



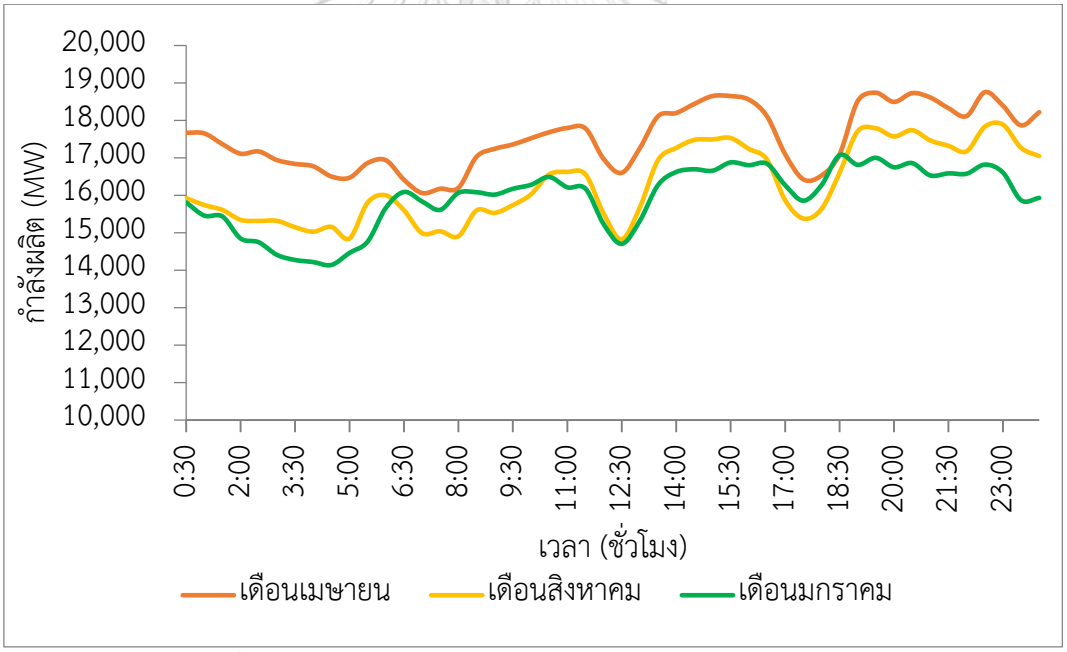
รูปที่ 3.7 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานเดือน มกราคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.8 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานเดือน เมษายน พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.9 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงานเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560



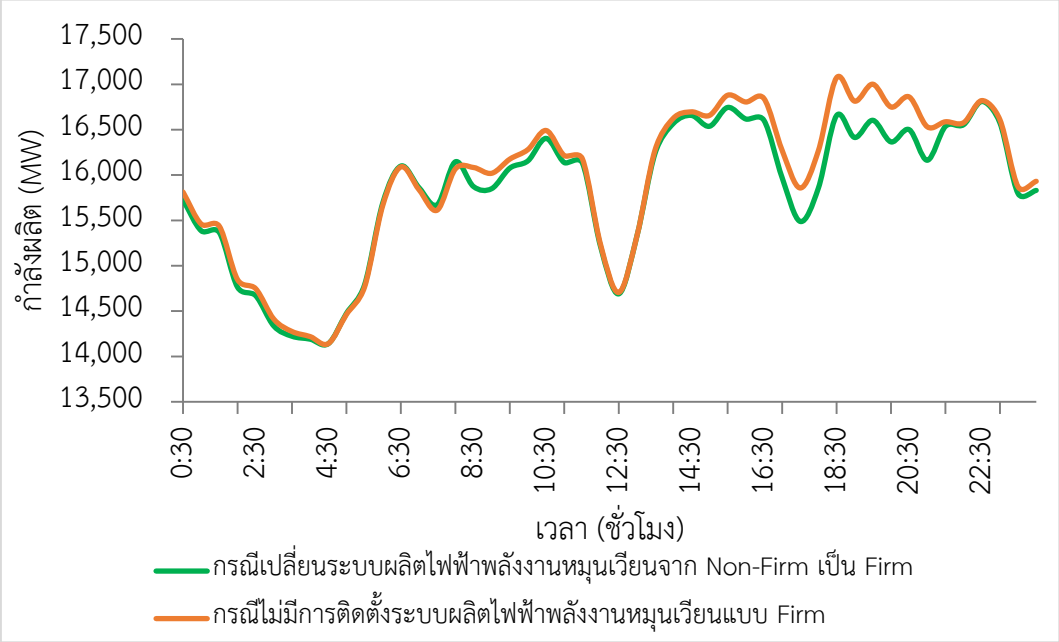
รูปที่ 3.10 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิมของ กฟผ. วันทำงาน
เดือน มกราคม เมษายน และ สิงหาคม พ.ศ. 2560

จากรูปด้านบนจะพบว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงานในช่วงเดือน เมษายน จะมีค่าสูงที่สุด และ เดือน มกราคมจะมีค่าต่ำที่สุด โดยที่ช่วงเดือน เมษายน เดือน สิงหาคม และ เดือน มกราคม จะมีค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิสูงสุดซึ่งคำนวณจากผลรวมกำลังการผลิต ณ ช่วงเวลานั้น

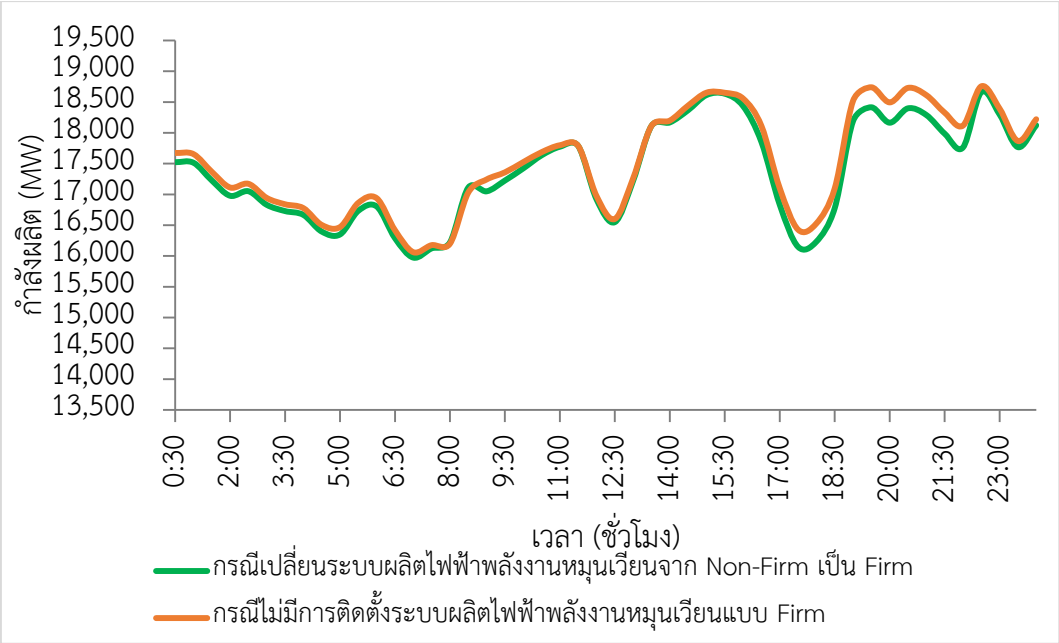
ของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้ ประมาณ 19,000 MW, 17,500 MW และ 16,000 MW ตามลำดับ

3.3.2 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW

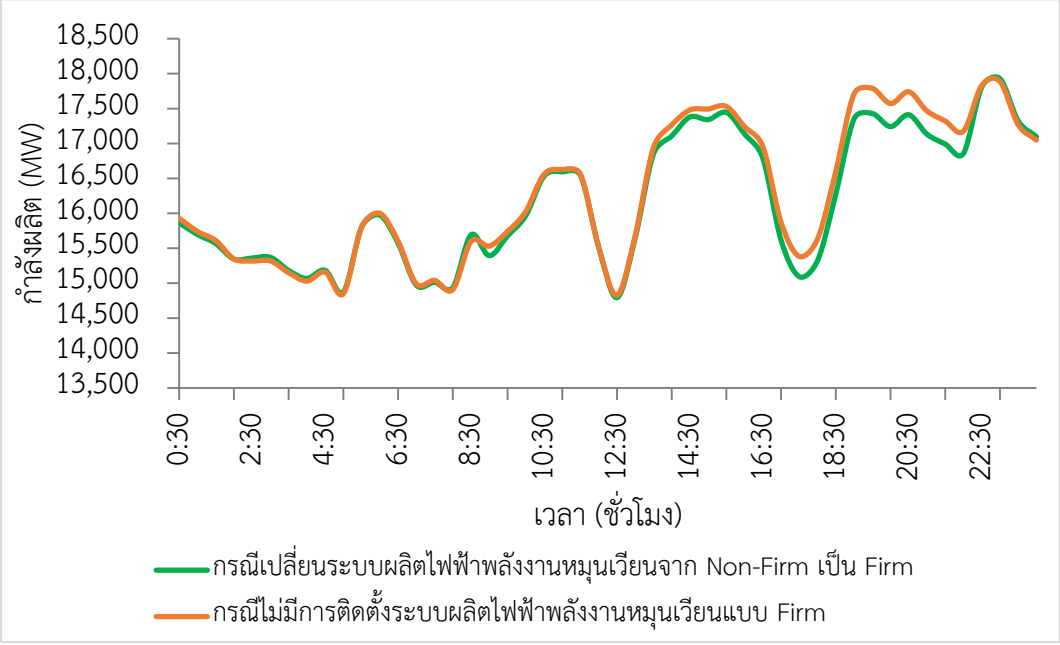
ในหัวข้อย่อยนี้จะอธิบายถึงความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (หรืออาจอธิบายได้ว่าเป็นการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม) หากมีการเปลี่ยนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm ทั้งหมดเป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีฐานและวิเคราะห์ถึงประโยชน์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm โดยจะแสดงตัวอย่างทั้งหมด 3 เดือน คือความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงานของเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม ตามลำดับ



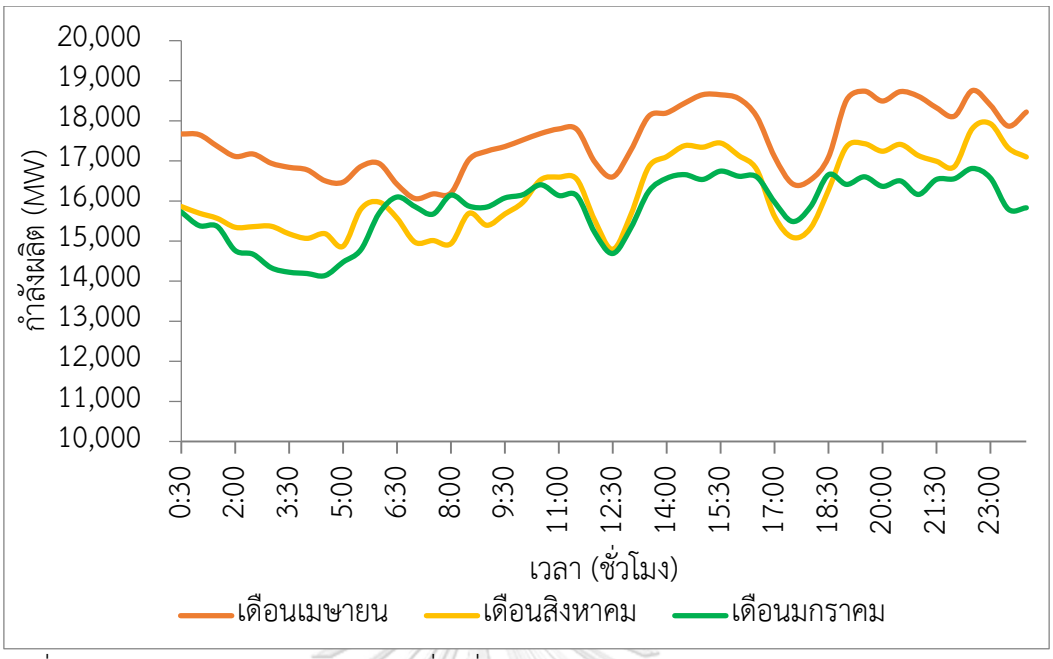
รูปที่ 3.11 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.12 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงาน เดือน เมษายน พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.13 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงาน เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560



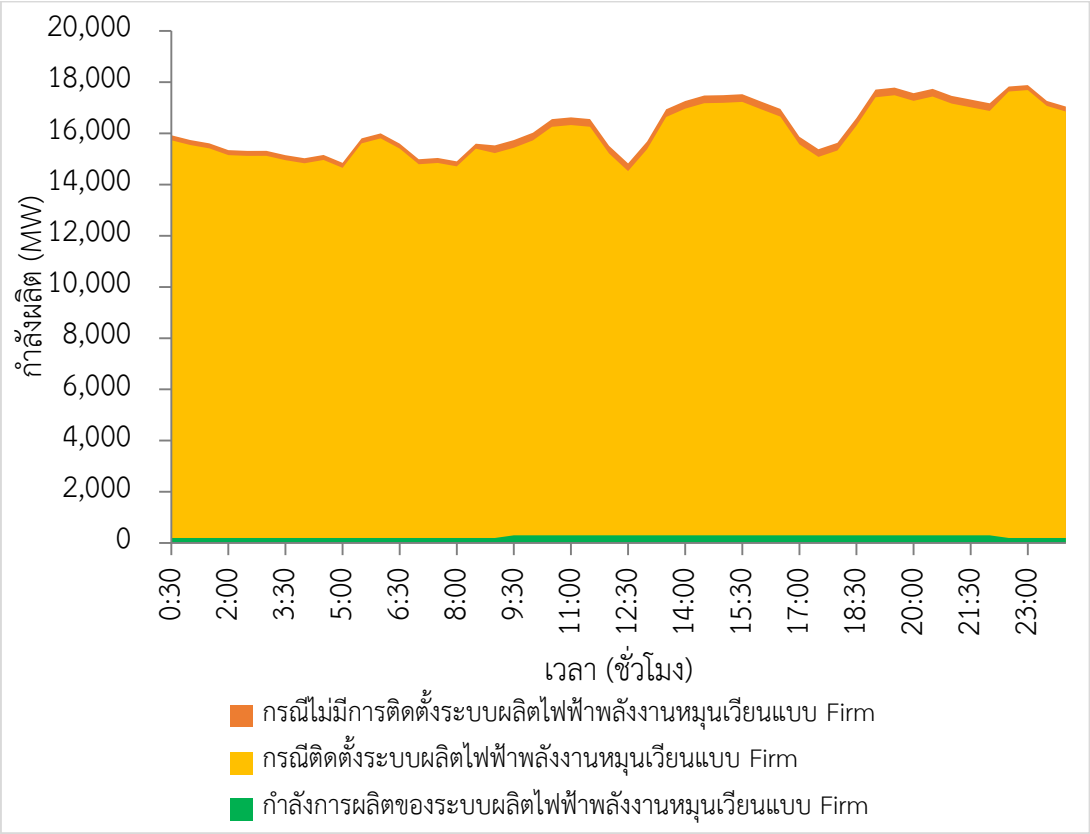
รูปที่ 3.14 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm วันทำงานเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

จากรูปด้านบนจะพบว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงานในช่วงเดือน เมษายน จะมีค่าสูงที่สุด และเดือน มกราคมจะมีค่าต่ำที่สุด โดยที่ช่วงเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิสูงสุดซึ่งคำนวณจากผลรวมกำลังการผลิต ณ ช่วงเวลานั้น ของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้ ประมาณ 18,500 MW, 17,000 MW และ 15,500 MW ตามลำดับ นอกจากนี้จะพบว่าค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 และ 2 นั้นจะมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดในช่วงเวลา 17:00 น. ถึง 22:00 น. ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ในกรณีที่ 2 นั้นเดินเครื่องน้อยกว่ากรณีที่ 1 ในช่วงเวลานี้

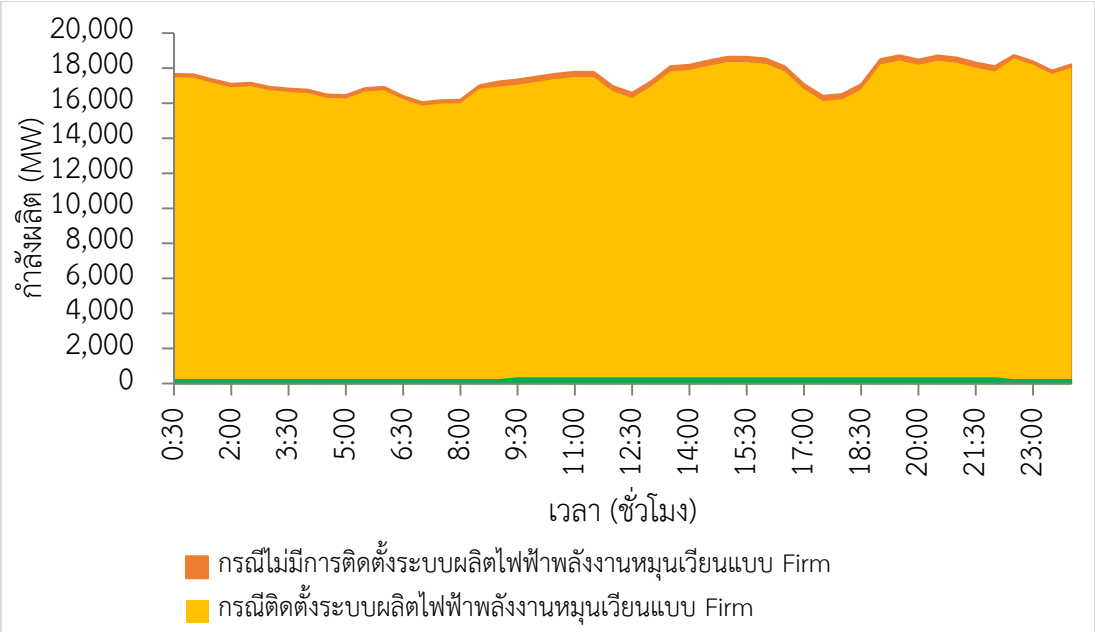
จากข้อมูลสถิติของทั้ง 3 เดือน นั้นจะพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวตรงกับช่วงเวลาที่เกิดค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิสูงที่สุดของวัน (Peak Load) ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการจัดสรรกำลังผลิตในอดีตการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาถูกก่อนในช่วงที่ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าน้อย และ จะเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ราคาสูงในช่วงที่ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าสูง จากการวิเคราะห์เบื้องต้นจะสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจาก Non-Firm เป็น Firm นั้นจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ลดลง

3.3.3 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ

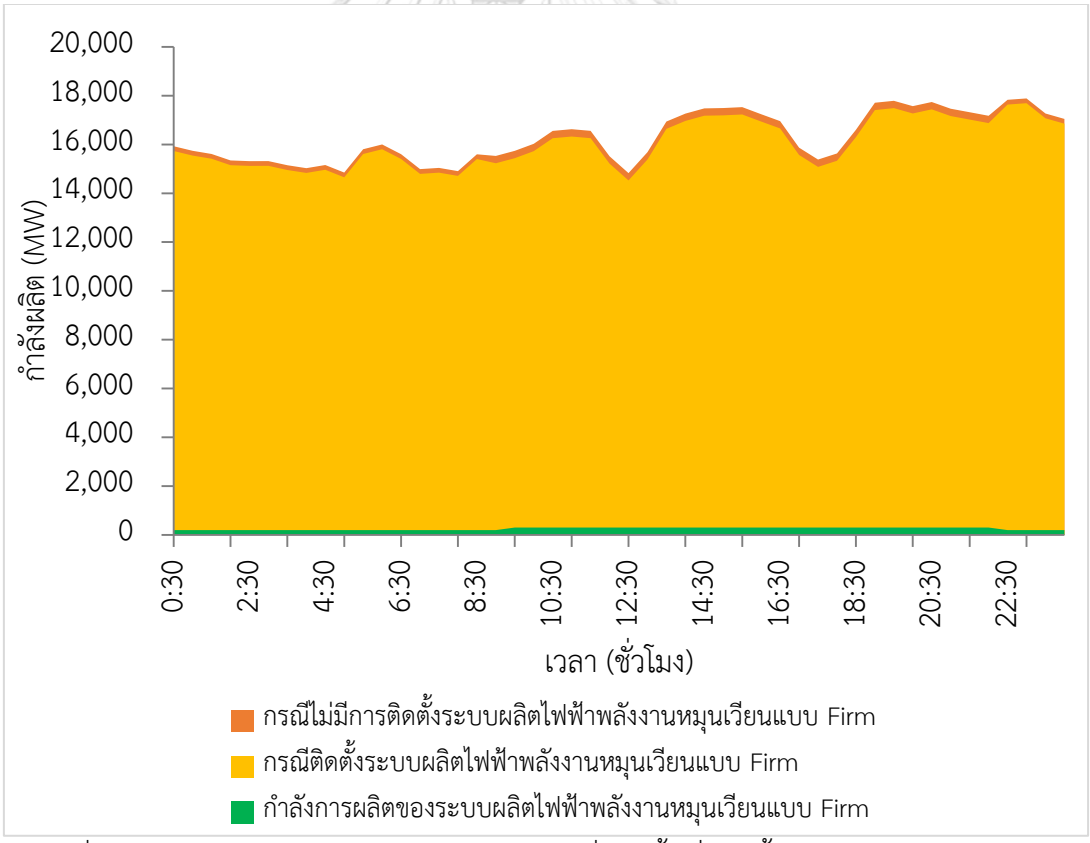
ในหัวข้อย่อยนี้จะอธิบายถึงความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหากมีการติดตั้งโรงไฟฟ้า Firm Renewable Energy ทั้งหมด 300 MW (ตามประกาศรับซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภท Hybrid Firm จำนวน 300 MW ของ กกพ.) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีฐานและวิเคราะห์ถึงประโยชน์ของ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm โดยจะแสดงตัวอย่างทั้งหมด 3 เดือน คือความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงานของเดือน มกราคม เดือน เมษายน และเดือน สิงหาคม ตามลำดับ



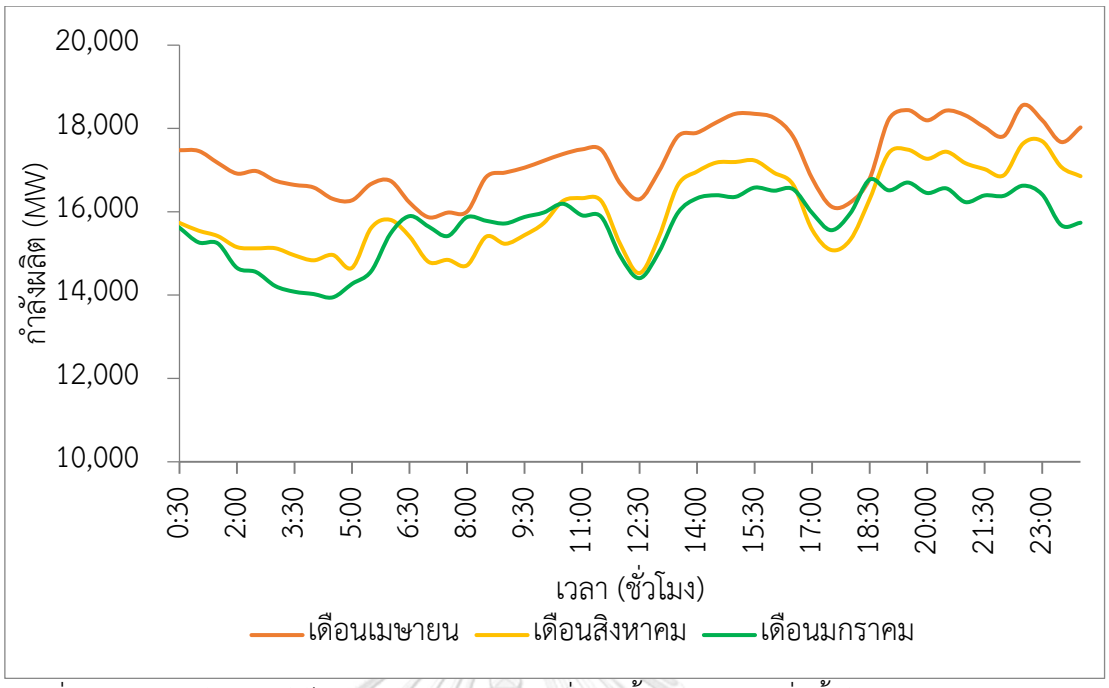
รูปที่ 3.15 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้งเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน มกราคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.16 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้งเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน เมษายน พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.17 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้งเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

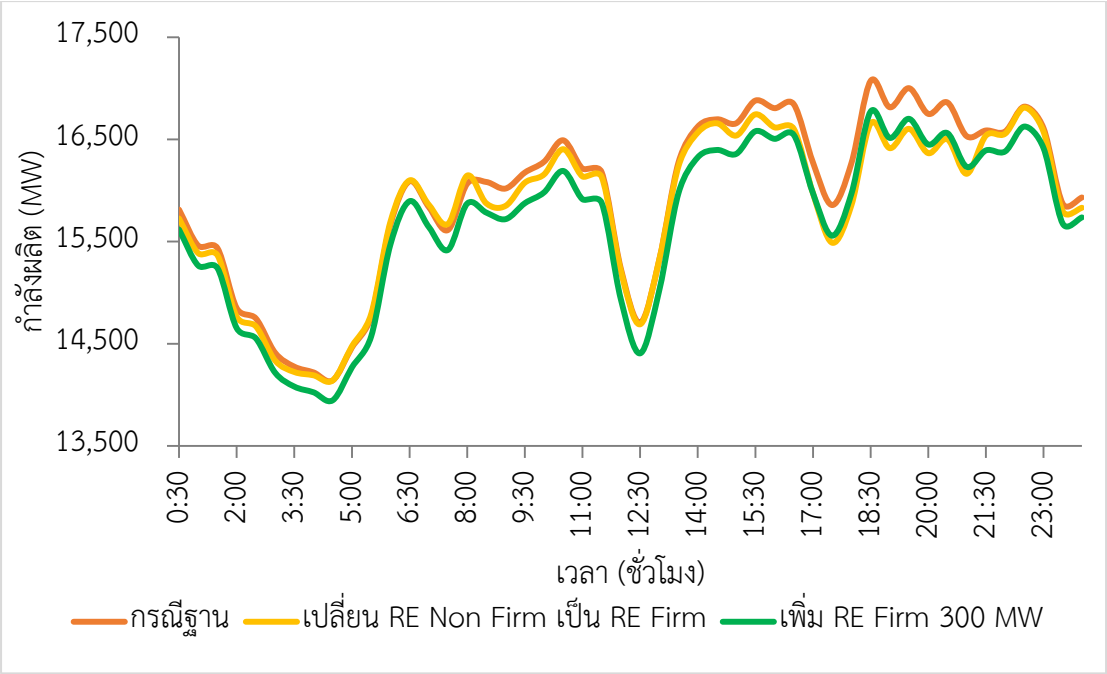


รูปที่ 3.18 ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิของ กฟผ. เมื่อติดตั้ง RE-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW วันทำงานเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

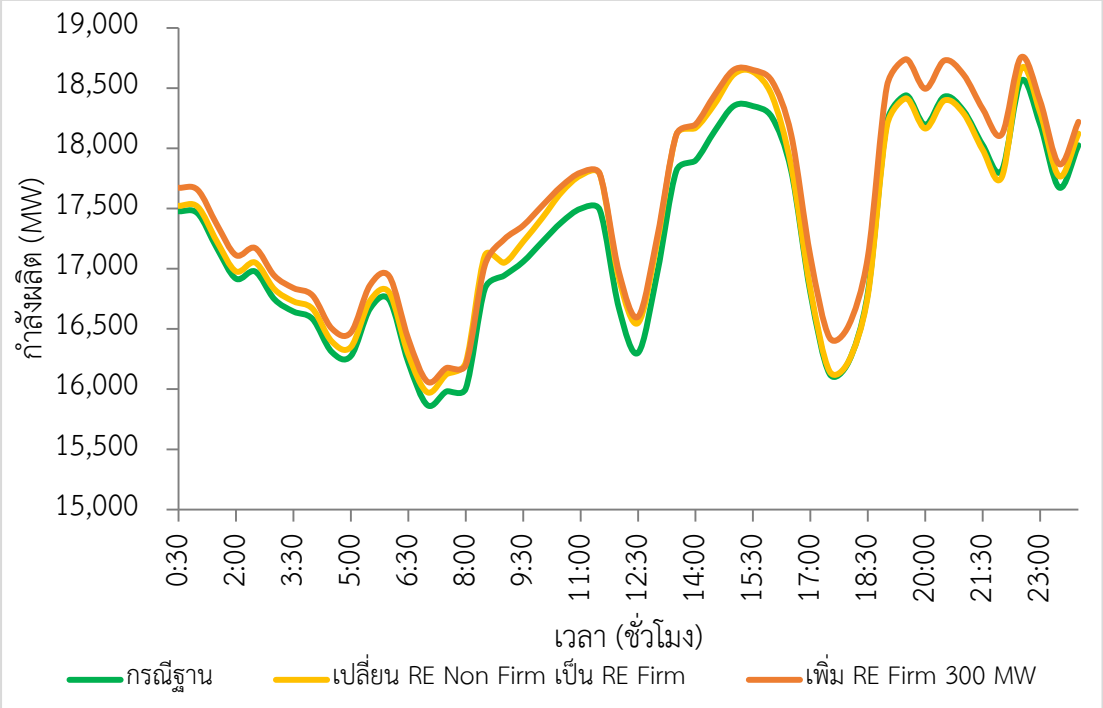
จากรูปด้านบนจะพบว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงานในช่วงเดือน เมษายน จะมีค่าสูงที่สุด และเดือน มกราคมจะมีค่าต่ำที่สุด โดยที่ช่วงเดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม จะมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิสูงสุดซึ่งคำนวณจากผลรวมกำลังการผลิต ณ ช่วงเวลานั้น ของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้ ประมาณ 18,500 MW, 17,000 MW และ 15,500 MW ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

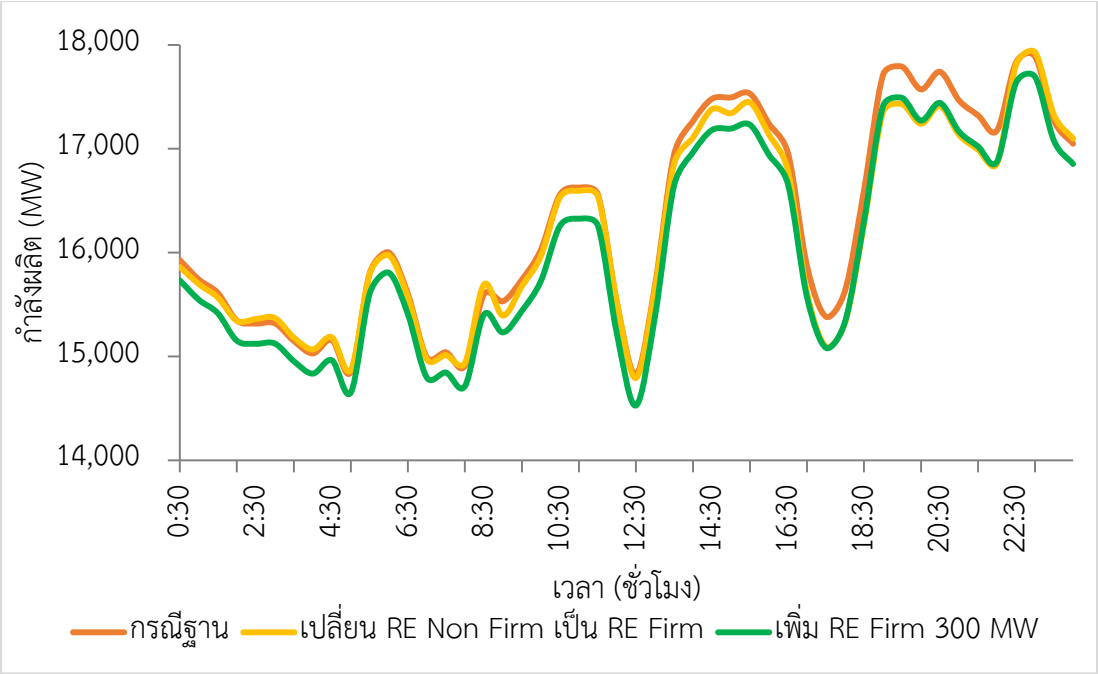
โดยสรุปแล้ว หากเปรียบเทียบกรณีความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเดิม ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อเปลี่ยน ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เป็น Firm และ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW ในแต่ละเดือน จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19 ถึง รูปที่ 3.21จะพบว่ากรณีที่เพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm 300 MW จะลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับกรณีเปลี่ยนระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เป็น RE Firm เนื่องจากว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าเกือบเทียบเท่ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm ในช่วง Off-Peak แต่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm ในช่วง Peak นั่นเอง



รูปที่ 3.19 การเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิทั้ง 3 กรณี วันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.20 การเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิทั้ง 3 กรณี วันทำงาน เดือน เมษายน พ.ศ. 2560

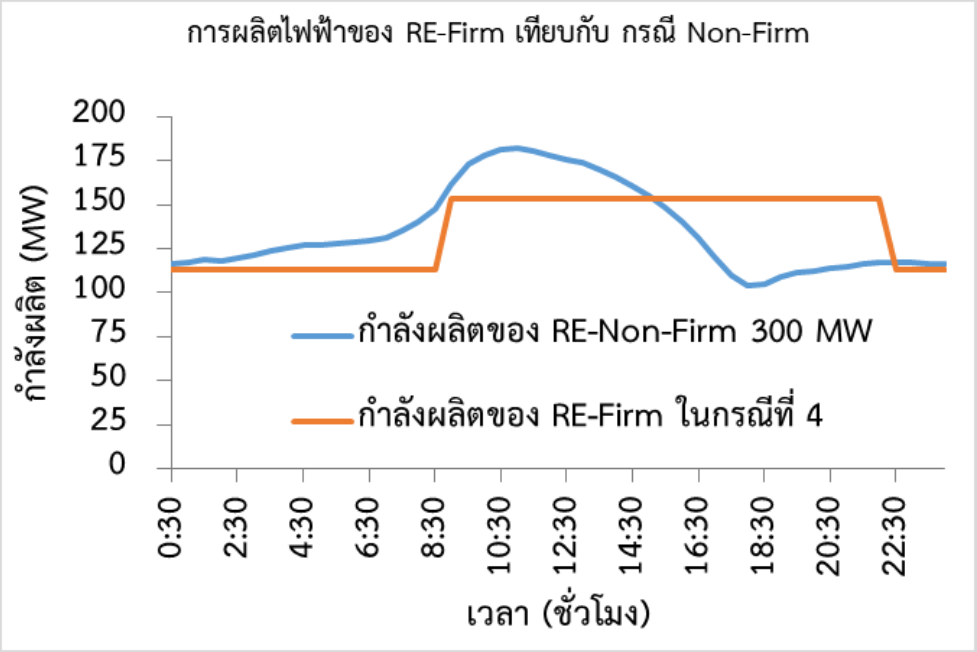


รูปที่ 3.21 การเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิทั้ง 3 กรณี วันทำงาน เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560

3.3.4 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบโดยให้พลังงาน เท่ากับการติดตั้ง Non-Firm ในระบบ 300 MW

ในกรณีนี้จะใช้รูปแบบการผลิตไฟฟ้าเหมือนกับกรณีที่ 3 แต่จะลดกำลังผลิตติดตั้งลงโดยกำหนดให้ผลรวมของพลังงานที่ผลิตได้ใน 1 วันเท่ากับ ผลรวมของพลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm ผลิตได้ 1 วันเฉลี่ยโดยลักษณะการผลิตไฟฟ้าจะสามารถแสดงได้ดัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.22 การผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานหมุนเวียนในกรณีที่ 4

จากรูปที่ 3.22 จะแสดงถึงการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าในกรณีที่ 4 โดยจะพบว่าเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm 300 MW จะสามารถผลิตพลังงานเท่ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm ติดตั้งที่ประมาน 160 MW

3.3.5 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW และ ติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในกรณีนี้ข้อมูลค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าเท่ากับ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 2 แต่จะไม่คิดถึงค่าความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในการจัดสรรกำลังการผลิต ทั้งนี้ในการทดสอบผลกระทบด้านต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจะทำการเพิ่มต้นทุนการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อลดความผันผวนลงไปด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้การคำนวณขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมดังนี้

เป้าหมายของการติดตั้งแบตเตอรี่คือการลดความผันผวนของระบบไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน หรือการทำให้ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในแต่ละช่วงเวลาเข้าใกล้ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่สุดเนื่องจากค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยคือค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนที่ กฟผ. ได้รับจากผู้ประกอบการแต่ละรายนั่นเอง โดยการรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ใน 1 วันรวมกันมีค่าเท่ากับ 0 เพื่อให้ State of Charge

(อัตราส่วนของพลังงานที่กักเก็บอยู่ในแบตเตอรี่เทียบพลังงานทั้งหมดที่แบตเตอรี่สามารถกักเก็บได้) ของแบตเตอรี่ ณ ช่วงเวลาเริ่มต้น และช่วงเวลาสิ้นสุดของวันมีค่าเท่ากัน

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในการกำหนดการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อลดความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและบังคับให้การรับและจ่ายพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ใน 1 วันมีค่าเท่ากับ 0 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$Min \quad \sum_{t=1}^{96} (mean\ power_t - actual\ power_t - P_{BESS,t})^2 \tag{3.1}$$

$$s.t. \quad \sum_{t=1}^{96} P_{BESS,t} = 0 \tag{3.2}$$

$mean\ power_t$	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหรือค่าพยากรณ์ ชั่วโมงที่ t
$actual\ power_t$	กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง ชั่วโมงที่ t
$P_{BESS,t}$	กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ชั่วโมงที่ t

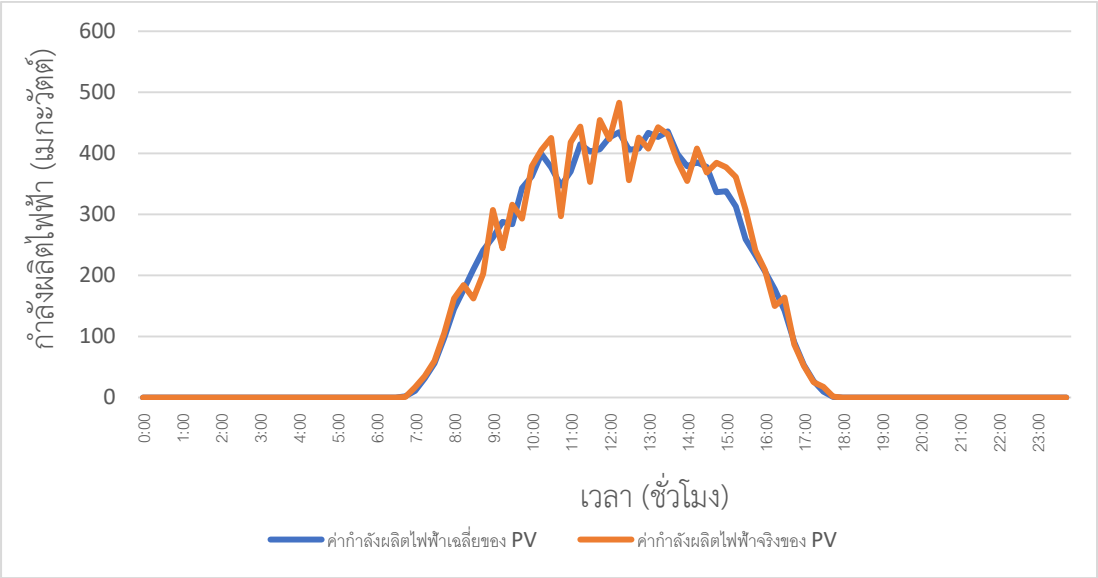
ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านบนสามารถจัดให้อยู่ในรูปของ Quadratic Programming ได้โดย จุดประสงค์ของการกำหนดการทำงานของแบตเตอรี่ด้วยสมการนี้คือการทำให้ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนน้อยที่สุด (ใช้แบตเตอรี่รับและจ่ายพลังงานให้การผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยที่ผู้ประกอบการพยากรณ์) โดยสามารถแบ่งกรณีการรับและจ่ายประจุของแบตเตอรี่ออกได้เป็น 2 กรณีคือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

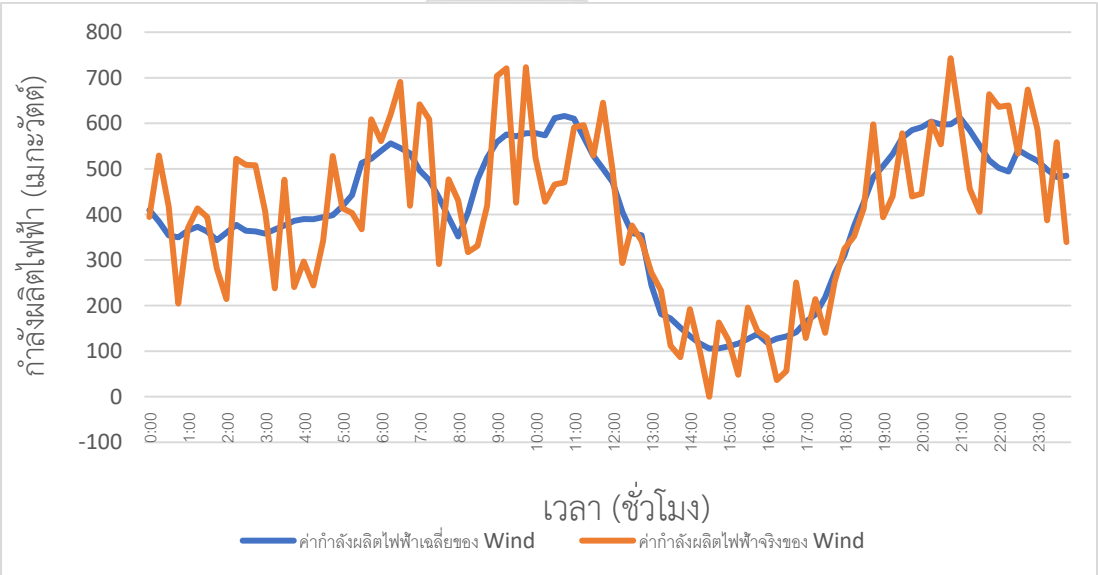
- ถ้า $actual\ power_t > mean\ power_t$ โปรแกรมจะคำนวณ $P_{BESS,t}$ เป็นลบเพื่อให้แบตเตอรี่ชาร์จพลังงานส่วนเกิน
- ถ้า $actual\ power_t < mean\ power_t$ โปรแกรมจะคำนวณ $P_{BESS,t}$ เป็นบวกเพื่อให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานส่วนที่ขาด

จากข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมในฐานข้อมูล SPP ของ คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานพบว่ามีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามสัญญา 436 MW และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม 616 MW (ที่มา : กกพ., http://www.erc.or.th/ERCSPP, 2018) [23] จากขนาดกำลังผลิตติดตั้งของระบบไฟฟ้าพลังงาน

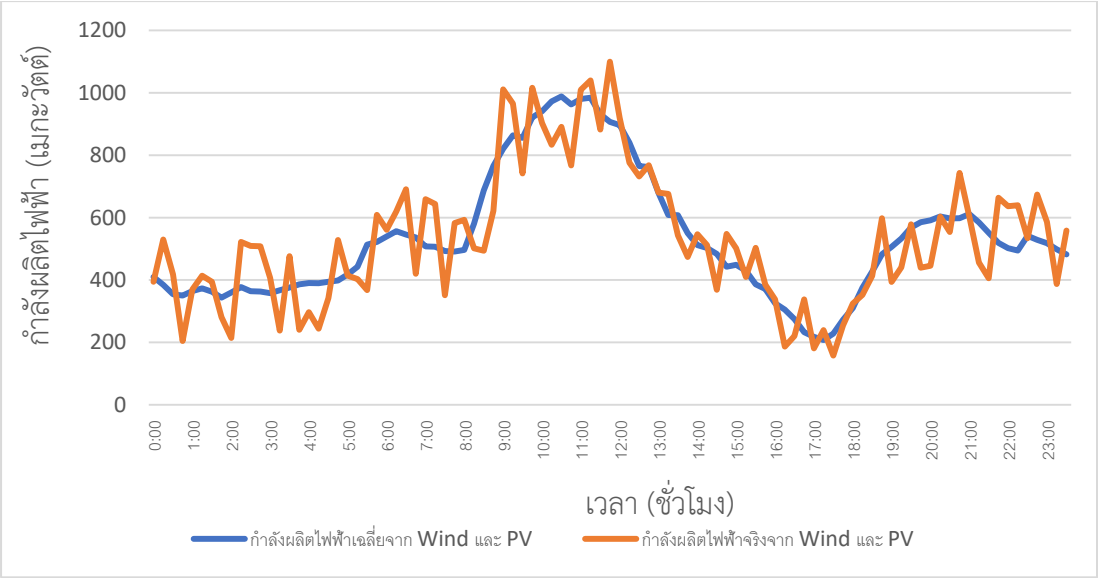
หมุนเวียนดังกล่าวสามารถสร้างแบบจำลองความผันผวนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม และผลรวมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ได้ดังรูปที่ 3.23 ถึง รูปที่ 3.24



รูปที่ 3.23 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 436 MW

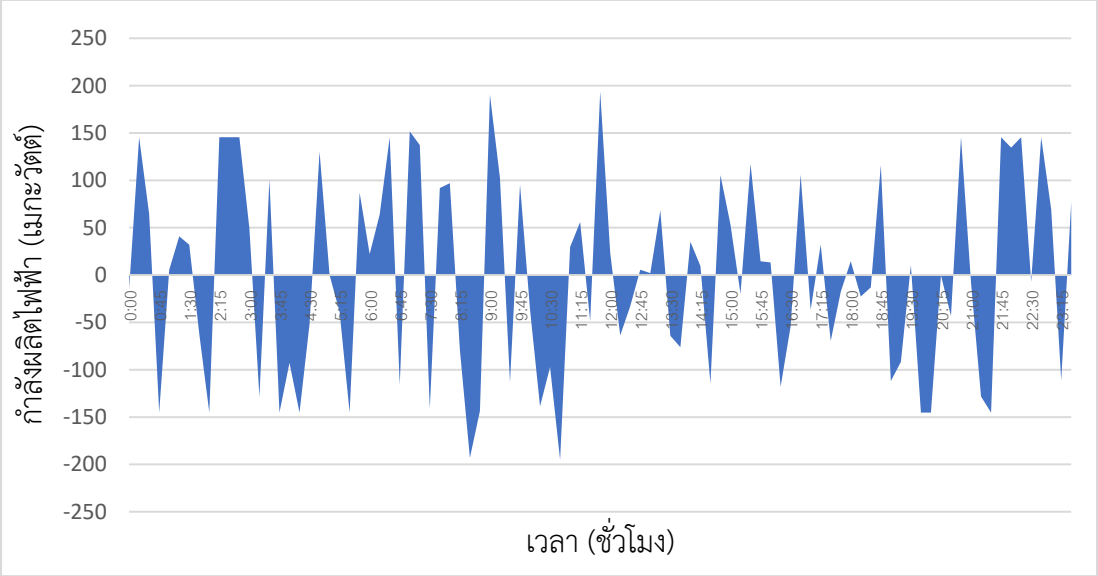


รูปที่ 3.24 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม ขนาด 616 MW



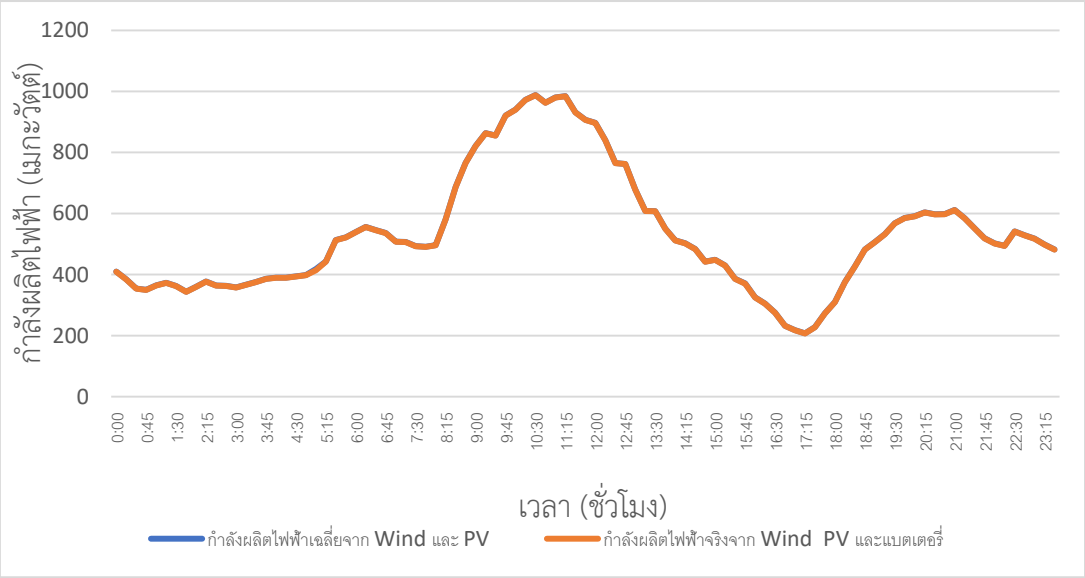
รูปที่ 3.25 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 436 MW และพลังงานลมขนาด 616 MW

จากรูปที่ 3.25 หากคำนวณขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 3.1 จะสามารถคำนวณการรับและจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ใน 1 วันได้ดังรูปที่ 3.26 โดยที่ค่ากำลังผลิตไฟฟ้ามากกว่า 0 หมายถึงการจ่ายพลังงานไฟฟ้า และค่ากำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 0 หมายถึงการรับพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่



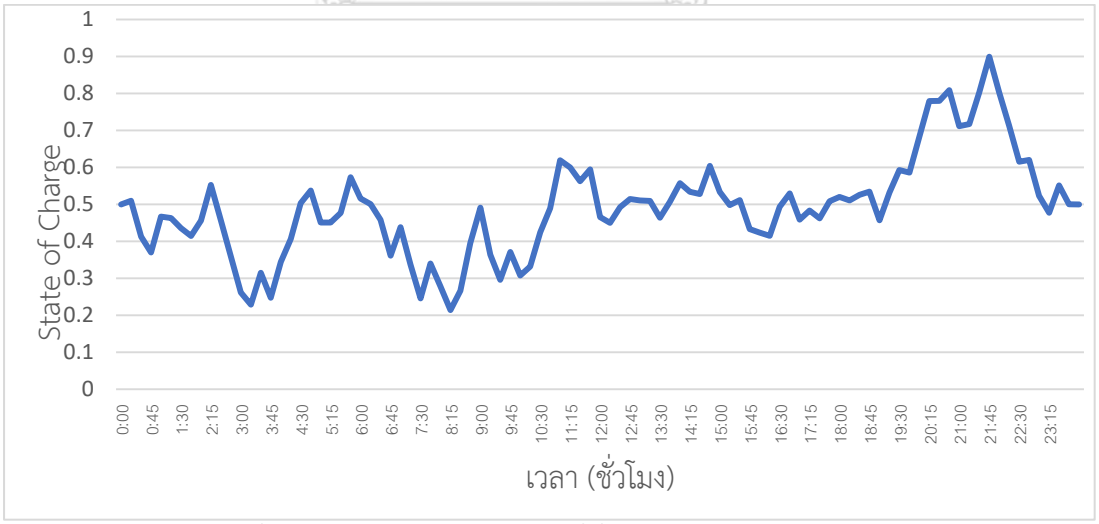
รูปที่ 3.26 การจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ใน 1 วัน

หากควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ดังรูปด้านบน จะทำให้การผลิตไฟฟ้าจริงจากพลังงานหมุนเวียนมีค่าเข้าใกล้การผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยจากพลังงานหมุนเวียนโดยมีความคลาดเคลื่อนกำลังสองเพียง โดยสามารถแสดงผลการปรับการผลิตไฟฟ้าจริงจากพลังงานหมุนเวียนได้ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ค่ากำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยและค่ากำลังผลิตไฟฟ้าจริงของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 436 MW และพลังงานลมขนาด 616 MW หลังทำการปรับด้วยแบตเตอรี่

ซึ่งจากรูปที่ 3. หากคำนึงถึงข้อจำกัดทาง State of Charge (SoC) ของแบตเตอรี่ที่ต้องมีค่ามากกว่า 0.1 และน้อยกว่า 0.9 ซึ่งเป็นสเปคการทำงานโดยทั่วไปของแบตเตอรี่ จะทำให้สามารถคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ได้ดังนี้ P_{rated} มีค่า 195 MW และ E_{rated} มีค่า 375 MWh และสามารถแสดง SoC ของแบตเตอรี่ใน 1 วันได้ดังรูปที่ 3.28



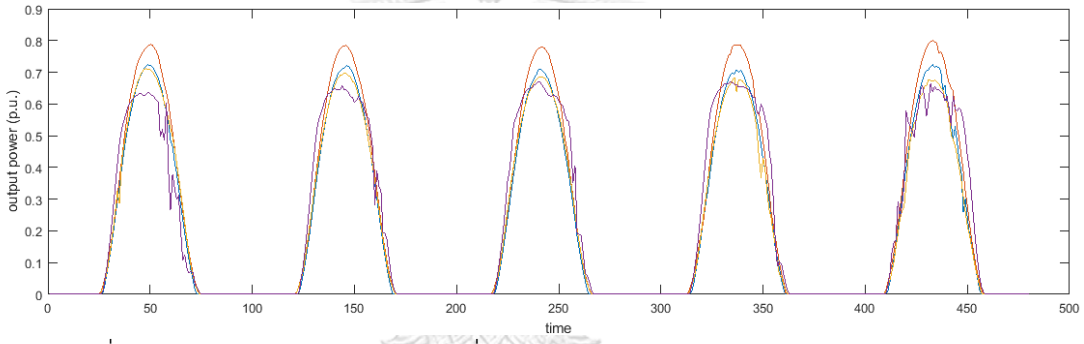
รูปที่ 3.28 ค่า SoC ของแบตเตอรี่ที่ได้จากการคำนวณใน 1 วัน

จากผลลัพธ์ทั้งหมดจะพบว่าการคำนวณการทำงานของแบตเตอรี่ที่ได้นำเสนอสามารถลดการผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้ รวมทั้งสอดคล้องต่อเงื่อนไขการ

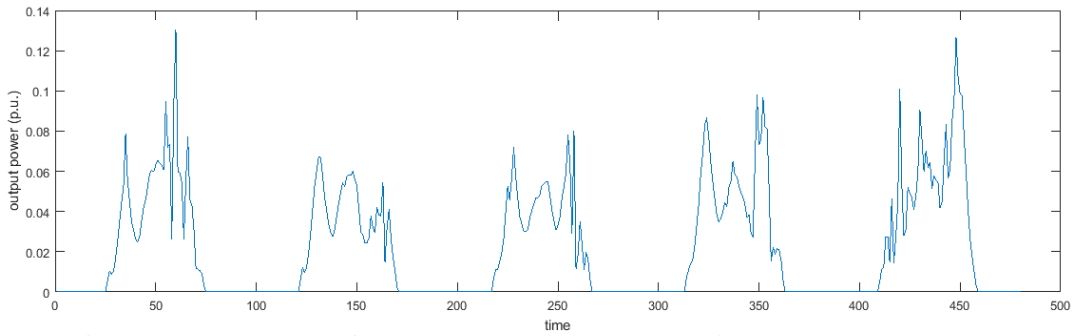
ทำงานในทางปฏิบัติของแบตเตอรี่ได้ โดยที่ผลลัพธ์การคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมคือ 195 MW และ 375 MWh

3.4 แบบจำลองความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนสามารถถูกสร้างได้จากข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม โดยคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมแต่ละโรงไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา โดยตัวอย่างการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.28 – 3.29

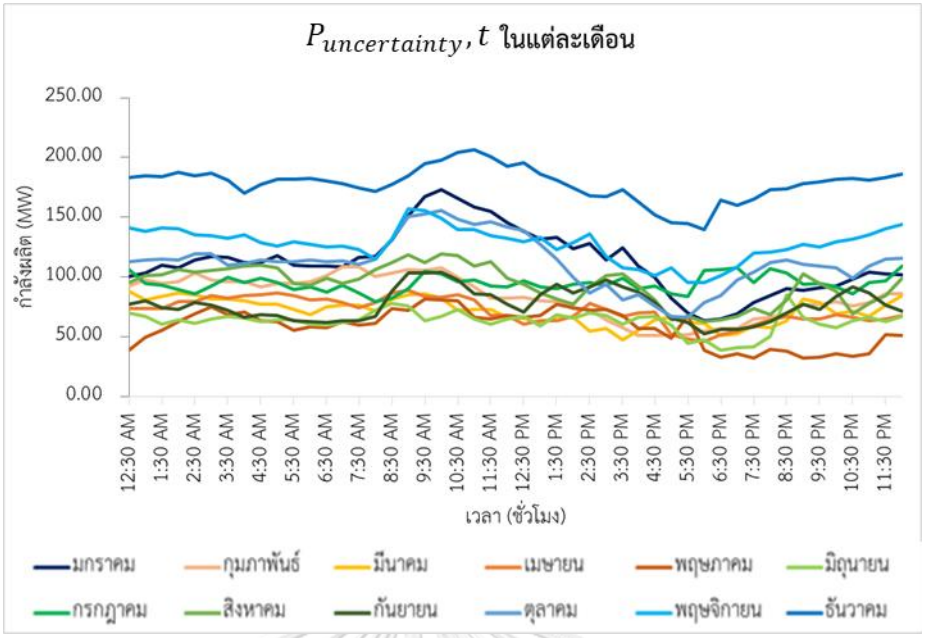


รูปที่ 3.29 ตัวอย่างข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ใน 5 วัน



รูปที่ 3.30 ตัวอย่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ใน 5 วัน

หลังจากคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่เวลาต่างๆ โดยแบ่งเป็นแต่ละเดือน เพื่อนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์ในเดือนต่างๆ โดยตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าความผันผวนจะถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.31 ค่าความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ในแต่ละเดือน

จากการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm ในปี 2560 จะพบว่าค่าความผันผวนสูงสุดจะเกิดขึ้นในเดือน ธันวาคม โดยมีค่าความผันผวนสูงสุดอยู่ที่ 206.44 MW โดยที่มีกำลังผลิตตามสัญญาอยู่ที่ 1,689 MW

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
การคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการเดินเครื่อง

4.1 การจัดสรรกำลังผลิต

4.1.1 การคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตควบคู่ไปด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เท่ากับ ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากับค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับ ดังสมการที่ 4.1

$$ObjectiveFunction = \sum_{k=1}^{n}(C_k P_k) + E\left(C_{outage}\right) \quad (4.1)$$

เมื่อ $ObjectiveFunction$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (บาทใน 30 นาที)

C_k คือ ต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าที่ k (บาทต่อ MW ใน 30 นาที)

P_k คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ผลิตของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)

$E\left(C_{outage}\right)$ คือ ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (บาทใน 30 นาที)

n คือ จำนวนโรงไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.2 ข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการจัดสรรกำลังการผลิต

ในการจัดสรรกำลังผลิตนั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงต้นทุนโดยรวมของระบบแล้วยังจะต้องคำนึงค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ต้องจัดสรรกำลังผลิตให้เพียงพอโดยที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมของโรงไฟฟ้าทุกโรงไฟฟ้าจะต้องเท่ากับความต้องการใช้ไฟฟ้าดังสมการที่ 4.2

$$\sum_{k=1}^{n} P_k = P_{d,net} \tag{4.2}$$

เมื่อ P_k คือ กำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ผลิตของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)

n คือ จำนวนโรงไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้

$P_{d,net}$ คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ (MW)

นากจากต้องคำนึงถึงค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าแล้ว การจัดสรรกำลังผลิตนั้นจะต้องพิจารณาพิกัดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีขอบเขตพิกัดกำลังผลิตที่สามารถทำงานได้ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องจะต้องถูกจัดสรรกำลังการผลิตให้อยู่ในช่วงพิกัดที่สามารถทำงานได้ ดังสมการที่ 4.3

$$P_{min,k} \le P_k \le P_{max,k} \tag{4.3}$$

เมื่อ $P_{min,k}$ คือ กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)

$P_{max,k}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 การคำนวณพลังงานที่คาดว่าจะไม่สามารถจ่ายได้ Expected Energy Not Supplied (EENS)

ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (Expected Outage Cost) เป็นค่าที่ขึ้นกับปริมาณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย โอกาสที่โรงไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่จะขัดข้อง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความไม่แน่นอน และค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (Value of Loss Load: VOLL) ซึ่งค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.4

$$E\left(C_{outage}\right) = EENS \times VOLL \tag{4.4}$$

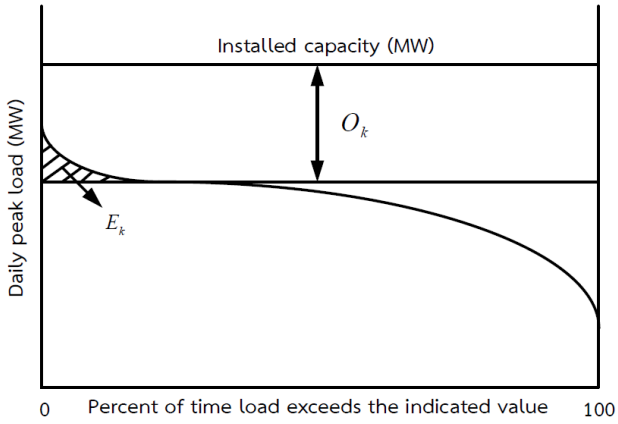
เมื่อ $E\left(C_{outage}\right)$ คือ ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (บาทใน 30 นาที)

$EENS$ คือ พลังงานที่คาดว่าจะไม่สามารถจ่ายได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมงใน 30 นาที)

$VOLL$ คือ ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)

ค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (VOLL) คือ ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้าหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 54.6 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง อ้างอิงจาก “T. L. GROUP, 2016” [24] สำหรับพลังงานที่คาดว่าจะไม่สามารถจ่ายได้ (Expected Energy Not Supplied) เป็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้ชนิดหนึ่ง หมายถึง พลังงานที่คาดว่าไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจากเหตุการณ์ที่กำลังผลิตไฟฟ้าในระบบมีค่าน้อยกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการสร้างตารางความน่าจะเป็นในการขาดกำลังผลิต (Capacity Outage Probability Table: COPT) ประกอบกับเส้นโค้งช่วงระยะเวลาของโหลด (Load Duration Curve) ดังแสดงใน รูปที่ 4.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.1 พลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการจ่าย เมื่อระบบไฟฟ้าสูญเสียกำลังผลิต O_k

จากรูปที่ 4.1 เมื่อระบบไฟฟ้าสูญเสียกำลังผลิต O_k พื้นที่แรเงา E_t แสดงถึงพลังงานไฟฟ้าที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่ได้รับการจ่าย เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงกว่ากำลังผลิตที่ระบบสามารถผลิตได้ โดยความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์นี้มีค่าเท่ากับ f_t จะสามารถคำนวณค่า EENS ได้ดังนี้

$$EENS = \sum_{k=1}^{N} f_t \, E_t \tag{4.5}$$

โดยที่ N คือจำนวนสถานะทั้งหมดของ COPT ซึ่งค่า EENS ในส่วนนี้ใช้เพื่อประเมินปริมาณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย หากมีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมาก จะส่งผลให้ EENS มีค่าน้อยโดย E_k จะสามารถคำนวณได้ดังสมการดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$E_t = \sum_{j=1}^{m} P_j + P_{uncertainty,t} - \left(\sum_{k=1}^{n} SR_k - \sum_{j=1}^{m} SR_j \right) \tag{4.6}$$

กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$SR_k = u_k \times min\{P_{max,k} - P_k, \tau R_{up,k}\} \tag{4.7}$$

ดยที่ SR_k คือ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)

u_k คือ สถานะของโรงไฟฟ้าที่ k

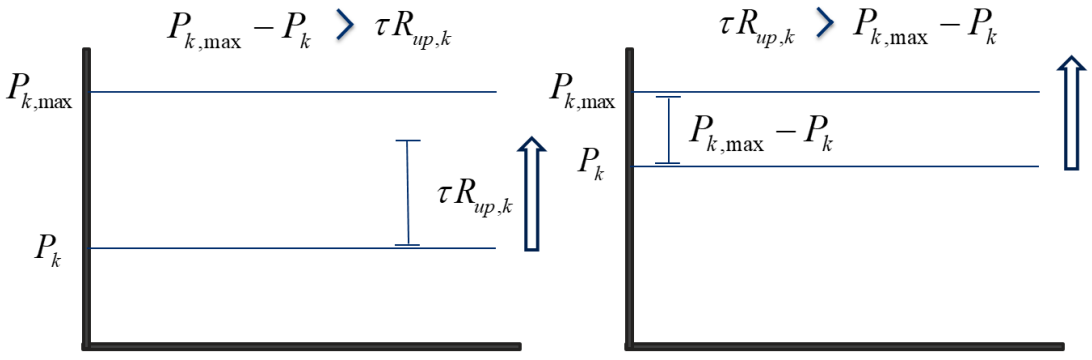
หากมีค่าเป็น 1 หมายถึงโรงไฟฟ้าถูกสั่งให้เดินเครื่อง

หากมีค่าเป็น 0 หมายถึงโรงไฟฟ้าไม่ได้ถูกสั่งให้เดินเครื่อง

$P_{max,k}$	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)
P_k	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้ผลิตของโรงไฟฟ้าที่ k (MW)
τ	คือ	ระยะเวลาที่กำหนดให้โรงไฟฟ้าเร่งเครื่องขึ้น (นาที)
$R_{up,k}$	คือ	อัตราการเพิ่มกำลังไฟฟ้า (Ramp rate) ของโรงไฟฟ้าที่ k (MW/นาที)
$P_{uncertainty},t$	คือ	ความผันผวนของ RE Non-Firm ที่เหตุการณ์ t ซึ่งจะสามารถคำนวณได้ตามแบบจำลองความคาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4
P_j	คือ	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้องในเหตุการณ์ t
SR_j	คือ	กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้องในเหตุการณ์ t
n	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่ถูกสั่งเดินเครื่อง
m	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้อง

จากสมการที่ 4.7 จะพบว่ากำลังผลิตสำรองจะสามารถคำนวณได้โดยแบ่งเป็น 2 กรณีได้แก่ กรณีที่กำลังผลิตที่เหลืออยู่หลังการจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มากกว่า ความสามารถในการเพิ่มกำลังผลิตใน 15 นาที และ กรณีที่กำลังผลิตที่เหลืออยู่หลังการจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า น้อยกว่า ความสามารถในการเพิ่มกำลังผลิตใน 15 นาทีโดยกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายจะมีค่าเท่ากับค่าที่น้อยกว่าเสมอโดยรูปแบบการคำนวณจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



$SR_k = \tau R_{up,k}$ $\qquad$ $SR_k = P_{max,k} - P_k$

รูปที่ 4.2 การคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายสามารถคำนวณได้หลังจากการจัดสรรกำลังผลิต จากนั้นกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายจะถูกใช้เพื่อคำนวณ EENS วิธีการคำนวณ EENS ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้วิธี State Selection อ้างอิงจาก “A. Bellinton, 1984” หลักการของวิธีนี้ คือ การคำนวณโอกาสที่โรงไฟฟ้าจะขัดข้อง โดยละเลยเหตุการณ์ที่มีโอกาสเกิดน้อย ในที่นี้ จะพิจารณาเฉพาะการเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้าไม่เกิน 2 โรงไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน (N-2) ตามตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลความเชื่อถือได้ของโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้า	โอกาสเกิดเหตุขัดต้อง	โอกาสไม่เกิดเหตุขัดข้อง
G1	0.05	0.95
G2	0.1	0.9
G3	0.2	0.8

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณความน่าจะเป็นที่โรงไฟฟ้าจะขัดข้องในรูปแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การคำนวณโอกาสเกิดเหตุขัดข้อง

โรงไฟฟ้าที่ขัดข้อง	โอกาสเกิดเหตุขัดข้อง
G1	(0.05)(0.9)(0.8) = 0.036
G2	(0.95)(0.1)(0.8) = 0.076
G3	(0.95)(0.9)(0.2) = 0.171
G1 และ G2	(0.05)(0.1)(0.8) = 0.004
G1 และ G3	(0.05)(0.9)(0.2) = 0.009
G2 และ G3	(0.95)(0.1)(0.2) = 0.019

ผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้จากตัวอย่างที่กล่าวมา คือ ความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุขัดข้องในแต่ละกรณี ซึ่งในแต่ละกรณีสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายได้หากเกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้า สามารถคำนวณได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

กำหนดให้ ต้องการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเท่ากับ 120 MW แต่ช่วงเวลาดังกล่าว การพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความคลาดเคลื่อน ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พยากรณ์ 10 MW จากการจัดสรรกำลังผลิต จะได้กำลังผลิตไฟฟ้าและกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายของแต่ละโรงไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การจัดสรรกำลังผลิต

โรงไฟฟ้า	**กำลังไฟฟ้าที่ถูกจัดสรรให้ผลิต (MW)**	**กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (MW ใน 15 นาที)**
G1	70	30
G2	30	10
G3	20	10

หากโรงไฟฟ้า G1 เกิดเหตุขัดข้อง โรงไฟฟ้า G2 และ G3 จะใช้กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าเพื่อให้กำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายได้มีค่าลดลง ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างผลลัพธ์การสัดสรรกำลังการผลิตหลาก G1 เกิดเหตุขัดข้อง

โรงไฟฟ้า	**กำลังไฟฟ้าที่ถูกจัดสรรให้ผลิต (MW)**
G1 (เกิดเหตุขัดข้อง)	0
G2	30 + 10 = 40
G3	20 + 10 = 30

ซึ่งความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าเท่ากับ 120 MW แต่เนื่องจากโรงไฟฟ้า G1 ขัดข้อง ทำให้โรงไฟฟ้า G2 และ G3 จ่ายไฟฟ้าได้รวมกับ 70 MW แต่เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่พยากรณ์ 10 MW กล่าวคือ ระบบไฟฟ้าสูญเสียกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย 10 MW เพื่อรองรับความคลาดเลื่อนของความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิจากค่าที่พยากรณ์ ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่สามารถจ่ายได้จะมีค่าเท่ากับ 70 – 10 เท่ากับ 60 MW แต่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าเท่ากับ 120 MW ดังนั้น กำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายได้ เท่ากับ 120 – 60 เท่ากับ 60 MW หากคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายได้ในทุกเหตุการณ์โรงไฟฟ้าขัดข้องที่สนใจ ทำให้สามารถคำนวณ EENS ได้จากสมการที่ 4.5 ซึ่งค่า EENS ที่คำนวณได้จะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับจากสมการที่ 4.6

4.2 การเปลี่ยนแปลงผลการเดินเครื่อง

จากหัวข้อที่ 3.3 จะพบว่าในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าหลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. โดยแบ่งเป็น 4 กรณี แต่การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ กฟผ. ได้วางแผนไว้ในอดีต ถูกวางแผนไว้สำหรับค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 เท่านั้น ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะเสนอถึง แนวทางการเปลี่ยนแปลงผลการเดินเครื่อง โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีสมมุติฐานว่า ในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนสามารถลดค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิได้ หาก กฟผ. ลดจำนวนการเดินเครื่องจากเดิมลง 1 เครื่องอาจจะทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมลดลงได้ ในทางกลับกัน เมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะส่งผลให้ ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้ามีแนวโน้มจะต้องเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย ดังนั้น หาก กฟผ. สั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 เครื่อง อาจจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมดีขึ้น

จากการวิเคราะห์ข้างต้นจะพบว่าการพิจารณาเปลี่ยนแปลงผลการเดินเครื่องโดย เพิ่ม หรือ ลด การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่องอาจทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยรวมดีกว่ากรณีที่เดินเครื่องแบบเดิม โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้มี หลักการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องถูกสั่งให้หยุดการเดินเครื่อง หรือ เริ่มเดินเครื่อง ดังนี้

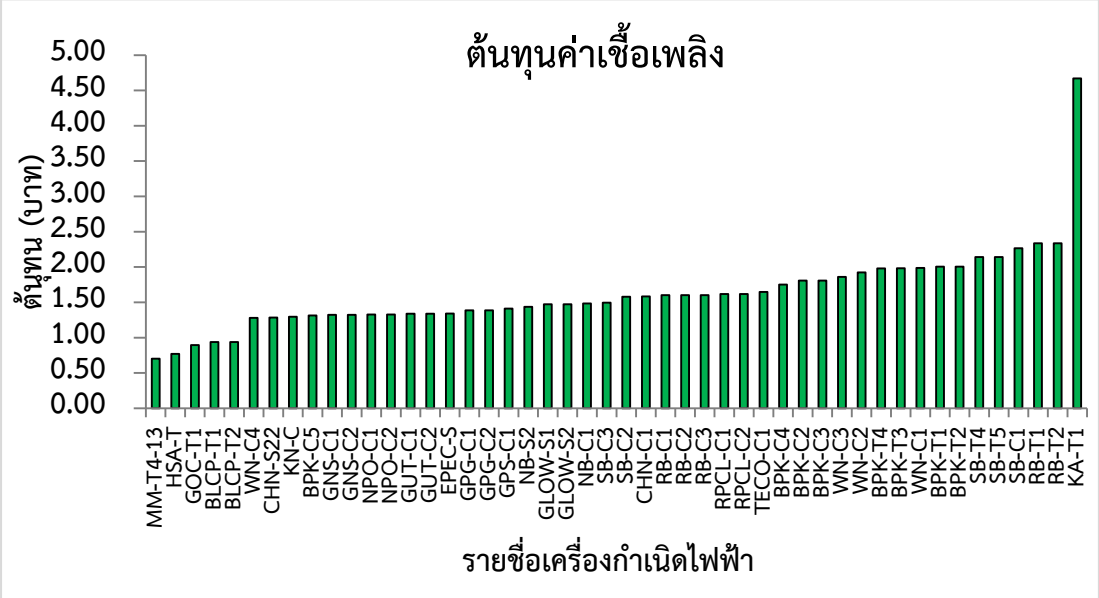
4.2.1 กรณีเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องหยุดการเดินเครื่อง

1. พิจารณาว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องใดมีการเริ่มต้นเดินเครื่อง และ หยุดการเดินเครื่องระหว่างวัน ในทุกๆชุดข้อมูลการเดินเครื่อง 24 ชุด ที่ได้รับมาจาก กฟผ.
2. พิจารณาว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดที่ ไม่ได้เดินเครื่องในวันอาทิตย์ของเดือนที่ต้องการเปลี่ยนผลการเดินเครื่อง
3. พิจารณาว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องใดมีต้นทุนการเดินเครื่องที่ต่ำที่สุดซึ่งหากมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตใกล้เคียงกันจะนำไปพิจารณาต่อในหัวข้อต่อไป
4. พิจารณาว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดมีต้นทุนการเริ่มต้นเดินเครื่องต่ำที่สุด

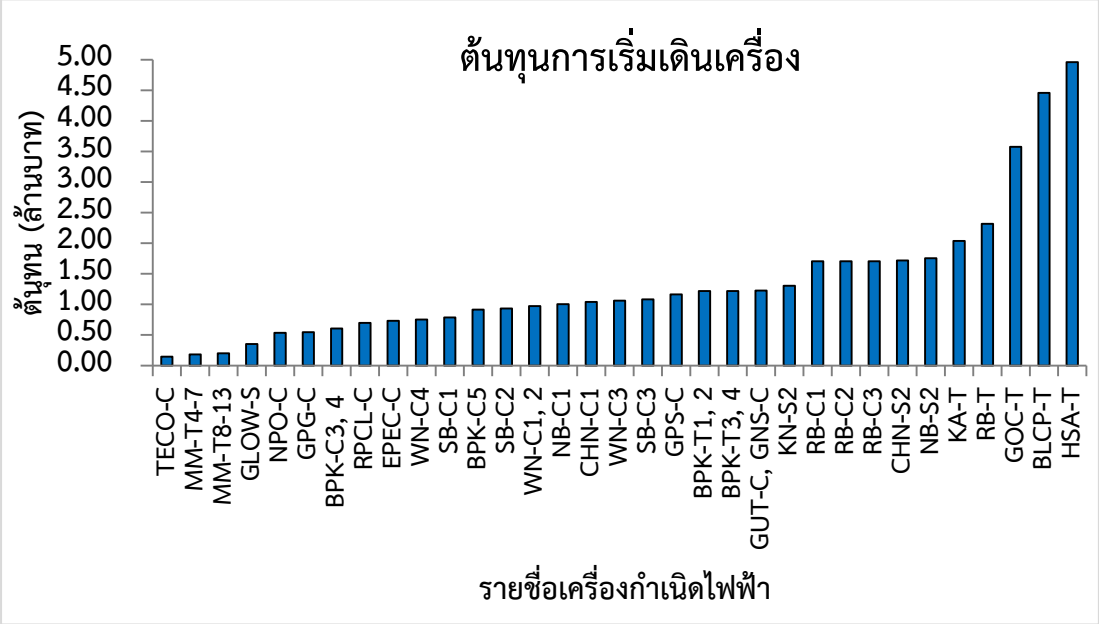
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 กรณีเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องเดินเครื่องเพิ่ม

ในกรณีนี้นั้นจะมีกระบวนการคล้ายกับการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต้องหยุดการเดินเครื่องจะต่างที่ขั้นตอนการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นทุนเชื้อเพลิงสูงสุด เป็นต่ำสุดแทน และ นำไปพิจารณาต้นทุนการเริ่มต้นเดินเครื่องเหมือนกัน โดยข้อมูลที่ใช้พิจารณาจะแสดงได้ดัง รูปที่ 4. และ รูปที่ 4.



รูปที่ 4.3 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 ต้นทุนการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอข้อมูลของระบบทดสอบ และผลการทดสอบการคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมาะสมที่สุด โดยผลการทดสอบประกอบไปด้วย 1) ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย 2) ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิต่อต้นทุนการผลิต 3) ผลการทดสอบช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดผลกระทบสูงสุด 4) ผลการทดสอบเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ

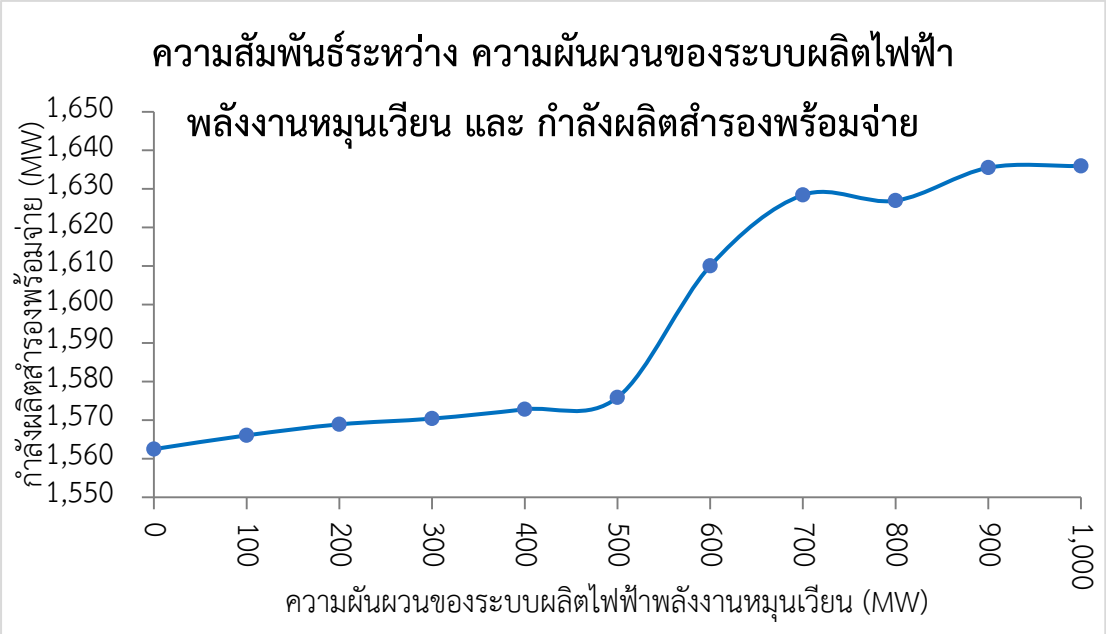
5.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

กฟผ. ได้มีแนวทาง หรือ แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละโรงไฟฟ้า ตามปริมาณสัดส่วนราคาต่อปริมาณกำลังไฟฟ้า (ในหน่วย MW หรือ kW) เพื่อรองรับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงระยะเวลาได้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า จะมีค่าความผันผวนเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้การจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้านั้นจะต้องมีความยืดหยุ่น หรือ มีการปรับค่าตามปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าได้อย่างทันที ซึ่งประเภทของโรงไฟฟ้าที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในลักษณะดังกล่าว จะประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม และโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า โรงไฟฟ้าจะต้องมีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าได้อย่างทันที หรือ มีปริมาณ Spinning Reserve ในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม เมื่อระบบไฟฟ้ามีการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจะมีค่าลดลง เนื่องด้วยปริมาณของการจ่ายไฟฟ้าส่วนหนึ่ง จะมาจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ติดตั้งเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเข้าสู่ระบบไฟฟ้า จะทำให้ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงระยะเวลามีค่าลดลง จึงทำให้ กฟผ. ตรวจวัดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีก่อนเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน นอกจากนี้ การลดลงของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า จะส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้ามีค่าลดลงตามไปด้วย โดยข้อดีของการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน คือ จะช่วยลดต้นทุนของ กฟผ. ในด้านเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า และ

ช่วยลดการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่เกิดจากกระบวนการเชิงกลออกสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตาม ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการลดลงของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า จะส่งผลไปยังการวางแผนปริมาณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve) เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความไม่แน่นอนของการจ่ายไฟฟ้า ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลทำให้การพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ามีความผิดพลาดเพิ่มมากขึ้น

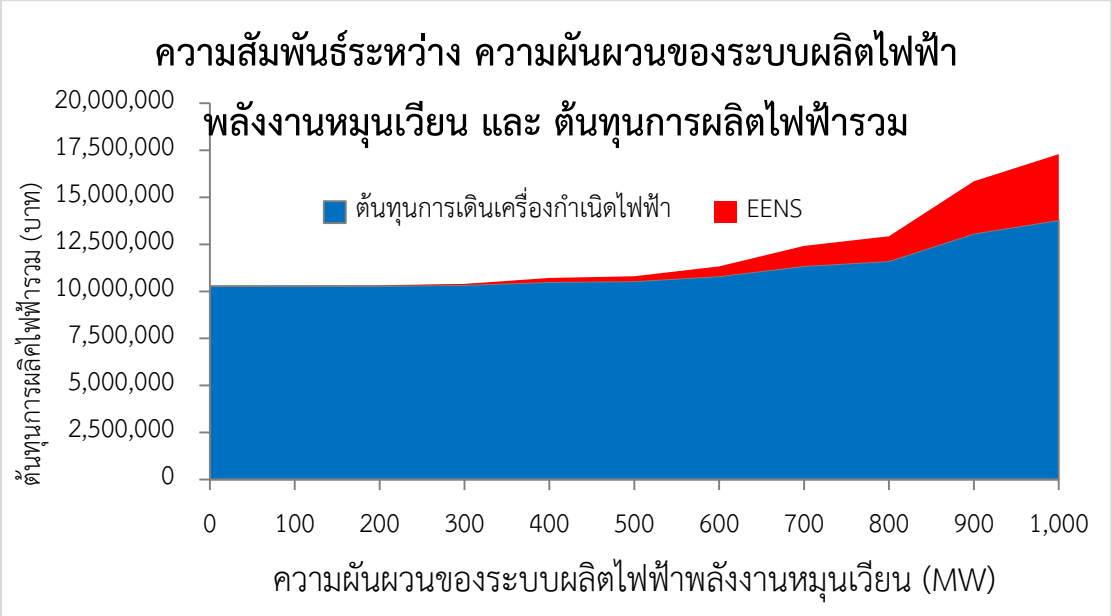
ดังนั้นในการทดสอบนี้จะทำการเพิ่มปริมานความผันผวนของกำลังผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ประเภท Non-Firm เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในระบบผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับจาก กฟผ. และ แบบจำลองที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งผลการทดสอบจะแสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย

จากรูปที่ 5.1 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย โดยจะพบว่าเมื่อเพิ่มความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบจะส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในระบบ จากการทดสอบนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีค่ามากกว่า 700 กำลังผลิตสำรองกลับไม่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงได้หาสาเหตุแล้วพบว่า ด้วยจำนวนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากข้อมูลสถิตินั้น แม้จะจัดสรรกำลังผลิตอย่างไร ก็จะมีค่ากำลังผลิต

สำรองพร้อมจ่ายสูงสุดที่ระบบทำได้อยู่ ซึ่งเมื่อระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายไม่พอนั้น จะส่งผลให้ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (Expected Outage Cost) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยจะแสดงดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม

จากรูปที่ 5.2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม โดยต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมจะประกอบไปด้วย ต้นทุนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ ต้นทุนค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ จากรูปจะพบว่าเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนที่ 300 MW จะส่งผลให้เกิด ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ จากเหตุการณ์ดังกล่าวแสดงว่า กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายนั้นมีไม่เพียงพอต่อการรองรับเหตุที่อาจเกิดขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นการปรับเปลี่ยนการเดินเครื่องเพื่อเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายอาจไม่คุ้มค่ากับการเสียต้นทุนในส่วนค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ

ในช่วงที่ความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีค่า 500 ถึง 700 นั้น ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเดิมเนื่องจาก ระบบผลิตไฟฟ้านั้นปรับเปลี่ยนการจัดสรรกำลังการผลิตจากรูปที่ 5.1 จะพบว่าในช่วงนั้นค่ากำลังผลิตสำรองพร้อม

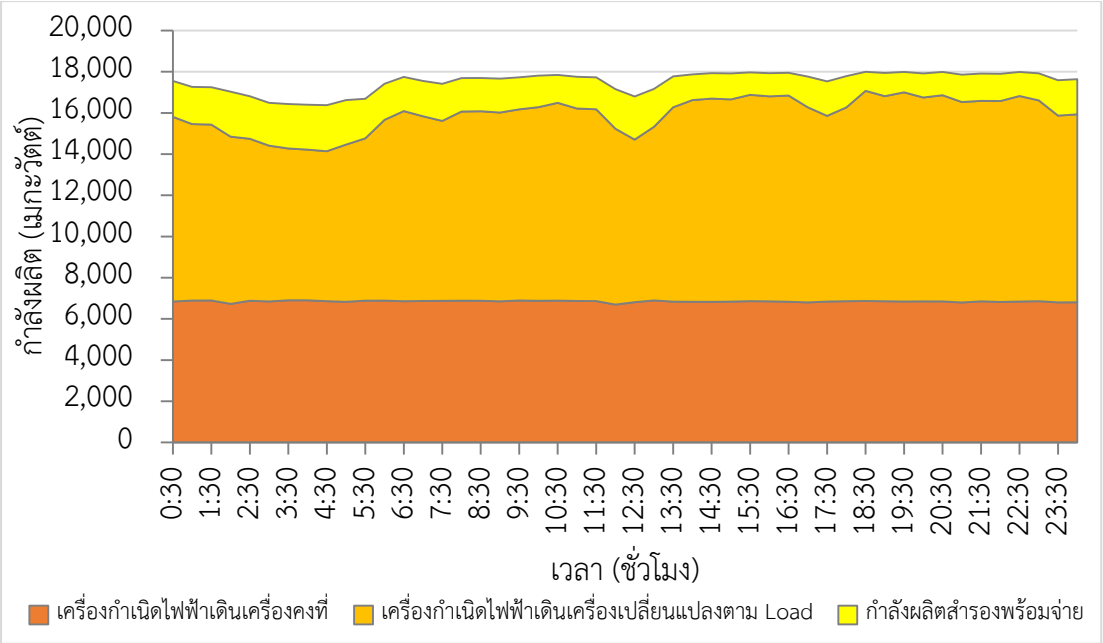
จ่าย เพิ่มขึ้นจากประมาน 1,560 MWเป็น 1,640 MW ส่งผลให้ในรูปที่ 5.2 ต้นทุนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มเพิ่มขึ้นในช่วงนี้

อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนขึ้นจาก 700 เป็น 800 จะพบว่าค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามข้อมูลในสถิตินั้นสามารถทำให้กำลังผลิตสำรองจำกัดอยู่ที่ค่าๆ หนึ่ง ซึ่งในที่นี้เป็นตัวอย่างการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในวันทำงานของเดือนมกราคม จะพบว่ามีกำลังผลิตสำรองสูงสุดที่ประมาน 1,650 MW และรองรับความผันผวนที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนได้ไม่เกิน 300 MW โดยที่ไม่เกิดค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ

5.2 การทดสอบผลกระทบด้านต้นทุนการผลิต

ในหัวข้อย่อยนี้จะวิเคราะห์ผลการคำนวณต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาของระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการกำหนดอัตราการรับซื้อไฟฟ้าจาก ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศในด้านการลดต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าและสอดคล้องกับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2561 ที่เน้นการพัฒนาระบบไฟฟ้าทั้งหมด 3 ด้าน คือ 1) ด้าน Energy Security 2) ด้าน Economics 3) ด้าน Environmental Friendly โดยจะพบว่าในด้าน Economics จะเน้นไปที่การลดต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าจาก กฟผ. และได้รับข้อมูลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยทั้งหมด 12 เดือน โดยแต่ละเดือนจะมีตัวอย่างการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมด 2 ประเภท คือวันทำงาน และ วันอาทิตย์ โดยสามารถแสดงตัวอย่างการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าในวันทำงาน เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ได้ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งจะแตกต่างจากผลการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าที่ได้จากทฤษฎีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 3.3 เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าจะมีข้อจำกัดเพิ่มเติมอีกหลายประการที่ทำให้การเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.3ตัวอย่างการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

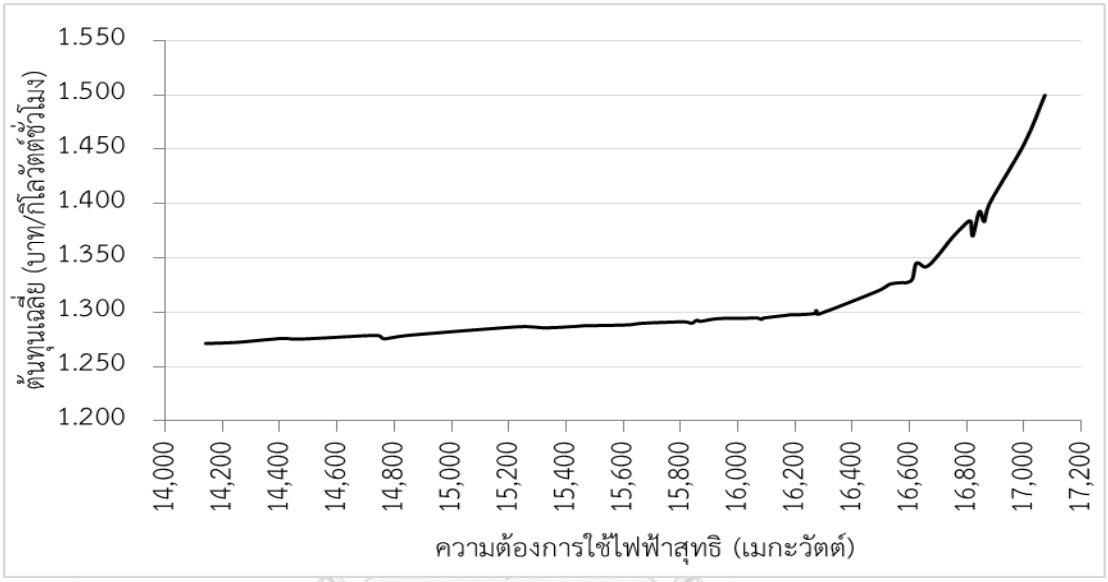
วันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560

การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ดังรูปด้านบนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการเดินเครื่องคงที่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องเปลี่ยนแปลงตาค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ และ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย ซึ่งความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ และ กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองพร้อมจ่าย เป็นปัจจัยสำคัญต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย โดยรายละเอียดสามารถอธิบายได้ดังนี้

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการเดินเครื่องคงที่ คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน ซึ่งในแต่ละเดือนมีขนาดโดยรวมประมาณ 9,000-9,400 MW
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องเปลี่ยนแปลงตาม Load คือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ ในแต่ละเดือนมีขนาดประมาณ 7,000-10,000 MW
- กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย คำนวณจากการกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าทุกโรงที่มีความสามารถในการพร้อมจ่ายภายใน 10 นาที ซึ่งหากมีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าทุกโรงแล้วจะสามารถคำนวณหากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายได้ทันที ในแต่ละเดือนจะมีค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายประมาณ 900-1700 MW

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ส่งผลต่อต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ย คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ ข้อมูลที่คณะนักวิจัยได้รับจาก กฟผ. จะประกอบไปด้วยจำนวนโรงไฟฟ้าทั้งหมดในระบบผลิตไฟฟ้า กำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 5.4 ประกอบกับข้อมูลต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าของแต่ละโรงไฟฟ้า ทำให้คณะนักวิจัยสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในวันที่ทำงาน เดือนมกราคม โดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5. ตามลำดับ



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยและความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงาน เดือนมกราคม พ.ศ. 2560

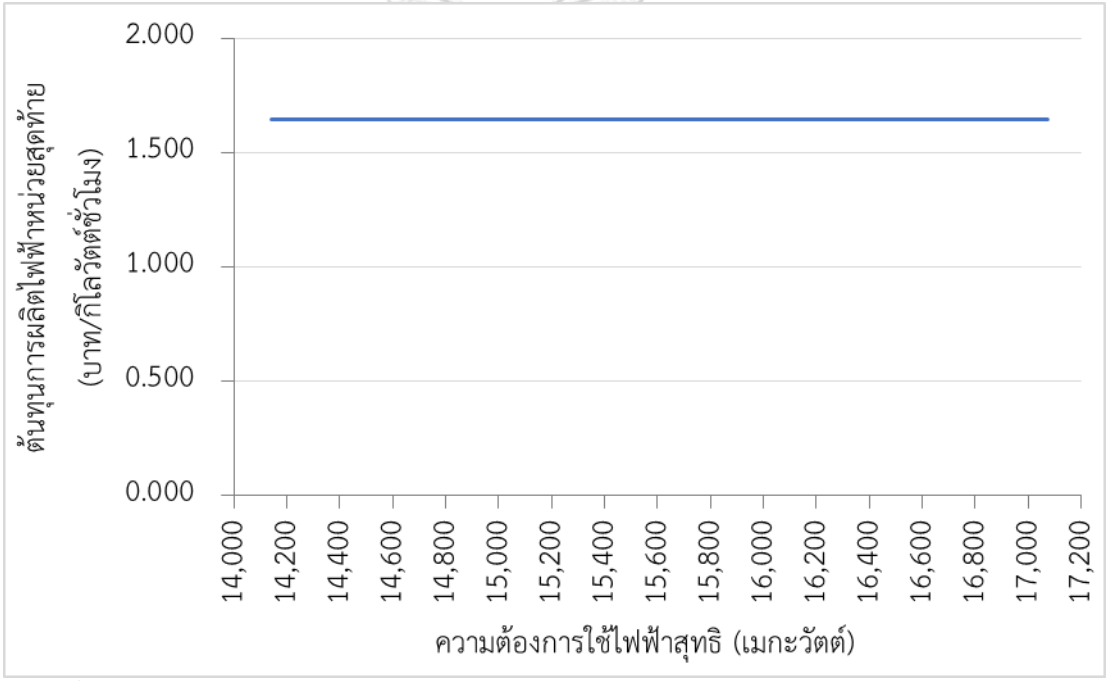
ต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากการนำต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าของทุกโรงไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงมารวมกันแล้วหารเฉลี่ยด้วยหน่วยไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในแต่ละชั่วโมง ทำให้ใน 1 วันสามารถคำนวณต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 24 ค่าและสามารถนำมาแสดงในรูปกราฟได้

ซึ่งจะแตกต่างจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้าย (ในกรณีที่ละเลยกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Power Loss) และความแออัดในระบบไฟฟ้า (Congestion)) ที่สามารถคำนวณได้จากการพิจารณาต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าต่อหน่วยของโรงไฟฟ้าที่มีค่าสูงที่สุดที่เดินเครื่องอยู่ในระบบไฟฟ้า

จากรูปด้านบนจะพบว่าหากความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าสูงขึ้นต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีค่าสูงขึ้นในลักษณะทวีคูณ เนื่องจากในช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าสูงโรงไฟฟ้าที่มีต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าสูงจำเป็นต้องเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ Expected

Outage Cost ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.1.2 มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นหากสามารถลดปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิสูงจะสามารถลดต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าได้สูงตามไปด้วย

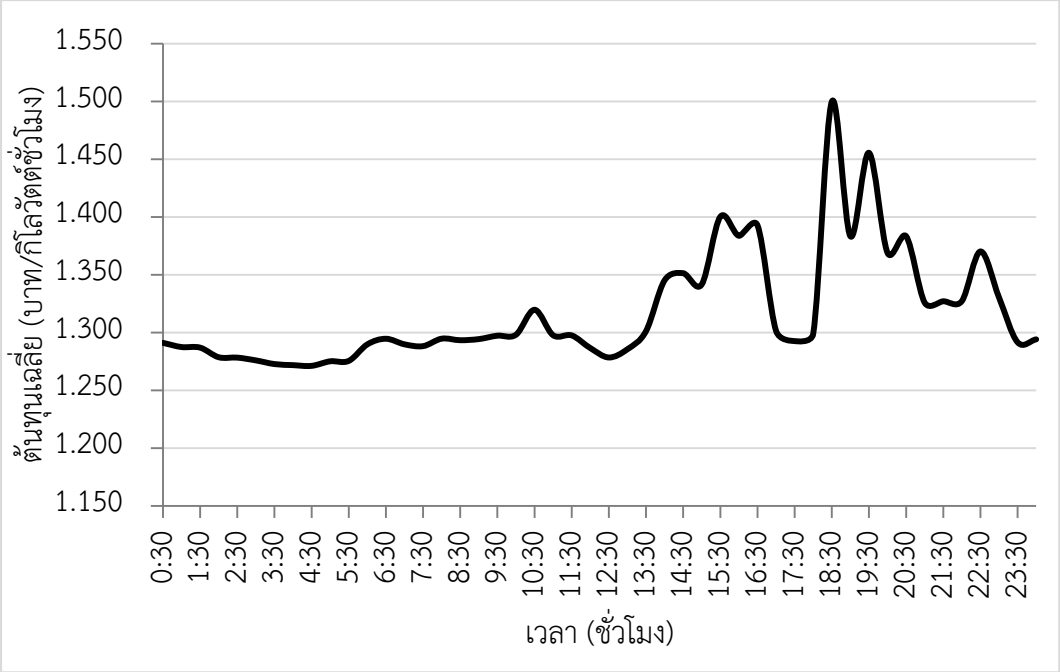
ในทางทฤษฎีแล้วการกำหนดช่วงเวลา Peak และ Off-Peak อาจกำหนดจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้าย เนื่องจากในทางทฤษฎีแล้วความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิหน่วยสุดท้ายจะสะท้อนถึงความต้องการของระบบผลิตไฟฟ้าในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิได้ดี อย่างไรก็ตามข้อมูลต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้ายที่ได้รับจาก กฟผ. มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอด 1 วัน ดังที่จะสามารถแสดงตัวอย่างต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้ายต่อกำลังผลิตไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 5.5 ดังนั้น จะทำให้ไม่สามารถกำหนดช่วงเวลา Peak และ Off-Peak ได้จากข้อมูลดังกล่าว



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้ายและความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิ วันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560

จากรูปด้านบนจะพบว่าการจัดสรรการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าของ กฟผ. ในรูปแบบการปฏิบัติการแล้วต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหน่วยสุดท้ายมีค่าคงที่เนื่องจากโรงไฟฟ้าที่มีต้นทุนสูงจะเดินเครื่องต่อเนื่องตลอดทั้งวัน (ไม่ควรมีการ Start up/Shut down ของโรงไฟฟ้าบ่อยๆ เนื่องจากมีต้นทุนสูง) คณะนักวิจัยจึงได้วิเคราะห์ช่วงเวลา Peak และ Off-Peak จากต้นทุนการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเฉลี่ยแทน โดยจากรูปที่ 5. จะพบว่าหากสามารถลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิได้ จะสามารถลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยได้ดังนั้นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยสามารถสะท้อนถึงประโยชน์ต่อระบบผลิตไฟฟ้าใน

การลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิได้เช่นกัน ตัวอย่างผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยในวันทำงาน เดือน มกราคม เดือน เมษายน และ เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2560 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ผลลัพธ์การคำนวณต้นทุนกำลังผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยในวันทำงาน เดือน มกราคม พ.ศ. 2560

จากรูปด้านบนจะพบว่าในช่วงเวลา 13:00-23:00 ของเดือน มกราคมเป็นช่วงเวลาที่มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าค่อนข้างผันผวนและสูงกว่าในช่วงเวลา 00:00-13:00 จากผลลัพธ์ดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าหากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิมีค่าสูงจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตลดลงได้มาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 ผลการทดสอบช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดผลกระทบมากที่สุด

ในหัวข้อนี้จะศึกษากรณีที่คาดว่าการเพิ่มขึ้นของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะส่งผลกระทบต่อระบบผลิตไฟฟ้ามากที่สุด โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณีดังนี้

5.3.1 ช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงสุด

ในการศึกษานี้ จะทำการทดสอบเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงสุด โดยเหตุผลที่เลือกกรณีนี้เนื่องมาจากการวิเคราะห์ผลในการทดสอบในหัวข้อที่ 5.1 พบว่าความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนส่งผลให้ ระบบต้องการกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมากยิ่งขึ้น เพราะหากระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายไม่เพียงพอจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดเหตุไฟดับเพิ่มขึ้น

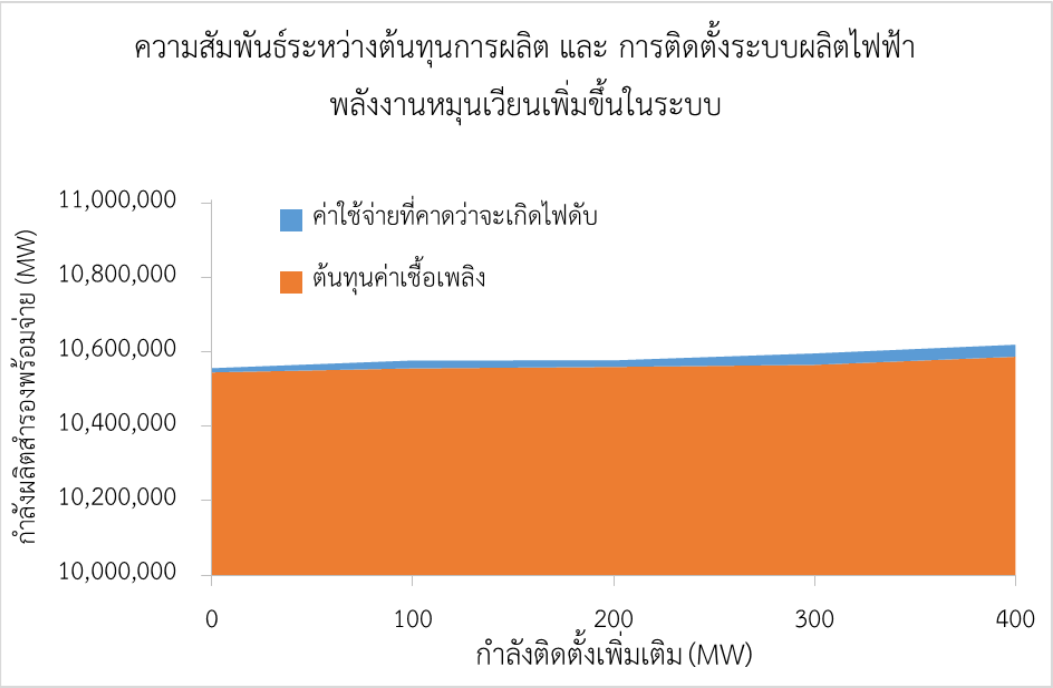
จากข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm ในอดีตพบว่าความผันผวนสูงสุด เกิดขึ้นในเดือน ธันวาคม วันอาทิตย์ เวลา 11.00 น. ซึ่งมีความผันผวนอยู่ที่ 206.44 MW โดย มีกำลังผลิตติดตั้งรวมอยู่ที่ 1,689 MW โดยผลการทดสอบจะแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงสุด

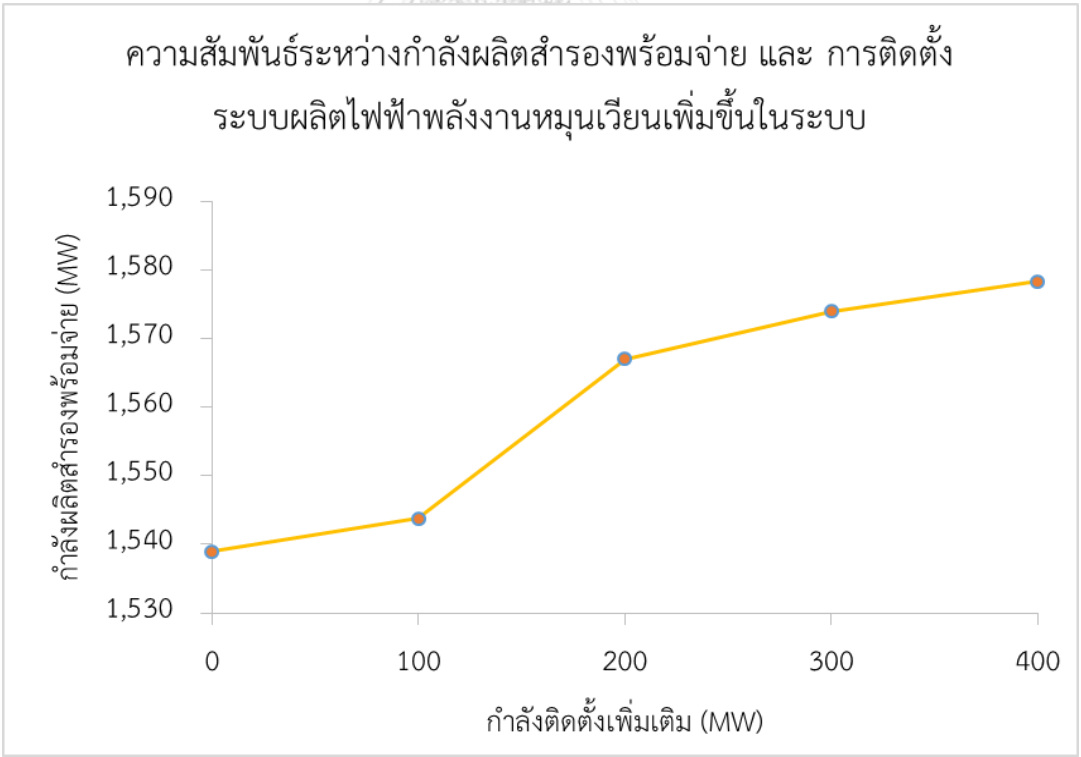
กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	ค่าความผันผวน (MW)	กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (MW)	ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (บาท)	ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับ (บาท)	ต้นทุนการผลิตรวม (บาท)
1,689	206.44	1,538.93	10,545,619	11,372	10,556,911
1,689+100	218.66	1,543.79	10,556,423	21,306	10,577,729
1,689+200	230.88	1,567.06	10,560,280	17,763	10,578,043
1,689+300	243.10	1,573.94	10,566,011	30,635	10,596,646
1,689+400	255.32	1,578.36	10,587,767	32,475	10,620,242

จากตารางที่ 5.1 จะพบว่าต้นทุนค่าเชื้อเพลิงมีค่าสูงขึ้นตามกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความต้องการกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมากขึ้น ทำให้การจัดสรรกำลังการผลิต ต้องไปลดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ราคาถูกมาเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย อย่างไรก็ตาม ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับมีค่าน้อยเนื่องจากสามารถจัดสรรกำลังผลิตเพื่อเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายได้ โดยความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นในระบบจะแสดงดังรูปที่ 5.7 ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นในระบบจะแสดงดังรูปที่ 5.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น กรณีความผันผวนสูงสุด



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น กรณีความผันผวนสูงสุด

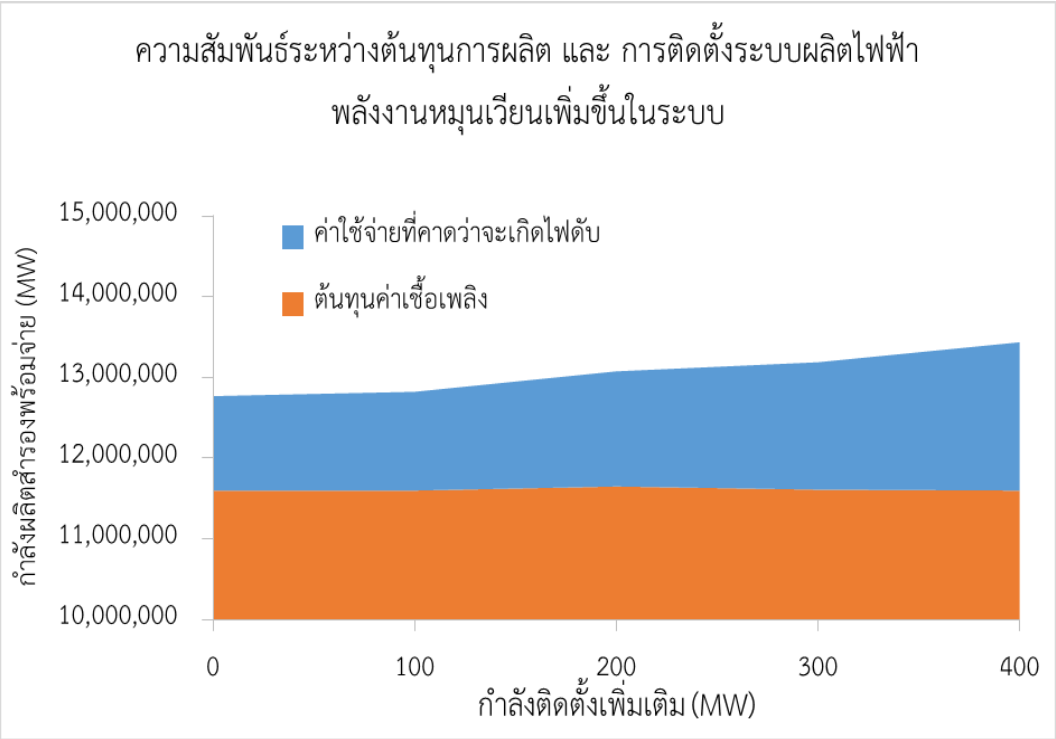
5.3.2 ช่วงเวลาที่กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมีค่าต่ำสุด

ในการทดสอบผลกระทบในช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูงสุดอาจไม่สามารถระบุผลกระทบทางด้านต้นทุนการผลิตที่ชัดเจนได้ ดังนั้นในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบในช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายต่ำที่สุด ซึ่งจากข้อมูลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ การจัดสรรกำลังการผลิต พบว่าช่วงเวลาที่กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมีค่าต่ำที่สุดเกิดขึ้นในช่วงเวลา 22.30 น. เดือน สิงหาคม วันทำงาน โดยมีค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายอยู่ที่ 729.47 MW ค่าความผันของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเท่ากับ 91.61 MW และ มีกำลังผลิตติดตั้งรวมอยู่ที่ 1,689 MW

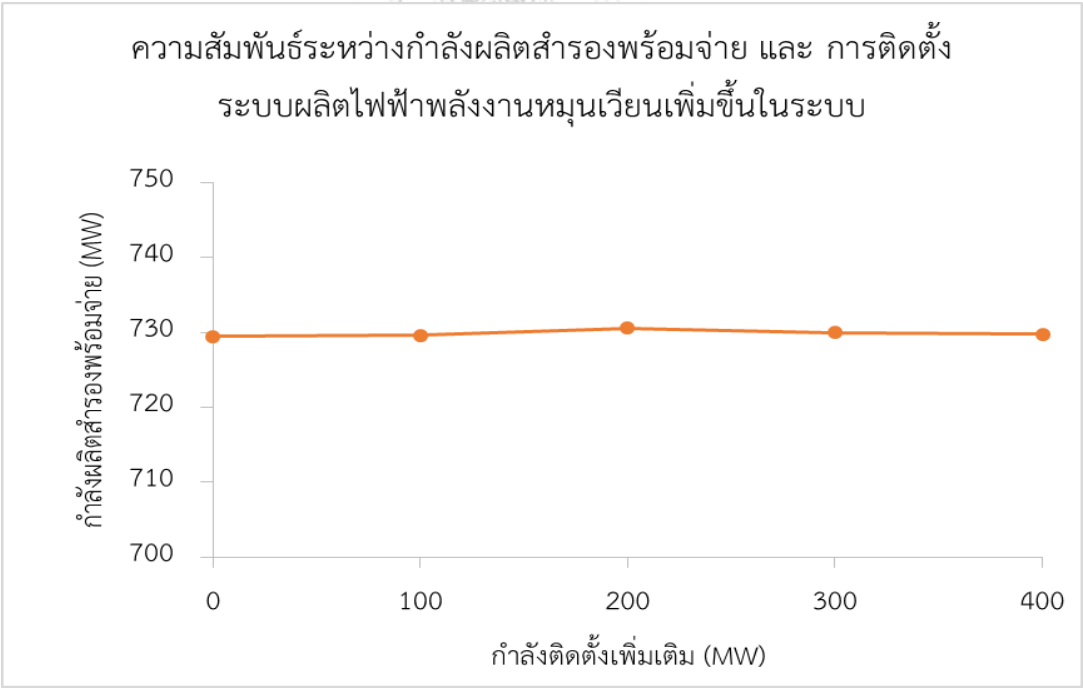
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบในช่วงเวลาที่กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายมีค่าต่ำที่สุด

กำลังผลิตติดตั้ง (MW)	ค่าความผันผวน (MW)	กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย (MW)	ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง (บาท)	ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับ (บาท)	ต้นทุนการผลิตรวม (บาท)
1,689	91.64	729.47	11,599,116	1,170,661	12,769,777
1,689+100	97.07	729.58	11,599,294	1,224,229	12,823,523
1,689+200	102.5	730.55	11,648,587	1,428,561	13,077,148
1,689+300	107.93	729.96	11,610,062	1,579,352	13,189,414
1,689+400	113.36	729.71	11,598,826	1,839,113	13,437,939

จากการทดสอบจะพบว่า ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบกรณีฐาน ไม่สามารถจัดสรรกำลังผลิตเพื่อเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายได้ และ เนื่องจากค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับมีค่าที่สูง (ประมาน 10-15% ของต้นทุนค่าเชื้อเพลิง) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมจะสูงขึ้นตามกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนโดยความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นในระบบจะแสดงดัง ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นในระบบจะแสดงดัง



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการผลิต และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาที่กำลังผลิตสำรองต่ำที่สุด



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิตสำรอง และ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเวลาที่กำลังผลิตสำรองต่ำที่สุด

5.4 ผลการทดสอบเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 3.3 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ถึงประโยชน์ และ ผลกระทบด้านต่างๆ จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยได้แบ่งออกเป็น 5 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 ไม่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มเติมจากปี พ.ศ. 2560 หมายถึง ใช้ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเท่ากับข้อมูลกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้ในอดีต (เป็นข้อมูลสถิติการผลิตไฟฟ้าที่ กฟผ. ได้จัดสรรกำลังการผลิตไว้แล้ว)

กรณีที่ 2 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW หมายถึง การนำค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 มาลบด้วยกำลังผลิตที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm พิกัดติดตั้ง 300 MW สามารถผลิตได้

กรณีที่ 3 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW หมายถึง การนำค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 มาลบด้วยกำลังผลิตที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm พิกัดติดตั้ง 300 MW สามารถผลิตได้

กรณีที่ 4 แบบจำลองความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเมื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm โดยกำหนดให้พลังงานเท่ากับ Non-Firm 300 MW หมายถึง การกำหนดกำลังผลิตติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm โดยให้พลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าแบบ Firm ผลิตได้เท่ากับ พลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm 300 MW ผลิตได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรณีที่ 5 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เพิ่มขึ้นในระบบ 300 MW และ ติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวน หมายถึง การนำค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิในกรณีที่ 1 มาลบด้วยกำลังผลิตที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm พิกัดติดตั้ง 300 MW สามารถผลิตได้ และ ทำการติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่ติดตั้งเพิ่มขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป้าหมายของการกำหนดกรณีทั้ง 5 กรณีนั้นทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ผลประโยชน์ และ ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ในด้านของกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการผลิต โดยรายละเอียดของผลการทดสอบจะสามารถแสดงได้ดังนี้

5.3.1 ผลการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าที่กรณีต่างกัน

จากการพิจารณาสัดส่วนการผลิตไฟฟ้า ระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน กับระบบผลิตไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรกำลังการผลิตได้พบว่า ในฤดูหนาวนั้น สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากระบบปลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะสูงที่สุด ดังนั้นการทดสอบนี้จะทำการทดสอบในฤดูหนาว โดยใช้ข้อมูล เดือน มกราคม ปี พ.ศ.2560 ในการวิเคราะห์

ผลการทดสอบนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบด้านกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย และ ต้นทุนการผลิตเมื่อเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในกรณีที่แตกต่างกัน ในการทดสอบนี้จะแสดง ต้นทุนการผลิตรวม ต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่อหน่วย และ กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย โดยตัวอย่างผลการทดสอบจะแสดงการทดสอบในวันทำงาน เดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2560 ในกรณีต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีไม่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเพิ่มเติม

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
0:30	15,813	0	6,844	8,968	1,633	472	5.10	1.289
1:00	15,460	0	6,892	8,568	1,693	58	4.97	1.285
1:30	15,435	0	6,896	8,539	1,695	57	4.95	1.284
2:00	14,848	0	6,732	8,117	1,950	0	4.74	1.276
2:30	14,747	0	6,883	7,865	1,860	0	4.70	1.275
3:00	14,412	0	6,846	7,566	1,955	0	4.59	1.273
3:30	14,275	0	6,904	7,371	1,999	0	4.53	1.269
4:00	14,219	0	6,904	7,316	2,008	0	4.51	1.268
4:30	14,142	0	6,861	7,281	2,061	0	4.48	1.267
5:00	14,463	0	6,831	7,632	1,979	0	4.60	1.272
5:30	14,766	0	6,887	7,879	1,856	0	4.71	1.275
6:00	15,664	0	6,887	8,777	1,632	718	5.04	1.288
6:30	16,090	0	6,858	9,233	1,555	3,986	5.20	1.293
7:00	15,838	0	6,871	8,968	1,606	1,342	5.11	1.290
7:30	15,613	0	6,878	8,735	1,649	281	5.02	1.287
8:00	16,067	0	6,884	9,183	1,546	6,720	5.19	1.291
8:30	16,454	0	7,252	9,202	1,372	80,393	5.34	1.298
9:00	16,454	17	7,287	9,167	1,369	98,864	5.34	1.298
9:30	16,454	180	7,173	9,281	1,357	112,495	5.34	1.298

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
10:00	16,454	361	7,051	9,403	1,356	102,327	5.34	1.298
10:30	16,454	671	6,851	9,603	1,355	97,918	5.34	1.298
11:00	16,454	381	7,111	9,344	1,405	60,099	5.34	1.298
11:30	16,454	159	7,141	9,314	1,374	71,257	5.34	1.299
12:00	15,260	0	6,722	8,537	1,807	0	4.90	1.284
12:30	14,732	0	6,839	7,893	1,864	0	4.70	1.276
13:00	15,624	0	7,196	8,428	1,613	436	5.03	1.287
13:30	16,454	349	7,018	9,437	1,355	55,781	5.34	1.298
14:00	16,454	796	6,662	9,793	1,344	60,210	5.34	1.298
14:30	16,454	867	6,587	9,867	1,373	59,960	5.35	1.299
15:00	16,454	976	6,636	9,818	1,351	66,739	5.34	1.298
15:30	16,454	1,250	6,436	10,019	1,339	85,236	5.34	1.298
16:00	16,454	1,135	6,501	9,953	1,346	73,197	5.34	1.298
16:30	16,454	1,030	6,443	10,012	1,350	60,988	5.34	1.298
17:00	16,454	295	6,983	9,472	1,382	40,437	5.34	1.297
17:30	16,424	19	7,409	9,015	1,358	42,307	5.33	1.298
18:00	16,454	616	7,045	9,409	1,339	42,199	5.34	1.298
18:30	16,892	1,721	6,689	10,203	1,051	334,136	5.50	1.303
19:00	16,814	1,721	6,857	9,958	1,134	234,201	5.47	1.302
19:30	16,740	1,721	6,583	10,157	1,166	218,413	5.45	1.302
20:00	16,454	1,513	6,556	9,898	1,349	55,895	5.34	1.298
20:30	16,454	1,512	6,443	10,012	1,367	52,403	5.34	1.298
21:00	16,454	955	6,720	9,734	1,357	53,295	5.34	1.298
21:30	16,454	1,051	6,720	9,734	1,365	56,506	5.34	1.298
22:00	16,454	955	6,701	9,754	1,370	55,249	5.34	1.298
22:30	16,454	1,332	6,477	9,977	1,367	56,045	5.34	1.298
23:00	16,454	1,001	6,705	9,750	1,371	54,319	5.34	1.298
23:30	16,454	253	7,386	9,068	1,375	47,660	5.34	1.299
0:00	15,932	0	6,807	9,125	1,610	384	5.14	1.291

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE Non-Firm

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
0:30	15,646	0	6,844	8,802	1,759	4	5.01	1.2817
1:00	15,289	0	6,892	8,398	1,800	0	4.88	1.2770
1:30	15,263	0	6,896	8,367	1,805	0	4.87	1.2765
2:00	14,681	0	6,732	7,949	1,978	0	4.67	1.2737
2:30	14,578	0	6,883	7,695	1,912	0	4.64	1.2734
3:00	14,242	0	6,846	7,396	2,013	0	4.53	1.2713
3:30	14,098	0	6,905	7,193	2,040	0	4.47	1.2670
4:00	14,034	0	6,904	7,130	2,061	0	4.44	1.2660
4:30	13,947	0	6,861	7,086	2,110	0	4.41	1.2653
5:00	14,265	0	6,831	7,433	2,044	0	4.53	1.2694
5:30	14,563	0	6,887	7,676	1,920	0	4.63	1.2726
6:00	15,460	0	6,887	8,573	1,779	0	4.95	1.2795
6:30	15,892	0	6,858	9,035	1,671	442	5.11	1.2856
7:00	15,636	0	6,871	8,765	1,742	32	5.01	1.2817
7:30	15,398	0	6,878	8,521	1,796	0	4.92	1.2784
8:00	15,846	0	6,884	8,962	1,666	575	5.09	1.2849
8:30	15,853	87	6,881	9,342	1,575	5,348	5.23	1.2899
9:00	15,776	16	6,853	9,375	1,582	6,840	5.24	1.2902
9:30	15,908	203	6,895	9,333	1,570	12,931	5.23	1.2888
10:00	16,022	376	6,878	9,349	1,641	3,365	5.23	1.2891
10:30	16,220	698	6,888	9,339	1,550	8,927	5.24	1.2899
11:00	15,940	411	6,871	9,356	1,570	5,115	5.24	1.2901
11:30	15,894	200	6,865	9,362	1,561	5,158	5.24	1.2906
12:00	14,941	0	6,696	8,271	1,926	0	4.77	1.2750
12:30	14,411	0	6,813	7,624	1,973	0	4.59	1.2722
13:00	15,025	0	6,897	8,428	1,777	0	4.89	1.2774
13:30	15,988	392	6,839	9,389	1,575	1,665	5.24	1.2907
14:00	16,343	832	6,832	9,396	1,563	1,992	5.24	1.2907
14:30	16,410	909	6,830	9,398	1,574	2,728	5.24	1.2910
15:00	16,397	991	6,839	9,388	1,568	2,548	5.24	1.2903
15:30	16,625	1,261	6,862	9,366	1,549	4,897	5.24	1.2900

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
16:00	16,568	1,128	6,852	9,375	1,559	3,395	5.23	1.2899
16:30	16,624	1,006	6,833	9,395	1,574	1,901	5.24	1.2905
17:00	16,073	251	6,802	9,426	1,592	841	5.23	1.2887
17:30	15,680	0	6,842	9,385	1,561	1,197	5.24	1.2904
18:00	16,105	536	6,860	9,368	1,545	927	5.24	1.2905
18:30	16,911	1,721	6,870	9,860	1,391	28,967	5.44	1.2966
19:00	16,647	1,721	6,857	9,790	1,440	12,993	5.40	1.2954
19:30	16,833	1,721	6,845	9,727	1,487	9,966	5.36	1.2932
20:00	16,577	1,442	6,852	9,376	1,499	4,903	5.23	1.2892
20:30	16,680	1,449	6,850	9,378	1,580	1,673	5.24	1.2904
21:00	16,353	889	6,797	9,430	1,532	2,376	5.23	1.2899
21:30	16,409	985	6,854	9,374	1,578	1,991	5.24	1.2903
22:00	16,389	898	6,824	9,404	1,581	1,620	5.24	1.2904
22:30	16,629	1,385	6,844	9,384	1,583	1,840	5.24	1.2905
23:00	16,426	1,045	6,860	9,367	1,505	6,048	5.23	1.2892
23:30	15,700	284	6,802	9,425	1,551	1,956	5.24	1.2903
0:00	15,770	0	6,807	8,963	1,724	0	5.07	1.2852

ตารางที่ 5.5 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE-Firm

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
0:30	15,618	0	6,844	8,773	1,579	1,931	4.99	1.2777
1:00	15,265	0	6,892	8,373	1,608	905	4.86	1.2732
1:30	15,240	0	6,896	8,344	1,617	793	4.85	1.2727
2:00	14,653	0	6,732	7,922	1,891	0	4.63	1.2651
2:30	14,553	0	6,883	7,670	1,808	0	4.60	1.2642
3:00	14,217	0	6,846	7,371	1,967	0	4.49	1.2633
3:30	14,080	0	6,905	7,176	2,061	0	4.44	1.2599
4:00	14,024	0	6,904	7,121	2,096	0	4.42	1.2593
4:30	13,947	0	6,861	7,086	2,159	0	4.39	1.2589
5:00	14,268	0	6,831	7,437	1,975	0	4.50	1.2614
5:30	14,571	0	6,887	7,684	1,804	0	4.60	1.2640

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
6:00	15,469	0	6,887	8,582	1,578	2,272	4.94	1.2760
6:30	15,895	0	6,858	9,038	1,501	9,059	5.09	1.2819
7:00	15,643	0	6,871	8,773	1,550	3,304	5.00	1.2782
7:30	15,418	0	6,878	8,540	1,594	1,410	4.92	1.2751
8:00	15,872	0	6,884	8,988	1,482	13,043	5.09	1.2815
8:30	15,888	0	6,881	9,290	1,390	64,575	5.20	1.2855
9:00	15,720	33	6,853	9,319	1,393	75,957	5.20	1.2858
9:30	15,876	220	6,895	9,277	1,375	92,319	5.20	1.2859
10:00	15,981	393	6,878	9,294	1,378	80,376	5.20	1.2858
10:30	16,191	715	6,888	9,284	1,514	15,265	5.23	1.2929
11:00	15,915	429	6,871	9,301	1,384	64,592	5.20	1.2857
11:30	15,879	217	6,865	9,307	1,375	65,605	5.20	1.2862
12:00	14,934	0	6,696	8,263	1,752	0	4.75	1.2711
12:30	14,406	0	6,813	7,619	1,858	0	4.56	1.2634
13:00	15,025	0	6,897	8,428	1,581	989	4.88	1.2738
13:30	15,976	410	6,839	9,333	1,383	40,447	5.20	1.2862
14:00	16,324	850	6,832	9,340	1,370	44,847	5.20	1.2862
14:30	16,397	927	6,830	9,342	1,378	53,128	5.20	1.2865
15:00	16,358	1,009	6,839	9,333	1,376	50,257	5.20	1.2858
15:30	16,580	1,278	6,862	9,310	1,359	67,607	5.20	1.2856
16:00	16,506	1,146	6,852	9,319	1,366	57,730	5.20	1.2854
16:30	16,544	1,024	6,833	9,339	1,377	45,146	5.20	1.2861
17:00	15,973	269	6,802	9,370	1,373	39,775	5.20	1.2862
17:30	15,558	0	6,842	9,282	1,389	26,306	5.18	1.2854
18:00	15,969	553	6,860	9,312	1,357	31,282	5.20	1.2861
18:30	16,773	1,721	6,870	9,722	1,253	103,397	5.39	1.3000
19:00	16,515	1,721	6,857	9,657	1,308	67,591	5.36	1.2989
19:30	16,702	1,721	6,845	9,595	1,363	49,833	5.34	1.2983
20:00	16,450	1,459	6,852	9,320	1,374	41,341	5.20	1.2857
20:30	16,561	1,466	6,850	9,322	1,390	39,217	5.20	1.2860
21:00	16,231	906	6,797	9,375	1,390	36,145	5.20	1.2861
21:30	16,287	1,003	6,854	9,318	1,390	42,048	5.20	1.2859

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
22:00	16,277	916	6,824	9,348	1,383	45,161	5.20	1.2859
22:30	16,626	1,297	6,844	9,328	1,393	41,464	5.20	1.2861
23:00	16,415	958	6,860	9,312	1,382	45,413	5.20	1.2855
23:30	15,675	196	6,802	9,370	1,408	30,842	5.20	1.2865
0:00	15,737	0	6,807	8,930	1,552	1,412	5.04	1.2811

ตารางที่ 5.6 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE-Firm ให้พลังงานเท่ากับ Non-Firm 300 MW

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
0:30	15,739	1,271	6,844	8,895	1,735	0	5.05	1.2830
1:00	15,386	1,023	6,892	8,495	1,789	0	4.92	1.2784
1:30	15,362	815	6,896	8,466	1,762	0	4.91	1.2776
2:00	14,775	181	6,732	8,043	2,081	0	4.69	1.2709
2:30	14,674	5	6,883	7,791	2,034	0	4.66	1.2706
3:00	14,338	0	6,846	7,492	1,748	0	4.55	1.2683
3:30	14,202	0	6,905	7,297	1,791	0	4.49	1.2640
4:00	14,146	0	6,904	7,242	1,806	0	4.47	1.2629
4:30	14,068	0	6,861	7,208	1,861	0	4.44	1.2622
5:00	14,390	0	6,831	7,559	1,781	0	4.56	1.2668
5:30	14,693	0	6,887	7,806	2,028	0	4.67	1.2703
6:00	15,591	0	6,887	8,704	1,672	67	4.99	1.2803
6:30	16,017	149	6,858	9,159	1,644	214	5.15	1.2872
7:00	15,765	0	6,871	8,894	1,703	28	5.06	1.2835
7:30	15,540	0	6,878	8,662	1,766	0	4.97	1.2804
8:00	15,994	0	6,884	9,110	1,625	516	5.15	1.2869
8:30	16,381	0	6,881	9,499	1,539	4,735	5.29	1.2918
9:00	16,375	0	6,853	9,522	1,550	5,288	5.29	1.2921
9:30	16,557	0	6,895	9,663	1,481	29,720	5.37	1.2944
10:00	16,557	0	6,878	9,679	1,490	28,907	5.37	1.2942
10:30	16,557	0	6,888	9,669	1,477	30,589	5.37	1.2938
11:00	16,340	0	6,871	9,469	1,546	6,385	5.28	1.2916
11:30	16,339	0	6,865	9,474	1,536	6,934	5.28	1.2920

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
12:00	15,147	0	6,696	8,450	1,900	0	4.84	1.2773
12:30	14,619	0	6,813	7,806	2,064	0	4.64	1.2705
13:00	15,511	0	6,897	8,615	1,673	170	4.96	1.2792
13:30	16,383	0	6,839	9,544	1,520	6,509	5.30	1.2924
14:00	16,397	0	6,832	9,565	1,526	5,225	5.30	1.2927
14:30	16,420	0	6,830	9,590	1,528	5,549	5.31	1.2933
15:00	16,430	0	6,839	9,591	1,522	4,947	5.31	1.2928
15:30	16,560	0	6,862	9,699	1,468	18,923	5.37	1.2941
16:00	16,559	126	6,852	9,706	1,480	10,774	5.36	1.2939
16:30	16,558	145	6,833	9,725	1,489	7,496	5.36	1.2945
17:00	16,559	146	6,802	9,757	1,486	5,517	5.36	1.2945
17:30	16,311	0	6,842	9,469	1,536	1,870	5.27	1.2914
18:00	16,342	459	6,860	9,482	1,521	2,187	5.28	1.2920
18:30	16,779	1,271	6,870	9,909	1,367	38,591	5.46	1.2972
19:00	16,701	1,271	6,857	9,845	1,445	12,967	5.41	1.2947
19:30	16,627	1,271	6,845	9,782	1,455	10,076	5.39	1.2954
20:00	16,107	1,271	6,852	9,255	1,593	539	5.19	1.2885
20:30	16,102	1,271	6,850	9,253	1,608	374	5.19	1.2888
21:00	16,110	1,271	6,797	9,313	1,622	67	5.19	1.2891
21:30	16,190	1,271	6,854	9,337	1,586	893	5.22	1.2899
22:00	16,163	1,271	6,824	9,340	1,531	2,625	5.21	1.2883
22:30	16,102	1,271	6,844	9,258	1,614	367	5.19	1.2890
23:00	16,122	558	6,860	9,262	1,592	1,056	5.19	1.2886
23:30	16,139	0	6,802	9,337	1,633	104	5.20	1.2898
0	15,858	0	6,807	9,051	1,695	17	5.10	1.2864

ตารางที่ 5.7 การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีติดตั้ง RE-Non-Firm และ แบตเตอรี่

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
0:30	15,646	0	6,844	8,802	1,759	0	5.01	1.2817
1:00	15,289	0	6,892	8,398	1,800	0	4.88	1.2770
1:30	15,263	0	6,896	8,367	1,805	0	4.87	1.2765
2:00	14,681	0	6,732	7,949	2,121	0	4.66	1.2698

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
2:30	14,578	0	6,883	7,695	1,706	48	4.63	1.2694
3:00	14,242	0	6,846	7,396	1,784	0	4.51	1.2671
3:30	14,098	0	6,905	7,193	1,821	0	4.45	1.2626
4:00	14,034	0	6,904	7,130	1,848	0	4.43	1.2615
4:30	13,947	0	6,861	7,086	1,914	0	4.40	1.2608
5:00	14,265	0	6,831	7,433	1,816	0	4.51	1.2652
5:30	14,563	0	6,887	7,676	1,713	45	4.62	1.2686
6:00	15,460	0	6,887	8,573	1,777	0	4.95	1.2795
6:30	15,892	0	6,858	9,035	1,726	93	5.10	1.2840
7:00	15,636	0	6,871	8,765	1,743	0	5.01	1.2817
7:30	15,398	0	6,878	8,521	1,794	0	4.92	1.2784
8:00	15,846	0	6,884	8,962	1,596	1,494	5.09	1.2839
8:30	15,853	87	6,881	9,342	1,576	3,252	5.23	1.2899
9:00	15,776	16	6,853	9,375	1,582	4,006	5.23	1.2903
9:30	15,908	203	6,895	9,333	1,558	6,342	5.24	1.2904
10:00	16,022	376	6,878	9,349	1,543	6,255	5.23	1.2901
10:30	16,220	698	6,888	9,339	1,553	4,866	5.23	1.2899
11:00	15,940	411	6,871	9,356	1,571	3,180	5.23	1.2902
11:30	15,894	200	6,865	9,362	1,558	3,443	5.24	1.2907
12:00	14,941	0	6,696	8,271	1,925	0	4.77	1.2750
12:30	14,411	0	6,813	7,624	1,758	0	4.58	1.2681
13:00	15,025	0	6,897	8,428	1,763	0	4.89	1.2772
13:30	15,988	392	6,839	9,389	1,574	1,165	5.24	1.2906
14:00	16,343	832	6,832	9,396	1,565	1,362	5.24	1.2906
14:30	16,410	909	6,830	9,398	1,571	1,998	5.24	1.2910
15:00	16,397	991	6,839	9,388	1,507	4,732	5.23	1.2896
15:30	16,625	1,261	6,862	9,366	1,547	3,380	5.23	1.2900
16:00	16,568	1,128	6,852	9,375	1,492	6,374	5.23	1.2890
16:30	16,624	1,006	6,833	9,395	1,572	1,369	5.24	1.2905
17:00	16,073	251	6,802	9,426	1,577	612	5.24	1.2905
17:30	15,680	0	6,842	9,385	1,558	908	5.24	1.2904
18:00	16,105	536	6,860	9,368	1,546	670	5.24	1.2906
18:30	16,911	1,721	6,870	9,860	1,390	24,767	5.42	1.2966

Time	Load (MW)	Hydro (MW)	Fix (MW)	Dispatch (MW)	SR (MW)	Outage (บาท)	ต้นทุนรวม (ล้านบาท)	ต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/kWh)
19:00	16,647	1,721	6,857	9,790	1,440	9,607	5.39	1.2954
19:30	16,833	1,721	6,845	9,727	1,508	4,156	5.36	1.2946
20:00	16,577	1,442	6,852	9,376	1,563	1,309	5.23	1.2901
20:30	16,680	1,449	6,850	9,378	1,580	1,139	5.23	1.2903
21:00	16,353	889	6,797	9,430	1,594	187	5.24	1.2905
21:30	16,409	985	6,854	9,374	1,516	4,136	5.23	1.2883
22:00	16,389	898	6,824	9,404	1,579	1,048	5.23	1.2903
22:30	16,629	1,385	6,844	9,384	1,586	1,152	5.24	1.2905
23:00	16,426	1,045	6,860	9,367	1,570	1,597	5.23	1.2899
23:30	15,700	284	6,802	9,425	1,611	155	5.24	1.2909
0:00	15,770	0	6,807	8,963	1,745	0	5.07	1.2849

ตารางที่ 5.8 สรุปผลกระทบด้านต้นทุนจากการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ

กรณี	ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง(บาท)	ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับ (บาท)	ต้นทุนการผลิตรวม (บาท)
1. กรณีฐาน	248,913,319	3,789,218	252,702,536
2. กรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW	244,448,509	384,197	244,832,706
3. กรณีติดตั้ง Firm 300 MW	241,633,733	97,153	241,730,886
4. กรณีติดตั้ง Firm โดยให้พลังงานเท่ากับกรณี Non-Firm 300 MW	244,458,129	250,226	244,708,355
5. กรณีติดตั้ง Non-Firm และ แบตเตอรี่	244,470,131	289,417	244,759,548

ตารางที่ 5.9 สรุปผลกระทบด้านต้นทุนจากการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ

กรณี	Spinning reserve		
	Min.	Avg.	Max.
1. กรณีฐาน	1,035	1,484	2,062
2. กรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW	1,369	1,690	2,240
3. กรณีติดตั้ง Firm 300 MW	1,458	1,666	2,133
4. กรณีติดตั้ง Firm โดยให้พลังงาน เท่ากับกรณี Non-Firm 300 MW	1,367	1,644	2,080
5. กรณีติดตั้ง Non-Firm และ แบตเตอรี่	1,333	1,647	2,085

จากตารางที่ 5.8 และ ตารางที่ 5.9 จะพบว่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยรวมนั้นลดลง โดยจะพบว่าในกรณีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm นั้นจะสามารถลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด เนื่องจากกำลังการผลิตรวมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm ที่กำลังผลิตติดตั้ง 300 MW เท่ากัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ 2 กับ กรณีที่ 4 และ 5 ที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm เหมือนกัน กำลังผลิตรวมเท่ากัน ความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิเท่ากัน

จะพบว่าในกรณีที่ 4 และ 5 เมื่อลดความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแล้วจะสามารถลดต้นทุนการผลิตรวมได้มากกว่า จากการวิเคราะห์พบว่าเป็นผลมาจาก กรณีที่ 2 นั้นมีความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมากกว่า กรณีที่ 4 และ 5 ทำให้ การจัดสรรกำลังผลิตในกรณีที่ 2 นั้น จะต้องมีกำลังผลิตสำร้องพร้อมจ่ายขั้นต่ำมากกว่ากรณีที่ 4 ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นในหัวข้อที่ 4.1 จะพบว่าเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าต้องการเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น

5.3.2 ผลของค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิที่ต่างกันระหว่างวันทำงาน และ วันอาทิตย์

ผลการทดสอบในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึง ผลของต้นทุนการผลิตโดยรวมที่สามารถลดได้เปรียบเทียบระหว่างวันทำงาน และ วันอาทิตย์ โดยผลการทดสอบจะใช้การวิเคราะห์ การเดินเครื่อง

และ การจัดสรรกำลังผลิต ในวันทำงาน และ วันอาทิตย์ ของเดือน มกราคม ปี พ.ศ. 2560 โดยผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ผลการเปรียบเทียบเปรียบเทียบวันทำงาน และ วันอาทิตย์

กรณี	กำลังผลิตรวม (MWh)	Avoided cost (บาท/kWh)	กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเฉลี่ย (MW)	กำลังผลิตรวม (MWh)	Avoided cost (บาท/kWh)	กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเฉลี่ย (MW)
	วันทำงาน			วันอาทิตย์		
กรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW	2,295.27	2.87	1,690	4,200.77	0.86	1,918
กรณีติดตั้ง Firm 300 MW	6,097.50	1.79	1,666	6,097.50	0.95	1,949
กรณีติดตั้ง Firm โดยให้พลังงานเท่ากับกรณี Non-Firm 300 MW	2,295.27	3.43	1,644	4,200.77	1.05	1,913
กรณีติดตั้ง Non-Firm และ แบตเตอรี่	2,295.27	3.32	1,647	4,200.77	1.05	1,918

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 5.10 จะพบว่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในกรณีต่างๆ สามารถลดได้ในวันทำงาน นั้นจะมากกว่า วันอาทิตย์ เนื่องจากค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในวันอาทิตย์ทุกช่วงเวลา มีค่าต่ำกว่า ค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิวันทำงาน ดังนั้น ในวันอาทิตย์จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องน้อยกว่าวันทำงาน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ได้เดินเครื่องในวันอาทิตย์มีแนวโน้มจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาแพง ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในวันอาทิตย์ ไม่สามารถลดการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แพงได้ เท่ากับ วันทำงาน ซึ่งการมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่องเยอะในวันอาทิตย์จะส่งผลให้สามารถจัดสรรกำลังผลิตให้กำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเพียงพอต่อค่าความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนได้

5.3.3 ผลการทดสอบผลกระทบด้านต้นทุนการผลิตตลอดอายุโครงการ

จากที่ได้กล่าวไปข้างต้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ระบบทดสอบเป็นระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และ ผลการเดินเครื่อง ในปี พ.ศ. 2560 ดังนั้น เพื่อให้การทดสอบใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเพิ่มพลังงานหมุนเวียน โดยอ้างอิงจาก ***"ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้ารายเล็กโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบ SPP Hybrid Firm พ.ศ. 2560"*** [22] ซึ่งได้ประกาศรับซื้อไฟฟ้าทั้งหมด 300 MW โดยโครงการดังกล่าวมีอายุโครงการทั้งสิ้น 20 ปี ดังนั้นในหัวข้อการทดสอบนี้จะแสดงถึง แนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบด้านต้นทุนใน 20 ปี เพื่อเป็นแนวทางให้ทางภาคนโยบายสามารถนำแนวทางการวิเคราะห์ไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดอัตราสนับสนุนได้

จากแนวทางการจัดสรรกำลังผลิตเพื่อประเมิณผลกระทบที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.1 จะทำให้ทราบถึงผลกระทบด้านต้นทุนของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบต่างๆ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทั้ง 5 กรณี ในวันทำงาน และ วันอาทิตย์ของทั้ง 12 เดือนแล้วจะได้ผลการทดสอบของผลกระทบด้านต้นทุนการผลิตในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งแนวโน้มการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะสามารถลดต้นทุนการผลิตโดยรวมได้ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะช่วยลดค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าส่งผลให้ กฟผ. เสียค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยลง นอกจากนี้การลดค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจะส่งผลให้การเดินเครื่องนั้นมีพื้นที่ในการจัดสรรกำลังผลิตมากขึ้น กฟผ.จึงสามารถเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเพื่อรองรับเหตุขัดข้องได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับมีค่าน้อยลง โดยเมื่อนำผลประโยชน์ที่คำนวณได้มาพิจารณาร่วมกับพลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนผลิตได้ จะได้อัตราสนับสนุนที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนควรได้จากการลดต้นทุนการผลิตดังตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 อัตราสนับของทุกๆเดือนในปี พ.ศ. 2560

เดือนที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Year
วัน	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
วันทำงาน	24	22	27	19	24	26	24	25	26	24	26	24	291
วันหยุด	7	6	4	11	7	4	7	6	4	7	4	7	74
กรณีที่ 2	2.42	2.65	2.95	2.54	2.84	2.85	2.63	2.77	2.96	2.69	2.90	2.63	**2.73**
กรณีที่ 3	1.60	1.68	1.82	1.62	1.80	1.76	1.67	1.74	1.83	1.71	1.79	1.67	**1.72**
กรณีที่ 4	2.89	2.96	3.28	2.68	3.17	3.17	2.93	3.08	3.29	3.00	3.22	2.93	**3.05**
กรณีที่ 5	2.81	2.91	3.22	2.68	3.12	3.12	2.88	3.03	3.24	2.96	3.17	2.89	**3.00**

ในการพิจารณาผลกระทบด้านต้นทุนตลอด 20 ปีนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้การประมานผลกระทบด้านต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี ตามสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงในปัจจุบัน ซึ่งอัตราส่วนของเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภท Thermal, Combined cycle และ Gas Turbine จะประกอบไปด้วยเชื้อเพลิงประเภท ถ่านหิน ประมาน 29 % และ ก๊าซธรรมชาติ ประมาน 71 % ซึ่งข้อมูลต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในปีอนาคต จะอ้างอิงจากตารางที่ 5.12 และ

ตารางที่ 5.12 ต้นทุนเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน [25]

Prices in 2017 $/tonne					
	BEIS Low	**IEA 450 Scenario**	**External projections***		
2020	43	60	54	61	
2030	61	59	35	66	
2040	61	53	-	61	
	BEIS Central	**IEA New Policies Scenario**	**External Projections***		
2020	65	65	57	62	65
2030	88	77	68	76	77
2040	88	80	-	76	-
	BEIS High	**IEA Current Policies Scenario**	**External projections***		
2020	-	67	61	72	
2030	115	83	113	97	
2040	115	91		108	

* Aurora (Jan 2017), Wood Mackenzie (Dec 2016) and I.H.S. (Jul 2016)

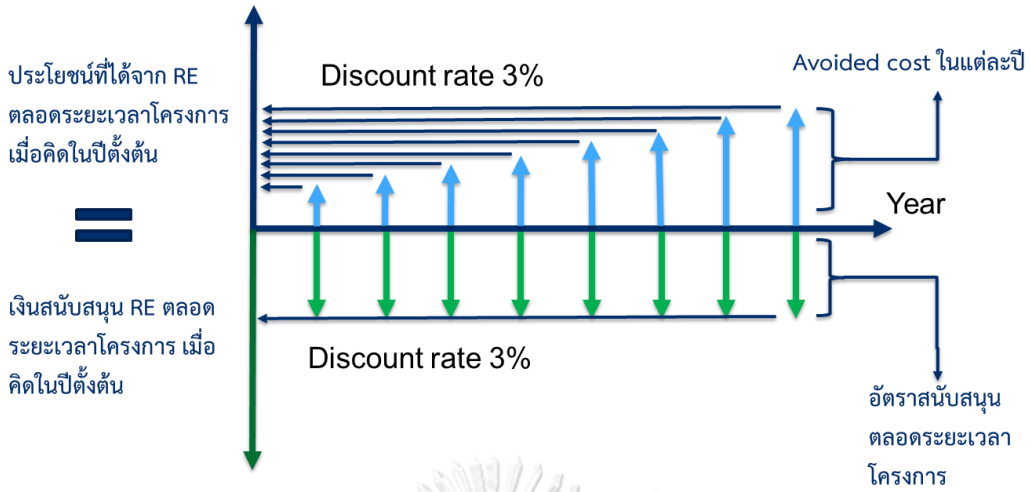
ตารางที่ 5.13 ต้นทุนเชื้อเพลิงประเภทก๊าซธรรมชาติ [25]

Prices in 2017 p/therm					
	BEIS Low	**IEA 450 Scenario**			
2020	34	53			
2030	39	72			
2040	39	76			
	BEIS Central	**IEA New Policies Scenario**	**External Projections***		
2020	43	54	30	73	50
2030	67	79	67	149	68
2040	67	88	-	168	75
	BEIS High	**IEA Current Policies Scenario**			
2020	62	56			
2030	83	85			
2040	83	99			

IEA: WEO 2016
*Aurora (Jan 2017) ,Wood Mackenzie (Dec 2016) and IHS (April 2017)

จากตารางที่ 5.12 และ ตารางที่ 5.12 เมื่อนำข้อมูลต้นทุนค่าเชื้อเพลิงของทั้งสองชนิดมาวิเคราะห์จะทำให้สามารถประเมินแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของราคาค่าเชื้อเพลิงได้ทำให้สามารถคำนวณอัตราสนับสนุนที่เกิดจากการลดต้นทุนการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละปีได้ แต่ในความเป็นจริงเมื่อมีการทำสัญญากำหนดอัตราสนับสนุนทางภาคนโยบายจำเป็นที่จะต้องกำหนดอัตราสนับสนุนเพียงค่าๆ เดียวตลอดอายุโครงการดังนั้นในการคำนวณอัตราสนับสนุนตลอดอายุโครงการในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการคำนวณดังรูปที่ 5.11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 5.11 แนวทางการวิเคราะห์อัตราสนับสนุนจากต้นทุนที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนสามารถลดได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากรูปที่ 5.11 ผลการคำนวณต้นทุนที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนสามารถลดได้ในแต่ละปี จะแสดงดังกราฟเส้นที่มีลูกศรขึ้น โดยเมื่อใช้ค่า Discount rate เท่ากับ 3% ตามอัตราเงินเฟ้อของประเทศไทยจะทำให้ทราบถึงผลประโยชน์โดยรวมของโครงการตลอดอายุ 20 ปี ซึ่งหากทางภาคนโยบายต้องการยกผลประโยชน์ในส่วนนี้ให้กับผู้เข้าร่วมโครงการทั้งหมด ผู้ออกนโยบายจะต้องกำหนดอัตราสนับสนุนตลอดระบะเวลาโครงการ ให้ Discount rate กลับมาที่ปีเริ่มต้นมีค่าเท่ากับผลประโยชน์ที่ได้จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน จากสมมติฐานนี้จะสามารถคำนวณอัตราสนับสนุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์อัตราสนับสนุนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนกรณีต่างๆ

กรณี	Avoided cost (บาท/kWh)			
	ปี 2560	ปี 2570	ปี 2580	รวม โดยคิด Discount rate*
กรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW	2.73	3.61	4.07	3.49
กรณีติดตั้ง Firm 300 MW	1.72	2.28	2.56	2.20
กรณีติดตั้ง Firm โดยให้พลังงานเท่ากับกรณี Non-Firm 300 MW	3.05	4.04	4.54	3.89
กรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW และ แบตเตอรี่	3.00	3.97	4.47	3.83

จากตารางที่ 5.14 จะพบว่าอัตราสนับสนุนในกรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm 300 MW จะมีประโยชน์ในการลดต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เนื่องมาจากระบบผลิตไฟฟ้าหมุนเวียนในกรณีนี้ผลิตพลังงานเป็นปริมาณมากจน กฟผ. จำเป็นต้องลดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกเพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm 300 MW ได้จ่ายไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกรณีที่พลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนผลิตได้เท่ากันได้แก่ กรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm 300 MW กรณีติดตั้ง Firm โดยให้พลังงานเท่ากับกรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW และ กรณีที่ติดตั้งแบตเตอรี่ลดความผันผวน จะพบว่ากรณีติดตั้ง Non-Firm 300 MW นั้นให้ประโยชน์ต่อระบบที่น้อยที่สุด ในขณะที่ กรณีติดตั้ง Firm และ กรณีติดตั้งแบตเตอรี่ ให้ผลประโยชน์ต่อระบบที่ใกล้เคียงกัน

จากการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้า และ การเดินเครื่อง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในปี พ.ศ. 2560 โดยอ้างอิงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนจาก ***"ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้ารายเล็กโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบ SPP Hybrid Firm พ.ศ. 2560"*** [22] จะพบว่าเมื่อวิเคราะห์ถึงผลประโยชน์ในการเดินเครื่องแล้ว ไม่จำเป็นที่ภาคนโยบายจะต้องกำหนดให้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเป็นรูปแบบ Firm เพื่อให้ผลประโยชน์กับระบบที่มากที่สุดเสมอไป แต่ยังสามารถกำหนดให้ผู้เข้าร่วมโครงการสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามสัญญา Non-Firm และ ให้ผู้ดูแลระบบทำการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อลดความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามาแทนได้ ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้ทั้งประเทศชาติ และ ผู้ผลิตไฟฟ้าที่เข้าร่วมโครงการได้รับผลประโยชน์มากกว่ากรณี Firm เพราะถึงแม้ว่ากรณี Firm จะให้ผลประโยชน์ที่มากกว่าเล็กน้อย แต่ผู้เข้าร่วมโครงการจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการก่อสร้างระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนให้ได้ตามสัญญา Firm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 6
สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีคำนวณกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมาะสมที่สุดของระบบทดสอบคือระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยอ้างอิงตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2560 โดยใช้ขั้นตอนการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าโดยคำนึงถึงต้นทุนการผลิต และ ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดไฟฟ้าดับ เพื่อการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิและมีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือผลรวมของค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากับค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับ มีค่าต่ำที่สุด จากการทดสอบการหาค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบผลกระทบด้านกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่าย พบว่าเมื่อเพิ่มความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนในระบบจะส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าเพิ่มกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายในระบบ จากการทดสอบนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีค่ามากกว่าค่าๆหนึ่ง กำลังผลิตสำรองกลับไม่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงได้หาสาเหตุแล้วพบว่า ด้วยจำนวนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากข้อมูลสถิตินั้น แม้จะจัดสรรกำลังผลิตอย่างไร ก็จะมีค่ากำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายสูงสุดที่ระบบทำได้อยู่ ซึ่งเมื่อระบบผลิตไฟฟ้ามีกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายไม่พอนั้นจะส่งผลให้ค่าความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับ (Expected Outage Cost) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ผลการทดสอบผลกระทบด้านต้นทุนการผลิต พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีประโยชน์ต่อระบบผลิตไฟฟ้าในแง่ของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยเนื่องจากสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เต็มที่ตามสัญญาในช่วง Peak ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบไฟฟ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้าสุทธิสูง และสอดคล้องต่อแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าที่จะจัดทำฉบับใหม่ในปี พ.ศ. 2561 ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าฉบับนี้จะเน้นไปที่ด้านการลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยภาพรวมของประเทศนั่นเอง

ผลการทดสอบผลกระทบการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบต่างๆ ในระบบผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พบว่า ในกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Firm จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มากกว่ากรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หมุนเวียนแบบ Non-Firm ในขณะเดียวกันการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อลดความผันผวนจะช่วยลดต้นทุนการผลิตรวมของ กฟผ. ได้เช่นกัน

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1) การวิเคราะห์ผลกระทบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาผลกระทบต่อการวางแผนการเดินเครื่อง 1 วันเท่านั้น โดยหากต้องการขยายผลไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดอัตราสนับสนุนจำเป็นต้องทราบข้อมูลการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของทุกช่วงเวลาที่จะนำมาพิจารณา เช่น ช่วงเวลาตลอดระยะโครงการสนับสนุน เป็นต้น

2) การวิเคราะห์ผลกระทบในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเฉพาะแบบ Firm และ แบบ Non-Firm เท่านั้น แต่สามารถใช้วิธีการดังกล่าวประยุกต์ใช้กับพลังงานหมุนเวียนรูปแบบอื่นได้เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบ Non-Firm โดยระบุเป็นประเภท เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม หรือ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานขยะ เป็นต้น

3) นอกจากการวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตพลังงานหมุนเวียนแล้วยังสามารถใช้วิธีการที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอไปวิเคราะห์ผลกระทบในรูปแบบอื่นๆ ได้อีก เช่น การใช้แบตเตอรี่ทำ load shifting เป็นต้น

4) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้โรงไฟฟ้าที่ทำหน้าที่จ่ายกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายได้คือโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนเชื้อเพลิงฟอสซิลที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้และกำลังเดินเครื่องอยู่เท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติอาจพิจารณาให้โรงไฟฟ้าประเภทอื่นๆ จ่ายกำลังผลิตสำรองได้ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจากเขื่อนในประเทศ หรือโรงไฟฟ้าที่สามารถเริ่มเดินเครื่องได้เร็ว หากในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้องของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ อาจพิจารณาถึงการใช้การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ร่วมกับกำลังผลิตสำรองพร้อมจ่ายเพื่อรักษาเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

5) ในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดให้การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจาก สัญญา HVDC และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานน้ำจากต่างประเทศ มีค่าเป็นไปตามข้อมูลสถิติ ซึ่งในความเป็นจริงหากทราบถึงรายละเอียดของสัญญา จะสามารถเขียนสมการเพื่อใช้ในการจัดสรรกำลังการผลิตได้ ซึ่งจะทำให้การคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

[1] "แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 (Power Development Plan: PDP2015)."

[2] "แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP2015)."

[3] "ฝ่ายสื่อสารองค์กรการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย," พ.ศ. 2556.

[4] M. Ortega-Vazquez and D. Kirschen, "Optimizing the spinning reserve requirements using a cost/benefit analysis," in *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 2008, pp. 1-1.

[5] C. A. Chang, Y. K. Wu, Z. G. Peng, and B. K. Chen, "Determination of maximum wind power penetration in a isolated island system by considering spinning reserve," in *2014 IEEE/IAS 50th Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference*, 2014, pp. 1-8.

[6] "การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย," ed, พ.ศ. 2560.

[7] *expolence*. Available: http://expolence.com/blog/home-of-thermal-power-plant/

[8] *ienergyguru*. Available: https://ienergyguru.com/2015/09

[9] *mechanical-engineering-info.blogspot*. Available: http://mechanical-engineering-info.blogspot.com

[10] NREL, "Operating manual," 2004.

[11] EERE, "Electric Market and Utility Operation Terminology," 2011.

[12] UCTE, "UCTE Operation Handbook," 2004.

[13] B. E. International, "Modern power station practice: incorporating modern power system practice," 1991.

[14] C. I. S. O. Corporation, "Spinning Reserve due SC," 2017.

[15] IEGC, "Indian Electricity Grid Code," 2002.

[16] E. Hirst, "Unbundling Generation and Transmission Services for Competitive Electricity Markets," 1998.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[17] M. S. E. Sharif, "An Overview of Frequency Control as a Criterion of Power System Reliability and International Survey of Determining Operating Reserve," 2017.

[18] *top10electrical*. Available: http://top10electrical.blogspot.com/2015/10/primary-secondary-and-tertiary.html

[19] J. F. Ellison, "Project Report: A Survey of Operating Reserve Markets in U.S. ISO/RTO-managed Electric Energy Regions," 2012.

[20] M. Milligan, "Operating Reserves and Wind Power Integration: An International Comparison," 2010.

[21] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, "แผนกบริการข้อมูลการผลิตและจ่ายไฟฟ้า กองสารสนเทศและประมวลผลข้อมูลการผลิตและการซื้อขายไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย," พ.ศ. 2560.

[22] กกพ., "ประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง ประกาศเชิญชวนการรับซื้อไฟฟ้ารายเล็กโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบ SPP Hybrid Firm พ.ศ. 2560," 2560.

[23] กกพ. (2018). Available: http://www.erc.or.th/ERCSPP

[24] T. L. GROUP, "Expected Energy Not Supplied," 2016.

[25] E. I. S. Department for Business, "Fossil Fuel Price Assumptions," 2017.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลกระทบจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนต่อระบบผลิตไฟฟ้าในใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งข้อมูลนี้ได้รับมาจากแผนกบริการข้อมูลการผลิตและจ่ายไฟฟ้า กองสารสนเทศและประมวลผลข้อมูลการผลิตและการซื้อขายไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งในบทนี้จะแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชนิดได้แก่ ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจัดสรรกำลังการผลิตในอดีต โดยแบ่งเป็นแต่ละเดือนตั้งแต่ เดือน มกราคม จนถึง เดือน ธันวาคม ซึ่งในแต่ละเดือนมีข้อมูลการเดินเครื่องแบ่งเป็น 2 วันได้แก่ วันทำงาน และ วันอาทิตย์

ก. ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงข้อมูลทางเทคนิคของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทความร้อน กังหันแก๊สและ พลังงานความร้อนร่วม โดยจะประกอบไปด้วย ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง ต้นทุนค่าเริ่มต้นเดินเครื่อง กำลังผลิตสูงสุด-ต่ำสุด ความสามารถในการเร่งกำลังผลิต และ ค่าความเชื่อถือได้ (FOR) โดยข้อมูลจะแสดงดังตารางที่ ก

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

รายชื่อ	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/kWh)	ต้นทุนค่าเริ่มต้นเดินเครื่อง (บาท)	กำลังผลิตสูงสุด (MW)	กำลังผลิตต่ำสุด (MW)	ความสามารถในการเร่งกำลังผลิต (MW/min)	ค่าความเชื่อถือได้ (FOR)
BLCP-T1	0.938	4,458,518	673	161	9	0.05
BLCP-T2	0.938	4,458,519	673	161	9	0.05
BPK-C3	1.808	604,961	314	59.4	7.5	0.01
BPK-C4	1.751	604,962	314	59.4	7.5	0.01
BPK-C5	1.313	914,164	710	410	25	0.01
BPK-T1	2.005	1,218,795	525.5	280	5	0.00
BPK-T2	2.005	1,218,796	525.5	280	5	0.00
BPK-T3	1.983	1,218,795	576	280	5	0.00
BPK-T4	1.980	1,218,796	576	280	5	0.00
CHN-C1	1.583	1,041,053	710	354	20	0.01
CHN-S22	1.286	1,717,521	766	464	26	0.01
EPEC-S	1.341	730,541	350	200	7.5	0.01
GLOW-S1	1.472	351,401	356.5	210	7.5	0.01
GLOW-S2	1.472	351,402	356.5	210	7.5	0.01
GNS-C1	1.323	1,224,787	800	464	10	0.01
GNS-C2	1.323	1,224,787	800	464	10	0.01
GOC-T1	0.894	3,576,050	660	210	12	0.05
GPG-C1	1.387	545,912	734	210	12	0.01
GPG-C2	1.387	545,913	734	210	12	0.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายชื่อ	ต้นทุนเชื้อเพลิง (บาท/kWh)	ต้นทุนค่าเริ่มต้นเดินเครื่อง (บาท)	กำลังผลิตสูงสุด (MW)	กำลังผลิตต่ำสุด (MW)	ความสามารถในการเร่งกำลังผลิต (MW/min)	ค่าความเชื่อถือได้ (FOR)
GPS-C1	1.412	1,164,383	700	350	15	0.01
GUT-C1	1.340	1,224,787	800	464	10	0.01
GUT-C2	1.340	1,224,787	800	464	10	0.01
HSA-T1	0.769	4,959,954	551	286	15.6	0.10
HSA-T2	0.769	4,959,955	551	286	15.6	0.10
HSA-T3	0.769	4,959,956	551	286	15.6	0.10
KA-T1	4.671	2,037,584	315	145	3.4	0.10
KN-C	1.296	1,304,901	1143	646	8	0.01
MM-T10	0.703	201,564	270	162	2.5	0.05
MM-T11	0.703	201,564	270	162	2.5	0.05
MM-T12	0.703	201,564	270	162	2.5	0.05
MM-T13	0.703	201,564	270	162	2.5	0.05
MM-T4	0.703	183,240	140	100	2	0.05
MM-T5	0.703	183,240	140	100	2	0.05
MM-T6	0.703	183,240	140	100	2	0.05
MM-T7	0.703	183,240	140	100	2	0.05
MM-T8	0.703	201,564	270	162	2.5	0.05
MM-T9	0.703	201,564	270	162	2.5	0.05
NB-C1	1.484	1,003,546	670	430	30	0.01
NB-S2	1.436	1,755,407	409.8	290.3	4	0.01
NPO-C1	1.329	535,990	220	110	16	0.01
NPO-C2	1.329	535,991	220	110	16	0.01
RB-C1	1.601	1,703,747	691	490	9	0.01
RB-C2	1.601	1,703,747	691	490	9	0.01
RB-C3	1.601	1,703,747	691	490	9	0.01
RB-T1	2.336	2,316,478	720	95	37	0.01
RB-T2	2.336	2,316,478	720	95	37	0.01
RPCL-C1	1.617	697,577	700	490	8	0.01
RPCL-C2	1.617	697,577	700	490	8	0.01
SB-C1	2.267	786,149	316	250	18	0.01
SB-C2	1.580	934,149	560	435	18	0.01
SB-C3	1.495	1,081,563	710	450	32	0.01
SB-T4	2.142	-	265	140	10	0.01
SB-T5	2.142	-	265	140	10	0.01
SRT-GT1	13.395	-	117	40	8	0.00
SRT-GT2	13.395	-	117	40	8	0.00
TECO-C1	1.647	144,331	700	343	18.3	0.01
WN-C1	1.987	971,594	612	340	35	0.01
WN-C2	1.923	971,594	612	340	35	0.01
WN-C3	1.861	1,061,388	686	340	35	0.01
WN-C4	1.279	751,753	750	450	26	0.01

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข. การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจัดสรรกำลังการผลิตในอดีต

ในหัวข้อนี้จะแสดงถึงการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจัดสรรกำลังผลิตใน ปี 2560 โดยในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ การจัดสรรกำลังผลิตในเดือน มกราคม วันทำงาน ดังตารางที่ ข

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	AAA-F	ABP1-F	ABP2-F	ABP3-F	ABP4-F	ABP5-F	ABR1-F	ABR2-F	ATB-F	ATP-F	AWI-N	BB-H1	BB-H2	BB-H3
1/22/2017 0:30	0	59	59	56	59	59	0	58	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 1:00	0	59	59	56	59	60	0	55	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 1:30	0	59	59	54	59	60	0	58	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 2:00	0	59	59	49	59	60	0	57	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 2:30	0	59	59	54	59	60	0	56	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 3:00	0	59	59	52	59	60	0	59	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 3:30	0	59	59	53	59	60	0	55	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 4:00	0	59	59	53	59	60	0	57	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 4:30	0	59	59	55	59	60	0	56	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 5:00	0	59	59	54	59	60	0	58	20	58	0	0	0	0
1/22/2017 5:30	0	59	59	53	59	60	0	57	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 6:00	0	59	59	54	59	60	0	55	20	58	0	0	0	0
1/22/2017 6:30	0	59	59	53	59	60	0	59	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 7:00	0	59	59	52	59	60	0	52	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 7:30	0	59	59	55	59	60	0	60	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 8:00	0	90	90	57	59	60	0	59	20	58	0	0	0	0
1/22/2017 8:30	0	90	90	55	59	60	0	60	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 9:00	0	90	90	56	59	60	0	59	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 9:30	0	90	90	51	59	60	0	59	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 10:00	0	90	90	55	59	60	0	54	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 10:30	0	90	90	53	59	60	0	58	20	58	0	0	0	0
1/22/2017 11:00	0	90	90	53	59	60	0	54	20	58	0	0	0	0
1/22/2017 11:30	0	90	90	54	59	60	0	59	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 12:00	0	90	90	55	59	60	0	57	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 12:30	0	90	90	53	59	60	0	58	20	59	0	0	0	0
1/22/2017 13:00	0	90	90	55	59	59	0	57	20	58	0	0	0	0
1/22/2017 13:30	0	90	90	53	59	59	0	60	20	59	0	0	34	0
1/22/2017 14:00	0	90	90	54	59	59	0	60	21	58	0	0	38	0
1/22/2017 14:30	2	90	90	53	59	59	0	58	20	58	0	0	37	0
1/22/2017 15:00	3	90	90	54	59	59	0	60	20	57	0	0	38	0
1/22/2017 15:30	23	90	90	53	59	59	0	58	20	58	0	0	38	0
1/22/2017 16:00	28	90	90	55	59	59	0	54	20	58	0	0	37	0
1/22/2017 16:30	49	90	90	53	59	60	0	60	20	59	0	0	37	0
1/22/2017 17:00	49	90	90	55	59	59	0	58	20	59	0	0	37	0
1/22/2017 17:30	49	90	90	54	95	96	0	58	20	92	0	0	38	0
1/22/2017 18:00	49	90	90	86	92	92	16	90	20	92	0	0	45	45
1/22/2017 18:30	49	90	90	85	92	92	19	90	20	92	0	48	47	47
1/22/2017 19:00	49	90	90	85	92	92	15	89	20	91	0	47	47	47
1/22/2017 19:30	49	90	90	85	92	92	16	91	20	92	0	47	46	47
1/22/2017 20:00	48	90	90	87	92	93	16	92	20	92	0	47	46	47
1/22/2017 20:30	0	90	90	86	92	92	16	92	20	92	0	47	47	47
1/22/2017 21:00	0	90	90	83	92	92	16	90	20	91	0	0	58	57
1/22/2017 21:30	0	90	90	88	92	93	0	73	20	92	0	0	64	66
1/22/2017 22:00	0	90	90	54	57	57	0	57	20	58	0	0	67	66
1/22/2017 22:30	0	90	59	53	59	59	0	58	20	58	0	66	65	66
1/22/2017 23:00	0	57	57	54	59	60	0	60	20	59	0	66	60	60
1/22/2017 23:30	0	57	57	53	59	59	0	56	20	58	0	0	0	0
1/23/2017 0:00	0	57	57	56	59	59	0	56	20	58	0	0	0	0
Grand Total	446	3,756	3,725	2,836	3,139	3,154	114	3,002	962	3,104	0	368	924	595

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.2 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	BB-H4	BB-H5	BB-H6	BB-H7	BB-H8	BCC-F	BB-H4	BCPG-N	BIC-F	BIP1-F	BIP2-F	BLCP-T1	BLCP-T2	BLG-H1
1/22/2017 0:30	0	0	0	0	0	59	0	0	58	59	58	673	672	0
1/22/2017 1:00	0	0	0	0	0	59	0	0	59	59	58	673	671	0
1/22/2017 1:30	0	0	0	0	0	59	0	0	59	59	58	671	672	0
1/22/2017 2:00	0	0	0	0	0	59	0	0	59	59	58	672	671	0
1/22/2017 2:30	0	0	0	0	0	59	0	0	59	59	58	669	671	0
1/22/2017 3:00	0	0	0	0	0	59	0	0	58	59	58	669	673	0
1/22/2017 3:30	0	0	0	0	0	59	0	0	58	59	58	672	671	0
1/22/2017 4:00	0	0	0	0	0	59	0	0	58	59	58	671	672	0
1/22/2017 4:30	0	0	0	0	0	59	0	0	58	59	58	673	673	0
1/22/2017 5:00	0	0	0	0	0	59	0	0	59	60	59	671	672	0
1/22/2017 5:30	0	0	0	0	0	59	0	0	59	60	58	671	671	0
1/22/2017 6:00	0	0	0	0	0	59	0	0	59	60	58	671	671	0
1/22/2017 6:30	0	0	0	0	0	59	0	0	59	60	58	672	672	0
1/22/2017 7:00	0	0	0	0	0	59	0	0	58	59	58	669	671	0
1/22/2017 7:30	0	0	0	0	0	90	0	1	58	59	58	673	672	0
1/22/2017 8:00	0	0	0	0	0	90	0	2	58	59	58	679	683	0
1/22/2017 8:30	0	0	0	0	0	90	0	9	58	59	58	673	674	0
1/22/2017 9:00	0	0	0	0	0	90	0	13	58	59	58	669	672	0
1/22/2017 9:30	0	0	0	0	0	90	0	16	58	59	58	669	673	0
1/22/2017 10:00	0	0	0	0	0	90	0	18	58	59	58	668	671	0
1/22/2017 10:30	0	0	0	0	0	90	0	20	58	59	58	671	672	0
1/22/2017 11:00	0	0	0	0	0	90	0	22	58	59	58	671	673	0
1/22/2017 11:30	0	0	0	0	0	90	0	23	58	59	58	669	671	0
1/22/2017 12:00	0	0	0	0	0	90	0	24	58	59	58	671	671	0
1/22/2017 12:30	0	0	0	0	0	90	0	24	58	59	58	672	674	0
1/22/2017 13:00	0	0	0	0	0	90	0	24	58	59	58	672	672	0
1/22/2017 13:30	0	0	0	0	0	90	0	23	58	59	58	669	673	0
1/22/2017 14:00	0	0	0	0	0	90	0	22	58	59	58	672	672	0
1/22/2017 14:30	0	0	0	0	0	90	0	21	58	59	58	671	672	0
1/22/2017 15:00	0	0	0	0	0	90	0	17	58	58	58	669	673	0
1/22/2017 15:30	0	0	0	0	0	90	0	15	58	58	58	669	671	0
1/22/2017 16:00	0	0	0	0	0	90	0	13	58	60	58	672	672	0
1/22/2017 16:30	0	0	0	0	0	90	0	10	58	60	57	671	672	0
1/22/2017 17:00	0	0	0	0	0	90	0	6	58	59	58	673	672	0
1/22/2017 17:30	0	0	0	0	0	90	0	2	58	92	91	672	671	0
1/22/2017 18:00	47	0	47	0	0	90	47	0	58	92	91	672	672	0
1/22/2017 18:30	54	55	55	109	130	90	54	0	58	92	91	671	673	0
1/22/2017 19:00	49	48	49	0	120	90	49	0	91	92	91	669	672	0
1/22/2017 19:30	49	48	48	0	122	90	49	0	91	92	91	671	672	0
1/22/2017 20:00	48	48	48	0	121	90	48	0	91	92	90	671	672	0
1/22/2017 20:30	49	49	49	0	121	90	49	0	91	92	91	671	672	0
1/22/2017 21:00	60	0	60	0	126	90	60	0	91	92	91	669	673	0
1/22/2017 21:30	67	0	67	0	124	90	67	0	91	92	91	672	672	0
1/22/2017 22:00	67	68	69	0	125	90	67	0	91	58	59	677	679	0
1/22/2017 22:30	68	68	68	0	119	90	68	0	91	60	59	671	673	0
1/22/2017 23:00	62	62	62	0	0	59	62	0	58	59	58	672	671	0
1/22/2017 23:30	0	0	0	0	0	59	0	0	58	60	58	671	672	0
1/23/2017 0:00	0	0	0	0	0	59	0	0	59	58	58	674	671	0
Grand Total	619	446	621	109	1,107	3,793	619	322	3,056	3,127	3,084	32,219	32,264	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.3 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	BLG-H2	BLG-H3	BMP-F	BPK-C2	BPK-C3	BPK-C4	BPK-C5	BPK-T1	BPK-T2	BPK-T3	BPK-T4	BPL1-F	BPW1-F	BST-H1
1/22/2017 0:30	0	0	4	0	100	184	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 1:00	0	0	4	0	100	147	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 1:30	0	0	4	0	100	100	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 2:00	0	0	4	0	60	99	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 2:30	0	0	4	0	0	102	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 3:00	0	0	4	0	0	102	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 3:30	0	0	4	0	0	100	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 4:00	0	0	4	0	0	96	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 4:30	0	0	4	0	0	105	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 5:00	0	0	4	0	0	97	0	0	0	0	0	59	58	1
1/22/2017 5:30	0	0	4	0	0	101	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 6:00	0	0	4	0	0	100	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 6:30	0	0	4	0	0	143	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 7:00	0	0	4	0	0	95	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 7:30	0	0	4	0	0	99	0	0	0	0	0	59	59	1
1/22/2017 8:00	0	0	4	0	0	100	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 8:30	0	0	4	0	0	99	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 9:00	0	0	4	0	0	94	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 9:30	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 10:00	0	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 10:30	0	0	0	0	0	97	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 11:00	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 11:30	0	0	0	0	0	104	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 12:00	0	0	0	0	0	93	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 12:30	0	0	0	0	0	96	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 13:00	0	0	0	0	0	104	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 13:30	0	0	0	0	0	101	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 14:00	0	0	0	0	0	112	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 14:30	0	0	5	0	0	98	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 15:00	0	0	5	0	0	106	0	0	0	0	0	90	58	1
1/22/2017 15:30	0	0	5	0	0	107	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 16:00	0	0	5	0	0	116	0	0	0	0	0	90	59	1
1/22/2017 16:30	0	0	5	0	0	100	0	0	0	68	0	90	59	1
1/22/2017 17:00	0	0	5	0	0	92	0	0	0	92	0	90	59	1
1/22/2017 17:30	0	0	5	0	0	96	0	0	0	123	0	90	93	1
1/22/2017 18:00	0	0	5	0	0	102	0	0	0	144	0	90	92	1
1/22/2017 18:30	0	0	5	0	0	142	0	0	0	213	0	90	92	1
1/22/2017 19:00	0	0	5	0	0	102	0	0	0	261	0	90	91	1
1/22/2017 19:30	0	0	5	0	0	106	0	0	0	300	0	90	91	1
1/22/2017 20:00	0	0	5	0	0	103	0	0	0	310	0	90	92	1
1/22/2017 20:30	0	0	5	0	0	103	0	0	0	300	0	90	92	1
1/22/2017 21:00	0	0	5	0	0	106	0	0	0	300	0	90	92	1
1/22/2017 21:30	0	0	5	0	0	114	0	0	0	300	0	90	92	1
1/22/2017 22:00	0	0	5	0	0	102	0	0	0	300	0	90	86	1
1/22/2017 22:30	0	0	5	0	0	99	0	0	0	300	0	90	59	1
1/22/2017 23:00	0	0	5	0	0	93	0	0	0	300	0	59	59	1
1/22/2017 23:30	0	0	5	0	0	101	0	0	0	300	0	59	59	1
1/23/2017 0:00	0	0	5	0	0	94	0	0	0	300	0	59	60	1
Grand Total	0	0	172	0	360	5,044	0	0	0	3,912	0	3,762	3,147	62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.4 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	CHN-C1	CHN-S22	CLB-H1	CLB-H2	CYP-H1	CYP-H2	CYPW-N	DCP-N	DFE-F	EAL-N	EAN-N	EAP-N	EDL	EGC-F
1/22/2017 0:30	417	766	20	0	0	5	46	0	4	0	0	0	49	39
1/22/2017 1:00	416	763	20	0	0	5	62	0	4	0	0	0	49	39
1/22/2017 1:30	418	763	20	0	0	5	52	0	4	0	0	0	49	38
1/22/2017 2:00	410	767	20	0	0	5	40	2	4	0	0	0	48	39
1/22/2017 2:30	411	701	20	0	0	5	53	4	4	0	0	0	49	38
1/22/2017 3:00	413	720	20	0	0	5	56	4	4	0	0	0	48	38
1/22/2017 3:30	411	719	20	0	0	5	42	4	4	0	0	0	48	38
1/22/2017 4:00	412	732	20	0	0	5	46	5	4	0	0	0	48	39
1/22/2017 4:30	412	735	20	0	0	5	36	5	4	0	0	0	49	38
1/22/2017 5:00	410	735	20	0	0	5	41	5	4	0	0	0	49	38
1/22/2017 5:30	413	758	20	0	0	5	55	3	4	0	0	0	50	39
1/22/2017 6:00	412	761	20	0	0	5	41	1	4	0	0	0	50	38
1/22/2017 6:30	413	762	20	0	0	5	37	0	4	0	0	0	51	38
1/22/2017 7:00	410	765	20	0	0	5	63	0	4	0	0	0	47	38
1/22/2017 7:30	413	765	20	0	0	5	44	0	4	3	8	8	47	36
1/22/2017 8:00	412	763	20	0	0	5	34	0	4	18	23	27	47	38
1/22/2017 8:30	411	540	20	0	0	5	49	0	4	40	37	49	47	38
1/22/2017 9:00	413	537	20	0	0	5	60	0	4	61	51	69	47	38
1/22/2017 9:30	413	547	20	0	0	5	58	0	4	78	63	84	47	39
1/22/2017 10:00	411	539	20	0	5	0	62	0	4	82	72	86	47	40
1/22/2017 10:30	410	554	20	0	5	0	49	0	4	83	81	87	47	39
1/22/2017 11:00	413	532	20	0	5	0	59	0	4	83	86	87	47	38
1/22/2017 11:30	409	536	20	0	5	0	44	0	4	82	90	87	47	39
1/22/2017 12:00	414	528	20	0	5	0	38	0	4	82	91	87	47	39
1/22/2017 12:30	411	507	20	0	5	0	30	0	4	82	92	87	48	37
1/22/2017 13:00	413	516	20	0	5	0	20	0	4	80	91	87	49	40
1/22/2017 13:30	412	522	20	0	5	0	25	0	4	74	90	87	49	39
1/22/2017 14:00	413	523	20	0	5	0	24	0	4	40	86	87	47	40
1/22/2017 14:30	411	548	20	0	5	0	25	0	4	40	72	86	47	40
1/22/2017 15:00	413	538	20	0	5	0	26	0	4	59	62	83	48	39
1/22/2017 15:30	412	748	20	0	5	0	23	0	4	81	61	83	47	40
1/22/2017 16:00	428	764	20	0	5	0	28	0	4	47	41	71	47	40
1/22/2017 16:30	421	750	20	0	5	0	30	0	4	44	44	54	48	38
1/22/2017 17:00	422	745	20	0	5	0	24	0	4	33	21	34	48	38
1/22/2017 17:30	422	765	20	0	5	0	23	1	4	11	12	10	50	40
1/22/2017 18:00	420	765	20	0	5	0	24	5	5	2	1	1	50	42
1/22/2017 18:30	423	766	20	0	5	0	19	43	5	0	0	0	49	59
1/22/2017 19:00	598	766	20	0	5	0	16	43	5	0	0	0	52	59
1/22/2017 19:30	561	766	14	14	0	5	29	43	5	0	0	0	51	58
1/22/2017 20:00	568	765	20	0	5	0	34	45	5	0	0	0	51	59
1/22/2017 20:30	578	767	20	0	5	0	31	46	5	0	0	0	50	61
1/22/2017 21:00	560	767	20	0	5	0	32	45	5	0	0	0	50	41
1/22/2017 21:30	531	764	20	0	5	0	36	45	5	0	0	0	50	38
1/22/2017 22:00	518	769	20	0	5	0	39	0	5	0	0	0	49	39
1/22/2017 22:30	512	766	20	0	5	0	45	0	5	0	0	0	49	41
1/22/2017 23:00	481	560	20	0	5	0	60	0	5	0	0	0	49	40
1/22/2017 23:30	421	508	13	13	5	0	58	0	5	0	0	0	48	40
1/23/2017 0:00	421	464	14	14	5	0	57	0	5	0	0	0	49	39
Grand Total	21,063	32,405	944	41	137	98	1,924	348	181	1,206	1,275	1,442	2,329	1,968

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.5 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	DCP-N	DFE-F	EAL-N	EAN-N	EAP-N	EDL	EGC-F	GE-F2	GE-F3	GKP1-F	GKP2-F	GLOW-S1	GLOW-S2	GNK2-F
1/22/2017 0:30	ENV-F	EPEC-S1	ESE-N	FKW-N	GCC-F	GCRN-F	GE-F1	18	49	55	59	0	0	59
1/22/2017 1:00	59	204	19	87	37	47	90	18	49	55	59	0	0	59
1/22/2017 1:30	59	202	17	90	37	49	17	18	49	55	60	0	0	59
1/22/2017 2:00	59	202	18	89	38	49	17	18	49	55	60	0	0	60
1/22/2017 2:30	59	203	18	84	38	50	17	19	49	56	60	0	0	59
1/22/2017 3:00	59	314	17	85	38	50	17	19	49	55	60	0	0	59
1/22/2017 3:30	59	206	17	84	38	49	17	19	49	56	60	0	0	59
1/22/2017 4:00	59	202	17	86	39	50	17	19	49	56	60	0	0	59
1/22/2017 4:30	59	202	17	91	39	50	17	19	49	56	60	0	0	60
1/22/2017 5:00	59	213	16	91	39	52	17	19	49	56	60	0	0	60
1/22/2017 5:30	59	204	16	91	40	53	17	19	49	56	60	0	0	59
1/22/2017 6:00	59	211	14	91	44	52	17	19	49	56	58	0	0	59
1/22/2017 6:30	59	203	18	91	41	54	17	19	49	56	59	0	0	59
1/22/2017 7:00	41	351	17	91	40	54	17	19	49	57	60	0	0	59
1/22/2017 7:30	46	204	16	83	41	54	17	19	49	57	60	0	0	60
1/22/2017 8:00	46	205	17	86	31	54	17	19	49	57	60	0	0	55
1/22/2017 8:30	45	203	17	87	0	55	17	19	49	56	59	0	0	35
1/22/2017 9:00	46	203	16	91	0	56	17	19	49	56	60	0	0	35
1/22/2017 9:30	45	205	17	91	0	56	17	18	49	56	60	0	0	34
1/22/2017 10:00	46	204	16	91	0	56	17	19	49	56	60	0	0	34
1/22/2017 10:30	45	203	17	91	0	56	17	18	49	55	60	0	0	33
1/22/2017 11:00	44	204	16	91	0	55	17	18	49	55	60	0	0	33
1/22/2017 11:30	45	210	16	88	0	54	17	18	49	55	58	0	0	33
1/22/2017 12:00	44	211	16	78	0	54	17	18	49	55	60	0	0	33
1/22/2017 12:30	45	203	16	64	0	54	16	18	49	54	60	0	0	34
1/22/2017 13:00	42	203	16	55	0	54	17	18	49	55	61	0	0	33
1/22/2017 13:30	42	212	16	45	0	53	16	18	49	54	60	0	0	33
1/22/2017 14:00	43	211	17	39	0	53	16	18	49	54	60	0	0	32
1/22/2017 14:30	45	325	16	30	1	53	16	18	49	53	60	0	0	32
1/22/2017 15:00	45	243	16	36	9	53	16	18	49	53	60	0	0	32
1/22/2017 15:30	46	240	15	27	11	53	16	18	49	54	59	0	0	32
1/22/2017 16:00	48	212	14	33	37	53	17	18	49	54	60	0	0	33
1/22/2017 16:30	45	273	16	31	37	52	17	19	49	53	60	0	0	33
1/22/2017 17:00	45	206	15	34	39	53	17	19	49	54	60	0	0	33
1/22/2017 17:30	59	201	16	35	39	53	17	19	49	54	60	0	0	33
1/22/2017 18:00	92	204	16	41	40	53	17	19	49	54	60	0	0	34
1/22/2017 18:30	92	202	16	30	39	53	17	19	49	54	91	0	0	33
1/22/2017 19:00	92	348	16	29	39	53	17	19	49	54	92	0	0	33
1/22/2017 19:30	92	227	13	38	39	53	17	18	49	55	92	0	0	51
1/22/2017 20:00	91	204	14	68	39	52	16	19	49	54	93	0	0	92
1/22/2017 20:30	92	203	16	61	39	52	17	19	49	55	93	0	0	92
1/22/2017 21:00	92	281	14	77	39	53	17	19	49	54	93	0	0	92
1/22/2017 21:30	92	208	16	71	39	49	17	19	49	55	92	0	0	77
1/22/2017 22:00	92	295	15	83	40	57	17	18	49	55	60	0	0	60
1/22/2017 22:30	92	206	16	76	39	57	17	18	49	55	60	0	0	59
1/22/2017 23:00	59	204	16	65	40	51	17	18	49	55	59	0	0	59
1/22/2017 23:30	59	204	21	43	40	51	17	18	49	56	60	0	0	59
1/23/2017 0:00	59	205	14	41	41	53	17	18	49	55	60	0	0	59
Grand Total	60	204	14	41	40	53	17	887	2,352	2,640	3,090	0	0	2,374

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.6 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	GNLL-F	GNNK-F	GNS-C1	GNS-C2	GOC-T1	GPG-C1	GPG-C2	GPS-C1	GPS-N1	GPS-N2	GS11-F	GS11-F2	GS1-F1	GS1-F2
1/22/2017 0:30	59	59	610	713	0	0	0	195	45	0	59	58	0	36
1/22/2017 1:00	59	59	500	610	0	0	0	199	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 1:30	58	59	515	782	0	0	0	197	44	0	60	59	0	36
1/22/2017 2:00	60	59	290	798	0	0	0	199	44	0	60	58	0	36
1/22/2017 2:30	59	59	25	801	0	0	0	198	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 3:00	60	59	0	653	0	0	0	200	44	0	60	59	0	36
1/22/2017 3:30	59	59	0	676	0	0	0	199	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 4:00	59	59	0	775	0	0	0	197	44	0	60	58	0	36
1/22/2017 4:30	59	59	0	632	0	0	0	197	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 5:00	59	59	0	708	0	0	0	194	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 5:30	58	59	0	550	0	0	0	202	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 6:00	60	59	0	641	0	0	0	202	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 6:30	59	59	0	818	0	0	0	197	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 7:00	60	59	0	506	0	0	0	199	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 7:30	59	59	0	513	0	0	0	196	44	0	59	57	0	36
1/22/2017 8:00	60	59	0	519	0	0	0	198	44	0	59	60	0	36
1/22/2017 8:30	59	59	0	510	0	0	0	197	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 9:00	59	59	0	504	0	0	0	193	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 9:30	60	59	0	508	0	0	0	196	43	0	59	58	0	36
1/22/2017 10:00	59	59	0	520	0	0	0	199	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 10:30	59	59	0	497	0	0	0	196	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 11:00	58	58	0	515	0	0	0	199	44	0	58	57	0	36
1/22/2017 11:30	58	59	0	534	0	0	0	199	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 12:00	58	59	0	497	0	0	0	196	44	0	57	58	0	36
1/22/2017 12:30	59	59	0	498	0	0	0	195	44	0	60	58	0	36
1/22/2017 13:00	59	59	0	519	0	0	0	199	44	0	58	59	0	36
1/22/2017 13:30	59	59	0	692	0	0	0	197	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 14:00	60	59	0	808	0	0	0	196	44	0	58	59	0	36
1/22/2017 14:30	60	59	0	684	0	0	0	196	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 15:00	59	59	0	818	0	0	0	194	43	0	58	58	0	36
1/22/2017 15:30	59	59	0	815	0	0	0	195	43	0	59	58	0	36
1/22/2017 16:00	58	59	0	819	0	0	0	195	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 16:30	58	59	0	742	0	0	0	195	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 17:00	59	59	0	710	0	0	0	195	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 17:30	88	76	0	508	0	0	0	191	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 18:00	94	90	0	561	0	0	0	215	44	0	60	91	0	55
1/22/2017 18:30	92	90	0	830	0	0	0	210	52	0	77	90	0	55
1/22/2017 19:00	93	90	0	809	0	0	0	289	51	0	89	90	0	55
1/22/2017 19:30	91	90	0	808	0	0	0	428	51	0	89	92	0	36
1/22/2017 20:00	92	90	0	805	0	0	0	385	52	0	89	91	0	55
1/22/2017 20:30	92	90	0	803	0	0	0	198	52	0	88	91	0	36
1/22/2017 21:00	92	90	0	733	0	0	0	198	52	0	59	91	0	36
1/22/2017 21:30	92	75	0	806	0	0	0	197	45	0	60	56	0	36
1/22/2017 22:00	59	59	0	728	0	0	0	195	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 22:30	60	59	0	613	0	0	0	197	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 23:00	58	59	0	500	0	0	0	193	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 23:30	59	59	0	502	0	0	0	197	45	0	59	59	0	36
1/23/2017 0:00	59	59	0	499	0	0	0	195	47	0	58	58	0	36
Grand Total	3,126	3,077	1,940	31,386	0	0	0	9,992	2,153	0	2,952	3,024	0	1,804

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.7 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	GNLL-F	GNNK-F	GNS-C1	GNS-C2	GOC-T1	GPG-C1	GPG-C2	GPS-C1	GPS-N1	GPS-N2	GS11-F	GS11-F2	GS1-F1	GS1-F2
1/22/2017 0:30	59	59	610	713	0	0	0	195	45	0	59	58	0	36
1/22/2017 1:00	59	59	500	610	0	0	0	199	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 1:30	58	59	515	782	0	0	0	197	44	0	60	59	0	36
1/22/2017 2:00	60	59	290	798	0	0	0	199	44	0	60	58	0	36
1/22/2017 2:30	59	59	25	801	0	0	0	198	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 3:00	60	59	0	653	0	0	0	200	44	0	60	59	0	36
1/22/2017 3:30	59	59	0	676	0	0	0	199	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 4:00	59	59	0	775	0	0	0	197	44	0	60	58	0	36
1/22/2017 4:30	59	59	0	632	0	0	0	197	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 5:00	59	59	0	708	0	0	0	194	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 5:30	58	59	0	550	0	0	0	202	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 6:00	60	59	0	641	0	0	0	202	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 6:30	59	59	0	818	0	0	0	197	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 7:00	60	59	0	506	0	0	0	199	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 7:30	59	59	0	513	0	0	0	196	44	0	59	57	0	36
1/22/2017 8:00	60	59	0	519	0	0	0	198	44	0	59	60	0	36
1/22/2017 8:30	59	59	0	510	0	0	0	197	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 9:00	59	59	0	504	0	0	0	193	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 9:30	60	59	0	508	0	0	0	196	43	0	59	58	0	36
1/22/2017 10:00	59	59	0	520	0	0	0	199	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 10:30	59	59	0	497	0	0	0	196	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 11:00	58	58	0	515	0	0	0	199	44	0	58	57	0	36
1/22/2017 11:30	58	59	0	534	0	0	0	199	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 12:00	58	59	0	497	0	0	0	196	44	0	57	58	0	36
1/22/2017 12:30	59	59	0	498	0	0	0	195	44	0	60	58	0	36
1/22/2017 13:00	59	59	0	519	0	0	0	199	44	0	58	59	0	36
1/22/2017 13:30	59	59	0	692	0	0	0	197	43	0	58	59	0	36
1/22/2017 14:00	60	59	0	808	0	0	0	196	44	0	58	59	0	36
1/22/2017 14:30	60	59	0	684	0	0	0	196	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 15:00	59	59	0	818	0	0	0	194	43	0	58	58	0	36
1/22/2017 15:30	59	59	0	815	0	0	0	195	43	0	59	58	0	36
1/22/2017 16:00	58	59	0	819	0	0	0	195	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 16:30	58	59	0	742	0	0	0	195	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 17:00	59	59	0	710	0	0	0	195	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 17:30	88	76	0	508	0	0	0	191	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 18:00	94	90	0	561	0	0	0	215	44	0	60	91	0	55
1/22/2017 18:30	92	90	0	830	0	0	0	210	52	0	77	90	0	55
1/22/2017 19:00	93	90	0	809	0	0	0	289	51	0	89	90	0	55
1/22/2017 19:30	91	90	0	808	0	0	0	428	51	0	89	92	0	36
1/22/2017 20:00	92	90	0	805	0	0	0	385	52	0	89	91	0	55
1/22/2017 20:30	92	90	0	803	0	0	0	198	52	0	88	91	0	36
1/22/2017 21:00	92	90	0	733	0	0	0	198	52	0	59	91	0	36
1/22/2017 21:30	92	75	0	806	0	0	0	197	45	0	60	56	0	36
1/22/2017 22:00	59	59	0	728	0	0	0	195	44	0	59	58	0	36
1/22/2017 22:30	60	59	0	613	0	0	0	197	44	0	59	59	0	36
1/22/2017 23:00	58	59	0	500	0	0	0	193	44	0	58	58	0	36
1/22/2017 23:30	59	59	0	502	0	0	0	197	45	0	59	59	0	36
1/23/2017 0:00	59	59	0	499	0	0	0	195	47	0	58	58	0	36
Grand Total	3,126	3,077	1,940	31,386	0	0	0	9,992	2,153	0	2,952	3,024	0	1,804

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.8 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	GS2-F1	GS2-F2	GS3-F1	GS3-F2	GTLC-F	GUT-C1	GUT-C2	GVTP-F	GYG-F	HHO-H1	HHO-H2	HK-H1	HSA-T1	HSA-T2
1/22/2017 0:30	30	30	30	30	45	0	488	0	21	0	0	1	296	503
1/22/2017 1:00	30	30	30	30	45	0	505	0	21	0	0	1	296	501
1/22/2017 1:30	30	30	30	30	45	0	222	0	21	0	0	1	295	499
1/22/2017 2:00	30	30	30	30	45	0	31	0	21	0	0	1	302	499
1/22/2017 2:30	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	297	500
1/22/2017 3:00	30	30	30	30	47	0	0	0	21	0	0	1	298	504
1/22/2017 3:30	30	30	30	30	47	0	0	0	21	0	0	1	297	503
1/22/2017 4:00	30	30	30	30	47	0	0	0	21	0	0	1	294	502
1/22/2017 4:30	30	30	30	30	49	0	0	0	21	0	0	1	292	499
1/22/2017 5:00	30	30	30	30	49	0	0	0	21	0	0	1	294	500
1/22/2017 5:30	30	30	30	30	49	0	0	0	21	0	0	1	296	501
1/22/2017 6:00	30	30	30	30	49	0	0	0	21	0	0	1	300	505
1/22/2017 6:30	30	30	30	30	49	0	0	0	21	0	0	1	297	502
1/22/2017 7:00	30	30	30	30	49	0	0	0	21	0	0	1	297	502
1/22/2017 7:30	30	30	30	30	46	0	0	0	21	0	0	1	298	506
1/22/2017 8:00	30	30	30	30	46	0	0	0	21	0	0	1	302	508
1/22/2017 8:30	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	297	506
1/22/2017 9:00	30	30	30	30	46	0	0	0	21	0	0	1	297	504
1/22/2017 9:30	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	296	501
1/22/2017 10:00	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	292	499
1/22/2017 10:30	30	30	30	30	44	0	0	0	21	0	0	1	298	502
1/22/2017 11:00	30	30	30	30	44	0	0	0	21	0	0	1	297	502
1/22/2017 11:30	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	297	501
1/22/2017 12:00	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	295	504
1/22/2017 12:30	30	30	30	30	46	0	0	0	21	0	0	1	297	504
1/22/2017 13:00	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	298	501
1/22/2017 13:30	30	30	30	30	45	0	0	0	21	0	0	1	296	502
1/22/2017 14:00	30	30	30	30	44	0	0	0	21	0	0	1	297	505
1/22/2017 14:30	30	30	30	30	44	0	0	0	21	0	0	1	294	380
1/22/2017 15:00	30	30	30	30	43	0	0	0	21	0	0	1	298	333
1/22/2017 15:30	30	30	30	30	41	0	0	0	21	0	0	1	293	334
1/22/2017 16:00	30	30	30	30	47	0	0	0	21	0	0	1	295	334
1/22/2017 16:30	30	30	30	30	50	0	0	0	21	0	0	1	294	333
1/22/2017 17:00	30	30	30	30	59	0	0	0	21	0	0	1	295	333
1/22/2017 17:30	30	30	30	30	90	0	0	0	21	0	0	1	299	334
1/22/2017 18:00	30	30	30	30	92	0	0	0	21	67	0	1	297	334
1/22/2017 18:30	30	30	30	30	92	0	0	0	21	67	0	1	297	432
1/22/2017 19:00	30	30	30	30	92	0	0	0	21	66	0	1	295	501
1/22/2017 19:30	30	30	30	30	92	0	0	0	21	67	0	1	295	499
1/22/2017 20:00	30	30	30	30	92	0	0	0	21	67	0	1	297	502
1/22/2017 20:30	30	30	30	30	93	0	0	0	21	67	0	1	297	502
1/22/2017 21:00	30	30	30	30	92	0	0	0	21	67	0	1	301	504
1/22/2017 21:30	30	30	30	30	92	0	0	0	21	0	0	1	292	497
1/22/2017 22:00	30	30	30	30	59	0	0	0	21	0	0	1	302	506
1/22/2017 22:30	30	30	30	30	59	0	0	0	21	0	0	1	296	501
1/22/2017 23:00	30	30	30	30	59	0	0	0	21	0	0	1	296	501
1/22/2017 23:30	30	30	30	30	59	0	0	0	21	0	0	0	296	501
1/23/2017 0:00	30	30	30	30	59	0	0	0	21	0	0	0	296	502
Grand Total	1,440	1,440	1,440	1,440	2,695	0	1,246	0	1,008	466	0	46	14,228	22,728

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.9 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	HSA-T3	HVDC	IRPC-N	KA-T1	KDP-H1	KHB-F	KKC-H1	KKS-F	KKS-N2	KN-C	KND	KPS-N	KRD-N	KRT-N
1/22/2017 0:30	0	29	7	0	0	22	0	21	0	345	15	4	0	81
1/22/2017 1:00	0	29	8	0	0	23	0	20	0	359	15	4	0	80
1/22/2017 1:30	0	29	9	0	0	22	0	21	0	365	15	4	0	84
1/22/2017 2:00	0	28	10	0	0	23	0	21	0	373	15	4	0	84
1/22/2017 2:30	0	28	10	0	0	23	0	20	0	465	15	4	0	73
1/22/2017 3:00	0	29	10	0	0	23	0	21	0	434	15	4	0	81
1/22/2017 3:30	0	29	10	0	0	22	0	20	0	370	15	4	0	86
1/22/2017 4:00	0	29	11	0	0	24	0	20	0	371	15	4	0	86
1/22/2017 4:30	0	28	11	0	0	23	0	20	0	339	15	4	0	89
1/22/2017 5:00	0	28	13	0	0	23	0	20	0	369	15	4	0	89
1/22/2017 5:30	0	29	14	0	0	23	0	20	0	333	15	4	0	88
1/22/2017 6:00	0	28	14	0	0	24	0	21	0	359	15	3	0	89
1/22/2017 6:30	0	29	16	0	0	23	0	21	0	467	15	4	0	85
1/22/2017 7:00	0	28	17	0	0	24	0	21	0	397	15	4	0	80
1/22/2017 7:30	0	28	18	0	0	23	0	21	0	282	15	4	0	81
1/22/2017 8:00	0	29	19	0	0	23	0	21	0	276	15	4	0	86
1/22/2017 8:30	0	29	13	0	0	23	0	21	0	275	15	5	0	87
1/22/2017 9:00	0	28	8	0	0	23	0	21	0	295	15	4	0	89
1/22/2017 9:30	0	29	6	0	0	23	0	17	0	312	15	3	0	89
1/22/2017 10:00	0	28	6	0	0	23	0	20	0	340	15	4	0	89
1/22/2017 10:30	0	28	7	0	0	21	0	20	0	397	15	4	0	89
1/22/2017 11:00	0	29	6	0	0	24	0	20	0	375	15	4	0	84
1/22/2017 11:30	0	28	5	0	0	22	0	20	0	381	15	4	0	75
1/22/2017 12:00	0	26	4	0	0	24	0	21	0	366	15	4	0	62
1/22/2017 12:30	0	29	5	0	0	24	0	20	0	379	15	4	0	52
1/22/2017 13:00	0	29	9	0	0	24	0	20	0	391	15	4	0	38
1/22/2017 13:30	0	28	9	0	0	22	0	20	0	389	15	3	0	32
1/22/2017 14:00	0	28	10	0	0	23	0	21	0	412	15	4	4	29
1/22/2017 14:30	0	29	9	0	0	24	0	21	0	386	15	4	4	29
1/22/2017 15:00	0	27	10	0	0	24	0	21	0	462	15	4	4	26
1/22/2017 15:30	0	29	11	0	0	24	0	20	0	443	15	4	4	29
1/22/2017 16:00	0	28	11	0	0	23	0	20	0	461	15	4	4	27
1/22/2017 16:30	0	28	11	0	0	23	0	20	0	419	15	4	4	26
1/22/2017 17:00	0	27	11	0	0	22	0	21	0	373	15	4	4	31
1/22/2017 17:30	0	28	11	0	0	23	0	20	0	280	15	4	4	38
1/22/2017 18:00	0	29	12	0	0	24	0	20	0	337	15	4	4	32
1/22/2017 18:30	0	29	12	0	0	23	0	20	0	460	15	4	4	25
1/22/2017 19:00	0	28	10	0	0	22	0	20	0	464	15	5	4	27
1/22/2017 19:30	0	28	4	0	0	22	0	20	0	425	15	4	4	47
1/22/2017 20:00	0	28	7	0	0	21	0	20	0	414	15	4	4	40
1/22/2017 20:30	0	28	6	0	0	24	0	21	0	465	15	4	4	49
1/22/2017 21:00	0	28	8	0	0	25	0	21	0	409	15	4	4	59
1/22/2017 21:30	0	29	8	0	0	22	0	20	0	465	15	5	4	61
1/22/2017 22:00	0	29	8	0	0	22	0	21	0	427	15	5	4	56
1/22/2017 22:30	0	29	8	0	0	24	0	20	0	368	15	4	0	53
1/22/2017 23:00	0	28	9	0	0	23	0	21	0	314	15	5	0	45
1/22/2017 23:30	0	28	8	0	0	22	0	20	0	277	15	5	0	47
1/23/2017 0:00	0	29	8	0	0	19	0	21	0	275	15	4	0	40
Grand Total	0	1,365	466	0	0	1,095	0	974	0	18,136	720	197	66	2,939

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.10 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	KTB-N	KWP-N	LKB-GT1	LKB-GT2	LKB-GT3	LKB-GT4	LKB-GT6	LKB-GT9	LTK-H1	LTK-H2	MGB-F	MGP-F	MKL-H1	MKL-H2
1/22/2017 0:30	0	32	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 1:00	0	32	0	12	11	0	0	0	0	0	13	8	0	6
1/22/2017 1:30	0	38	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 2:00	0	46	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 2:30	0	43	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 3:00	0	40	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 3:30	0	40	0	12	11	0	0	0	-267	0	16	8	0	6
1/22/2017 4:00	0	46	0	12	11	0	0	0	-270	-272	16	8	0	6
1/22/2017 4:30	0	50	0	12	11	0	0	0	-269	-271	16	8	0	6
1/22/2017 5:00	0	49	0	12	11	0	0	0	-269	-270	16	8	0	6
1/22/2017 5:30	0	44	0	12	11	0	0	0	0	-269	14	8	0	6
1/22/2017 6:00	0	41	0	12	11	0	0	0	0	-269	16	8	0	6
1/22/2017 6:30	0	45	0	12	11	0	0	0	0	-271	16	8	0	6
1/22/2017 7:00	0	47	0	12	11	0	0	0	0	-268	16	8	0	6
1/22/2017 7:30	0	47	0	12	11	0	0	0	0	-269	16	8	0	6
1/22/2017 8:00	0	46	0	12	11	0	0	0	0	-267	16	9	0	6
1/22/2017 8:30	0	40	0	12	11	0	0	0	0	-268	16	8	0	6
1/22/2017 9:00	0	44	0	12	11	0	0	0	0	-265	16	8	0	6
1/22/2017 9:30	0	50	0	12	11	0	0	0	0	-267	16	8	0	6
1/22/2017 10:00	0	50	0	12	11	0	0	0	-265	-269	12	8	0	6
1/22/2017 10:30	0	47	0	12	11	0	0	0	-264	-266	16	8	0	6
1/22/2017 11:00	0	39	0	12	11	0	0	0	-265	-267	16	8	0	6
1/22/2017 11:30	0	33	0	12	11	0	0	0	-264	-265	16	8	0	6
1/22/2017 12:00	0	29	0	12	11	0	0	0	-264	-266	16	8	0	6
1/22/2017 12:30	0	22	0	12	11	0	0	0	-263	-266	16	8	0	6
1/22/2017 13:00	0	26	0	12	11	0	0	0	-261	-264	16	8	0	6
1/22/2017 13:30	0	16	0	12	11	0	0	0	-262	-266	16	8	0	6
1/22/2017 14:00	0	19	0	12	11	0	0	0	-261	-264	16	8	0	6
1/22/2017 14:30	0	17	0	12	11	0	0	0	-259	0	16	8	0	6
1/22/2017 15:00	0	14	0	12	11	0	0	0	-261	0	16	8	0	6
1/22/2017 15:30	0	14	0	12	11	0	0	0	-262	0	16	8	0	6
1/22/2017 16:00	0	13	0	12	11	0	0	0	-265	0	16	8	0	6
1/22/2017 16:30	0	18	0	12	11	0	0	0	-263	0	16	8	0	6
1/22/2017 17:00	0	8	0	12	11	0	0	0	0	0	13	9	0	6
1/22/2017 17:30	0	9	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 18:00	0	12	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 18:30	0	19	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 19:00	0	20	0	12	11	0	0	0	0	197	16	8	0	6
1/22/2017 19:30	0	20	0	0	0	0	0	0	0	187	16	8	0	6
1/22/2017 20:00	0	13	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 20:30	0	21	0	12	11	0	0	0	194	0	16	8	0	6
1/22/2017 21:00	0	19	0	12	11	0	0	0	197	0	16	8	0	6
1/22/2017 21:30	0	24	0	12	11	0	0	0	174	0	16	8	0	6
1/22/2017 22:00	0	32	0	12	11	0	0	0	34	0	16	8	0	6
1/22/2017 22:30	0	35	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 23:00	0	29	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/22/2017 23:30	0	31	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
1/23/2017 0:00	0	30	0	12	11	0	0	0	0	0	16	8	0	6
Grand Total	0	1,494	0	564	517	0	0	0	-4,156	-5,234	742	391	0	293

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.11 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	MM-T10	MM-T11	MM-T12	MM-T13	MM-T4	MM-T5	MM-T6	MM-T7	MM-T8	MM-T9	MNG-H1	MNG-H2	MPBD-F1	MPBD-F2
1/22/2017 0:30	268	273	234	258	129	128	129	131	271	270	0	0	27	11
1/22/2017 1:00	268	273	235	256	129	128	128	129	272	269	0	0	28	11
1/22/2017 1:30	266	272	231	256	129	128	128	130	270	269	0	0	23	11
1/22/2017 2:00	268	273	234	258	129	128	128	131	270	270	0	0	24	11
1/22/2017 2:30	268	273	233	257	129	127	128	129	270	270	0	0	23	11
1/22/2017 3:00	268	273	237	258	130	128	129	131	271	270	0	0	27	11
1/22/2017 3:30	270	275	234	258	130	129	129	130	272	271	0	0	27	11
1/22/2017 4:00	269	274	235	259	130	129	129	131	272	272	0	0	27	11
1/22/2017 4:30	267	272	234	257	129	129	128	130	272	271	0	0	27	11
1/22/2017 5:00	266	273	232	256	129	129	128	129	272	270	0	0	27	11
1/22/2017 5:30	268	273	233	256	130	128	129	130	270	270	0	0	26	11
1/22/2017 6:00	268	273	233	257	130	129	129	132	272	270	0	0	29	11
1/22/2017 6:30	268	275	234	257	130	130	129	131	273	271	0	0	29	11
1/22/2017 7:00	269	274	236	258	130	129	129	131	271	271	0	0	28	11
1/22/2017 7:30	268	275	235	258	131	129	129	131	273	271	0	0	28	11
1/22/2017 8:00	270	275	238	258	132	130	130	132	272	272	0	0	27	11
1/22/2017 8:30	269	275	236	259	131	129	129	131	272	271	0	0	27	11
1/22/2017 9:00	269	275	236	257	130	129	129	131	272	271	0	0	27	11
1/22/2017 9:30	267	273	233	256	129	128	128	129	271	270	0	0	28	11
1/22/2017 10:00	266	273	233	256	128	128	128	129	271	269	0	0	27	11
1/22/2017 10:30	267	274	231	256	129	128	128	129	271	269	0	0	27	11
1/22/2017 11:00	268	272	233	257	129	128	128	129	272	269	0	0	26	11
1/22/2017 11:30	262	273	233	258	129	128	128	129	272	270	0	0	26	11
1/22/2017 12:00	266	273	230	256	129	128	128	129	271	269	0	0	28	11
1/22/2017 12:30	269	272	235	256	129	129	128	129	270	270	0	0	28	11
1/22/2017 13:00	266	272	236	256	129	128	128	129	269	269	0	0	25	11
1/22/2017 13:30	266	273	233	256	129	128	128	129	271	270	0	0	29	11
1/22/2017 14:00	268	274	233	258	130	129	129	131	271	271	0	0	28	11
1/22/2017 14:30	266	274	237	258	130	129	129	130	271	271	0	0	28	11
1/22/2017 15:00	265	274	235	262	130	129	129	131	272	272	0	0	26	11
1/22/2017 15:30	269	275	236	264	130	129	129	131	273	272	0	0	28	11
1/22/2017 16:00	268	275	236	258	130	129	129	130	274	272	0	0	28	11
1/22/2017 16:30	265	274	232	257	130	129	128	130	271	273	0	0	28	11
1/22/2017 17:00	263	272	234	256	129	128	128	130	271	270	0	0	27	11
1/22/2017 17:30	268	272	230	256	130	128	128	129	271	270	0	0	29	11
1/22/2017 18:00	266	273	234	254	129	128	128	129	271	271	0	0	29	11
1/22/2017 18:30	264	273	234	256	129	129	128	130	271	270	0	0	29	11
1/22/2017 19:00	264	271	234	255	129	129	128	129	271	270	0	0	28	11
1/22/2017 19:30	268	273	236	255	129	129	128	129	271	270	0	0	27	11
1/22/2017 20:00	267	274	232	256	130	130	129	129	272	271	0	0	28	10
1/22/2017 20:30	271	274	234	256	130	129	129	131	271	270	0	0	28	11
1/22/2017 21:00	265	274	234	257	131	129	129	132	272	270	0	0	27	11
1/22/2017 21:30	266	273	232	256	130	129	129	130	271	270	0	0	28	11
1/22/2017 22:00	266	274	235	257	132	130	129	132	272	270	0	0	29	11
1/22/2017 22:30	267	273	234	256	130	129	128	130	272	271	0	0	26	11
1/22/2017 23:00	268	274	235	257	130	129	129	130	273	271	0	0	29	11
1/22/2017 23:30	269	274	234	257	130	130	129	130	273	271	0	0	27	11
1/23/2017 0:00	268	274	237	257	130	130	129	131	273	270	0	0	28	11
Grand Total	12,820	13,121	11,234	12,336	6,223	6,176	6,170	6,242	13,030	12,977	0	0	1,308	527

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.12 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	MPBD-N3	MPB-F1	MPB-F2	MPBK-N	MPBV-N	NB-C1	NB-S21	NED-N	NKC-F	NNG2-H1	NNG2-H2	NNG2-H3	NP11-F	NP2-F
1/22/2017 0:30	20	31	10	12	8	650	825	0	57	0	0	0	0	6
1/22/2017 1:00	23	27	10	12	8	652	827	0	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 1:30	13	29	10	12	8	498	821	0	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 2:00	11	30	10	12	8	500	825	0	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 2:30	11	29	10	12	8	477	818	0	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 3:00	11	29	10	11	8	481	815	0	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 3:30	10	28	10	14	8	479	824	0	56	0	0	0	0	6
1/22/2017 4:00	10	28	10	13	8	469	813	0	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 4:30	18	27	10	14	8	462	812	0	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 5:00	21	29	10	14	8	461	810	0	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 5:30	22	30	10	14	8	470	825	0	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 6:00	24	29	10	14	8	485	820	0	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 6:30	24	29	10	13	8	470	826	0	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 7:00	22	30	10	14	8	479	791	0	57	0	0	0	0	6
1/22/2017 7:30	24	29	10	14	8	482	802	3	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 8:00	24	29	10	14	8	479	821	12	60	0	0	0	0	6
1/22/2017 8:30	22	30	10	14	8	475	825	21	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 9:00	23	31	10	16	8	570	778	29	57	0	0	0	0	6
1/22/2017 9:30	25	29	10	14	8	498	824	36	57	0	0	0	0	6
1/22/2017 10:00	24	29	10	16	8	491	808	43	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 10:30	17	29	10	15	8	670	813	48	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 11:00	12	30	10	16	8	571	826	51	59	0	0	0	0	6
1/22/2017 11:30	10	28	10	15	8	516	825	54	57	0	0	0	0	6
1/22/2017 12:00	14	29	10	14	8	521	781	55	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 12:30	23	31	10	14	8	509	802	55	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 13:00	15	28	10	13	8	541	826	53	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 13:30	21	28	10	13	8	525	813	49	58	0	0	0	0	6
1/22/2017 14:00	25	29	10	12	8	543	827	51	59	0	0	0	13	6
1/22/2017 14:30	24	29	10	14	8	541	816	47	59	0	0	0	17	6
1/22/2017 15:00	24	25	10	13	8	540	824	42	58	0	0	0	18	6
1/22/2017 15:30	24	30	10	14	8	529	825	37	59	0	0	0	17	6
1/22/2017 16:00	24	30	10	13	8	529	826	28	58	0	0	0	18	6
1/22/2017 16:30	21	29	10	13	8	528	825	21	57	0	0	0	18	6
1/22/2017 17:00	24	29	10	13	8	533	765	12	57	0	0	0	18	6
1/22/2017 17:30	24	29	10	13	8	499	818	5	58	0	0	0	18	6
1/22/2017 18:00	25	29	10	14	8	500	816	0	59	0	0	0	18	6
1/22/2017 18:30	25	30	10	13	8	530	825	0	80	0	0	197	17	6
1/22/2017 19:00	25	30	10	13	8	529	824	0	77	0	0	190	18	6
1/22/2017 19:30	23	29	10	22	8	530	825	0	78	0	0	192	18	6
1/22/2017 20:00	25	29	10	14	8	530	822	0	80	0	0	193	18	6
1/22/2017 20:30	23	29	10	14	8	530	823	0	81	0	0	33	18	6
1/22/2017 21:00	24	30	10	13	8	518	821	0	60	0	0	0	18	6
1/22/2017 21:30	24	30	10	14	8	525	821	0	59	0	0	0	17	6
1/22/2017 22:00	21	28	10	13	8	547	817	0	58	0	0	0	17	6
1/22/2017 22:30	22	31	10	13	8	552	802	0	59	0	0	0	19	6
1/22/2017 23:00	22	30	10	14	8	549	809	0	58	0	0	0	18	6
1/22/2017 23:30	21	29	10	13	8	544	816	0	58	0	0	0	22	6
1/23/2017 0:00	23	29	10	12	8	646	791	0	59	0	0	0	21	6
Grand Total	983	1,393	488	651	390	25,149	39,130	751	2,897	0	0	806	375	283

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.13 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	NP3-F	NP5-F	NP-H1	NP-H2	NPO-C1	NPO-C2	NPS-F1	NPS-F2	NRS-H1	NTN2-H1	NTN2-H2	NTN2-H3	NTN2-H4	NVE-F
1/22/2017 0:30	0	0	0	0	331	326	17	0	7	49	0	0	0	59
1/22/2017 1:00	0	0	0	0	331	327	0	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 1:30	0	0	0	0	332	326	11	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 2:00	0	0	0	0	331	326	5	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 2:30	0	0	0	0	331	326	10	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 3:00	0	0	0	0	331	327	24	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 3:30	0	0	0	0	331	326	10	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 4:00	0	0	0	0	332	328	15	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 4:30	0	0	0	0	331	327	0	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 5:00	0	0	0	0	332	326	11	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 5:30	0	0	0	0	330	327	12	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 6:00	0	0	0	0	333	327	0	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 6:30	0	0	0	0	332	327	0	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 7:00	0	0	0	0	331	325	11	0	6	152	0	0	0	58
1/22/2017 7:30	0	0	0	0	332	326	14	0	6	0	0	0	0	58
1/22/2017 8:00	0	0	0	0	331	326	16	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 8:30	0	0	0	0	333	327	13	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 9:00	0	0	0	0	332	327	10	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 9:30	0	0	0	0	331	327	12	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 10:00	0	0	0	0	329	326	7	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 10:30	0	0	0	0	329	327	18	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 11:00	0	0	0	0	328	325	13	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 11:30	0	0	0	0	260	323	22	0	6	0	0	0	0	58
1/22/2017 12:00	0	0	0	0	256	323	18	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 12:30	0	0	0	0	322	315	26	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 13:00	0	0	0	0	324	321	17	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 13:30	0	0	0	0	318	317	7	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 14:00	0	0	0	0	322	318	0	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 14:30	0	0	0	0	322	315	0	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 15:00	0	0	0	0	319	315	0	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 15:30	0	0	0	0	319	315	9	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 16:00	0	0	0	0	319	316	0	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 16:30	0	0	0	0	319	316	11	0	6	0	0	0	0	59
1/22/2017 17:00	0	0	0	0	321	318	7	0	6	0	0	0	0	58
1/22/2017 17:30	0	0	0	0	322	317	6	0	6	0	0	0	0	60
1/22/2017 18:00	0	0	0	0	322	319	9	0	6	0	0	0	0	91
1/22/2017 18:30	0	0	0	0	326	323	0	0	6	239	0	0	0	92
1/22/2017 19:00	0	0	0	0	344	340	11	0	6	240	241	0	0	91
1/22/2017 19:30	0	0	0	0	326	323	5	0	7	241	243	0	0	92
1/22/2017 20:00	0	0	0	0	328	323	0	0	7	242	242	0	0	92
1/22/2017 20:30	0	0	0	0	329	324	0	0	7	236	235	0	0	91
1/22/2017 21:00	0	0	0	0	330	325	0	0	7	250	22	0	0	92
1/22/2017 21:30	0	0	0	0	331	325	8	0	7	0	0	0	0	60
1/22/2017 22:00	0	0	0	0	335	330	0	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 22:30	0	0	0	0	333	328	0	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 23:00	0	0	0	0	334	327	15	0	7	0	0	0	0	59
1/22/2017 23:30	0	0	0	0	332	327	0	0	7	0	0	0	0	59
1/23/2017 0:00	0	0	0	0	334	328	0	0	6	0	0	0	0	59
Grand Total	0	0	0	0	15,629	15,552	400	0	308	1,649	983	0	0	3,054

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.14 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	PMN-H1	PMN-H2	PMN-H3	PMN-H4	PPI-N	PPT-F	PSC-H1	PTC-F	PTC-N2	RB-C1	RB-C2	RB-C3	RB-T1	RB-T2
1/22/2017 0:30	0	0	0	0	2	59	2	20	39	652	646	653	0	0
1/22/2017 1:00	0	0	0	0	0	59	2	22	39	649	645	654	0	0
1/22/2017 1:30	0	0	0	0	1	58	2	20	39	652	646	653	0	0
1/22/2017 2:00	0	0	0	0	1	58	2	21	39	650	645	653	0	0
1/22/2017 2:30	0	0	0	0	1	58	2	20	39	644	640	648	0	0
1/22/2017 3:00	0	0	0	0	1	58	2	21	39	639	631	635	0	0
1/22/2017 3:30	0	0	0	0	1	59	2	19	39	650	644	652	0	0
1/22/2017 4:00	0	0	0	0	1	59	2	19	39	643	639	645	0	0
1/22/2017 4:30	0	0	0	0	1	59	2	20	39	648	645	652	0	0
1/22/2017 5:00	0	0	0	0	1	59	2	20	39	645	639	645	0	0
1/22/2017 5:30	0	0	0	0	1	58	2	21	40	650	649	655	0	0
1/22/2017 6:00	0	0	0	0	1	59	2	22	40	648	640	649	0	0
1/22/2017 6:30	0	0	0	0	1	58	2	23	40	649	647	653	0	0
1/22/2017 7:00	0	0	0	0	2	59	2	20	40	627	622	626	0	0
1/22/2017 7:30	0	0	0	0	2	58	2	22	40	620	616	632	0	0
1/22/2017 8:00	0	0	0	0	2	59	2	23	40	576	571	520	0	0
1/22/2017 8:30	0	0	0	0	2	58	2	22	40	575	571	654	0	0
1/22/2017 9:00	0	0	0	0	1	58	2	22	40	616	611	621	0	0
1/22/2017 9:30	0	0	0	0	1	58	2	21	40	649	641	646	0	0
1/22/2017 10:00	0	0	0	0	1	59	2	21	39	648	650	653	0	0
1/22/2017 10:30	10	0	0	0	2	59	2	21	39	646	643	652	0	0
1/22/2017 11:00	12	0	0	0	1	59	2	20	39	628	620	657	0	0
1/22/2017 11:30	12	0	0	0	1	58	2	20	39	589	581	662	0	0
1/22/2017 12:00	12	0	0	0	1	58	2	22	39	559	573	627	0	0
1/22/2017 12:30	11	0	0	0	1	59	2	21	39	568	567	567	0	0
1/22/2017 13:00	8	0	0	0	1	59	2	20	38	577	573	600	0	0
1/22/2017 13:30	0	0	0	0	1	59	2	19	38	650	649	658	0	0
1/22/2017 14:00	0	0	0	0	1	59	2	20	38	649	649	654	0	0
1/22/2017 14:30	0	0	0	0	1	59	2	19	38	640	632	640	0	0
1/22/2017 15:00	0	0	0	0	1	59	2	20	38	652	645	653	0	0
1/22/2017 15:30	0	0	0	0	1	58	2	20	38	652	646	654	0	0
1/22/2017 16:00	0	0	0	0	1	59	2	19	38	655	652	658	0	0
1/22/2017 16:30	0	0	0	0	1	58	2	18	38	652	645	652	0	0
1/22/2017 17:00	0	0	0	0	1	59	2	20	38	626	626	628	0	0
1/22/2017 17:30	0	0	0	0	1	91	2	18	38	608	598	644	0	0
1/22/2017 18:00	0	0	0	0	1	91	2	23	38	654	650	661	0	0
1/22/2017 18:30	0	0	0	0	1	91	2	32	38	668	661	668	0	0
1/22/2017 19:00	0	0	0	0	1	91	2	31	39	650	645	650	0	0
1/22/2017 19:30	0	0	0	0	4	91	2	31	39	654	652	657	0	0
1/22/2017 20:00	0	0	0	0	1	92	2	33	39	652	648	653	0	0
1/22/2017 20:30	0	0	0	0	1	91	2	33	39	655	644	654	0	0
1/22/2017 21:00	0	0	0	0	1	91	2	20	39	655	648	646	0	0
1/22/2017 21:30	0	0	0	0	1	91	2	20	36	646	649	656	0	0
1/22/2017 22:00	0	0	0	0	1	58	2	22	38	640	634	640	0	0
1/22/2017 22:30	0	0	0	0	1	59	2	22	37	644	643	649	0	0
1/22/2017 23:00	0	0	0	0	1	58	2	21	54	639	632	640	0	0
1/22/2017 23:30	0	0	0	0	1	58	2	21	43	640	631	646	0	0
1/23/2017 0:00	0	0	0	0	1	59	2	20	38	554	553	566	0	0
Grand Total	64	0	0	0	56	3,100	110	1,046	1,882	30,431	30,224	30,790	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.15 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	RBW-F1	RBW-F2	RCMS-N	REG-F	RKP-N	RP4-N	RPB-H1	RPB-H3	RPBP-N1	RPCL-C1	RPCL-C2	RP-F1	RP-F2	SB-C1
1/22/2017 0:30	48	49	0	7	15		0	0		680	681	52	0	0
1/22/2017 1:00	48	49	0	7	15		0	0		566	689	49	0	0
1/22/2017 1:30	48	49	0	7	15		0	0		568	683	48	59	0
1/22/2017 2:00	48	49	0	7	15		0	0		567	569	51	59	0
1/22/2017 2:30	49	49	0	6	13		0	0		678	570	51	59	0
1/22/2017 3:00	49	49	0	7	13		0	0		678	569	51	59	0
1/22/2017 3:30	48	49	0	6	15		0	0		679	679	55	59	0
1/22/2017 4:00	48	49	0	6	15		0	0		681	686	55	59	0
1/22/2017 4:30	49	49	0	6	15		0	0		687	690	57	59	0
1/22/2017 5:00	49	49	0	6	15		0	0		681	678	57	59	0
1/22/2017 5:30	48	49	0	7	10		0	0		686	691	59	59	0
1/22/2017 6:00	49	49	0	7	10		0	0		686	693	60	59	0
1/22/2017 6:30	49	49	0	7	10		0	0		682	689	61	59	0
1/22/2017 7:00	49	49	0	7	10		0	0		660	668	60	59	0
1/22/2017 7:30	49	49	0	9	10		0	0		652	636	60	59	0
1/22/2017 8:00	50	50	0	10	11		0	0		584	590	62	90	0
1/22/2017 8:30	50	50	0	10	12		0	0		658	586	60	90	0
1/22/2017 9:00	49	50	0	10	12		0	0		639	642	60	90	0
1/22/2017 9:30	50	49	0	9	13		0	0		680	683	60	90	0
1/22/2017 10:00	50	50	0	9	11		0	0		674	682	61	90	0
1/22/2017 10:30	49	50	0	9	10		0	0		643	633	59	90	0
1/22/2017 11:00	49	50	0	9	8		0	0		640	592	59	90	0
1/22/2017 11:30	49	49	0	9	9		0	0		639	609	59	90	0
1/22/2017 12:00	49	50	0	9	8		0	0		566	558	61	90	0
1/22/2017 12:30	49	50	0	9	8		0	0		565	563	60	90	0
1/22/2017 13:00	49	50	0	9	15		0	0		628	594	61	90	0
1/22/2017 13:30	49	50	0	9	12		0	0		689	683	60	90	0
1/22/2017 14:00	48	50	0	9	13		0	0		680	684	61	90	0
1/22/2017 14:30	38	50	0	9	13		0	0		676	675	59	90	0
1/22/2017 15:00	48	50	0	9	14		0	0		685	688	59	90	0
1/22/2017 15:30	52	49	0	9	15		0	0		686	690	58	90	0
1/22/2017 16:00	54	54	0	9	15		0	0		687	690	59	90	0
1/22/2017 16:30	53	54	0	9	15		0	0		682	681	59	90	0
1/22/2017 17:00	58	59	0	10	14		0	0		649	651	60	90	0
1/22/2017 17:30	91	93	0	9	15		0	0		636	639	61	90	0
1/22/2017 18:00	93	91	0	9	12		0	0		681	685	59	90	0
1/22/2017 18:30	92	91	0	9	14		0	0		700	704	66	90	0
1/22/2017 19:00	91	91	0	9	13		0	0		682	685	68	90	0
1/22/2017 19:30	92	91	0	9	14	0	0	0	0	679	683	68	90	0
1/22/2017 20:00	91	90	0	9	15		0	0		686	687	69	90	0
1/22/2017 20:30	92	91	0	10	14		0	0		679	684	69	90	0
1/22/2017 21:00	92	91	0	10	14		0	0		686	696	65	90	0
1/22/2017 21:30	91	91	0	9	14		0	0		679	685	61	90	0
1/22/2017 22:00	56	58	0	7	14		0	0		681	690	61	90	0
1/22/2017 22:30	59	58	0	6	13		0	0		674	681	60	90	0
1/22/2017 23:00	59	58	0	7	14		0	0		675	672	59	59	0
1/22/2017 23:30	59	59	0	6	16		0	0		667	647	59	59	0
1/23/2017 0:00	58	58	0	7	16		0	0		558	558	60	59	0
Grand Total	2,783	2,805	0	394	621	0	0	0	0	31,540	31,437	2,851	3,644	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.16 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	SB-C3	SBM-F	SB-T4	SB-T5	SGE-F	SHC-F	SK-H1	SK-H2	SK-H3	SK-H4	SMC-F	SNR-H1	SNR-H2	SNR-H3
1/22/2017 0:30	573	0	0	0	9	29	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 1:00	576	0	0	0	9	29	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 1:30	683	0	0	0	9	30	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 2:00	684	0	0	0	9	29	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 2:30	677	0	0	0	9	29	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 3:00	683	0	0	0	9	31	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 3:30	676	0	0	0	9	28	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 4:00	672	0	0	0	9	29	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 4:30	673	0	0	0	9	29	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 5:00	672	0	0	0	9	29	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 5:30	679	0	0	0	9	28	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 6:00	682	0	0	0	9	31	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 6:30	683	0	0	0	9	30	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 7:00	576	0	0	0	0	29	0	0	0	0	59	0	0	0
1/22/2017 7:30	521	0	0	0	9	30	0	0	0	0	58	0	0	0
1/22/2017 8:00	502	0	0	0	9	29	0	0	0	0	61	0	0	0
1/22/2017 8:30	523	0	0	0	9	30	0	100	0	101	60	0	0	0
1/22/2017 9:00	506	0	0	0	9	29	0	99	0	100	58	0	0	0
1/22/2017 9:30	609	0	0	0	9	27	0	99	0	100	27	0	0	0
1/22/2017 10:00	669	0	0	0	9	30	0	99	0	100	26	0	0	0
1/22/2017 10:30	519	0	0	0	9	32	0	99	0	100	26	0	0	0
1/22/2017 11:00	530	0	0	0	9	29	0	102	0	104	25	0	0	0
1/22/2017 11:30	546	0	0	0	9	30	0	111	0	112	24	0	0	0
1/22/2017 12:00	500	0	0	0	9	29	0	100	0	100	25	0	0	0
1/22/2017 12:30	492	0	0	0	9	29	0	100	0	0	26	0	0	0
1/22/2017 13:00	529	0	0	0	9	29	0	107	0	0	26	0	0	0
1/22/2017 13:30	685	0	0	0	9	30	0	99	99	100	25	0	0	0
1/22/2017 14:00	683	0	0	0	9	30	0	101	101	100	26	0	0	0
1/22/2017 14:30	680	0	0	0	9	29	0	99	100	99	26	0	0	0
1/22/2017 15:00	688	0	0	0	9	29	0	101	100	100	26	0	0	0
1/22/2017 15:30	692	0	0	0	9	29	0	105	107	107	26	0	0	0
1/22/2017 16:00	685	0	0	0	9	29	0	104	107	106	25	0	0	0
1/22/2017 16:30	680	0	0	0	9	31	0	99	100	99	26	0	0	0
1/22/2017 17:00	638	0	0	0	9	29	0	98	100	99	26	0	0	0
1/22/2017 17:30	524	0	0	0	9	28	0	99	100	99	26	0	0	0
1/22/2017 18:00	679	0	0	0	9	29	101	102	98	101	43	0	0	0
1/22/2017 18:30	702	0	0	0	9	30	115	114	111	115	60	0	0	124
1/22/2017 19:00	683	0	0	0	9	29	104	103	104	104	81	104	104	104
1/22/2017 19:30	683	0	0	0	9	30	105	105	106	106	81	0	104	108
1/22/2017 20:00	682	0	0	0	9	28	99	103	99	103	81	0	0	0
1/22/2017 20:30	681	0	0	0	9	48	103	101	102	102	81	0	0	0
1/22/2017 21:00	689	0	0	0	9	28	115	110	112	114	59	0	0	0
1/22/2017 21:30	673	0	0	0	9	30	108	111	110	111	59	0	0	0
1/22/2017 22:00	686	0	0	0	9	29	115	114	111	115	59	0	0	0
1/22/2017 22:30	668	0	0	0	9	30	115	114	111	115	60	0	0	0
1/22/2017 23:00	527	0	0	0	9	30	116	115	112	115	58	0	0	0
1/22/2017 23:30	516	0	0	0	9	30	115	113	111	114	58	0	0	0
1/23/2017 0:00	467	0	0	0	9	30	0	0	0	0	58	0	0	0
Grand Total	29,925	0	0	0	414	1,426	1,311	3,223	2,201	3,038	2,327	104	208	335

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.17 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	SNR-H4	SNR-H5	SPG-F1	SPP6-N	SRD-H1	SRD-H2	SRD-H3	SRS-N	SRT-GT1	SRT-GT2	SSP-N	SSUT-F1	SSUT-F2	TCB-N
1/22/2017 0:30	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 1:00	0	0	59	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 1:30	0	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 2:00	0	0	74	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 2:30	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 3:00	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 3:30	0	0	59	0	0	0	0	3	0	0	0	59	60	10
1/22/2017 4:00	0	0	37	0	0	0	0	5	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 4:30	0	0	93	0	0	0	0	4	0	0	0	59	60	10
1/22/2017 5:00	0	0	61	0	0	0	0	4	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 5:30	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	10
1/22/2017 6:00	0	0	91	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 6:30	0	0	68	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 7:00	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	59	60	11
1/22/2017 7:30	0	0	44	2	0	0	0	0	0	0	3	59	60	11
1/22/2017 8:00	0	0	49	8	0	0	0	0	0	0	9	59	60	11
1/22/2017 8:30	0	0	89	14	0	0	0	0	0	0	15	59	60	10
1/22/2017 9:00	0	0	45	18	0	0	0	0	0	0	22	59	60	10
1/22/2017 9:30	0	-205	49	22	0	0	0	0	0	0	28	59	60	10
1/22/2017 10:00	0	-207	94	26	0	0	0	0	0	0	34	59	60	10
1/22/2017 10:30	0	-206	41	28	0	0	0	0	0	0	38	59	60	10
1/22/2017 11:00	0	-206	48	30	0	0	0	0	0	0	41	59	60	8
1/22/2017 11:30	0	-206	92	32	0	0	0	0	0	0	43	59	60	7
1/22/2017 12:00	0	-206	64	32	0	0	0	0	0	0	44	59	60	7
1/22/2017 12:30	0	-206	43	32	0	0	0	0	0	0	45	60	60	10
1/22/2017 13:00	0	-206	93	32	0	0	0	1	0	0	44	59	60	9
1/22/2017 13:30	0	-206	26	31	0	0	0	1	0	0	43	60	60	10
1/22/2017 14:00	0	-205	25	29	0	0	0	1	0	0	41	60	60	10
1/22/2017 14:30	0	0	96	28	0	0	0	1	0	0	38	60	60	10
1/22/2017 15:00	0	0	29	25	0	0	0	1	0	0	34	60	60	10
1/22/2017 15:30	0	0	69	22	0	0	0	4	0	0	29	60	60	10
1/22/2017 16:00	0	0	64	18	0	0	0	2	0	0	23	60	59	10
1/22/2017 16:30	0	0	59	14	0	0	0	2	0	0	16	59	59	10
1/22/2017 17:00	0	0	26	10	0	0	0	1	0	0	10	59	58	10
1/22/2017 17:30	0	0	85	4	0	0	0	1	0	0	5	60	92	10
1/22/2017 18:00	0	0	93	1	0	0	0	1	0	0	1	60	92	10
1/22/2017 18:30	0	0	92	0	11	0	12	2	0	0	0	62	92	10
1/22/2017 19:00	0	0	92	0	11	0	12	1	0	0	0	62	92	10
1/22/2017 19:30	0	5	92	0	0	0	12	0	0	0	0	61	92	10
1/22/2017 20:00	0	0	93	0	11	0	12	0	0	0	0	62	92	10
1/22/2017 20:30	0	0	92	0	11	0	12	0	0	0	0	61	92	10
1/22/2017 21:00	0	0	98	0	11	0	12	0	0	0	0	62	92	10
1/22/2017 21:30	0	0	43	0	0	0	12	0	0	0	0	62	92	10
1/22/2017 22:00	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	60	59	10
1/22/2017 22:30	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	60	59	10
1/22/2017 23:00	0	0	86	0	0	0	0	0	0	0	0	60	59	10
1/22/2017 23:30	0	0	81	0	0	0	0	0	0	0	0	60	59	10
1/23/2017 0:00	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0	0	60	59	9
Grand Total	0	-2,053	3,329	455	55	0	84	35	0	0	605	2,864	3,154	478

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.18 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	TECO-C1	TEP-N	THB-H1	THB-H2	THB-H3	TN-H1	TN-H2	TOP-F	TOPS-F1	TOPS-F2	TPI-N1	TPI-N3	TPT-F	TRI-N
1/22/2017 0:30	680	19	0	108	218	0	0	28	57	59	54	18	0	8
1/22/2017 1:00	682	20	0	107	218	0	0	28	58	59	56	18	17	8
1/22/2017 1:30	673	20	0	107	218	0	0	28	57	59	56	18	17	8
1/22/2017 2:00	678	20	0	0	218	0	0	28	57	59	55	18	17	8
1/22/2017 2:30	669	20	0	0	218	0	0	28	58	59	53	18	17	8
1/22/2017 3:00	680	20	0	0	218	0	0	28	58	59	54	18	17	8
1/22/2017 3:30	671	20	0	0	218	0	0	28	59	59	54	18	17	8
1/22/2017 4:00	669	19	0	0	217	0	0	28	59	59	56	18	17	8
1/22/2017 4:30	678	20	0	0	218	0	0	28	59	58	56	18	17	8
1/22/2017 5:00	677	120	0	0	217	0	0	28	60	59	56	18	17	8
1/22/2017 5:30	676	16	0	0	218	0	0	28	59	59	56	18	17	8
1/22/2017 6:00	676	20	0	0	219	0	0	27	60	58	55	18	17	8
1/22/2017 6:30	681	17	0	0	219	0	0	28	60	59	56	18	17	8
1/22/2017 7:00	667	12	0	0	219	0	0	28	61	58	56	18	17	8
1/22/2017 7:30	671	20	0	0	219	0	0	28	60	59	56	18	17	8
1/22/2017 8:00	369	20	0	0	219	0	0	28	59	59	56	18	17	8
1/22/2017 8:30	353	15	0	0	219	0	16	29	60	58	56	18	17	8
1/22/2017 9:00	349	20	0	0	219	0	16	27	59	59	55	17	17	8
1/22/2017 9:30	346	20	0	0	219	0	16	28	59	59	56	17	17	8
1/22/2017 10:00	389	20	0	0	219	0	16	27	59	59	58	18	17	8
1/22/2017 10:30	514	20	0	0	219	0	17	28	60	59	60	18	17	8
1/22/2017 11:00	711	20	0	0	219	0	16	28	59	58	59	18	17	8
1/22/2017 11:30	701	19	0	0	219	0	16	28	59	59	61	18	17	8
1/22/2017 12:00	703	20	0	0	219	0	16	28	60	59	59	18	17	8
1/22/2017 12:30	705	20	0	0	219	0	16	29	61	59	58	18	17	8
1/22/2017 13:00	702	20	0	0	219	0	16	28	60	59	61	18	17	8
1/22/2017 13:30	536	18	0	0	219	0	16	28	60	59	60	18	17	8
1/22/2017 14:00	348	20	0	0	219	0	16	27	59	59	61	18	17	8
1/22/2017 14:30	349	20	0	0	219	0	16	27	60	59	59	18	17	8
1/22/2017 15:00	340	20	0	0	219	0	16	28	60	59	57	18	17	8
1/22/2017 15:30	382	17	0	0	219	0	16	28	60	58	58	18	17	8
1/22/2017 16:00	456	19	0	0	219	0	16	28	60	59	59	18	17	8
1/22/2017 16:30	698	18	0	0	219	0	16	28	60	59	59	18	17	8
1/22/2017 17:00	701	20	0	0	219	0	16	28	60	59	58	18	17	4
1/22/2017 17:30	702	20	0	0	219	0	16	28	60	84	59	18	17	8
1/22/2017 18:00	680	20	0	0	219	0	16	27	60	91	57	18	17	8
1/22/2017 18:30	685	20	0	0	219	0	16	42	60	92	58	18	17	8
1/22/2017 19:00	681	20	0	0	219	0	16	42	60	91	55	18	17	8
1/22/2017 19:30	681	20	0	0	219	0	16	43	59	91	56	18	17	8
1/22/2017 20:00	682	21	0	0	219	0	15	43	69	92	57	18	17	8
1/22/2017 20:30	677	21	0	0	219	0	16	42	76	95	57	18	17	8
1/22/2017 21:00	679	15	0	0	219	0	15	28	87	91	58	18	17	8
1/22/2017 21:30	680	21	0	0	219	0	16	29	92	92	56	18	17	8
1/22/2017 22:00	674	19	0	0	219	0	16	28	63	59	58	18	17	8
1/22/2017 22:30	672	21	0	0	219	0	0	28	61	59	56	18	17	8
1/22/2017 23:00	672	21	0	0	219	0	0	28	60	60	53	18	17	8
1/22/2017 23:30	675	21	0	0	219	0	0	27	60	59	55	18	17	8
1/23/2017 0:00	674	21	0	0	219	0	0	27	62	58	58	18	17	8
Grand Total	29,292	1,022	0	321	10,496	0	449	1,411	2,939	3,110	2,730	860	813	390

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.19 ตัวอย่างการเดินเครื่อง และ การจัดสรรกำลังผลิต (MW)

Row Labels	TSK-PV	UACE-N	UBE-N	UR-H1	UR-H2	UR-H3	VRK-H1	VRK-H2	VRK-H3	WED-NWWF	WN-C1	WN-C2	WN-C3	WN-C4
1/22/2017 0:30	0	0	16	6	5	0	0	0	0	47	0	0	0	0
1/22/2017 1:00	0	0	10	6	5	0	0	0	0	43	0	0	0	0
1/22/2017 1:30	0	0	16	6	5	0	0	0	0	44	0	0	0	0
1/22/2017 2:00	0	0	16	6	5	0	0	0	0	46	0	0	0	0
1/22/2017 2:30	0	0	15	6	5	0	0	0	0	42	0	0	0	0
1/22/2017 3:00	0	0	16	6	5	0	0	0	0	46	0	0	0	0
1/22/2017 3:30	0	0	15	6	5	0	0	0	0	47	0	0	0	0
1/22/2017 4:00	0	0	16	6	5	0	0	0	0	39	0	0	0	0
1/22/2017 4:30	0	0	14	6	5	0	0	0	0	49	0	0	0	0
1/22/2017 5:00	0	0	16	6	5	0	0	0	0	50	0	0	0	0
1/22/2017 5:30	0	0	15	6	5	0	0	0	0	50	0	0	0	0
1/22/2017 6:00	0	0	15	6	5	0	0	0	0	50	0	0	0	0
1/22/2017 6:30	0	0	15	6	5	0	0	0	0	47	0	0	0	0
1/22/2017 7:00	0	0	15	6	5	0	0	0	0	47	0	0	0	0
1/22/2017 7:30	0	0	16	0	5	0	0	0	0	48	0	0	0	0
1/22/2017 8:00	0	0	16	0	5	0	0	0	0	49	0	0	0	0
1/22/2017 8:30	0	0	16	0	5	0	65	0	0	49	0	0	0	0
1/22/2017 9:00	0	0	16	0	5	0	61	0	0	50	0	0	0	0
1/22/2017 9:30	0	0	15	0	5	0	0	64	0	50	0	0	0	0
1/22/2017 10:00	0	0	16	0	5	0	0	64	0	50	0	0	0	0
1/22/2017 10:30	0	0	16	0	5	0	0	62	0	49	0	0	0	0
1/22/2017 11:00	0	0	16	0	5	0	0	67	0	46	0	0	0	0
1/22/2017 11:30	0	0	16	0	5	0	0	66	0	37	0	0	0	0
1/22/2017 12:00	0	0	15	0	5	0	0	61	0	29	0	0	0	0
1/22/2017 12:30	0	0	16	0	5	0	0	0	0	32	0	0	0	0
1/22/2017 13:00	0	0	16	0	5	0	0	0	0	23	0	0	0	0
1/22/2017 13:30	0	0	15	0	5	0	61	71	0	16	0	0	0	0
1/22/2017 14:00	0	0	14	0	5	0	71	70	0	17	0	0	0	0
1/22/2017 14:30	0	0	16	0	5	0	64	63	0	18	0	0	0	0
1/22/2017 15:00	0	0	16	0	5	0	71	71	0	15	0	0	0	84
1/22/2017 15:30	0	0	16	0	5	0	65	65	0	18	0	0	0	0
1/22/2017 16:00	0	0	16	0	5	0	66	66	0	20	0	0	0	64
1/22/2017 16:30	0	0	16	0	5	0	60	61	0	17	0	0	0	89
1/22/2017 17:00	0	0	16	0	5	0	62	62	0	20	0	0	0	124
1/22/2017 17:30	0	0	16	0	5	0	60	61	0	22	0	0	0	124
1/22/2017 18:00	0	0	15	0	5	0	62	63	0	19	0	0	0	0
1/22/2017 18:30	0	0	16	0	5	0	73	74	0	22	0	0	0	60
1/22/2017 19:00	0	0	16	0	5	0	69	68	0	28	0	0	0	124
1/22/2017 19:30	0	0	15	0	5	0	68	69	0	36	0	0	0	15
1/22/2017 20:00	0	0	16	0	5	0	70	70	0	33	0	0	0	131
1/22/2017 20:30	0	0	16	0	5	0	69	69	0	31	0	0	0	13
1/22/2017 21:00	0	0	15	0	5	0	66	66	0	40	0	0	0	21
1/22/2017 21:30	0	0	16	0	5	0	71	71	0	45	0	0	0	22
1/22/2017 22:00	0	0	16	0	5	0	66	65	0	44	0	0	0	22
1/22/2017 22:30	0	0	16	0	5	0	65	65	0	46	0	0	0	22
1/22/2017 23:00	0	0	16	0	5	0	0	63	0	36	0	0	0	22
1/22/2017 23:30	0	0	16	0	5	0	0	0	0	31	0	0	0	21
1/23/2017 0:00	0	0	16	0	5	0	0	0	0	23	0	0	0	24
Grand Total	0	19	743	84	259	1	1,383	1,714	0	1,750	0	0	0	981

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย เฉลิมจิต กลั่นสุภา เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์บัฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2558 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2559

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University