

การพัฒนากระบวนการจัดการพลังงานในชุมชนสำหรับอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

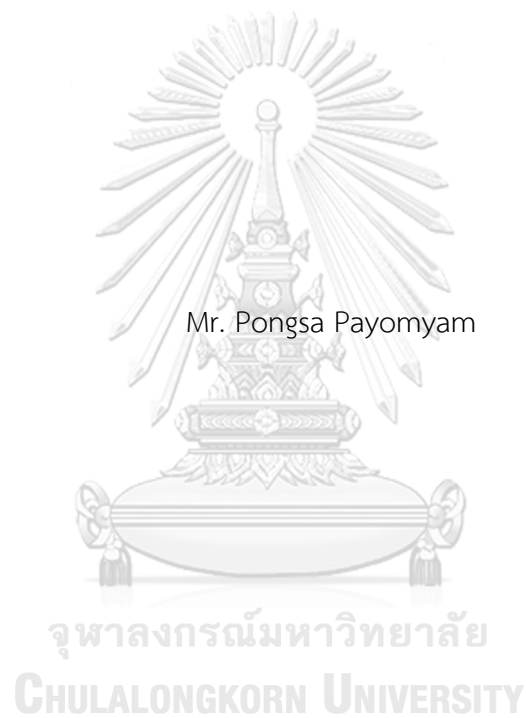


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Development of Community Energy Management System for Mae Hong Son District



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนากระบวนการจัดการพลังงานในชุมชนสำหรับอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน
โดย	นายพงศา พยอมแย้ม
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ แสงวงศ์วานิชย์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิสิษฐ์พล จีรพจนานุกรักษ์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจารณ์ หวังดี)	

พงศา พยอมแย้ม : การพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในชุมชนสำหรับอำเภอเมือง
แม่ฮ่องสอน. (Development of Community Energy Management System for
Mae Hong Son District) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.แนบบุญ หุนเจริญ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการจัดการพลังงานแบบกระจายศูนย์ที่เหมาะสมสำหรับระบบไมโครกริด
อำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน การออกแบบการจัดการพลังงานนี้มีแรงจูงใจเพื่อแก้ปัญหาความเชื่อถือได้ต่ำที่เกิดจาก
ไฟฟ้าดับบ่อยครั้งอันเนื่องมาจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ แม้ว่าจะมีแหล่งพลังงานหมุนเวียนจากโรงไฟฟ้าพลังงาน
น้ำขนาดเล็กและโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพียงพอต่อการจ่ายโหลดในพื้นที่ในหลายช่วงเวลาตลอดทั้งปี
ระบบการจัดการพลังงานสำหรับชุมชนที่นำเสนอจะใช้วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดผ่านแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น
จำนวนเต็มแบบผสม ร่วมกับข้อมูลการพยากรณ์หนึ่งวันล่วงหน้าของความต้องการใช้ไฟฟ้า กำลังผลิตจาก
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน เป็นข้อมูลป้อนเข้า โดยพิจารณาในสองภาวะการ
ทำงาน ในภาวะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและปริมาณการ
ปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยรวมมีค่าต่ำที่สุด ร่วมกับการเตรียมพร้อมสำหรับการเปลี่ยนผ่านอย่างราบรื่นไปสู่ภาวะ
แยกโดดด้วยการสำรองปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำและการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งเชื่อมโยง ส่วน
ในภาวะแยกโดดจะจัดการพลังงานที่ได้สำรองไว้ในช่วงภาวะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก เพื่อให้ระบบไฟฟ้าเลี้ยง
ตัวเองได้ตามระยะเวลาที่ต้องการ โดยพิจารณาทั้งการสำรองกำลังไฟฟ้าและแบบจำลองการตอบสนองด้านโหลด
ผลการจำลองแบบระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ เมื่อเทียบกับกรณีฐานซึ่งเป็นการจัดการพลังงานแบบเดิมภายใต้ข้อมูล
การจ่ายไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2557 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการจัดการพลังงานที่นำเสนอสามารถเปลี่ยนจากเดิมที่มี
ต้นทุนการจัดหาไฟฟ้าที่ 52,884 บาท เป็นรายได้จากการขายไฟฟ้าส่วนเกินที่ 287,456 บาท การปล่อยก๊าซ
เรือนกระจกมีค่าลดลงได้ร้อยละ 62 ของกรณีฐาน และช่วงเวลาที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับมีค่าลดลงจาก 78
ชั่วโมง เหลือ 16 ชั่วโมง จากตัวอย่างกรณีศึกษาในช่วงฤดูแล้ง ส่วนในภาวะแยกโดด จากผลการจำลองที่ระบุ
ระยะเวลาแยกโดดต่าง ๆ กัน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการจัดสรรการใช้พลังงานจากแหล่งผลิตต่าง ๆ อย่าง
เหมาะสมและสามารถแยกโดดได้เป็นระยะเวลาตามที่กำหนดไว้

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6070246221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Community Energy Management System, Microgrid, Battery Energy Storage System, Mini-hydro power

Pongsa Payomyam : Development of Community Energy Management System for Mae Hong Son District. Advisor: Assoc. Prof. NAEBBOON HOONCHAREON

This thesis proposes a decentralized dispatch strategy suitable to microgrid in Mae Hong Son (MHS) district. The design of MHS microgrid is motivated by the fact that MHS is a remote area in Thailand where it has been facing with power system's service interruption several times a year, due to natural disasters. Nonetheless, there are renewable energy resources such as mini-hydro and solar power plants inside the area that can sufficiently supply local electricity demand most of the times throughout the year. Here, Community Energy Management System (CEMS) framework is formulated using Mixed-integer Linear Programming (MILP) with day-ahead forecasting of load, solar power, and incoming water as inputs, and considering two modes of operation. In grid-connected mode, the objective is to minimize the combined total economic and emission costs, while preparing for smooth transition to islanding mode with water reserve and tie-line flow regulation. In islanding mode, CEMS will manage reserved energy being stored during grid-connected to make the microgrid meet the specified islanding duration, considering both power reserve and demand response models. The simulated test results for one week, comparing to base case historical data in 2014, reveal that CEMS can help turns the operating cost of 52,884 THB to 287,456 THB in revenue (from surplus exporting energy), while greenhouse gas emission reduces to 62 % of base case, and risk duration reduces from 78 to 16 hours, for grid-connected mode of operation in an example case during dry season. Additionally, in islanding mode, simulated cases of various expected islanding durations confirm that CEMS can dispatch resource properly and achieve all targeted islanding durations.

Field of Study: Electrical Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. แนนบุญ หุญเจริญ ที่ให้คำแนะนำทั้งในด้านการวิจัย และการปรับความคิด ทักษะคิดในการทำงาน การใช้ชีวิต จนกระทั่งทำงานวิจัยสำเร็จได้และมีทักษะในการทำงานที่เพิ่มมากขึ้น ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ อ.ดร. พิสิษฐ์พล จิรพวงศานานุรักษ์ และ รศ.ดร. วิจารย์ หวังดี ที่เห็นถึงความสำคัญของงานวิจัยและช่วยให้คำแนะนำเพื่อพัฒนางานวิจัยนี้ให้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งขอบคุณพี่และเพื่อนในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังที่คอยช่วยเหลือในการทำงานและการใช้ชีวิตในรั้วมหาวิทยาลัยนี้ ที่สำคัญที่สุด ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจจนกระทั่งจบการศึกษาได้ หวังว่าแนวคิดในงานวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาระบบไฟฟ้าเมืองแม่ฮ่องสอน รวมถึงระบบไมโครกริดอื่น ไม่มากก็น้อย และช่วยให้ประเทศไทยก้าวเข้าสู่ระบบสมาร์ทกริดได้โดยเร็ว

พงศา พยอมแย้ม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ฅ	ฅ
สารบัญรูป.....ญ	ญ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์..... 2	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 2	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน..... 3	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3	3
1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 6	6
บทที่ 2 ไมโครกริดและระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน..... 7	7
2.1 ระบบไมโครกริด..... 7	7
2.1.1 คำจำกัดความและโครงสร้างของระบบไมโครกริด..... 7	7
2.1.2 องค์ประกอบของระบบไมโครกริด..... 8	8
2.1.3 รูปแบบการควบคุมของระบบไมโครกริด..... 13	13
2.1.4 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ด้วยวิธีการ MILP และ QP..... 16	16
2.2 ข้อมูลระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน..... 18	18

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับจังหวัดแม่ฮ่องสอน.....	18
2.2.2 ข้อมูลโครงสร้างทางระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน.....	19
2.2.3 ข้อมูลองค์ประกอบของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน.....	20
2.2.4 ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า.....	25
2.2.5 แนวคิดภาวะเฝ้าระวังและการตอบสนองด้านโหลด.....	26
บทที่ 3 แนวคิดการจัดการพลังงานในชุมชนสำหรับอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน.....	27
3.1 ภาพรวมการจัดสรรพลังงาน.....	27
3.2 การกำหนดปัญหาในภาวะเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลักแบบวางแผน.....	30
3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา.....	31
3.2.2 ตัวแปรในแบบจำลอง.....	32
3.2.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	33
3.2.4 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบและข้อจำกัด.....	35
3.3 การกำหนดปัญหาในภาวะเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลักแบบเวลาจริง.....	41
3.3.1 ตัวแปรในแบบจำลอง.....	44
3.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	44
3.3.3 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบและข้อจำกัด.....	45
3.4 การกำหนดปัญหาในภาวะแยกโดด.....	46
3.4.1 ตัวแปรในแบบจำลอง.....	48
3.4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	49
3.4.3 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบและข้อจำกัด.....	49
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปราย.....	53
4.1 ผลลัพธ์ในภาวะเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลักแบบวางแผนล่วงหน้า.....	53
4.1.1 สมมติฐานและนิยามในแบบจำลอง.....	53
4.1.2 กรณีศึกษาฤดูกาล.....	55

4.1.3	กรณีศึกษาค่าน้ำหนักของวัตถุประสงค.....	64
4.1.4	กรณีศึกษาการเพิ่มขึ้นของโหลด.....	67
4.1.5	กรณีศึกษาขนาดของแบตเตอรี่.....	69
4.1.6	กรณีศึกษากำลังไฟฟ้าส่วนเกิน.....	71
4.2	ผลลัพธ์ในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักเวลาจริง.....	74
4.2.1	ข้อมูลในแบบจำลอง.....	74
4.2.2	กรณีศึกษาฤดูกาล.....	74
4.2.3	กรณีศึกษาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการพยากรณ์.....	77
4.2.4	แนวคิดภาวะเฝ้าระวังและการแจ้งเตือน.....	84
4.3	ผลลัพธ์ในภาวะแยกโดด.....	85
4.3.1	สมมติฐานและข้อมูลในแบบจำลอง.....	85
4.3.2	กรณีศึกษาระยะเวลาในการแยกโดด.....	86
4.3.3	กรณีศึกษาการปรับเงื่อนไขการตอบสนองด้านโหลด.....	91
4.3.4	กรณีศึกษาการสำรองกำลังไฟฟ้า.....	94
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	100
5.1	สรุป.....	100
5.2	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	101
ภาคผนวก	102
บรรณานุกรม	104
ประวัติผู้เขียน	107

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน [21].....	23
ตารางที่ 2 ข้อมูลแหล่งผลิตไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน [21]	25
ตารางที่ 3 ตารางข้อมูลค่า SAIFI SAIDI ในอดีต [21]	25
ตารางที่ 4 ตารางแสดงสมรรถนะของไมโครกริด.....	30
ตารางที่ 5 ผลลัพธ์แบบจำลองเงื่อนไขการตอบสนองด้านโหลด.....	52
ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย.....	56
ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบพลังงานส่วนเกิน	62
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบ CEMS กับกรณีฐาน.....	63
ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนัก	64
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลลัพธ์เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น	68
ตารางที่ 11 ผลลัพธ์เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดแบตเตอรี่.....	70
ตารางที่ 12 ผลลัพธ์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าส่วนเกินสูงสุด	72
ตารางที่ 13 ตารางแสดงสรุปความเสี่ยง	83
ตารางที่ 14 ผลลัพธ์ระยะเวลาในแยกโดดต่อเงื่อนไขการตอบสนองด้านโหลด	91
ตารางที่ 15 ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าสำรองเฉลี่ยต่ออัตราการสำรองกำลังไฟฟ้า	95

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบไมโครกริด [17]	8
รูปที่ 2 โครงสร้างระบบควบคุมในไมโครกริด	11
รูปที่ 3 รูปการแบ่งประเภทไมโครกริด [19]	13
รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเปลี่ยนผ่าน ภาวะการทำงาน [17]	13
รูปที่ 5 การแบ่งพื้นที่และเส้นทางการไฟฟ้าจังหวัดแม่ฮ่องสอน	18
รูปที่ 6 Single line diagram ของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน	19
รูปที่ 7 รูปแบบการบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน	21
รูปที่ 8 ความต้องการใช้ไฟฟ้าในแม่ฮ่องสอน	21
รูปที่ 9 ข้อมูลกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	22
รูปที่ 10 ภาพรวมภาวะการจัดสรรพลังงาน	27
รูปที่ 11 ภาพรวมการจัดสรรพลังงานในแม่ฮ่องสอน	28
รูปที่ 12 ภาพรวมการจัดสรรพลังงานในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก	31
รูปที่ 13 แบบจำลองปริมาณน้ำในเขื่อนแม่สะงา	36
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองระดับน้ำ	37
รูปที่ 15 เงื่อนไขการพึ่งพาตนเองในภาวะแยกโดดของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน	38
รูปที่ 16 เงื่อนไขในการเปลี่ยนผ่าน	39
รูปที่ 17 แผนภาพแนวคิดการจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง	42
รูปที่ 18 แผนภาพการคำนวณการหาค่าเหมาะสมสูงสุดในเวลาจริง	42
รูปที่ 19 แผนภาพการหาค่าตอบ ณ เวลาจริง	43
รูปที่ 20 ภาพรวมการจัดสรรพลังงานในภาวะแยกโดด	47

รูปที่ 21	ภาพแสดงกรอบเวลาของการแก้ปัญหา.....	47
รูปที่ 22	แผนภาพการจัดสรรพลังงานในภาวะแยกโดด	48
รูปที่ 23	แนวคิดการจัดสรรพลังงานภาวะแยกโดด	51
รูปที่ 24	การจำลองปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่สะงา.....	53
รูปที่ 25	ปริมาณน้ำไหลเข้าในแบบจำลอง	54
รูปที่ 26	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงฤดูฝนระยะเวลา 7 วัน.....	57
รูปที่ 27	ปริมาณน้ำจากการจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงฤดูฝนระยะเวลา 7 วัน.....	57
รูปที่ 28	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานจากแบบจำลองช่วงฤดูฝนระยะเวลา 7 วัน	58
รูปที่ 29	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงระยะฤดูแล้งเวลา 7 วัน.....	59
รูปที่ 30	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงระยะฤดูแล้งเวลา 1 วัน.....	59
รูปที่ 31	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงฤดูแล้งระยะเวลา 7 วัน.....	60
รูปที่ 32	แสดงเปรียบเทียบการพึ่งพาสายส่ง.....	61
รูปที่ 33	ระยะเวลาในการสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานสะสม	62
รูปที่ 34	ผลลัพธ์กรณีค่าน้ำหนักที่ $\alpha_1 = 0.7$, $\alpha_2 = 0.15$ และ $\alpha_3 = 0.15$	66
รูปที่ 35	ผลลัพธ์กรณีค่าน้ำหนักที่ $\alpha_1 = 0.15$, $\alpha_2 = 0.7$ และ $\alpha_3 = 0.15$	66
รูปที่ 36	ผลลัพธ์กรณีค่าน้ำหนักที่ $\alpha_1 = 0.15$, $\alpha_2 = 0.15$ และ $\alpha_3 = 0.7$	67
รูปที่ 37	ผลลัพธ์กรณีที่ไหลตเพิ่มขึ้นเป็น 150 เปอร์เซนต์.....	69
รูปที่ 38	ผลลัพธ์กรณีที่แบตเตอรี่ที่ขนาด 6 เมกะวัตต์.....	71
รูปที่ 39	ผลลัพธ์กรณีค่ากำลังไฟฟ้าส่วนเกิน 40 เปอร์เซนต์.....	73
รูปที่ 40	ผลลัพธ์กรณีค่ากำลังไฟฟ้าส่วนเกิน 10 เปอร์เซนต์.....	73
รูปที่ 41	ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูฝน.....	74
รูปที่ 42	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูฝน	75
รูปที่ 43	ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง	76
รูปที่ 44	ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง.....	76

รูปที่ 45 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Under-forecast.....	77
รูปที่ 46 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Under-forecast	78
รูปที่ 47 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Over-forecast.....	79
รูปที่ 48 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Over-forecast	79
รูปที่ 49 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Under-forecast	80
รูปที่ 50 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Under-forecast.....	81
รูปที่ 51 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Over-forecast	82
รูปที่ 52 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Over-forecast	82
รูปที่ 53 แนวทางการแจ้งเตือนล่วงหน้า.....	84
รูปที่ 54 แนวทางการแจ้งเตือน ณ ช่วงเวลาจริง	85
รูปที่ 55 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม (90 นาที)	86
รูปที่ 56 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสำรอง (90 นาที)	87
รูปที่ 57 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม (210 นาที)	88
รูปที่ 58 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสำรอง (210 นาที).....	88
รูปที่ 59 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม (600นาที).....	89
รูปที่ 60 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสำรอง (600 นาที).....	90
รูปที่ 61 การแยกโดดภายใต้ความร่วมมือ 10 เพอร์เซ็นต์และเงื่อนไขระดับ 3,000.....	93
รูปที่ 62 การแยกโดดภายใต้ความร่วมมือ 10 เพอร์เซ็นต์และเงื่อนไขระดับ 6,000.....	93
รูปที่ 63 การแยกโดดเมื่อร้องขอการตอบสนองด้านโหลดทุกช่วงเวลา	94
รูปที่ 64 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสมเมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (90 นาที).....	96
รูปที่ 65 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสำรองกำลังไฟฟ้าเมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (90 นาที).....	96
รูปที่ 66 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม เมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (360 นาที).....	97

รูปที่ 67 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสำรองกำลังไฟฟ้า เมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (360 นาที).....	98
รูปที่ 68 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม เมื่อกำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้าที่ 30 เปอร์เซ็นต์ (360 นาที).....	98
รูปที่ 69 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสำรองกำลังไฟฟ้า เมื่อกำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้าที่ 30 เปอร์เซ็นต์ (360 นาที).....	99
รูปที่ 70 แบบจำลองกรณีฐานในโปรแกรม Simulink.....	102
รูปที่ 71 รูปแบบจำลองการเดินโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ.....	102



บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาของบทนี้จะนำเสนอที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอน วิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบไฟฟ้าในเมืองแม่ฮ่องสอนทางภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทยอันเนื่องมาจากสายส่งจากระบบไฟฟ้าหลักมีระยะทางไกลส่งผลให้เกิดกำลังสูญเสียจำนวนมากและและมีสภาพภูมิอากาศที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับบ่อยครั้งซึ่งแสดงออกมาในค่าดัชนีการเกิดไฟฟ้าดับ (System Average Interruption Frequency Index/ System Average Interruption Duration Index, SAIFI/SAIDI) รวมถึงความต้องการที่จะลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas, GHG) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน จึงเกิดโครงการนำร่องไมโครกริดที่เมืองแม่ฮ่องสอนที่มีแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เพียงพอต่อการพึ่งพาตนเองได้ โดยแม่ฮ่องสอนไมโครกริดประกอบไปด้วย โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic generator, PV) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ สายส่งจากระบบไฟฟ้าหลัก และมีจุดเด่นอยู่ที่ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System, ESS) ที่ประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System, BESS) และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กที่มีอ่างเก็บน้ำ โดยมีรูปแบบการทำงานสองแบบด้วยกัน คือ ทำงานในภาวะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Grid connected mode) และการทำงานในภาวะแยกโดด (Islanding mode)

จากความหลากหลายทางคุณสมบัติของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Energy Resource, DER) ในเมืองแม่ฮ่องสอนจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการจัดสรรพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสมโดยมุ่งเน้นให้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนเป็นหลักเพื่อเป็นการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงความต้องการที่จะเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า (Reliability) ในเมืองแม่ฮ่องสอนให้ระบบสามารถเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ภาวะแยกโดดโดยเลี้ยงตัวเองด้วยพลังงานหมุนเวียนในระบบได้ในกรณีที่สายส่งซึ่งรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักเกิดปัญหา ทำให้ต้องมี

การจัดการระบบกักเก็บพลังงานสำรองที่เหมาะสมสำหรับเลี้ยงตัวเองได้เพียงพอในช่วงระยะเวลาหนึ่งระหว่างรอการซ่อมบำรุงหรือแก้ไขระบบไฟฟ้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักและภาวะแยกโดดที่เหมาะสมกับระบบเมืองแม่ฮ่องสอนโดยมุ่งเน้นที่การพึ่งพาตนเองเป็นหลักและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และคำนึงถึงการจัดสรรระบบกักเก็บพลังงานที่ประกอบด้วยปริมาณน้ำในเขื่อนแม่ฮ่องสอน และแบตเตอรี่ที่จะถูกติดตั้งเพิ่มเข้ามา เพื่อให้สามารถเปลี่ยนสู่ภาวะแยกโดดได้อย่างราบรื่น (Smooth transition) และสามารถเลี้ยงตัวเองได้เป็นระยะเวลานาน โดยจะผนวกกับกลไกการตอบสนองด้านอุปสงค์ของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการพึ่งพาตนเอง

1.2 วัตถุประสงค์

นำเสนอขั้นตอนวิธีการจัดสรรพลังงานสำหรับระบบการจัดการพลังงานในชุมชนของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนที่เน้นการพึ่งพาพลังงานหมุนเวียนเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนโดยสามารถเลี้ยงตัวเองได้ในภาวะแยกโดด

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) ศึกษาในแบบจำลองเมืองแม่ฮ่องสอนที่ประกอบไปด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และโรงไฟฟ้าดีเซล
- 2) พิจารณาในภาวะที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักและภาวะแยกโดด
- 3) ระยะเวลาการวางแผนเป็นเวลา 1 วันที่ความละเอียด 30 นาที
- 4) การส่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าจะถูกดำเนินการทุก ๆ 30 นาที
- 5) ศึกษาในเชิงภาวะสมดุล ณ เวลาใด ๆ ไม่ศึกษาเชิงพลวัต
- 6) ไม่คำนึงถึงกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า
- 7) ไม่คำพิจารณาถึงข้อจำกัดการควบคุมของอุปกรณ์ เช่น ระยะเวลาในการส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์
- 8) ไม่คำนึงถึงคำสั่งควบคุมในการจัดสรรพลังงานจากระบบไฟฟ้าหลัก
- 9) พิจารณาถึงการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้า โดยเป็นการแจ้งเตือนเพื่อขอความร่วมมือในการลดการใช้ไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

- 1) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตที่จะศึกษา
- 2) รวบรวมข้อมูลคุณลักษณะองค์ประกอบในแม่ฮ่องสอน
- 3) ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน
- 4) ศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลององค์ประกอบในไมโครกริดสำหรับวางแผนส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 5) สร้างวิธีการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานของภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักและภาวะแยกโดด
- 6) ศึกษาผลลัพธ์ในฤดูฝนและฤดูแล้ง
- 7) ศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองต่อค่าวัตถุประสงค์ และแนวทางการจัดสรรพลังงาน
- 8) วิเคราะห์และอภิปรายผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) การจัดการพลังงานสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในเมืองแม่ฮ่องสอนได้ โดยลดช่วงระยะเวลาที่มีสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับและสามารถเลี้ยงตัวเองได้เป็นระยะเวลานาน
- 2) ได้วิธีการจัดการเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบกักเก็บพลังงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยเน้นการพึ่งพาพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่เป็นหลัก
- 3) การจัดการพลังงานทำให้ระบบไฟฟ้าในเมืองแม่ฮ่องสอนสามารถแยกโดดได้ระยะเวลาตามที่ต้องการ

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการวางแผนการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริดเพื่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในภาวะการทำงานแบบเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลัก ในสภาวะแยกโดด และพิจารณาถึงเงื่อนไขการเปลี่ยนผ่านของภาวะการทำงาน ดังนั้นจึงได้แบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ (1) งานวิจัยเกี่ยวกับการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริด (2) งานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงานของระบบไมโครกริด

งานวิจัยเกี่ยวกับการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริด

การส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการใช้การแก้ปัญหาในเชิงการหาค่าเหมาะที่สุดและการกฎการตัดสินใจสำหรับตัดสินใจเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอย่างง่ายเพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณ

โดยงานวิจัย [1] ได้นำเสนอการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) ที่มีการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ที่เป็นทั้งค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าและความสมดุลของการผลิตไฟฟ้าต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยมีการให้น้ำหนักที่แตกต่างกันในลักษณะการทำงานของไมโครกริด [2] ได้นำเสนอการหาค่าเหมาะที่สุดโดยวิธีเชิงพันธุกรรมที่แก้ปัญหาหลายวัตถุประสงค์เช่นเดียวกันโดยประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและลดการใช้งานแบตเตอรี่และศึกษาการหาการให้น้ำหนักที่เหมาะสมต่อโมเดล และงานวิจัย [3-5] ที่เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับเมืองแม่ฮ่องสอนที่มีการคำนึงถึงทั้งปัญหาค่าใช้จ่ายและสิ่งแวดล้อมในภาวะเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลักรวมถึงมาถึงระยะเวลาในการเลี้ยงตัวเองในภาวะแยกโดดจากพลังงานสะสมในแบตเตอรี่ร่วมกับการปลดโหลด แต่ไม่พิจารณาถึงแบบจำลองระดับในเขื่อนและเงื่อนไขด้านกำลังไฟฟ้าในการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน [6, 7] มีการเสนอการจัดสรรพลังงานที่มีองค์ประกอบเป็นเขื่อนโดยพิจารณาถึงปริมาณระดับน้ำในเขื่อนหรือสมการสมดุลน้ำที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าร่วมด้วย โดย [6] พิจารณาให้กำลังการผลิตขึ้นอยู่กับระดับความสูงน้ำ [8-11] ได้มีการนำเสนอวิธีการส่งเดินเครื่องที่คำนึงถึงความผิดพลาดของการพยากรณ์หรือส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบวางแผนร่วมกับการสั่งแบบทันทีทันใดที่ใช้ข้อมูลจริงมาคำนวณ โดย [8] ได้นำเสนอการหาค่าเหมาะที่สุดในเชิงความมั่นคงโดยใช้วิธีการจำลองหลายกรณีเพื่อหาขอบเขตของค่าที่มีความมั่นคงโดยนำเสนอวิธีการลดจำนวนกรณีในการคำนวณเพื่อลดระยะเวลา [9-11] นำเสนอวิธีการวางแผนแบบสองระดับที่มีการคำนวณระยะยาวและคำนวณทันทีทันใดเพื่อแก้ปัญหาการพยากรณ์ผิดพลาด โดย [10] นำเสนอการหาค่าเหมาะที่สุดโดยกำหนดให้ความผันผวนเป็นตัวแปรสุ่มและแก้ปัญหาโดยนำเสนอการแก้ปัญหาควบคุมแทนเพื่อลดความซับซ้อนและคำนวณในรูปแบบของการเลื่อนขอบเขตเวลาของปัญหาไปอย่างต่อเนื่อง [11] นำเสนอตัวแปรราคาปรับ (penalty term) เพื่อให้การคำนวณแบบทันทีทันใดมีค่าที่สอดคล้องตามกับคำตอบจากการวางแผนไว้เพื่อให้ได้ประโยชน์ตามราคาตลาดไฟฟ้ามากที่สุดและมีกำลังไฟฟ้าสำรองสำหรับรองรับความผันผวน ในทำนองเดียวกัน [9] ได้นำเสนอตารางสำหรับตัดสินใจในการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่เพื่อแก้ปัญหาความผันผวนของกำลังการผลิตจากพลังงานหมุนเวียนโดยมีการนำค่าจากการวางแผนมาอ้างอิงในการตัดสินใจ

และได้มีงานวิจัย [12-14] เสนอผังงาน (Flow chart) และการกฎการตัดสินใจ (Rule based decision) เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ [12] ได้นำเสนอแผนผังการตัดสินใจที่เพื่อตัดสินใจในการให้เซลล์เชื้อเพลิงร่วมกับแบตเตอรี่จ่ายในช่วงภาวะแยกโดด และคำนึงราคาเพื่อกำหนดปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลัก [13] นำเสนอการใช้แผนผังตัดสินใจเพื่อกำหนดการจ่ายไฟฟ้าของพลังงานหมุนเวียนร่วมกับแบตเตอรี่ก่อนที่จะคำนวณด้วยวิธีการบรรจบการพลวัต (Dynamic programming) เพื่อจัดสรรโรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส [14] ได้เสนอแผนผังการตัดสินใจในการกำหนดการทำงานของแบตเตอรี่โดยคำนึงถึงช่วงเวลาของวันร่วมด้วย

จาก [4, 5, 8-14] เป็นเพียงการนำเสนอวิธีการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในด้วยวิธีการต่าง ๆ ในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักและในภาวะแยกโดด แต่ยังไม่มีการคำนึงถึงการจัดสรรพลังงานสำหรับการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน

งานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงานของระบบไมโครกริดได้นำเสนอใน [15] ซึ่งนำเสนอตัวแปรสถานะสำหรับระบุภาวะการทำงานขณะใด ๆ และใช้สำหรับกำหนดการเปลี่ยนภาวะการทำงาน โดยมีทั้งการเปลี่ยนภาวะแบบวางแผนและไม่ได้วางแผนรวมถึงการกู้ระบบไฟฟ้า และนำเสนอการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างง่ายสำหรับชดเชยความไม่สมดุล ณ จุดเชื่อมต่อ ในช่วงที่เปลี่ยนผ่านโดยตัดสินใจจากราคาการผลิตไฟฟ้าแต่ละแหล่ง [16] ได้ศึกษาถึงความไม่สมดุลของระบบ ณ จุดเชื่อมต่อและการเปลี่ยนแปลงโหลดที่ขนาดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปัญหาเสถียรภาพในไมโครกริดเพื่อระบุขอบเขตสูงสุดที่ระบบรองรับได้

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 บท โดยแบ่งเนื้อหาเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย พื้นฐานของระบบไมโครกริดและข้อมูลไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

บทที่ 3 การจัดสรรพลังงานในอำเภอแม่ฮ่องสอน ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดภาพรวมของการจัดสรรพลังงาน แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลัก แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในภาวะแยกโดด

บทที่ 4 ผลลัพธ์ จะศึกษาแนวทางการจัดสรรพลังงานจากผลลัพธ์การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยพิจารณาเทียบกับกรณีฐานและศึกษาถึงการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในแบบจำลอง

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ไมโครกริดและระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

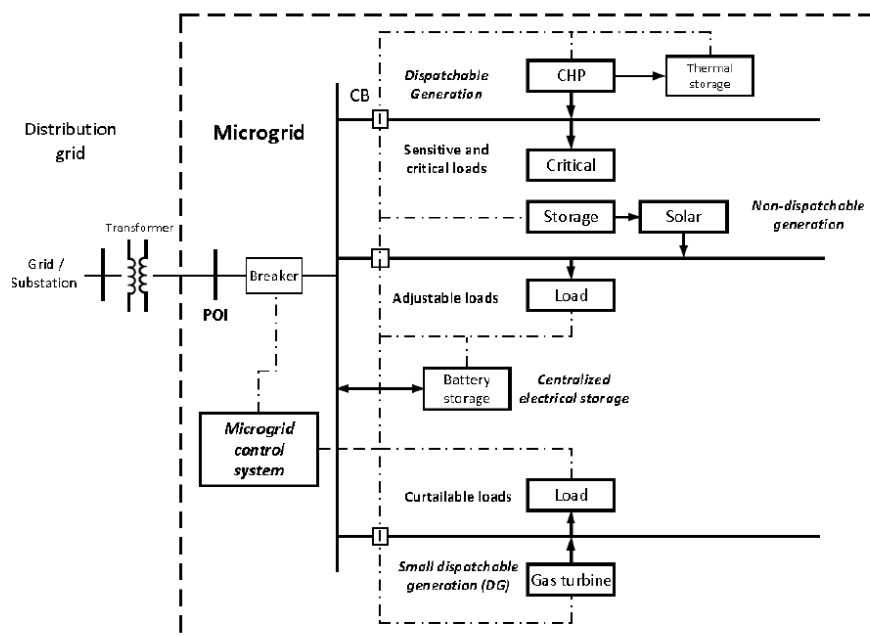
จากปัญหาสิ่งแวดล้อมและการลดลงของเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดร่วมกับปัญหาความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า แนวคิดด้านระบบไมโครกริดที่มีพลังงานหมุนเวียนสำหรับเลี้ยงตัวเองจึงเป็นส่วนสำคัญในการแก้ปัญหาเหล่านี้ ดังนั้นในบทที่ 2 จะกล่าวถึงข้อมูลพื้นฐานของไมโครกริด ที่ประกอบด้วยคำนิยาม องค์ประกอบสำคัญ และ การควบคุม รวมถึงข้อมูลแม่ฮ่องสอนไมโครกริดที่ใช้ทำการศึกษารวบรวมพลังงานในงานวิจัยนี้

2.1 ระบบไมโครกริด

2.1.1 คำจำกัดความและโครงสร้างของระบบไมโครกริด

ไมโครกริด [17] คือ ระบบไฟฟ้าที่มีกลุ่มของโหลดและแหล่งพลังงานแบบกระจายตัวอยู่ร่วมกันโดยมีเงื่อนไขดังนี้

- มีการระบุขอบเขตของไมโครกริดที่ชัดเจน
- มีคุณสมบัติเสมือนองค์ประกอบหนึ่งที่สามารถตอบสนองการควบคุมของระบบไฟฟ้าหลักได้
- มีกำลังผลิตมากกว่าโหลดสูงสุดเพื่อให้สามารถทำงานในภาวะแยกโดดได้
- มีอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักภายในระบบจำหน่ายอยู่ที่จุดต่อร่วม
- มีระบบควบคุมสำหรับจัดการพลังงาน
- มีอุปกรณ์ของระบบจำหน่าย คือ หม้อแปลง สวิตช์เกียร์ ตัวเก็บประจุ
- มีอุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อ เช่น เบรกเกอร์



รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบไมโครกริด [17]

2.1.2 องค์ประกอบของระบบไมโครกริด

องค์ประกอบในระบบไมโครกริดมีองค์ประกอบหลักอยู่ 4 องค์ประกอบคือ แหล่งพลังงาน โหลด จุดต่อร่วม และระบบควบคุม

โดยแหล่งพลังงานจะประกอบด้วย 1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว 2.) ระบบกักเก็บพลังงาน

1.1) แหล่งพลังงานแบบกระจายตัว ได้แก่

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบที่สั่งจ่ายได้ (Dispatchable) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถควบคุมกำลังการผลิตได้ซึ่งจะมีข้อจำกัดในเชิงเทคนิคที่แตกต่างกันตามชนิดของแหล่งกำเนิด เช่น ข้อจำกัดในด้านของอัตราการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลังการผลิต (Ramp rate) พิกัดสูงสุดของกำลังการผลิต (Capability) เวลาขั้นต่ำในการเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่อง (Minimum on/off time) ข้อจำกัดทางด้านเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตัวอย่างแหล่งกำเนิดประเภทนี้ เช่น โรงไฟฟ้าชีวมวล เชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ และโรงไฟฟ้าดีเซลล์

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแบบที่ไม่สามารถสั่งจ่ายได้ (Non-Dispatchable) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่สามารถควบคุมกำลังการผลิตได้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานหมุนเวียนซึ่งมีข้อดีที่เป็นการผลิตไฟฟ้าที่สะอาดปราศจากมลพิษ เช่น ลมและแสงอาทิตย์ โดยจ่ายไฟฟ้าได้ตลอดเวลาที่สามารถผลิตได้โดยไม่

ต้องรอคำสั่งจากศูนย์ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีความผันผวนตามสภาพอากาศ เช่น ความเข้มแสงและความเร็วลม

1.2) ระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงาน คือ อุปกรณ์ที่มีความสามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในรูปแบบอื่น และสามารถนำกลับมาใช้ได้เมื่อต้องการ เช่น แบตเตอรี่ เซลล์เชื้อเพลิง ล้อช่วยแรง ตัวเก็บประจุยิ่งยวด หรือ เซื่อนที่สามารถสูบน้ำเก็บไว้ในรูปพลังงานศักย์ได้ ซึ่งมีหน้าทำสำคัญอย่างมากต่อไมโครกริดในการรองรับความผันผวนของพลังงานหมุนเวียนในไมโครกริด เช่น ช่วงที่สามารถผลิตได้มากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้า หรือมีหน้าที่ในการเลื่อนความต้องการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) จากช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้ามีราคาแพง (On-peak) มาใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีราคาถูก (Off-peak) เพื่อประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์หรือลดความต้องการใช้ไฟฟ้าที่สูง (Peak) และเป็นส่วนสำคัญในการสำรองพลังงานสำหรับจ่ายไฟฟ้าในช่วงภาวะแยกโดด

2.) โหลด

โหลด คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าซึ่งมีความต้องการที่แตกต่างกันไปตามประเภทของโหลด โดยประเภทของโหลดสามารถแบ่งตามลักษณะที่อยู่อาศัยได้เป็น ผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตที่อยู่อาศัย ผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตพาณิชย์ และผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตอุตสาหกรรม และสามารถแบ่งตามความสำคัญและการควบคุมได้ดังนี้

โหลดวิกฤต (Critical load) คือ โหลดที่จำเป็นต้องมีไฟจ่ายให้ตลอดเวลาในทุกภาวะการทำงาน ไม่สามารถลดทอน (Curtail) ได้ เช่น ระบบควบคุมอาคาร ระบบความปลอดภัยในชีวิต

โหลดสำคัญ (Priority load) คือ โหลดที่สามารถลดทอนลงได้ในบางครั้งเมื่อมีความจำเป็นแต่ควรจ่ายไฟฟ้าเท่าที่สามารถจ่ายได้

โหลดควบคุมได้ (Controllable load) คือ โหลดที่สามารถควบคุมเพื่อลดทอนโหลดลงหรืองดจ่ายไฟฟ้าชั่วคราวได้ เช่น เครื่องทำความร้อน พัดลมระบายอากาศ เครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์อื่นที่ไม่สำคัญในโรงงานอุตสาหกรรม

โหลดที่งดจ่ายไฟฟ้าได้ (Interruptible load) คือ โหลดที่สามารถปลดออกหรืองดจ่ายไฟฟ้าได้ตลอดเวลาเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลดในช่วงเวลาที่มีโหลดสูงได้ เช่น การปั๊มน้ำในระบบกักเก็บน้ำ และการชาร์จแบตเตอรี่

โหลดสำหรับระบาย (Diversion and dump loads) คือ โหลดที่ใช้งานเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังการผลิตมากกว่าเกินกว่าโหลดและไม่สามารถลดกำลังการผลิตลงได้

จากความหลากหลายของโหลดที่กล่าวไป หากพิจารณาในบริบทของการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management, DSM) หรือ การตอบสนองด้านโหลด (Demand Response, DR) [18] สามารถแบ่งได้เป็น Incentive base DR ซึ่งเป็นการกระตุ้นให้ผู้ใช้ไฟฟ้า

ร่วมมือปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในช่วงเหตุการณ์วิกฤตทางไฟฟ้าต่าง ๆ และ Price base DR ที่เป็นการคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อให้ผู้บริโภคมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนด เช่น การเพิ่มราคาในช่วงที่โหลดสูง

โดย Incentive base DR สามารถแยกย่อยลงไปได้เป็น

1.) Direct load control (DLC)

การทำข้อตกลงระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ดูแลระบบ เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถสั่งตัดการใช้ไฟฟ้าและควบคุมช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่เข้าร่วมโครงการได้ เช่น เครื่องปรับอากาศ และแสงสว่าง โดยผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับค่าชดเชยเป็นการตอบแทน

2.) Load curtailment

ในรูปแบบนี้จะเป็นการทำข้อตกลง โดยการจ่ายค่าตอบแทนหรือคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบพิเศษให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมโครงการ หากผู้ใช้ไฟฟ้าให้ความร่วมมือในการลดการใช้ไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาที่ผู้ดูแลระบบต้องการ โดยสัญญาอาจเป็น จำนวนครั้งหรือปริมาณไฟฟ้า แต่หากไม่ตอบสนองตามข้อตกลงจะเสียค่าปรับแทน

3.) Demand bidding

รูปแบบนี้โดยทั่วไปจะเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีขนาด 1 MW ขึ้นไป เพื่อร่วมเสนอประมูลราคาและปริมาณไฟฟ้าที่จะลดโหลดในอัตราค่าไฟฟ้าที่ต่ำให้แก่ผู้ควบคุมระบบ

4.) Emergency demand reduction

การลดโหลดในช่วงเวลาวิกฤตเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า โดยผู้ใช้ไฟฟ้าจะได้รับค่าชดเชยในการให้ความร่วมมือ โดยอาจชดเชยเป็นต่อหน่วยที่ลดได้

และ Price base DR สามารถแบ่งได้เป็น

1.) Time of use (TOU)

ในรูปแบบนี้อัตราค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าช่วงเวลาของวัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น ช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้ามก (On peak interval), ช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าปานกลาง (Min peak interval) และ ช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off peak interval) โดยผู้ใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วง On peak ซึ่งมีราคาแพง หรือเป็นการกระตุ้นให้เกิดการเลื่อนการใช้ไฟฟ้าไปสู่ช่วง Off peak และเป็นการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด โดยในไทยจะแบ่งเป็น On-peak ระหว่างเวลา 9.00-22.00 น. และ Off-peak ระหว่างเวลา 22.00-9.00 น.

2.) Critical peak pricing

รูปแบบนี้ในช่วงเวลาปกติจะเหมือนแบบ TOU แต่เมื่อระบบมีความน่าเชื่อถือได้ต่ำ ในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง จะมีอัตราค่าไฟฟ้าที่สูงกว่าเดิมมากขึ้นอีกหนึ่งขั้น โดย

รูปแบบนี้จะมีการใช้งานเพียงไม่กี่ชั่วโมงต่อปีและมีการแจ้งล่วงหน้าอย่างน้อยหนึ่งวัน เพื่อใช้ในการเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

3.) Real-time pricing (RTP)

ในรูปแบบนี้อัตราค่าไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงในทุกชั่วโมงตามตลาด โดยมีการแจ้งล่วงหน้าต่อผู้ใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าหนึ่งชั่วโมงถึงหนึ่งวัน โดยเหมาะสมกับระบบไฟฟ้ารูปแบบใหม่ที่เป็นบ้านอัจฉริยะ (Smart home)

4.) Inclining block rate

รูปแบบที่อัตราค่าไฟฟ้าจะถูกคิดจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อมีการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง อัตราค่าไฟฟ้าจะถูกกำหนดให้สูงขึ้น โดยรูปแบบนี้จะถูกใช้เพื่อลดการลงทุนอย่างไม่จำเป็นในการพัฒนาระบบผลิตและระบบส่ง

3.) จุดต่อร่วม

จุดต่อร่วม (Point of common coupling, PCC) เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้าหลักกับแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวโดยทั่วไปอาจมีได้หลายจุดเชื่อมต่อ แต่เมื่อมองในการควบคุมระบบ ไมโครกริดจะมีจุดเชื่อมต่อเพียงจุดเดียวสำหรับควบคุมการเชื่อมต่อไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าหลักดังรูปที่ 1

4.) ระบบควบคุม

หน้าที่การควบคุมของระบบไฟฟ้าของไมโครกริดสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระบบจำหน่าย

ฟังก์ชันระดับสูง

- ระบบไฟฟ้าหลัก/กลไกทางตลาด
- ระบบสื่อสารทั้งระบบไฟฟ้า
- การจัดสรรพลังงานแบบหลายไมโครกริด

ฟังก์ชันหลัก

- การเปลี่ยนผ่านสถานะการทำงาน (แยกโดด/เชื่อมต่อกลับ)
- การจัดการพลังงาน

ฟังก์ชันระดับล่าง

- การควบคุมแรงดัน/ความถี่
- การทำงานของอุปกรณ์

อุปกรณ์ต่างๆในไมโครกริด

การจัดสรรพลังงานใน
ไมโครกริด

รูปที่ 2 โครงสร้างระบบควบคุมในไมโครกริด

1.การควบคุมในระดับสูง (Higher level function)

เป็นการควบคุมในระดับระบบจำหน่ายของระบบไฟฟ้าหลักที่สื่อสารระหว่างไมโครกริดรวมถึงเพื่อตอบสนองกลไกการตลาดในการซื้อขายไฟฟ้าหรือคำสั่งจากศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าหลัก

2.การควบคุมหลัก (Core level function)

เป็นการกำหนดจุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการต่าง ๆ และกำหนดการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน เพื่อให้ได้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

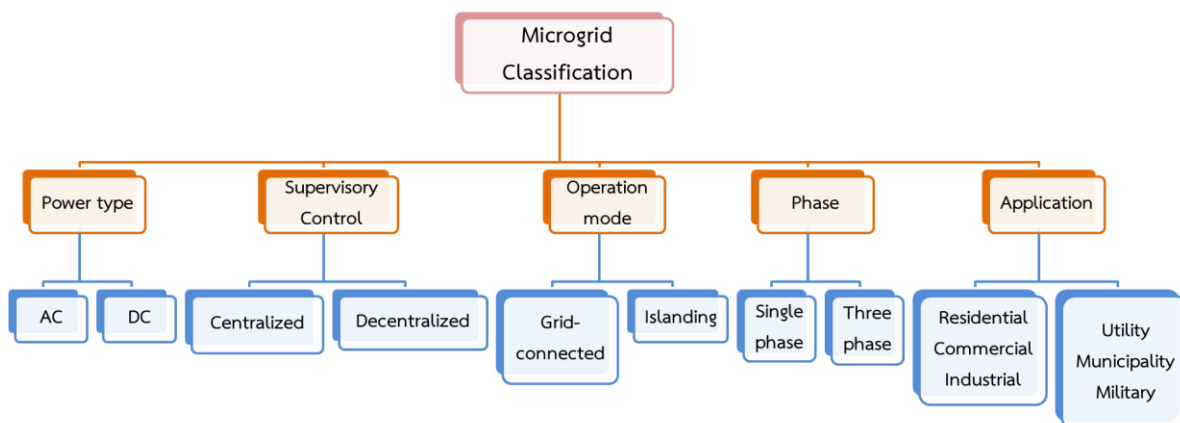
3.การควบคุมในระดับต่ำ (Lower level function)

เป็นการควบคุมในระดับอุปกรณ์ควบคุมซึ่งมีหน้าที่ควบคุมแรงดัน ความถี่ และค่ากำลังไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและโหลดเพื่อตอบสนองต่อการรบกวนและจ่ายโหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยการควบคุมหลักในไมโครกริดซึ่งคือการจัดการพลังงานจากแหล่งผลิตแบบกระจายตัวในระบบไมโครกริดมีฟังก์ชันการทำงาน ดังนี้

- (1) สามารถทำงานได้ในภาวะเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลักและในภาวะแยกโดด
- (2) มีการจัดการพลังงานเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) และรีแอกทีฟ (Reactive Power) ของแหล่งกำเนิดให้เหมาะสม
- (3) ช่วยเหลือการทำงานของระบบไฟฟ้าหลักและเป็นส่วนหนึ่งของตลาด

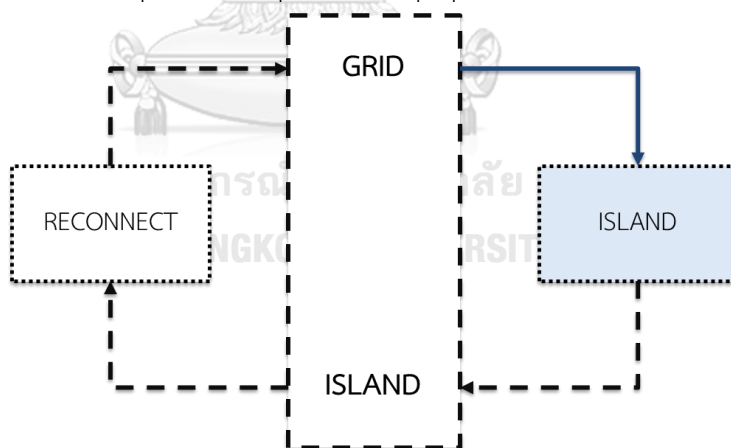
ซึ่งฟังก์ชันการควบคุมไมโครกริดนั้นจะมีความแตกต่างกันในแต่ละภาวะการควบคุม โดยมีวัตถุประสงค์หลัก ๆ คือ ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในขณะที่แยกโดดจะให้ความสำคัญเฉพาะกับโหลดที่มีความสำคัญมากขึ้น โดยการควบคุมนอกจากขึ้นอยู่กับภาวะการทำงานของระบบแล้ว และยังขึ้นอยู่กับประเภทของไมโครกริดด้วย โดยแบ่งได้ตามประเภทของกระแสไฟฟ้า รูปแบบการควบคุม จำนวนเฟสของระบบ และประเภทการใช้งานหรือผู้ใช้ไฟฟ้าในไมโครกริด เช่น เขตอุตสาหกรรม เขตโรงเรียน ที่พักอาศัย หรือค่ายทหาร ดังรูปที่ 313



รูปที่ 3 รูปการแบ่งประเภทไมโครกริด [19]

2.1.3 รูปแบบการควบคุมของระบบไมโครกริด

วิธีการควบคุมของไมโครกริดด้านการจัดสรรพลังงานที่ขึ้นอยู่กับภาวะการทำงานของไมโครกริดขณะนั้นประกอบไปด้วย ภาวะคงที่ในช่วงเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Steady state grid connected) ภาวะคงที่ในช่วงแยกโดด (Steady state islanding) และในช่วงการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน (Transition) ระหว่างภาวะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักกับภาวะแยกโดด โดยการควบคุมในระดับหลักนี้จะไม่เฉพาะเจาะจงกับชนิดหรือประเภทของอุปกรณ์ควบคุม เป็นการกำหนดแนวทางควบคุมที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุปกรณ์ควบคุมทุกประเภท



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน [17]

โดยเมื่อการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงานสำเร็จ ระบบจะจ่ายโหลดด้วยวิธีการควบคุมปกติในภาวะที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักหรือภาวะแยกโดด

1. ฟังก์ชันการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ฟังก์ชันการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [17] คือ การกำหนดจุดทำงานของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และโหลดชนิดต่าง ๆ ในไมโครกริดให้เหมาะสมเพื่อตอบสนองตามความต้องการใช้ไฟฟ้าในไมโครกริด และตอบสนองต่อเงื่อนไขในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งแบ่งเป็น 2 ภาวะดังนี้ 1.) ภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก 2.) ภาวะแยกโดด

การส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก มีลักษณะการควบคุมโดยรวม ดังนี้

- 1) การบริการจัดการโหลด จัดลำดับความสำคัญเพื่อลดทอนโหลด
- 2) การส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการออฟติไมซ์หรือตารางค้นหาให้ตอบสนองต่อข้อมูลโปรไฟล์ของโหลดและแหล่งกำเนิดไฟฟ้า
- 3) การสั่งอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น สวิตช์ และ เบรกเกอร์
- 4) การควบคุมแรงดันด้วยตัวเก็บประจุและหม้อแปลง
- 5) การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ณ จุดเชื่อมต่อเพื่อให้เป็นไปตามข้อตกลงกับระบบไฟฟ้าหลัก

การส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในภาวะแยกโดด มีลักษณะการควบคุมโดยรวมดังนี้

- 1) การบริการจัดการโหลด จัดลำดับความสำคัญเพื่อลดทอนโหลด
- 2) การส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการออฟติไมซ์หรือตารางค้นหาโดยให้เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าที่จุดเชื่อมต่อเป็นศูนย์
- 3) การสั่งอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น สวิตช์ และ เบรกเกอร์
- 4) การควบคุมแรงดันด้วยตัวเก็บประจุและหม้อแปลง
- 5) การควบคุมความถี่ของไมโครกริดโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่เป็นจุดอ้างอิง
- 6) การรักษาระดับคุณภาพไฟฟ้าของระบบไมโครกริด

โดยการจัดสรรพลังงานสามารถเพิ่มความยืดหยุ่น (Resilience) และความน่าเชื่อถือได้ (Reliability) แก่ไมโครกริดโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.) การเพิ่มความยืดหยุ่น

เงื่อนไขขั้นต่ำ: การสำรองกำลังไฟฟ้าในกรณีไฟฟ้าดับระยะยาว โดยต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดของโหลดสำคัญในระบบ แผนการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใหม่ (Black start) ขณะแยกโดด

เงื่อนไขเพิ่มเติม: การจ่ายโหลดสำคัญและการลดโหลดที่ไม่จำเป็นต้องมากที่สุดเป็นโดยมีระยะเวลาในการเตรียมการ การวางแผนแยกโดดให้นานที่สุด

2.) การเพิ่มความน่าเชื่อถือได้

โดยการแยกโอดอย่างราบรื่น (Smooth transition) เพิ่มดัชนีชี้วัด SAIFI, SAIDI และ ดัชนีจำนวนครั้งไฟดับเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบหนึ่งครั้ง (Consumer Average Interruption Frequency Index: CAIFI)

2. ฟังก์ชันการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน

การเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงานของไมโครกริด คือ ช่วงที่ไมโครกริดเปลี่ยนจากภาวะเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลักไปยังภาวะแยกโอดหรือในทางกลับกันคือการเปลี่ยนผ่านจากภาวะแยกโอดมายังภาวะเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลัก ซึ่งสามารถแบ่งอย่างละเอียดได้เป็น 1.) การแยกโอดแบบวางแผน (Planned islanding) 2.) การแยกโอดแบบไม่ได้วางแผน (Unplanned islanding) 3.) การเชื่อมต่อกลับ (Reconnection) 4.) การกู้ระบบไฟฟ้า (Black start) โดยการเปลี่ยนผ่านต่าง ๆ จะถูกดำเนินการเมื่อมีสัญญาณคำสั่งจากศูนย์ควบคุม

โดยขั้นตอนในการเปลี่ยนในแต่ละแบบประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังนี้

- 1) รับคำสั่งให้แยกโอด
- 2) ปรับกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกตีฟที่จุดเชื่อมต่อให้มีค่าเป็นศูนย์ (แหล่งกำเนิดไฟฟ้าและความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในไมโครกริดสมดุลกัน)
- 3) ปรับการตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ป้องกันในไมโครกริด
- 4) ทำการแยกโอด
- 5) เปลี่ยนวิธีการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบภาวะแยกโอด

การแยกโอดแบบไม่ได้วางแผน

- 1) ตรวจสอบเงื่อนไขที่จะทำให้เกิดการแยกโอด
- 2) ทำการแยกโอด
- 3) ปรับการตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ป้องกันในไมโครกริด
- 4) ทำการปลดโหลดหรือทำการกู้ระบบไฟฟ้าตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้
(โดยในการกู้ระบบไฟฟ้าจะไม่มีขั้นตอนที่แน่นอนจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของไมโครกริดแต่ละแบบ)
- 5) เปลี่ยนวิธีการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบภาวะแยกโอด

การเชื่อมต่อกลับ

- 1) ส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้มีแรงดัน มุม และความถี่ทางไฟฟ้า อยู่ภายในขอบเขตของเงื่อนไขในการเชื่อมต่อกลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก
- 2) ปรับการตั้งค่าอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์ป้องกันในไมโครกริด
- 3) ทำการเชื่อมต่อกลับ

- 4) เปลี่ยนวิธีการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบภาวะเชื่อมต่อบางส่วนของระบบไฟฟ้าหลักและเชื่อมต่อบางส่วนที่ถูกตัดออกไปกลับเข้ามาในระบบ

โดยการเปลี่ยนผ่านที่ราบรื่น (Smooth transition) หรือไร้รอยต่อ (Seamless transition) จะรวมถึงการเปลี่ยนผ่านทั้งการแยกโดดและการเชื่อมต่อกลับ โดยแรงดันและความถี่ขณะ transient ยังคงอยู่ภายใต้เงื่อนไขการออกแบบของไมโครกริดและอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของระบบไฟฟ้าหลัก

2.1.4 การหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) ด้วยวิธีการ MILP และ QP

โดยการจัดสรรพลังงานในไมโครกริดเองสามารถแบ่งเป็นวิธีการต่าง ๆ ได้ดังนี้ [19]

ประกอบด้วย

1. วิธีการแบบดั้งเดิม ที่ประกอบด้วย โปรแกรมเชิงเส้น (linear programming), โปรแกรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear programming) กำหนดการพลวัต (dynamic programming) และ Rule-based
2. วิธีแบบ Meta-heuristic ที่ประกอบด้วยวิธี Genetic และ Swarm
3. วิธีแบบ Stochastic และ Robust programming
4. วิธีแบบการควบคุมเชิงทำนายแบบจำลอง (Model Predictive Control : MPC)

โดยการหาค่าเหมาะที่สุด ซึ่งเป็นวิธีการในการหาค่าตอบโดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของปัญหาหรือเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยมีองค์ประกอบหลักด้วยกัน 3 ส่วน คือ 1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา (Objective function) ที่ต้องการแก้ไขซึ่งเป็นที่ต้องการหาค่าต่ำสุด (Minimum) หรือค่าสูงสุด (Maximum) 2. ตัวแปรที่เป็นคำตอบของปัญหาหรือตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งคือตัวคำตอบที่เป็นผลจากการหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการควบคุม 3. ข้อจำกัดของปัญหาซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งสมการ (Equality constraint) และอสมการ (Inequality constraint) โดยเป็นเงื่อนไขในการกำหนดคำตอบ โดยประเภทของแบบจำลองหรือวิธีการแก้ปัญหาที่มีด้วยกันดังนี้

โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกที่จะใช้วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดประเภท แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mix-Integer linear programming) และ แบบจำลองโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic programming)

- 1) แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mix-Integer linear programming)

เทคนิคการทำ optimization ที่คล้ายกับแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ซึ่งมีสมการวัตถุประสงค์และข้อจำกัดเป็นสมการเชิงเส้น แต่มีการกำหนดให้ตัวแปรบางตัวหรือทุกตัวให้มีคำตอบเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ดังนั้นรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$\text{maximize } c^T x \quad (2.1)$$

$$\text{Subject to: } Ax \leq b \quad (2.3)$$

$$x \in \mathbb{Z}^n \quad (2.4)$$

โดย \mathbb{Z}^n ชุดตัวเลขจำนวนจริง ซึ่งตัวแปรจำนวนเต็มส่วนใหญ่ที่ใช้ในการจัดสรรพลังงานจะอยู่ในรูปตัวแปรฐานสอง (Binary variable) เพื่อใช้กำหนดสถานะขององค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สถานะการเปิดและปิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวอย่างแบบจำลองที่มีการใช้ตัวแปรจำนวนเต็มในการออกแบบ เช่น สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ [20]

$$X_t^{SU} + X_t^{SD} \leq 1; X_t^{SU}, X_t^{SD} \in \{0,1\} \quad (2.5)$$

$$X_t^G - X_{t-1}^G \leq X_t^{SU} - X_{t-1}^{SD} \quad (2.6)$$

$$X_t^{dis} + X_t^{ch} \leq 1; X_t^{dis}, X_t^{ch} \in \{0,1\} \quad (2.7)$$

$$0 \leq P_t^{dis} \leq X_t^{dis} \bar{P}^{dis} \quad (2.8)$$

$$0 \leq P_t^{ch} \leq X_t^{ch} \bar{P}^{ch} \quad (2.9)$$

2) แบบจำลองโปรแกรมกำลังสอง (Quadratic programming)

เทคนิคการทำ optimization ที่ตัววัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันกำลังสอง ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$\text{maximize } \frac{1}{2} x^T Q x + c^T x \quad (2.10)$$

$$\text{Subject to: } Ax \leq b \quad (2.11)$$

โดยถ้า x เป็นเวกเตอร์ที่มีขนาด n ค่าตอบ Q คือ เมทริกซ์จัตุรัส (Symmetric matrix) ขนาด $n \times n$ และ A มีเมทริกซ์ขนาด $m \times n$ และ b เป็นเวกเตอร์จำนวนจริงขนาด m โดย n คือ จำนวนตัวแปรคำตอบ m คือ จำนวนเงื่อนไข

ตัวอย่างการใช้สมการกำลังสองในงานวิจัย [11]

$$\min f(x) = f_g(x) + f_s(x) + f_{grid}(x) \quad (2.12)$$

$$f_g(x) = \sum [aP_g^2 + bP_g + c + \mu_G(P_G - \hat{P}_G)^2] \quad (2.13)$$

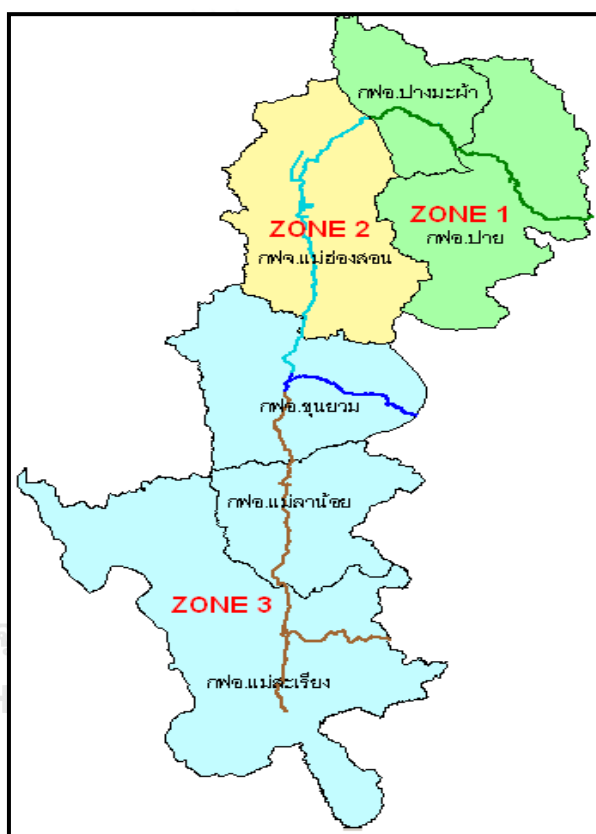
$$f_s(x) = \sum [aP_s + \mu_s(P_s - \hat{P}_s)^2] \quad (2.14)$$

$$f_{grid}(x) = cP_{grid} + \mu_{grid}(P_{grid} - \hat{P}_{grid})^2 \quad (2.15)$$

2.2 ข้อมูลระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

เพื่อการศึกษาและจำลองการจัดสรรพลังงานไฟฟ้าในไมโครกริดเมืองแม่ฮ่องสอนให้เหมาะสม ใกล้เคียงความเป็นจริงจึงจำเป็นต้องทราบข้อมูลเบื้องต้นด้านคุณลักษณะทั่วไปและองค์ประกอบทางไฟฟ้าของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน ดังนั้น เนื้อหาในหัวข้อนี้จะประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับเมืองแม่ฮ่องสอน ข้อมูลโครงสร้างของระบบไฟฟ้าองค์ประกอบของเมืองแม่ฮ่องสอน ข้อมูลองค์ประกอบของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน โดยอ้างอิงจากโครงการแม่ฮ่องสอนไมโครกริด [21]

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับจังหวัดแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 5 การแบ่งพื้นที่และเส้นทางการไฟฟ้าจังหวัดแม่ฮ่องสอน

จังหวัดแม่ฮ่องสอนสามารถแบ่งพื้นที่การจ่ายไฟฟ้าออกเป็น 3 พื้นที่ ประกอบด้วย

1. พื้นที่การจ่ายไฟฟ้าที่ 1 ประกอบด้วยอำเภอปายและอำเภอปางมะผ้าซึ่งสามารถรับไฟฟ้าได้จากทางสถานีไฟฟ้าแม่แตง (กฟผ.) ผ่านทางระบบจำหน่าย (กฟภ.) ที่ระดับแรงดันพิกัด 115 กิโลโวลต์เป็นเส้นทางหลัก และ 22 กิโลโวลต์ เป็นเส้นทางสำรอง

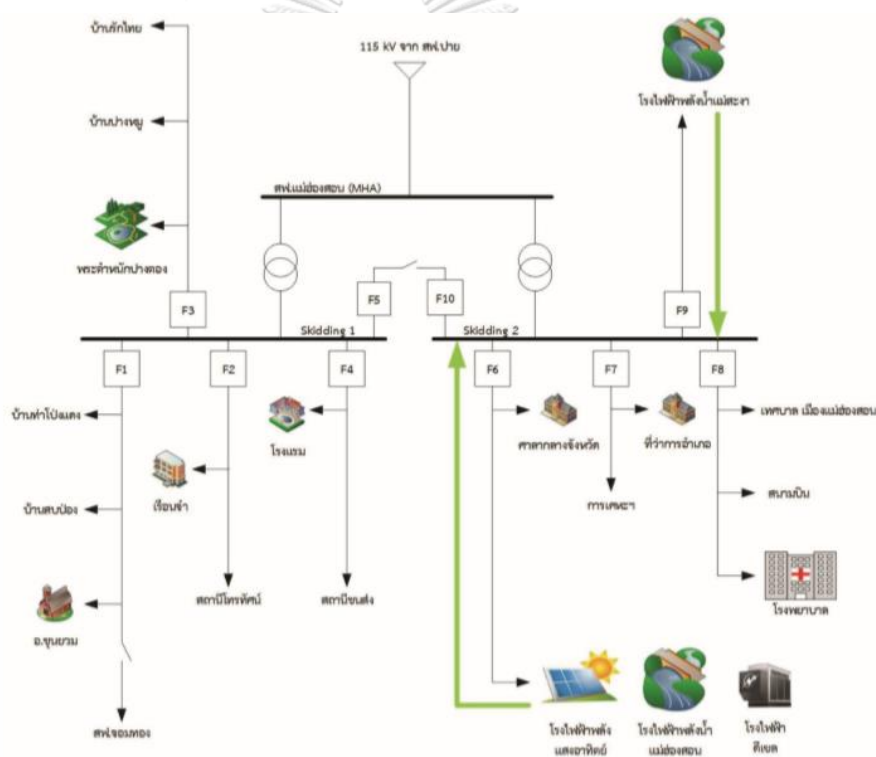
2. พื้นที่จ่ายไฟฟ้าที่ 2 ประกอบด้วยอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนและอำเภอเมืองขุนยวม ซึ่งสามารถรับไฟฟ้าได้สองเส้นทาง โดยเส้นทางแรกสามารถรับไฟฟ้าจากทางสถานีปายที่ระดับแรงดัน

พิกัด 115 กิโลโวลต์ เส้นทางที่สองสามารถรับไฟฟ้าจากทางสถานีจอมทองที่แรงดันพิกัด 22 กิโลโวลต์ ผ่านทางอำเภอขุนยวม

3. พื้นที่จ่ายไฟฟ้าที่ 3 ประกอบด้วยอำเภอเมืองแม่สะเรียง อำเภอสบเมย และอำเภอแม่ลาน้อย ซึ่งสามารถรับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าแรงสูงจอมทอง (กพผ.) ผ่านทางสถานีไฟฟ้าฮอด (กพภ.) ที่ระดับแรงดันพิกัด 22 กิโลโวลต์ผ่านทางจังหวัดตากได้

โดยในงานวิจัยเป็นการศึกษาการจัดการสรรพลังงานในไมโครกริดเมืองแม่ฮ่องสอน ดังนั้นจะศึกษาในพื้นที่จ่ายไฟฟ้าที่ 2 เป็นหลัก โดยเป็นพื้นที่ซึ่งเกิดปัญหาไฟฟ้าย่อยครั้งแต่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพียงพอในการพึ่งพาตนเอง

2.2.2 ข้อมูลโครงสร้างทางระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน



รูปที่ 6 Single line diagram ของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

ระบบไฟฟ้าอำเภอแม่ฮ่องสอนมีศูนย์กลางการจ่ายไฟฟ้าหลักอยู่ที่สถานีไฟฟ้าย่อยเมืองแม่ฮ่องสอนซึ่งรับไฟฟ้าที่พิกัดแรงดัน 115 กิโลโวลต์ จากสถานีไฟฟ้าอำเภอปายเป็นหลัก และภายในสถานีไฟฟ้าแม่ฮ่องสอนจะประกอบด้วย หม้อแปลงขนาด 25 เมกะโวลต์แอมป์ 115/22 กิโลโวลต์ จำนวน 2 ลูก เพื่อแปลงแรงดันสำหรับจ่ายเข้าสู่ตู้ชุดวงจร 2 ชุดวงจร โดยชุดวงจรที่หนึ่งจะ

ประกอบด้วยสายป้อนที่ 1 ถึง 5 สำหรับจ่ายไฟฟ้าบริเวณรอบนอกเมือง และชุดวงจรที่สองจะประกอบด้วยสายป้อนที่ 6 ถึง 10 สำหรับจ่ายไฟฟ้าบริเวณภายในเมือง โดยแต่ละสายป้อนมีองค์ประกอบดังนี้

สายป้อนที่ 1 ประกอบด้วยโหนดตามเส้นทาง บ้านท่าโป่งแดง บ้านสบป่อง และอำเภอขุนยวม ไปจนถึงเขตอำเภอขุนยวม ซึ่งสามารถใช้เป็นเส้นทางรับไฟฟ้าสำรองผ่านทางสถานีไฟฟ้าแรงสูงจอมทองที่แรงดันพิกัด 22 กิโลโวลต์ได้

สายป้อนที่ 2 จ่ายโหนดตามเส้นทางเรือนจำและสถานีโทรทัศน์ ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 1 เมกะวัตต์

สายป้อนที่ 3 จ่ายโหนดทางทิศเหนือซึ่งประกอบด้วยพระตำหนักปางตอง บ้านปางหมู บ้านรักไทย และสามารถใช้เป็นเส้นทางจ่ายไฟฟ้าสำรองโดยรับไฟฟ้าจากสถานีไฟฟ้าอำเภอปายที่ระดับแรงดันพิกัด 22 กิโลโวลต์ และเป็นวงจรสำหรับซื้อไฟฟ้าจากแหล่งผลิตเขื่อนแม่สะงา

สายป้อนที่ 4 จ่ายโหนดตามเส้นทาง วัดพระธาตุดอยกองมู จนถึงสถานีขนส่งผู้โดยสารซึ่งมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 1 เมกะวัตต์

สายป้อนที่ 5 ใช้ในการเชื่อมต่อกับ สายป้อนที่ 10 สำหรับถ่ายโอนโหนดระหว่างชุดวงจรที่ 1 และ 2 เพื่อเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

สายป้อนที่ 6 จ่ายโหนดให้แก่ศาลากลางจังหวัดและส่วนราชการ และมีแหล่งผลิตไฟฟ้า ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง,พพ.) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง (กฟผ.) โรงไฟฟ้าดีเซลแม่ฮ่องสอน (กฟผ.)

สายป้อนที่ 7 จ่ายโหนดในตัวเมืองย่านธุรกิจ ที่ว่าการอำเภอ การเคหะ

สายป้อนที่ 8 จ่ายโหนดให้แก่สถานที่สำคัญ ได้แก่ เทศบาลเมืองแม่ฮ่องสอน สนามบิน และโรงพยาบาลประจำจังหวัด

สายป้อนที่ 9 ใช้เป็นวงจรสำรองสำหรับซื้อไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไฟฟ้าเขื่อนแม่สะงาในกรณีที่ไม่มีไฟฟ้าผ่านสายป้อนที่ 3

2.2.3 ข้อมูลองค์ประกอบของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

ข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้า

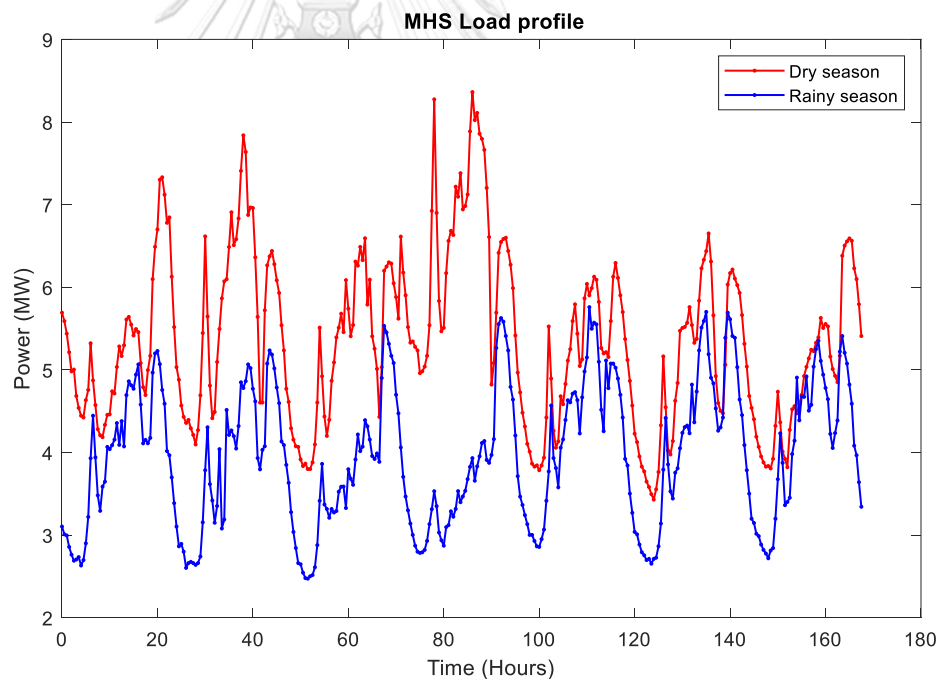
ในงานวิจัยนี้จะศึกษาจัดสรรพลังงานในระบบที่เกี่ยวข้องกับพลังงานน้ำ ดังนั้นข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูจึงมีความสำคัญต่อการศึกษา โดยมีข้อมูลความต้องการกำลังไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2557 ได้บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าผ่านแต่ละสายป้อนและสายส่งอินคัมมิ่งทั้งสองเส้น

DD/MM/YEAR Time	INC_01		Feeder 1		Feeder 2		Feeder 3		Feeder 4		Feeder 5		INC_02		Feeder 6		Feeder 7		Feeder 8		Feeder 9		Feeder 10	
	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q
01/01/2014 00:00:00	3.647	-0.732	0.000	0.000	-0.341	-0.080	-1.784	1.370	0.000	0.000	-1.508	-0.558	0.131	-0.254	-0.457	-0.015	-0.609	-0.123	-0.587	-0.181	0.000	0.000	1.523	0.558
01/01/2014 00:30:00	3.495	-0.703	0.000	0.000	-0.297	-0.058	-1.755	1.247	0.000	0.000	-1.414	-0.486	0.181	-0.218	-0.413	0.007	-0.609	-0.087	-0.551	-0.160	0.000	0.000	1.421	0.500
01/01/2014 01:00:00	3.495	-0.689	0.000	0.000	-0.297	-0.058	-1.791	1.240	0.000	0.000	-1.392	-0.464	0.181	-0.239	-0.428	0.007	-0.609	-0.087	-0.529	-0.138	0.000	0.000	1.385	0.479
01/01/2014 01:30:00	3.495	-0.841	0.000	0.000	-0.254	-0.015	-2.030	1.356	0.000	0.000	-1.196	-0.486	0.225	-0.326	-0.406	0.007	-0.508	-0.051	-0.486	-0.138	0.000	0.000	1.182	0.471
01/01/2014 02:00:00	3.495	-0.921	0.000	0.000	-0.254	-0.015	-2.088	1.443	0.000	0.000	-1.131	-0.493	0.247	-0.370	-0.370	0.029	-0.529	-0.044	-0.486	-0.116	0.000	0.000	1.138	0.500

รูปที่ 7 รูปแบบการบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

ซึ่งสามารถนำมาคำนวณโหลดโดยการรวมความต้องการไฟฟ้าในสายป้อนที่มีโหลดได้แก่ 1, 2, 4, 6, 7 และ 8 และข้อมูลการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเขื่อนแม่สะงาผ่านสายป้อนที่ 3 และ 9 เนื่องจากแม่สะงาสามารถจ่ายได้ทั้งสองสายป้อน ข้อมูลจึงถูกบันทึกเปลี่ยนไปมาอยู่ระหว่างสายป้อนที่ 3 และ 9

ข้อมูลโหลดที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปของโหลดสุทธิ (Net load) เพราะข้อมูลในสายป้อนที่ 6 มีกำลังผลิตจากแหล่งผลิตเขื่อนแม่ฮ่องสอนคิดรวมอยู่ด้วยแต่ไม่มีข้อมูลที่วัดแยกจากโรงไฟฟ้าบันทึกไว้ โดยโหลดสุทธิในฤดูฝนและฤดูแล้งที่ใช้จำลองในงานวิจัยนี้มีโปรไฟล์ดัง รูปที่ 8



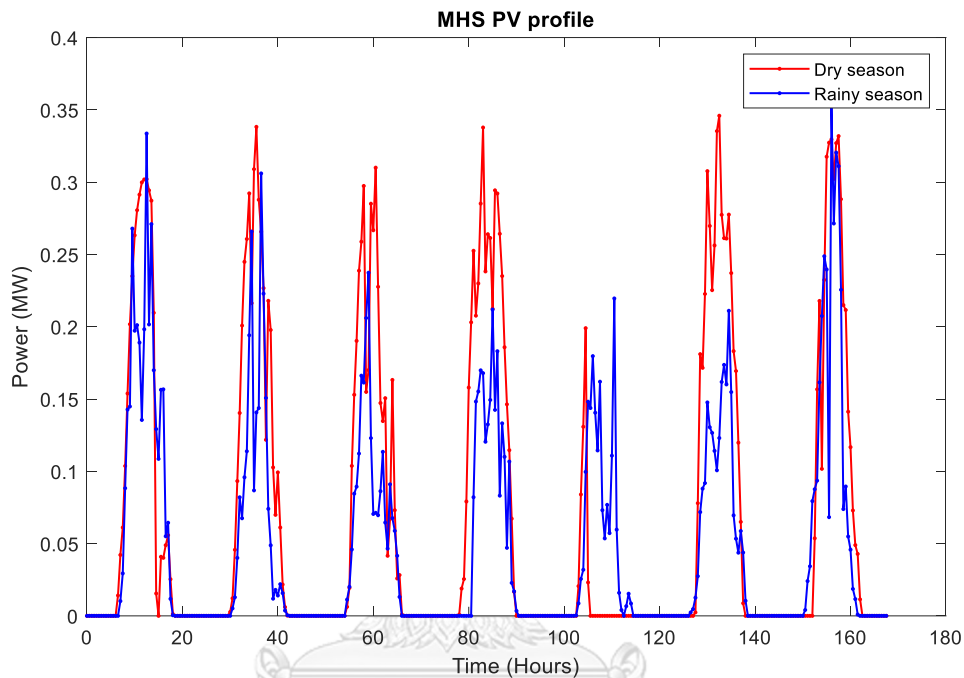
รูปที่ 8 ความต้องการใช้ไฟฟ้าในแม่ฮ่องสอน

ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลมีกำลังการผลิตติดตั้งอยู่ที่ 500 กิโลวัตต์ และมีแผนที่จะขยายเป็น 3,500 กิโลวัตต์ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2557 เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีอยู่ในปี พ.ศ. 2557

และทำการเปลี่ยนข้อมูลให้เป็นราย 30 นาที ด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยพร้อมทั้งคัดเลือกเฉพาะ 7 วันที่มีการบันทึกข้อมูลสมบูรณ์มาศึกษา โดยตัดวันที่ไม่มีการบันทึกค่ากำลังผลิตจากแสงอาทิตย์ออกไป

ตัวอย่างข้อมูลโปรไฟล์หนึ่งวันของกำลังจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง เดือน พฤษภาคม จากเวลา 0.00 น. ถึง 23.30 น.



รูปที่ 9 ข้อมูลกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลเขื่อนแม่ฮ่องสอน (ผาบ่อง)

เขื่อนแม่ฮ่องสอนมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งยูนิตที่กำลังการผลิตติดตั้งขนาด 850 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 5 นาที โดยเป็นการเดินตามปริมาณน้ำล้นเนื่องจากเขื่อนประเภทที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำซึ่งโดยทั่วไปสามารถที่จะเดินเครื่องได้ตลอดทั้งวันซึ่งเหมาะแก่การจ่ายโหลดฐานโดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล อย่างไรก็ตามข้อมูลกำลังการผลิตดังกล่าวไม่มีการบันทึกแยกไว้ แต่ได้รวมอยู่ในโหลดโปรไฟล์สุทธิเรียบร้อยแล้ว

ข้อมูลเขื่อนแม่สะงา

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเขื่อนแม่สะงามีทั้งหมด 4 ยูนิต โดย ยูนิตที่ 1 และ 2 มีกำลังการผลิตติดตั้งอยู่ที่ 2,550 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 5 นาที และยูนิตที่ 3 และ 4 มีกำลังการผลิตติดตั้งอยู่ที่ 2,650 กิโลวัตต์ ใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 10 นาที โดยมีอ่างเก็บน้ำที่ความจุ 780,000 ลูกบาศก์เมตร ที่ระดับความสูง

488.5 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล โดยสามารถกักเก็บน้ำสำหรับใช้ในการจ่ายไฟฟ้าได้อยู่ ในช่วงที่ความสูง 484.3 ถึง 488.5 เมตร หรือมีความจุอยู่ที่ 290,000 ลูกบาศก์เมตร ซึ่ง เทียบได้เป็น 132 เมกะวัตต์ชั่วโมง (31.4 เมกะวัตต์ชั่วโมงต่อเมตร) ซึ่งเป็นความสูงของหัวน้ำ (Water head) ขั้นต่ำสำหรับผลิตไฟฟ้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละเดือน [21]

เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้รายเดือน (เมกะวัตต์ชั่วโมง)	
	พลังน้ำแม่สะกา	พลังน้ำแม่ฮ่องสอน
มกราคม	1699	357
กุมภาพันธ์	1202	228
มีนาคม	1702	187
เมษายน	928	139
พฤษภาคม	1067	216
มิถุนายน	1581	292
กรกฎาคม	2061	336
สิงหาคม	2580	340
กันยายน	2863	378
ตุลาคม	3001	406
พฤศจิกายน	2544	415
ธันวาคม	2111	389

โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังน้ำเฉลี่ยโดยอ้างอิงจากข้อมูลใน พ.ศ.2553-2557 เป็นไปตาม ตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับฤดูกาล คือผลิตไฟฟ้าได้มากในช่วงฤดูฝน และน้อยในช่วงฤดูร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำมาศึกษาจำลองเป็นข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าในฤดูแล้ง (น้ำน้อย) และฤดูฝน (น้ำมาก) โดยในฤดูแล้งจากแทนด้วยปริมาณน้ำ 928 เมกะวัตต์ ชั่วโมง ซึ่งเป็นพลังงานน้ำต่ำสุดจากข้อมูลเดือนเมษายน โดยเทียบเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ยที่ 646 กิโลวัตต์ ต่อ 30 นาที และในฤดูฝนที่ปริมาณน้ำไหลเข้า 3,001 เมกะวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นพลังงานน้ำสูงสุดจากข้อมูลเดือนตุลาคม โดยเทียบเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ยที่ 2,083 กิโลวัตต์ ต่อ 30 นาที

ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

ระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ในแม่ฮ่องสอน มีวัตถุประสงค์หลักในการช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าด้วยการทำหน้าที่ชดเชยการรับกำลังไฟฟ้าจากสายส่ง 115 กิโลโวลต์ กรณีที่เกิดความผิดปกติที่สายส่ง โดยแบตเตอรี่มีความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 4 เมกะวัตต์ และความสามารถในการกักเก็บพลังงานอย่างน้อย 1 เมกะวัตต์ชั่วโมง เพื่อใช้ในการเลี้ยงโหลดที่สำคัญในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเป็นระยะเวลาประมาณ 15 นาที (โดยอ้างอิงตามแนวคิดของโครงการ) โดยแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นชนิด ลิเทียมไอออน (Li-ion) ซึ่งมีความลึกในการคายประจุได้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพอยู่ที่ 85-90 เปอร์เซ็นต์

โดยในการศึกษานี้ต้องการให้แบตเตอรี่สามารถจ่ายโหลดสำคัญหรือชดเชยสายส่งได้เป็นระยะเวลา 15 นาที ดังนั้นพลังงานสำรองขั้นต่ำจะอยู่ที่ 1 เมกะวัตต์ชั่วโมง แต่เพื่อให้เกิดการศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่เพื่อตอบวัตถุประสงค์ในด้านอื่น ๆ ได้ งานวิจัยนี้จึงจะพิจารณาที่ความจุแบตเตอรี่ที่ 2 เมกะวัตต์ชั่วโมงเป็นหลัก เพราะหากศึกษาที่ความจุ 1 เมกะวัตต์ชั่วโมง แบตเตอรี่จะไม่มีถูกใช้งานและสำรองพลังงานที่เต็มพิกัดตลอดเวลา

ดีเซลล์ผาบ่อง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ผาบ่องมีทั้งหมด 5 ยูนิต ประกอบด้วยกำลังผลิตติดตั้งขนาด 1 เมกะวัตต์ จำนวน 2 ยูนิต และกำลังผลิตติดตั้งขนาด 800 กิโลวัตต์ จำนวน 3 ยูนิต รวมมีกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด 4.4 เมกะวัตต์ แต่ละยูนิตใช้เวลาในการเริ่มเดินเครื่องประมาณ 5 นาที

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ผาบ่องเป็นกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง จึงนำมาพิจารณาในกรณีที่เกิดความขัดข้องในระบบไฟฟ้าและเข้าสู่ภาวะแยกโดดเท่านั้น เพื่อให้ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ในด้านต้นทุนการผลิตและความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นการศึกษาจ่ายไฟฟ้าในระบบร่วมกับเขื่อนแม่สะงาให้มีระยะเวลาการแยกโดดได้ตามเป้าหมาย

อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าในเมืองแม่ฮ่องสอนทั้งหมดจะเป็นไปตามตารางที่ 2 ซึ่งมีกำลังการผลิตหลักมาจากเขื่อนแม่สะงาและเป็นแหล่งกำเนิดที่สามารถควบคุมการผลิตได้

ตารางที่ 2 ข้อมูลแหล่งผลิตไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน [21]

โรงไฟฟ้า	กำลังผลิตติดตั้ง		หน่วยงาน
	จำนวน (ยูนิต)	ขนาด (กิโลวัตต์)	
พลังน้ำแม่สะงา	2	2,520	พพ.
	2	2,650	
พลังน้ำแม่ฮ่องสอน	1	850	พพ.
พลังงานแสงอาทิตย์	-	500	กฟผ.
ดีเซลผาบ่อง	3	800	กฟผ.
	2	1,000	

2.2.4 ความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า

โดยเดิมความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในเมืองแม่ฮ่องสอนมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับส่วนอื่นของประเทศไทย โดยจากข้อมูลปี พ.ศ. 2556 มีค่าดัชนีค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งที่ไฟฟ้าดับ หรือ SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) อยู่ที่ 20.38 ครั้ง/ปี/ผู้ใช้ไฟฟ้า และค่าดัชนีเฉลี่ยของระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับ หรือ SAIDI (System Average Interruption Duration Index) อยู่ที่ 1135.63 นาที/ปี/ผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานการให้บริการของระบบจำหน่ายไฟฟ้าประเทศไทย [22] ซึ่งกำหนดให้ค่า SAIFI อยู่ที่ไม่เกิน 7.89 ครั้ง/ปี/ผู้ใช้ไฟฟ้า และค่า SAIDI ไม่เกิน 292.14 นาที/ปี/ผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าและพลังงานอย่างเหมาะสมที่จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนได้

ตารางที่ 3 ตารางข้อมูลค่า SAIFI SAIDI ในอดีต [21]

ปี	SAIFI	SAIDI	ปี	SAIFI	SAIDI
2550	134.31	2237.48	2554	47.13	1143.85
2551	117.47	1583.82	2555	8.53	349.89
2552	89.44	1342.31	2556	20.38	1135.63
2553	72.79	851.02	2557	26.58	ไม่มีข้อมูล

2.2.5 แนวคิดภาวะเฝ้าระวังและการตอบสนองด้านโหลด

แนวคิดโครงการจัดสรรพลังงานในแม่ฮ่องสอน [21] จะพิจารณาความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าในการปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าผ่านการตระหนักรู้ เพื่อประโยชน์ต่อระบบไฟฟ้าและผู้ไฟฟ้าในพื้นที่เอง โดยการแจ้งเตือนผ่านป้ายอัจฉริยะ (Smart billboard) และ อุปกรณ์แบบพกพา (Mobile application) ซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้ ข้อมูลอัตราส่วนการพึ่งพาพลังงานหมุนเวียน ระยะเวลาในการสำรองกำลังไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จำนวนครั้งที่เกิดไฟฟ้าดับ จำนวนครั้งที่แยกโหนดสำเร็จและล้มเหลว ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าดับ กำลังผลิตสำรอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมาจะเป็นส่วนหนึ่งของผลลัพธ์จากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

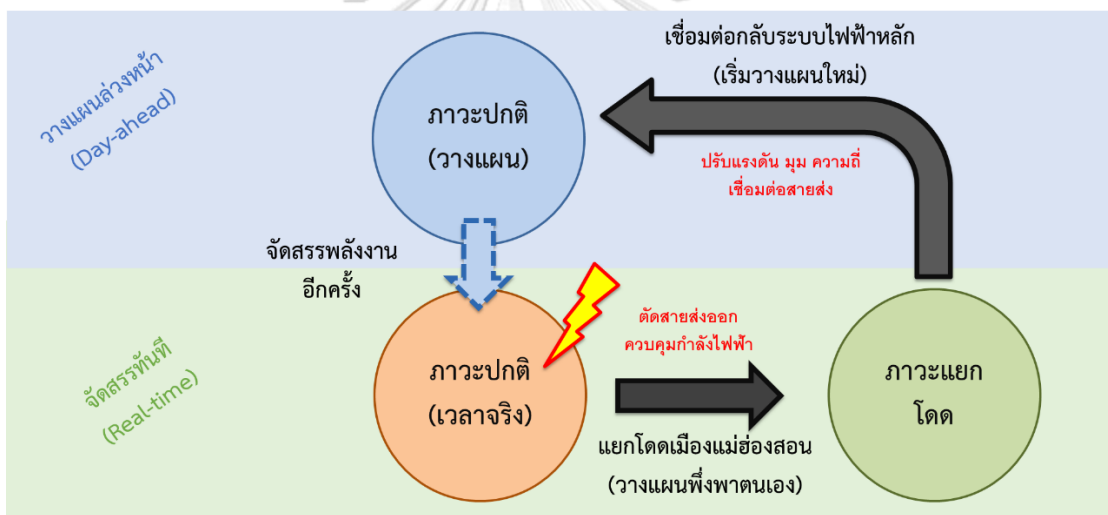
โดยในงานวิจัยนี้เองก็มีแนวคิดที่จะใช้องค์ประกอบเหล่านี้ให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อขอความร่วมมือในการลดทอนโหลดผ่าน Smart billboard และ Mobile application โดยแสดงถึงช่วงเวลาที่ขอความร่วมมือในการลดทอนโหลดและปริมาณที่ขอความร่วมมือเพิ่มเติม ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการแก้ปัญหา และจะแสดงถึงจำนวนครั้งที่เปลี่ยนผ่านได้อันเนื่องมาจากการจัดสรรพลังงานและอันเนื่องมาจากความร่วมมือของผู้ใช้ไฟฟ้า รวมถึงแสดงถึงระดับพลังงานที่ได้มาจากความร่วมมือในการลดทอนโหลด เพื่อให้เกิดความตระหนักรู้ที่มากยิ่งขึ้น

บทที่ 3

แนวคิดการจัดการพลังงานในชุมชนสำหรับอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

ในบทที่ 3 จะนำเสนอแนวคิดการจัดการพลังงานในไมโครกริดอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนทั้งสอง ภาวะการทำงาน คือ การเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลัก และภาวะแยกโดด โดยหาคำตอบผ่านการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อให้มีการจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสม โดยเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุนการผลิต คำนึงถึงความน่าเชื่อถือได้ของการแยกโดด และมีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

3.1 ภาพรวมการจัดการพลังงาน

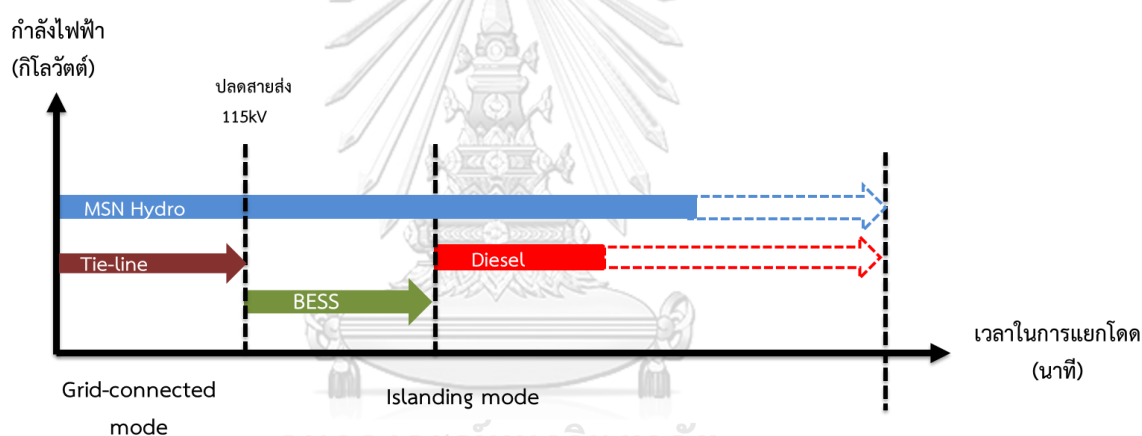


รูปที่ 10 ภาพรวมภาวะการจัดการพลังงาน

โดยการจัดการพลังงานในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 ภาวะหลัก [17] ภาวะแรก คือ ภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักที่จะมุ่งเน้นการจัดการพลังงานสำรองและกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ระบบสามารถเปลี่ยนผ่านไปสู่ภาวะแยกโดดได้เมื่อสายส่งถูกปลดออกไป โดยในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักจะแบ่งย่อยเป็นสองส่วน โดยส่วนแรก คือ การวางแผนล่วงหน้าหนึ่งวันโดยใช้ข้อมูลการพยากรณ์ล่วงหน้าเป็นข้อมูลป้อนเข้าเพื่อวางแผนจัดสรรพลังงานน้ำให้เหมาะสมตลอดทั้งวัน และส่วนที่สอง คือ การวางแผนแบบทันทีโดยจะใช้ข้อมูลจริงหรือข้อมูลการพยากรณ์ระยะสั้นที่มีความแม่นยำสูงกว่าเพื่อใช้ในการวางแผนอีกครั้งในทุกช่วงเวลาราย 30 นาที เพื่อรองรับความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ล่วงหน้าหนึ่งวันที่มี

ความแม่นยำน้อย รวมถึงพิจารณาการตัดสินใจในการแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อขอความร่วมมือในการตอบสนองด้านโหลดอย่างเหมาะสมในกรณีที่มีระบบมีความเสี่ยง เพื่อสอดคล้องกับภาวะไฟฟ้าระว่างตามแผนของโครงการไมโครกริดแม่ฮ่องสอนที่ได้วางไว้

และภาวะที่สอง คือ ภาวะแยกโดดซึ่งระบบแม่ฮ่องสอนจะพึ่งพาพลังงานหมุนเวียนในพื้นที่เป็นหลัก ดังนั้นจึงมีการพิจารณาถึงการสำรองกำลังไฟฟ้านี้เนื่องด้วยไม่มีการพึ่งพากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักมาชดเชยความไม่แน่นอนของแหล่งพลังงานหมุนเวียนและความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ โดยแนวคิดของการวางแผนในภาวะนี้ คือ การจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสมเพื่อให้ระบบสามารถแยกโดดได้เป็นระยะเวลาตามที่ผู้ควบคุมระบบต้องการ และพิจารณาถึงเงื่อนไขในการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยระบบจะสามารถเปลี่ยนกลับไปสู่ภาวะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักได้โดยการเชื่อมต่อสายส่งเมื่อมีมุมของแรงดันและความถี่ที่เหมาะสม



รูปที่ 11 ภาพรวมการจัดสรรพลังงานในแม่ฮ่องสอน

การที่ระบบไฟฟ้านั้นจะมีดัชนีของจำนวนครั้งและระยะเวลาที่ไฟฟ้าดับที่ลดลงได้นั้น ระบบไฟฟ้าอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนจะต้องมีความสามารถในการพึ่งพาตนเองได้ โดยสามารถเปลี่ยนผ่านแบบไม่ได้วางแผนล่วงหน้าไปสู่ภาวะแยกโดดได้เสมอเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับเหตุขัดข้องทางไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นได้ทุกเมื่อ โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเงื่อนไขในการจัดสรรพลังงานเพื่อการพึ่งพาตนเอง 3 ประการดังนี้

1. เงื่อนไขด้านกำลังไฟฟ้าสำหรับการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงานอย่างราบรื่น

ระบบเมืองแม่ฮ่องสอนต้องมีกำลังไฟฟ้าสำรองเพียงพอต่อการชดเชยกำลังไฟฟ้าที่พึ่งพาจากระบบไฟฟ้าหลักเพื่อให้สามารถเปลี่ยนภาวะการทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาความไม่สมดุลระหว่าง

โหลดและกำลังการผลิตเมื่อสายส่งถูกปลดออกไป ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดปัญหาเสถียรภาพทางความถี่ และการปลดโรงไฟฟ้าออก ทำให้เกิดไฟฟ้าดับและจำเป็นต้องเริ่มกู้ระบบไฟฟ้าใหม่

2. เงื่อนไขด้านพลังงานสำหรับการแยกโดด

เมื่อแม่ฮ่องสอนเปลี่ยนสามารถผ่านเข้าสู่ภาวะแยกโดดได้แล้ว การที่ไม่โครกริดจะสามารถเลี้ยงตัวเองได้เป็นระยะเวลาสั้นเพียงพอรหว่างรอการแก้ไขความผิดปกติในสายส่งหรือระบบไฟฟ้าหลักนั้น ระบบต้องมีการวางแผนการจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสมโดยสำรองพลังงานไว้ใช้ในระหว่างการแยกโดด

3. เงื่อนไขด้านกำลังไฟฟ้าสำหรับจ่ายโหลดในภาวะแยกโดด

นอกจากต้องพิจารณาการสำรองในด้านพลังงานไฟฟ้าแล้ว ระบบจำเป็นต้องมีกำลังผลิตสำรอง (Power reserve) ที่เพียงพอต่อการจ่ายโหลดอย่างสมดุลเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาไฟฟ้าดับ ในขณะที่แยกโดดภายหลัง เนื่องด้วยไม่มีกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักคอยชดเชยส่วนต่างระหว่างโหลดและกำลังการผลิต

ซึ่งสามารถสรุปได้เป็นตารางสมรรถนะของไมโครกริดภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4 โดยเงื่อนไขในการเปลี่ยนผ่านเปลี่ยนผ่านและเงื่อนไขด้านพลังงานจะเป็นส่วนข้อกำหนดที่ถูกรักษาภายใต้การจัดการจัดสรรพลังงานในภาวะเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลัก และเงื่อนไขด้านกำลังไฟฟ้าจะถูกรักษาภายใต้การจัดการจัดสรรพลังงานในภาวะแยกโดด

ตารางที่ 4 ตารางแสดงสมรรถนะของไมโครกริด

สมรรถนะของไมโครกริด	เงื่อนไขการเปลี่ยนผ่าน	เงื่อนไขด้านพลังงาน	เงื่อนไขด้านกำลังไฟฟ้า
สามารถเลี้ยงตัวเองได้	แบตเตอรี่ชาร์จคายส่งได้	พลังงานสะสมมาก	กำลังการผลิตเพียงพอ
ไฟดับชั่วคราว (Black start)	แบตเตอรี่ไม่สามารถชาร์จคายส่งได้	พลังงานสะสมมาก	กำลังการผลิตเพียงพอ
ไฟดับ (Black out)	-	พลังงานสะสมน้อย	กำลังการผลิตเพียงพอ
ไฟดับ (Black out)	-	-	กำลังการผลิตไม่พอ

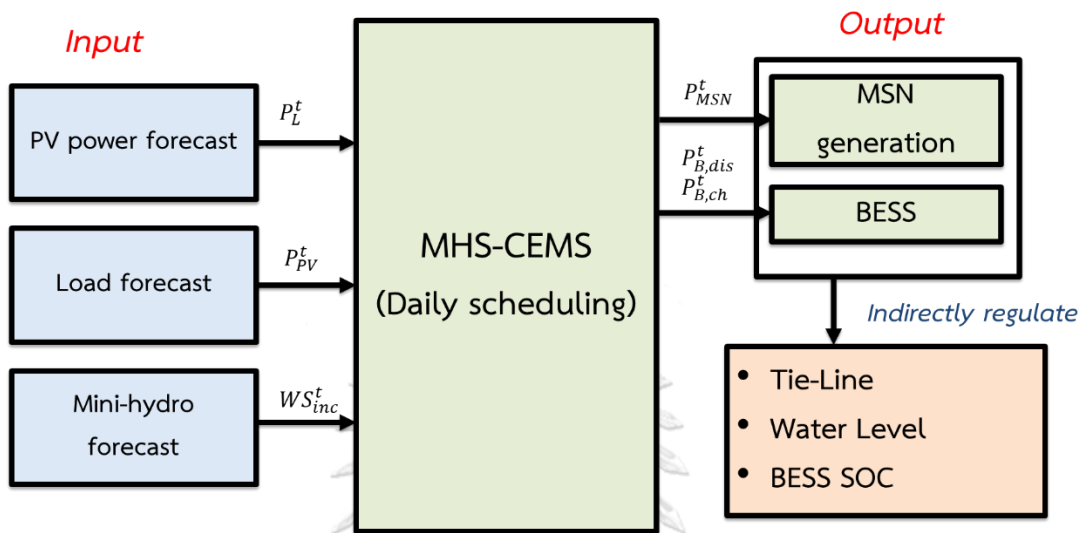
3.2 การกำหนดปัญหาในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักแบบวางแผน

โดยวัตถุประสงค์ในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักจะมี ดังนี้

- 1.) วัตถุประสงค์ในเชิงราคาค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นผลรวมค่าใช้จ่ายในผลิตไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาการวางแผนในหน่วยบาท
- 2.) วัตถุประสงค์ในเชิงสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการผลรวมปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดในช่วงเวลาการวางแผนในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์

โดยจะศึกษาอ้างอิงจากข้อมูลการส่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเดิมในปี พ.ศ. 2557 ทั้งในช่วงที่เป็นฤดูฝนหรือช่วงที่มีน้ำมากและช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่มีน้ำน้อย เพื่อศึกษาถึงแนวทางการจัดสรรพลังงานน้ำในภาวะการทำงานที่หลากหลายนี้ โดยการวางแผนการจัดสรรพลังงานจะเป็นการแก้ปัญหาด้วยการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) เพื่อส่งสัญญาณไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ โดยประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงาและระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ที่มีความสัมพันธ์กับการพึ่งพาสายส่งและพิจารณาถึงพลังงานสำรองของเขื่อนแม่สะงาและแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นสิ่งที่กระทบต่อความน่าเชื่อถือได้ของระบบไมโครกริดแม่ฮ่องสอน ซึ่งในงานวิจัยนี้การวางแผนจะอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ระบบมีข้อมูลการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังผลิตจากพลังงาน

หมุนเวียนที่ไม่สามารถควบคุมได้แล้ว ประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และ โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่ฮ่องสอนซึ่งไม่มีอ่างสำหรับกักเก็บน้ำ รวมถึงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่สะงา โดยมีภาพรวมการทำงานดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ภาพรวมการจัดสรรพลังงานในภาวะเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลัก

ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการกำหนดจุดทำงานล่วงหน้าเป็นระยะเวลาหนึ่งวันที่ความละเอียด 30 นาที (ตามความละเอียดของการพยากรณ์) โดยจะไม่ศึกษาถึงผลลัพธ์เชิงพลวัตต์

โดยเป้าหมายคือผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยลดจำนวนครั้งที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นที่สายส่งจากระบบไฟฟ้าหลัก โดยระบบจะสามารถเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ภาวะแยกโดดเพื่อการพึ่งพาตนเองได้อย่างราบรื่นโดยไม่กระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งในส่วนของบ้านเรือนประชาชนทั่วไป หรือสถานที่ซึ่งมีความสำคัญ เช่น สนามบิน โรงพยาบาล หรือ สถานที่ราชการสำคัญอื่น ๆ และโดยผลลัพธ์ที่ได้จะยังคงอยู่ภายใต้วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำสุด เพื่อให้แม่ฮ่องสอนไม่โครกริตเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและค่าใช้จ่ายในผลิตไฟฟ้าต่ำสุดเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการไฟฟ้าและผู้ประกอบการ

3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา

เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาในที่นี้เลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-integer linear programming) ในการแก้ปัญหา เนื่องด้วยมีข้อดีในการง่ายต่อการศึกษา ใช้เวลารวดเร็ว และมีความเหมาะสมกับโจทย์และข้อจำกัดซึ่งต้องการแก้ไขซึ่งเป็นสมการเชิงเส้นที่ไม่มีความ

ซับซ้อน และมีองค์ประกอบซึ่งเป็นจำนวนเต็ม โดยในหัวข้อนี้จะอธิบายการสร้างแบบจำลอง องค์ประกอบต่าง ๆ ในอำเภอแม่ฮ่องสอนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมได้ โดยมีรูปแบบของสมการเชิงเส้นมาตรฐานดังนี้

$$\text{maximize} \quad c^T x \quad (3.1)$$

$$\text{Subject to} \quad A_{eq}x = b_{eq} \quad (3.2)$$

$$Ax \leq b \quad (3.3)$$

$$x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (3.4)$$

$$x \in \mathbb{Z}^n \quad (3.5)$$

ประกอบด้วย สมการวัตถุประสงค์ (Objective function) ในสมการ (3.1) ข้อจำกัดที่สามารถแบ่งได้เป็น ข้อจำกัดแบบสมการ (Equality Constraint) ในสมการ (3.2) และ ข้อจำกัดแบบอสมการ (Inequality constraint) ในสมการ (3.3) และสมการขอบเขตตัวแปร (Bound constrained) ในสมการ (3.4) โดย x คือ ตัวแปรต้นหรือตัวแปรตัดสินใจซึ่งเป็นคำตอบที่ต้องการจากการแก้ปัญหาจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่กำหนด ซึ่งโปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง การจัดสรรพลังงานในงานวิจัยนี้คือคือ โปรแกรม MATLAB R2018A

3.2.2 ตัวแปรในแบบจำลอง

ตัวแปรที่กำหนดในการแก้ปัญหานี้จะแบ่งเป็นสองชุด ประกอบด้วย ตัวแปรแบบต่อเนื่อง (Continuous variable) และ ตัวแปรแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete variable) หรือตัวแปรที่มีค่าเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น

1.) ตัวแปรต่อเนื่อง

P_{MSN}^t คือ กำลังไฟฟ้าจากเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์)

$P_{Tie,in}^t$ คือ กำลังไฟฟ้ารับเข้าจากระบบไฟฟ้าหลัก (กิโลวัตต์)

$P_{Tie,out}^t$ คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายออกสู่ระบบไฟฟ้าหลัก (กิโลวัตต์)

$P_{B,dis}^t$ คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายออกจากแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)

$P_{B,ch}^t$ คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)

WS^t คือ พลังงานน้ำที่สะสมอยู่ในเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

WS_{spill}^t คือ พลังงานน้ำที่ล้นเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

E_B^t คือ พลังงานที่สะสมอยู่ในแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

P_{risk}^t คือ กำลังไฟฟ้าส่วนเกินที่ก่อให้เกิดความสูญเสียในการเปลี่ยนผ่าน (กิโลวัตต์)

2.) ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

X_{in}^t คือ ตัวแปรสถานะแสดงสถานะของสายส่ง 115 kV

X_{dis}^t คือ ตัวแปรสถานะแสดงสถานะการทำงานของสายส่งแบตเตอรี่

X_{risk}^t คือ ตัวแปรสถานะแสดงความสูญเสียในระบบ

โดยการจัดสรรพลังงานนี้กำหนดให้ T หมายถึงช่วงระยะเวลาในการวางแผนของการแก้ปัญหา และ t หมายถึงช่วงเวลาใด ๆ ในการแก้ปัญหา ซึ่งตัวแปรที่ถูกนำไปใช้ในการจัดสรรพลังงานจะเป็นค่ากำลังไฟฟ้าขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่สามารถส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ได้ ได้แก่ P_{MSN}^t , $P_{B,dis}^t$ และ $P_{B,ch}^t$ ซึ่งค่าตอบที่ได้ในช่วงเวลา t หมายถึง คำสั่งควบคุมนั้นจะควบคุมอุปกรณ์ในช่วงเวลานาทีที่ t ถึง $t + 29$ เช่น P_{MSN}^0 จะหมายถึงจุดทำงานของเขื่อนแม่สะงา ณ นาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 29

3.2.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ ลดความสูญเสียต่อการเกิดไฟฟ้าดับขณะต้องทำการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงาน

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เชิงเศรษฐศาสตร์ คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการผลิตไฟฟ้า (Total Operating Cost: TOC) โดยสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$TOC = \sum_{t=0}^T (c_{MSN}^t P_{MSN}^t + c_{Tie,in}^t P_{Tie,in}^t - c_{Tie,out}^t P_{Tie,out}^t + c_{B,dis}^t \times P_{B,dis}^t) \quad (3.6)$$

โดย c_{MSN}^t , $c_{Tie,in}^t$, $c_{Tie,out}^t$, $c_{B,dis}^t$ คือ ราคาในการผลิตไฟฟ้าจากเขื่อนแม่สะงา ราคารับซื้อและขายไฟฟ้าจากแรงดัน 115 กิโลโวลต์ และค่าบำรุงรักษาแบตเตอรี่ ตามลำดับ ซึ่งมีหน่วยเป็นบาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และ P_{MSN}^t , $P_{Tie,in}^t$, $P_{Tie,out}^t$, $P_{B,dis}^t$ คือ กำลังไฟฟ้า ณ เวลาใด ๆ ของเขื่อนแม่สะงาและการซื้อขายไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลัก และ แบตเตอรี่ ที่เป็นคำตอบของการแก้ปัญหา มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เชิงสิ่งแวดล้อม คือ ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดจากการผลิตไฟฟ้า (Total CO₂ Emission: TCOE) โดยสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.7)

$$TCOE = \sum_{t=0}^T (e_{MSN}^t P_{MSN}^t + e_{Tie,in}^t P_{Tie,in}^t - e_{Tie,out}^t P_{Tie,out}^t + e_{BESS,dis}^t P_{BESS,dis}^t) \quad (3.7)$$

โดย e_{MSN}^t , $e_{Tie,in}^t$, $e_{Tie,out}^t$, e_{Bdis}^t คือ ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากเขื่อนแม่สะงา การพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลัก และการใช้งานแบตเตอรี่ ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi objective)

เนื่องด้วยสมการวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาด้วยการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมีได้เพียงหนึ่งสมการ เพื่อให้ตอบโจทย์หลายวัตถุประสงค์สามารถเขียนรวมกันในสมการเดียวกันได้โดยการใส่ตัวแปรค่าน้ำหนักลงไปในแต่ละวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ (3.8)

$$f = \sum_{t=0}^T (\alpha_1 \times TOC + \alpha_2 \times TCOE) \quad (3.8)$$

และในงานวิจัยนี้จะมีพิจารณาถึงความน่าเชื่อถือได้ร่วมด้วยจากสมการที่ (3.8) จึงเพิ่มวัตถุประสงค์ในการเพิ่มความน่าเชื่อถือได้เข้าไปในพจน์ที่ 3 ดังนั้นสมการฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์สุดท้ายจึงเป็น ดังสมการที่ (3.9)

$$f_{GC,DA} = \sum_{t=0}^T \left[\alpha_1 \left(\frac{TOC}{TOC_{max}} \right) + \alpha_2 \left(\frac{TCOE}{TCOE_{max}} \right) + \alpha_3 \left(\frac{\sum X_{risk}}{T_{risk,max}} \right) \right] \quad (3.9)$$

โดย X_{risk} มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งเท่านั้น โดยเมื่อมีค่าเป็นหนึ่งจะหมายถึงช่วงเวลาดังกล่าวมีการพึ่งพาสายส่งสูงเกินกำลังสำรองจากแบตเตอรี่หรือเทียบได้เป็นสถานะของระบบที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับขณะเปลี่ยนผ่านเมื่อ

TOC_{max} , $TCOE_{max}$ และ $T_{risk,max}$ คือ ค่าการใช้จ่ายสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด และช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงสูงสุด เพื่อให้แต่ละวัตถุประสงค์มีค่าอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากข้อมูลโปรไฟล์ในกรณีฐานเทียบกับอัตราค่าใช้จ่ายสูงสุด คือ การพึ่งพาสายส่ง ดังสมการสมการต่อไปนี้

$$TOC_{max} = \sum P_L^t c_{Tie,in}^t \quad (3.10)$$

$$TCOE_{max} = \sum P_L^t e_{Tie,in}^t \quad (3.11)$$

$$T_{risk,max} = \sum_{L_{pf} > 4 MW} 1 \quad (3.12)$$

โดยผลรวมของตัวแปรค่าน้ำหนักจะมีค่าเท่ากับหนึ่งและแต่ละค่าน้ำหนักมีค่าเป็นบวก ดังสมการที่ (3.13)

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1; \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 > 0 \quad (3.13)$$

ซึ่งเมื่อ α_1 มีค่าเป็นหนึ่งจะหมายถึงว่าการแก้ปัญหาจะมีวัตถุประสงค์ในเชิงต้นทุนการผลิตเท่านั้น ทำนองเดียวกันในกรณีที่ α_2 หรือ α_3 มีค่าเป็นหนึ่งแสดงว่าวัตถุประสงค์จะมุ่งเน้นที่สิ่งแวดล้อมและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าเป็นหลักตามลำดับ

3.2.4 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบและข้อจำกัด

การกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัดขององค์ประกอบต่าง ๆ โดยประกอบไปด้วย ข้อจำกัดทางกายภาพขององค์ประกอบ เช่น กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดจะผลิตได้ พลังงานสะสมสูงสุดของแหล่งกักเก็บพลังงาน และข้อจำกัดที่กำหนดเพิ่มเข้าไปเพื่อให้ได้คำตอบตามวัตถุประสงค์ เช่น ปริมาณน้ำสำรองขั้นต่ำ ปริมาณพลังงานสำรองในแบตเตอรี่ขั้นต่ำ การควบคุมการพึ่งพาสายส่ง

1. เงื่อนไขสมดุลกำลังไฟฟ้า (Power balance)

สมการความสมดุลระหว่างกำลังการผลิตและความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จำเป็นต้องเท่ากันในทุกช่วงเวลา

$$P_{MSN}^t + P_{B,dis}^t - P_{B,ch}^t + P_{Tie,in}^t - P_{Tie,out}^t = P_L^t - P_{PV}^t - P_{PB}^t \quad (3.14)$$

ในสมการที่ (3.14) ด้านซ้ายมือของสมการ คือ องค์ประกอบที่ควบคุมได้ซึ่งเป็นคำตอบที่ต้องการหารหา ซึ่งประกอบด้วย กำลังผลิตจากเขื่อนแม่สะงา กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ การพึ่งพากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลัก และด้านขวามือของสมการ คือ องค์ประกอบที่ไม่สามารถควบคุมได้จากข้อมูลการพยากรณ์ประกอบด้วย ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน กำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และกำลังผลิตจากเขื่อนแม่ฮ่องสอน โดย $P_L^t, P_{PV}^t, P_{PB}^t$ คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้า กำลังการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และกำลังการผลิตเขื่อนแม่ฮ่องสอนจากข้อมูลการพยากรณ์ ณ เวลาใด ๆ

1. แบบจำลองเขื่อนแม่สะงา (Mae Sa Nga Hydro model)

1.) แบบจำลองปริมาณน้ำ (Water balance equation)

แบบจำลองปริมาณน้ำในเขื่อนแม่สะงาในที่นี้จะพิจารณาถึงปริมาณน้ำในเขื่อน ณ เวลาใด ๆ ด้วยสมการ (3.15) โดยมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอันเนื่องมาจาก น้ำไหลเข้าเขื่อนจากแหล่งธรรมชาติ น้ำที่ถูกระบายออกผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า และน้ำล้นในกรณีที่มีปริมาณน้ำเข้ามากเกินความจุของเขื่อนโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบจำลองปริมาณน้ำในเขื่อนแม่สะงา

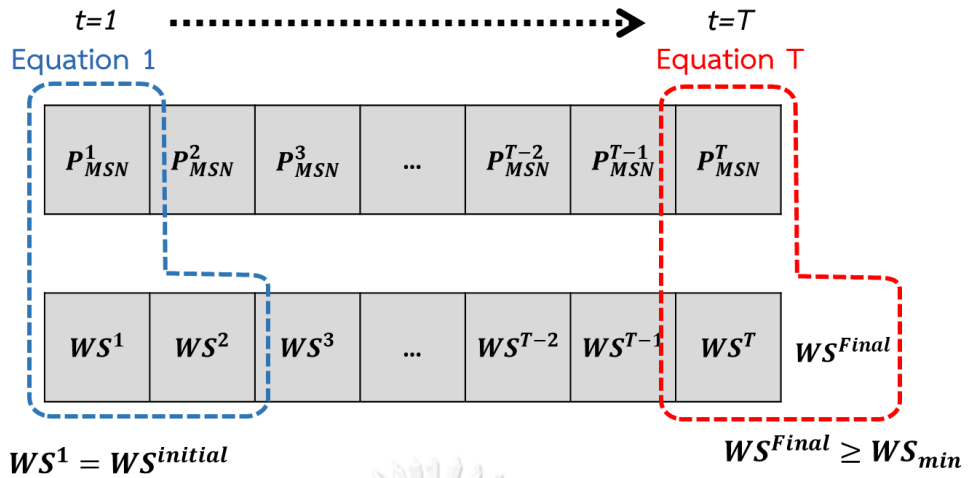
$$WS^{t+1} - WS^t + P_{MSN}^t \times \Delta T + WS_{spill}^t = WS_{incoming}^t \quad (3.15)$$

$WS_{incoming}^t$ คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาในเขื่อน (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ซึ่งเป็นข้อมูลโปรไฟล์การพยากรณ์ล่วงหน้าที่มีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล ซึ่งสมการที่ (3.15) จะมีทั้งหมด $T - 1$ สมการ เนื่องด้วยเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาซึ่งมีทั้งหมด T ช่วงเวลา โดยตัวแปร WS^t ในช่วงเวลาเริ่มต้น หรือ WS^1 จะถูกกำหนดด้วยปริมาณน้ำตั้งต้นในการวางแผน ($WS^{initial}$)

$$P_{MSN}^T \times \Delta T - WS^T + WS_{spillway}^T \leq WS_{incoming}^T - WS_{min} \quad (3.16)$$

$$WS_{min} \leq WS^t \leq WS_{max} \quad (3.17)$$

สมการที่ (3.16) คือ ปริมาณน้ำในช่วงเวลาถัดจากช่วงเวลาสุดท้ายซึ่งจะถูกกำหนดให้มีค่ามากกว่าปริมาณน้ำต่ำสุดที่สำรองไว้ เพื่อให้คำตอบที่ได้พิจารณาครอบคลุมถึงการสำรองไว้สำหรับจัดสรรพลังงานในงวดถัดไปได้ สมการที่ (3.17) คือ เงื่อนไขปริมาณน้ำสะสมในเขื่อนแม่สะงา โดย WS_{max} , WS_{min} คือ ปริมาณน้ำสูงสุดที่สะสมได้ในเขื่อนแม่สะงาอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของตัวเขื่อน และปริมาณน้ำต่ำสุดสำรองไว้ใช้ในการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองระดับน้ำ

2.) แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในภาวะนั้นจะพิจารณารวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของแม่สะงาเป็นกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งกลุ่ม

$$P_{MSN,min} \leq P_{MSN}^t \leq P_{MSN,max} \quad (3.18)$$

ในสมการ (3.18) คือ สมการแสดงข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในเขื่อนแม่สะงา โดย $P_{MSN,min}$ และ $P_{MSN,max}$ คือ กำลังผลิตขั้นต่ำและกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{MSN}^{t-1} - P_{MSN}^t \leq R_{down,limit} \quad (3.19)$$

$$P_{MSN}^t - P_{MSN}^{t-1} \leq R_{up,limit} \quad (3.20)$$

สมการที่ (3.19) และ (3.20) ข้อจำกัดด้านอัตราการเพิ่มและลดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแม่สะงา โดย $R_{down,limit}$ และ $R_{up,limit}$ คือ อัตราการลดและเพิ่มกำลังการผลิตสูงสุด

2. แบบจำลองแบตเตอรี่ (BESS model)

$$E_B^{t+1} - E_B^t - (P_{B,ch}^t \times n_{ch} \times n_{inv}) \times \Delta T + \left(\frac{P_{B,dis}^t}{n_{dis} \times n_{inv}} \right) \times \Delta T = 0 \quad (3.21)$$

$$0 \leq P_{B,dis}^t \leq X_{dis}^t \times P_{dis,limit} \quad (3.22)$$

$$0 \leq P_{B,ch}^t \leq (1 - X_{dis}^t) \times P_{ch,limit} \quad (3.23)$$

$$X_{dis}^t \in \{0,1\} \quad (3.24)$$

แบบจำลองแบตเตอรี่จะประกอบด้วยแบบจำลองพลังงานสะสมในแบตเตอรี่ ซึ่งมีการเปลี่ยน
ได้จากการชาร์จและดิสชาร์จ ดังสมการ (3.21) โดย n_{dis} , n_{ch} และ n_{inv} คือ ประสิทธิภาพในการ
ดิสชาร์จ ชาร์จ และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ และแบบจำลองสถานะการทำงานของแบตเตอรี่
เนื่องด้วยลักษณะของแบตเตอรี่ที่ไม่สามารถทำการชาร์จและดิสชาร์จในช่วงเวลาเดียวกันได้ ดัง
สมการ (3.22) และ (3.23) โดย $P_{dis,limit}$ และ $P_{ch,limit}$ คือ ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้า
สูงสุดของแบตเตอรี่ และ X_{dis}^t คือ ตัวแปรสถานะซึ่งมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เพื่อใช้กำหนดกำลังไฟฟ้า
สูงสุดของการชาร์จและดิสชาร์จ เช่น เมื่อผลลัพธ์ได้ว่าแบตเตอรี่ควรดิสชาร์จ ณ เวลานั้น ๆ X_{dis}^t จะ
มีค่าเป็นหนึ่งและกำลังไฟฟ้าในการชาร์จจะถูกจำกัดไว้อยู่ที่ศูนย์

3. แบบจำลองสถานะของสายส่ง (Tie line)

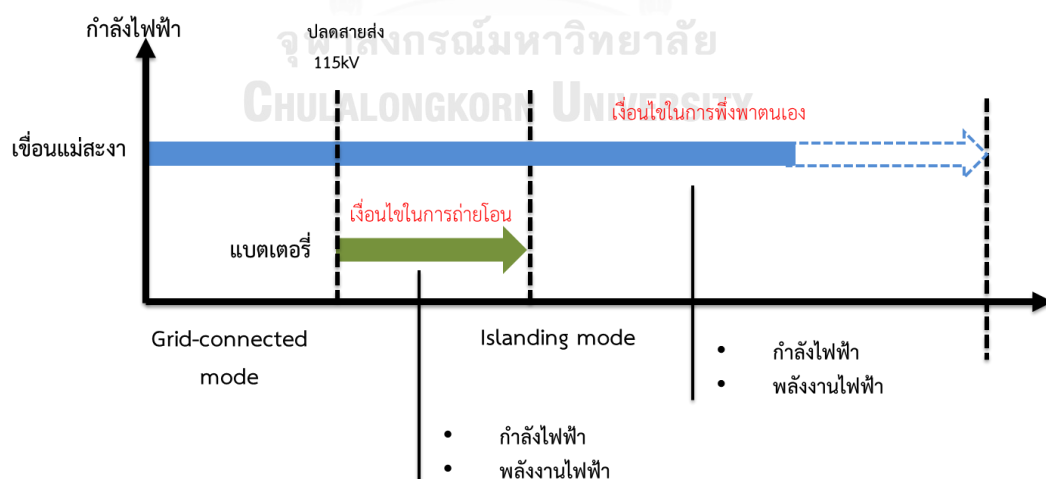
$$0 \leq P_{Tie,in}^t \leq X_{in}^t \times P_{in,limit} \quad (3.25)$$

$$0 \leq P_{Tie,out}^t \leq (1 - X_{in}^t) \times P_{out,limit} \quad (3.26)$$

$$X_{in}^t \in \{0,1\} \quad (3.27)$$

แบบจำลองโรงสายส่งจากระบบไฟฟ้าหลัก โดนมิตัวแปร X_{in}^t เป็น ตัวแปรสำหรับระบุ
สถานะในการรับหรือส่งไฟฟ้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก $P_{in,limit}$ และ $P_{out,limit}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่
สายส่งสามารถรับเข้าและส่งออกได้

4. ข้อจำกัดด้านความน่าเชื่อถือได้สำหรับเมืองแม่ฮ่องสอน (Reliability Constraint)



รูปที่ 15 เงินใช้ในการพึ่งพาตนเองในภาวะแยกโดดของอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

โดยเงื่อนไขที่สามารถจัดสรรพลังงานได้ในขณะอยู่ในสถานะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักเพื่อให้ระบบสามารถเปลี่ยนผ่านสู่ภาวะแยกโดดได้มี 2 เงื่อนไข ดังนี้

1.) เงื่อนไขด้านพลังงาน (Energy Constraint)

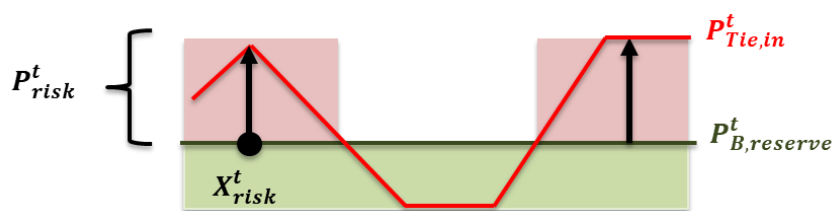
จากเงื่อนไขความน่าเชื่อถือได้ด้านพลังงานสำรองเพื่อการแยกโดด เนื่องด้วยกำลังผลิตจากโรงไฟฟ้าดีเซลล้อย่างเดียวไม่เพียงพอสำหรับจ่ายโหลดทั้งหมดในไมโครกริด โดยจากบริบทของอำเภอแม่ฮ่องสอนนั้นพลังงานสำรองหลักสำหรับใช้เลี้ยงตัวเองในภาวะแยกโดดจำเป็นต้องมาจากเขื่อนแม่สะงาซึ่งสามารถสำรองพลังงานน้ำไว้ได้มากพอ ดังนั้นจากสมการ (3.17) สามารถเขียนเพิ่มเติมในรูปของการสำรองพลังงานน้ำเพื่อการพึ่งพาตนเองได้ดังนั้น โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้สำรองพลังงานโดยอ้างอิงจากค่าเฉลี่ย

$$WS^t \geq \bar{P}_L \times \Delta T_{island} \quad (3.28)$$

โดย \bar{P}_L คือ โหลดเฉลี่ยในช่วงการวางแผน และ ΔT_{island} คือ ระยะเวลาที่คาดหวังในการเลี้ยงตัวเองเมื่อเกิดภาวะแยกโดด

2.) เงื่อนไขด้านการเปลี่ยนผ่าน (Transition constraint)

จากเงื่อนไขการเปลี่ยนผ่านที่ระบบไมโครกริดต้องพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักให้น้อยที่สุด เพื่อให้ไม่เกิดปัญหาความไม่สมดุลระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังการผลิตขณะเปลี่ยนผ่าน โดยในระบบแม่ฮ่องสอนมีแบตเตอรี่ที่สามารถตอบสนองได้อย่างรวดเร็วโดยมีหน้าที่หลักในการชดเชยสายส่งที่จะถูกปลดออกไปเมื่อเกิดปัญหาในตัวสายส่งหรือระบบไฟฟ้าหลัก



รูปที่ 16 เงื่อนไขในการเปลี่ยนผ่าน

ดังนั้นเพื่อที่จะเปลี่ยนผ่านได้ การพึ่งพากำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งจะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่แบตเตอรี่จะสามารถชดเชยได้ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$P_{B,reserve}^t \geq P_{Tie,in}^t \quad (3.29)$$

โดยเงื่อนไขที่จำเป็นต่อการเปลี่ยนผ่านจะเป็นดังสมการ (3.29) คือ กำลังไฟฟ้าสำรองในแบตเตอรี่ ($P_{B,reserve}^t$) ต้องสามารถชดเชยสายส่งที่ถูกปลดออกไปได้ทันทีทันใดในทุกช่วงเวลา หรือคือ ต้องมากกว่าการพึ่งพาสายส่ง ณ เวลานั้น ๆ แต่เนื่องกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแบตเตอรี่เป็นสิ่งที่ถูกกำหนดไว้แล้วด้วยคุณสมบัติของแบตเตอรี่ และการพึ่งพาสายส่งขึ้นอยู่กับการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเขื่อนแม่สะงา ซึ่งมีปริมาณน้ำที่สามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างจำกัด ดังนั้นสมการข้อจำกัดดังกล่าวจึงยากที่จะให้คำตอบออกมาได้ภายใต้เงื่อนไขที่เข้มงวดเช่นนี้ งานวิจัยนี้จึงเสนอการลดช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงหรือช่วงเวลาที่มียกกำลังไฟฟ้าส่วนเกินแทน ด้วยการเพิ่มตัวแปรใหม่เข้ามาที่แสดงถึงกำลังไฟฟ้าส่วนเกินและช่วงเวลาที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับในระบบขณะใด ๆ ดังสมการ (3.30) – (3.33)

$$P_{excess}^t = P_{115kV,in}^t - P_{B,reserve}^t \quad (3.30)$$

$$P_{risk}^t \geq P_{excess}^t; P_{risk}^t \geq 0 \quad (3.31)$$

$$P_{risk}^t \geq P_{Tie,in}^t - p_{B,limit} + P_{B,dis}^t - P_{B,ch}^t \quad (3.32)$$

$$X_{risk}^t P_{risk,min} \leq P_{risk}^t \leq X_{risk}^t P_{risk,max} \quad (3.33)$$

โดยจากสมการ (3.30) ตัวแปร P_{excess}^t คือ ส่วนต่างระหว่างการพึ่งพาสายส่งและกำลังไฟฟ้าสำรองของแบตเตอรี่ แต่ระบบไม่สามารถเปลี่ยนผ่านได้เฉพาะกรณีที่การพึ่งพาเกินกว่าการสำรองกำลังไฟฟ้า ดังนั้นจึงกำหนดตัวแปร P_{risk}^t เพื่อพิจารณากรณีที่ P_{excess}^t มีค่าเป็นบวกเท่านั้นดังสมการ (3.31) ซึ่งแสดงถึงความเสี่ยงที่ระบบจะไม่สามารถเปลี่ยนผ่านได้หากจำเป็นต้องแยกโดด และสามารถกระจายตัวแปรการสำรองกำลังไฟฟ้าในสมการ (3.30) ให้อยู่ในรูปของตัวแปรในปัญหาได้ดังสมการ (3.32) และในสมการ (3.33) จะเป็นการเชื่อมโยงกันระหว่างกำลังไฟฟ้าส่วนเกินที่ทำให้เกิดความสุ่มเสี่ยง และสถานะของระบบ ณ เวลาใด ๆ โดย X_{risk}^t จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ P_{risk}^t มีค่ามากกว่า 0 หรือก็คือเมื่อระบบมีความสุ่มเสี่ยง และ X_{risk}^t ดังกล่าวนี้อยู่ในวัตถุประสงค์ลำดับที่สามของสมการหลายวัตถุประสงค์ เพื่อที่จะหาคำตอบที่มีช่วงเวลาที่เกิดความสุ่มเสี่ยงต่ำที่สุด

นอกจากต้องพิจารณากำลังไฟฟ้าสำหรับชดเชยขณะเปลี่ยนผ่านแล้ว การจัดสรรพลังงานจำเป็นต้องพิจารณาถึงพลังงานสำรองในแบตเตอรี่ด้วย เพื่อให้แบตเตอรี่ชดเชยสายส่งได้เป็นระยะเวลาหนึ่งระหว่างรอเขื่อนแม่สะงาปรับเปลี่ยนจุดทำงานและเริ่มพิจารณาเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

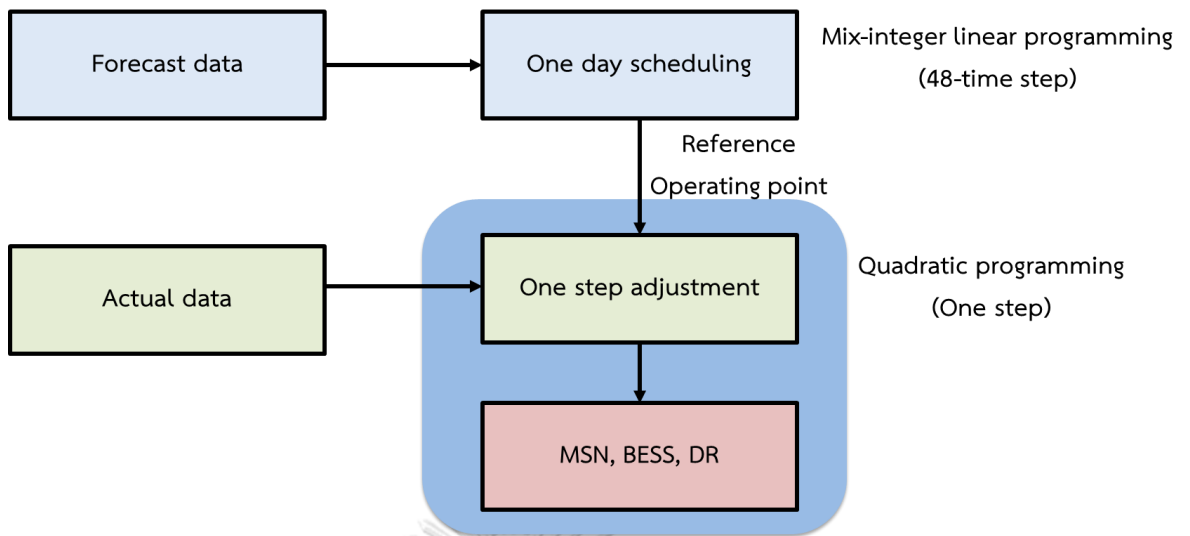
ดีเซลล์ โดยการสำรองกำลังไฟฟ้าในงานวิจัยนี้จะพิจารณาจากขนาดของแบตเตอรี่และช่วงเวลาในการเตรียมพร้อมสำหรับการแยกโดด ดังสมการ (3.34)

$$E_B^t \geq P_{dis,limit} \times \Delta T_{tran} \quad (3.34)$$

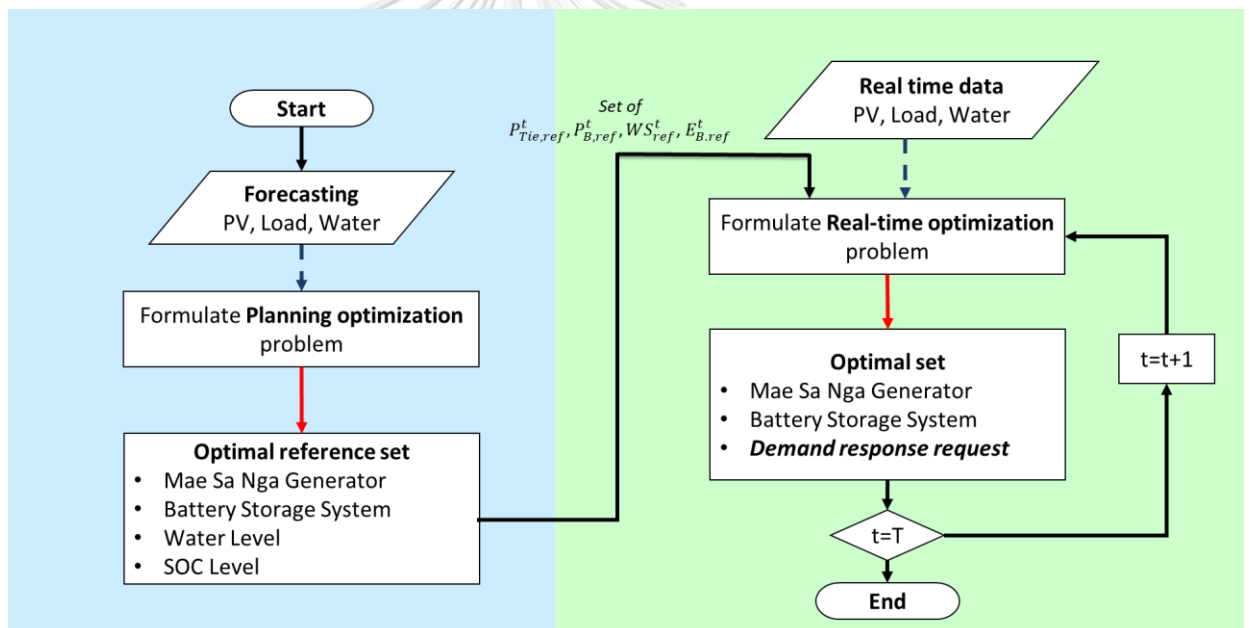
โดย ΔT_{tran} คือ ระยะเวลาในการทำการเปลี่ยนผ่าน หรือ ระยะเวลาที่แบตเตอรี่จะชดเชยการพึ่งพาสายส่งระหว่างรอเชื่อมแม่ส่งและโรงไฟฟ้าดีเซลล์ปรับจุดทำงานเพื่อรักษาสมดุลทางไฟฟ้า โดยระยะเวลาจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ควบคุมระบบแต่ในงานวิจัยนี้จะกำหนดไว้ที่ 15 นาที

3.3 การกำหนดปัญหาในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักแบบเวลาจริง

แนวความคิดจัดสรรพลังงานในส่วนนี้จะเป็นการจัดสรรพลังงานใหม่อีกครั้งเพื่อสร้างความสมดุลระหว่างโหลดและกำลังการผลิต ณ เวลาจริง โดยยังคงอ้างอิงจากแผนการจัดสรรพลังงานล่วงหน้าที่ได้วางไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งวันร่วมกับข้อมูลการพยากรณ์ ณ เวลาจริง โดยจะพิจารณาองค์ประกอบที่เป็นการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าเพิ่มดังรูปที่ 17 เพื่อเข้ามาช่วยแก้ปัญหาความน่าเชื่อถือได้ โดยลดช่วงเวลาที่ยังคงมีความเสี่ยงอยู่เนื่องจากข้อจำกัดทางพลังงานที่จัดสรรได้ในการวางแผนล่วงหน้า ซึ่งมีแนวคิดในวิธีการคำนวณหาค่าตอบดัง รูปที่ 18 โดยเริ่มจากการวางแผนหนึ่งวันล่วงหน้าด้วยการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมสูงสุดแบบหลายช่วงเวลา และใช้คำตอบที่ได้ซึ่งประกอบด้วย ค่าการพึ่งพาสายส่ง ระดับพลังงานสะสม ค่าความเสี่ยง เป็นค่าอ้างอิงในการจัดสรรเพื่อหาค่าตอบเหมาะสมที่สุดในเวลาจริงราย 30 นาที



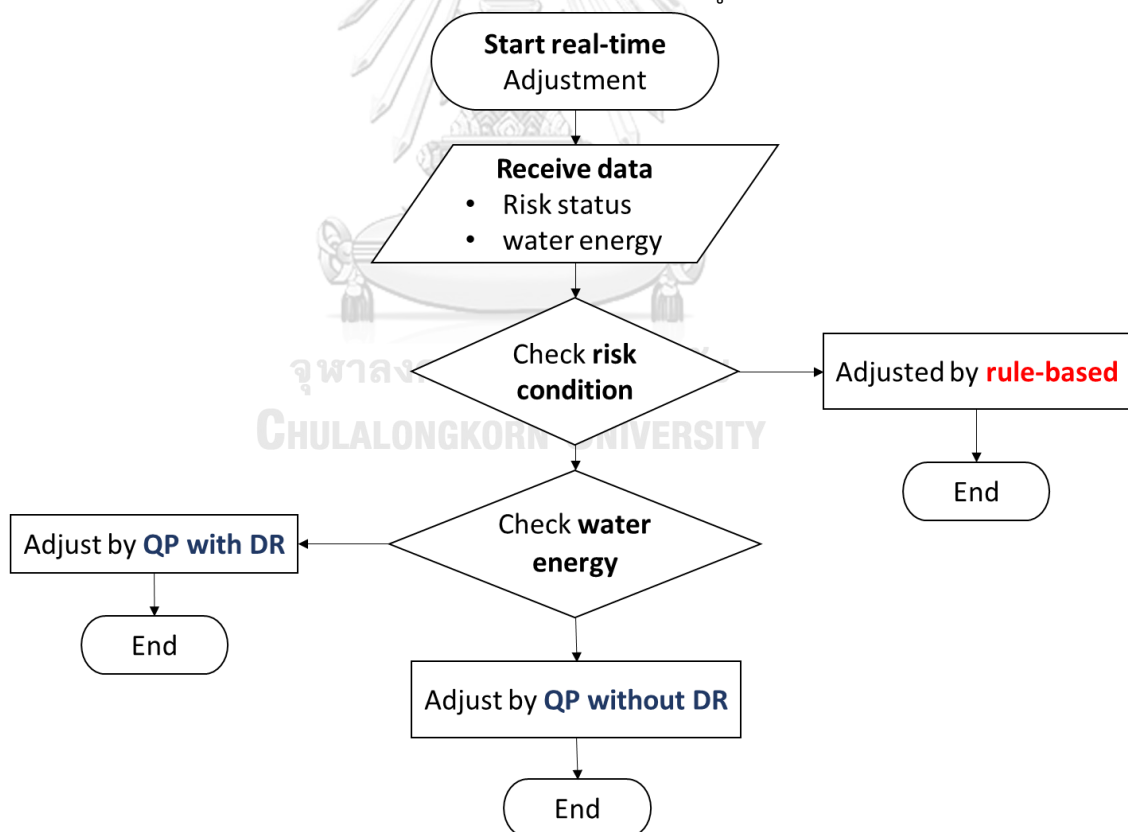
รูปที่ 17 แผนภาพแนวคิดการจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง



รูปที่ 18 แผนภาพการคำนวณการหาค่าเหมาะสมสูงสุดในเวลาจริง

อย่างไรก็ตามเพื่อลดภาระการคำนวณที่ไม่จำเป็น จึงมีแนวคิดที่จะแบ่งการหาคำตอบ ณ ช่วงเวลาจริงเป็นสองวิธีการ คือ วิธีการที่หนึ่ง คือ ช่วงเวลาที่ไม่มีความสุ่มเสี่ยงและระดับน้ำไม่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นระดับที่จะส่งผลกระทบต่อพลังงานสำหรับทำการแยกโดด การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง กรณีนี้จะใช้กฎอย่างง่าย (Rule-base) เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณ โดยมีเงื่อนไข คือ ควบคุมการพึ่งพาสายส่งให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ โดยจุดทำงานแม่สะงาจะเปลี่ยนแปลงไปเพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการพยากรณ์โหลด พลังงานแสงอาทิตย์

และกำลังผลิตจากเขื่อนผาบ่อง ซึ่งจะส่งผลให้ระดับน้ำสะสมคลาดเคลื่อนไปจากแผนที่วางไว้ ส่วนวิธีการที่สอง คือ กรณีที่อยู่ในช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงตามแผนที่วางไว้หรือกรณีที่ระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนดอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพยากรณ์ทั้งด้านพลังงานหมุนเวียน และปริมาณน้ำไหลเข้า ซึ่งจะแก้ปัญหาด้วย Quadratic programming โดยในการจัดสรรพลังงานนี้จะอนุญาตให้การพึ่งพาสายส่ง จุดทำงานแม่สะงา และพลังงานน้ำสะสมเปลี่ยนแปลงไปจากแผนที่วางไว้ได้ โดยในกรณีที่ในช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงซึ่งได้แจ้งล่วงหน้าแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า แล้วจะพิจารณาถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะร้องขอจากผู้ใช้ไฟฟ้า ณ เวลาจริง เพื่อเข้ามาชดเชยสายส่งที่เกินและควบคุมการพึ่งพาสายส่งให้ไม่เกิดปัญหาความเสี่ยงขณะเปลี่ยนผ่าน และในกรณีที่พลังงานน้ำสะสมต่ำกว่าที่กำหนด การแก้ปัญหา Quadratic programming จะกำหนดให้ไม่มีการควบคุมสายส่งโดยอนุญาตให้เกิดความเสี่ยงขณะเปลี่ยนผ่านได้ เพื่อรักษาพลังงานน้ำสะสมไม่ให้ลดต่ำลงไปกว่าเดิม เพราะหากพลังงานน้ำสะสมต่ำเกินไป แม้ระบบจะเปลี่ยนผ่านสู่ภาวะแยกโดดได้ แต่ก็ไม่สามารถเลี้ยงตัวเองได้ภาวะแยกโดดได้นานนักเนื่องจากพลังงานสำรองในระบบไม่เพียงพอ ซึ่งจะมีวิธีการตัดสินใจดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 แผนภาพการหาคำตอบ ณ เวลาจริง

3.3.1 ตัวแปรในแบบจำลอง

1.) ตัวแปรในการแก้ปัญหา

P_{MSN} คือ กำลังไฟฟ้าจากเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์)

P_{Tie} คือ กำลังไฟฟ้าผ่านสายส่ง (กิโลวัตต์)

$P_{B,dis}$ คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายออกจากแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)

$P_{B,ch}$ คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)

P_{DR} คือ กำลังไฟฟ้าจากการตอบสนองด้านโหลด (กิโลวัตต์)

WS คือ พลังงานน้ำที่สะสมคงเหลือในเขื่อนแม่สะงา ณ ช่วงเวลาถัดไป (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

WS_{spill} คือ พลังงานน้ำที่ล้นเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

E_B คือ พลังงานที่สะสมในแบตเตอรี่ ณ ช่วงเวลาถัดไป (กิโลวัตต์)

2.) ค่าอ้างอิงจากการวางแผนล่วงหน้า

$P_{Tie,ref}$ คือ กำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งอ้างอิงจากการวางแผน (กิโลวัตต์)

WS_{ref} คือ พลังงานน้ำสะสมอ้างอิงในเขื่อนแม่สะงา ณ ช่วงเวลาถัดไป (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

$E_{B,ref}$ คือ พลังงานที่สะสมอ้างอิงในแบตเตอรี่ ณ ช่วงเวลาถัดไป (กิโลวัตต์)

3.) ข้อมูล ณ เวลาจริง

$P_{L,rt}$ คือ ความต้องการใช้ไฟฟ้า ณ เวลาจริง (กิโลวัตต์)

WS_{rt} คือ ข้อมูลพลังงานน้ำสะสมที่วัดได้ ณ เวลาจริง (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

$E_{B,rt}$ คือ ข้อมูลพลังงานในแบตเตอรี่ ณ เวลาจริง (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

$WS_{incoming}$ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าในเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

3.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$f_{rt} = c_{Tie}P_{Tie} + c_{dis}P_{B,dis} + c_{MSN}P_{MSN} + c_{DR}P_{DR} + \rho_{Tie}(P_{Tie,ref} - P_{Tie})^2 + \rho_{Eb}(E_{B,ref} - E_B)^2 + \rho_{WS}(WS_{ref} - WS)^2 \quad (3.35)$$

โดยวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหานี้จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตต่ำสุดโดยมีการพิจารณาการตอบสนองด้านโหลดเพิ่มเข้ามาและยังคงคำนึงถึงการวางแผนล่วงหน้าที่ได้วางไว้ โดย c_{Tie} , c_{dis} , c_{MSN} และ c_{DR} คือ ค่าใช้จ่ายในการพึ่งพาสายส่ง การใช้งานแบตเตอรี่ การใช้งานเขื่อนแม่สะงา และ

ค่าชดเชยการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในความเป็นจริง ในขณะที่เทอม ρ_{Tie} , ρ_{Eb} และ ρ_{WS} คือ เทอมปรับโทษ (Penalty term) โดยมีหน้าที่ในการควบคุมผลลัพธ์ที่ได้ให้มีค่าใกล้เคียงกับแผนที่วางไว้หรือค่าที่ใช้ในการอ้างอิง

เนื่องจากสมการวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันกำลังสองดังนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะเป็น Quadratic programming ผ่านโปรแกรม MATLAB

3.3.3 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบและข้อจำกัด

1. สมการสมดุลกำลังไฟฟ้า

$$P_{MSN} + P_{B,dis} - P_{B,ch} + P_{Tie} + P_{DR} = P_L - P_{PV} - P_{PB} \quad (3.36)$$

ในสมการสมดุลกำลังไฟฟ้าในภาวะนี้จะมีการพิจารณาการตอบสนองด้านโหลดเพิ่มดังสมการ (3.36)

2. แบบจำลองเขื่อนแม่สะงา

$$WS - WS_{rt} + P_{MSN} \times \Delta T + WS_{spill} = WS_{incoming} \quad (3.37)$$

แบบจำลองเขื่อนแม่สะงาในสมการที่ (3.37) จะแตกต่างจากช่วงเวลาการวางแผน โดยมีพจน์ WS_{rt} แทนข้อมูลปริมาณน้ำที่มีอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน และ WS แทนปริมาณน้ำในช่วงเวลาถัดไปอันเนื่องมาจากการจัดสรรพลังงานในการผลิตไฟฟ้าผ่านตัวแปร P_{MSN} ซึ่งตัวแปร WS จะถูกควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงกับ WS_{ref} ซึ่งเป็นค่าอ้างอิง ดังแสดงในสมการวัตถุประสงค์ที่ (3.35)

3. แบบจำลองแบตเตอรี่

$$E_B - E_{B,rt} - (P_{B,ch} \times n_{ch} \times n_{inv}) \times \Delta T + \left(\frac{P_{B,dis}}{n_{dis} \times n_{inv}}\right) \times \Delta T = 0 \quad (3.38)$$

เช่นเดียวกับแบบจำลองเขื่อนแม่สะงา แบบจำลองแบตเตอรี่มีพจน์ E_B เป็นพลังงานสะสมในแบตเตอรี่ ณ ช่วงเวลาถัดไป ซึ่งใช้ในการอ้างอิงกับการวางแผน และ $E_{B,rt}$ คือ พลังงานสะสมในแบตเตอรี่ ณ เวลาปัจจุบัน

$$\begin{aligned} if P_{dis,ref} &= 0 \\ P_{dis,limit} &= 0 \\ if P_{ch,ref} &= 0 \\ P_{ch,limit} &= 0 \end{aligned} \quad (3.39)$$

ในสมการที่ (3.39) ถูกกำหนดเพื่อให้การทำงานของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาจริงมีความสอดคล้องกับที่ได้วางแผนไว้ เพื่อลดการเกิดปัญหาการใช้งานแบตเตอรี่ที่เกินไป

4. แบบจำลองการตอบสนองด้านโหลด

$if P_{risk} > 0$

$$P_{DR,max} = k_{DR} \times P_L$$

else

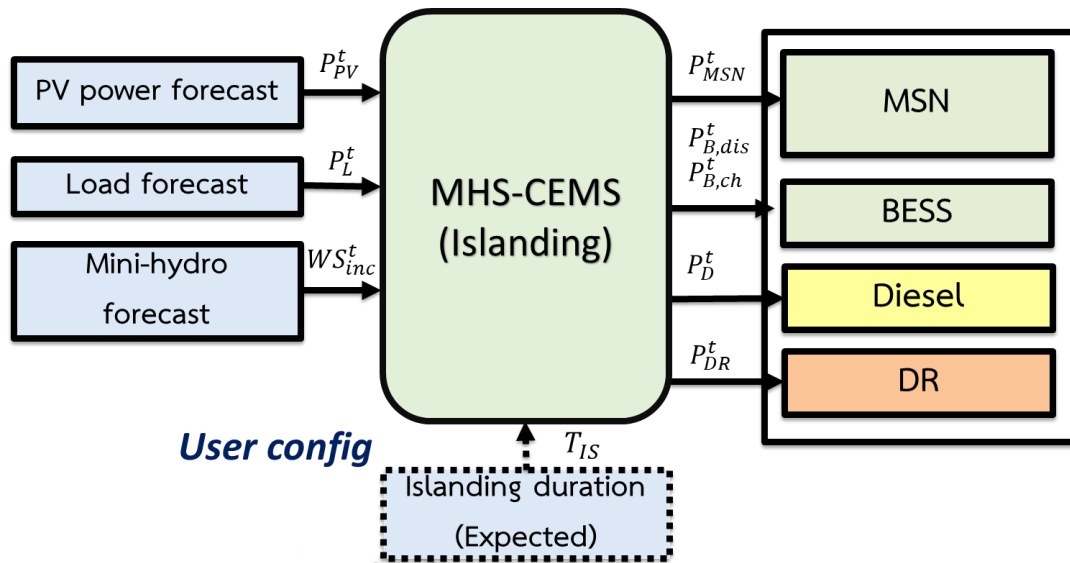
$$P_{DR,max} = 0 \tag{3.40}$$

$$P_{Tie} \leq P_{BESS,cap} + P_{B,ch} - P_{B,dis} \tag{3.41}$$

และสมการที่ (3.40) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้มีระบบสามารถเรียกการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าได้ในกรณีที่ระบบมีความเสี่ยงเท่านั้น ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ได้มีการควบคุมสายส่งไว้แล้วในช่วงการวางแผน เพื่อไม่ให้เกิดการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดมากเกินไป โดยการร้องขอสูงสุดจะขึ้นอยู่กับอัตราความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้า (k_{DR}) และในสมการที่ (3.41) เป็นเงื่อนไขเพื่อกำหนดให้ระบบไม่เกิดความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับขณะเปลี่ยนผ่านอันเนื่องมาจากที่แบตเตอรี่ไม่สามารถเขยสายส่งได้ อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวจะพิจารณาเฉพาะในกรณีที่ระดับน้ำสูงเพียงพอต่อการชดเชยสายส่งโดยไม่กระทบต่อระยะเวลาในการเลี้ยงตัวเองขณะแยกโดด ซึ่งถูกตัดสินใจด้วย Flowchart

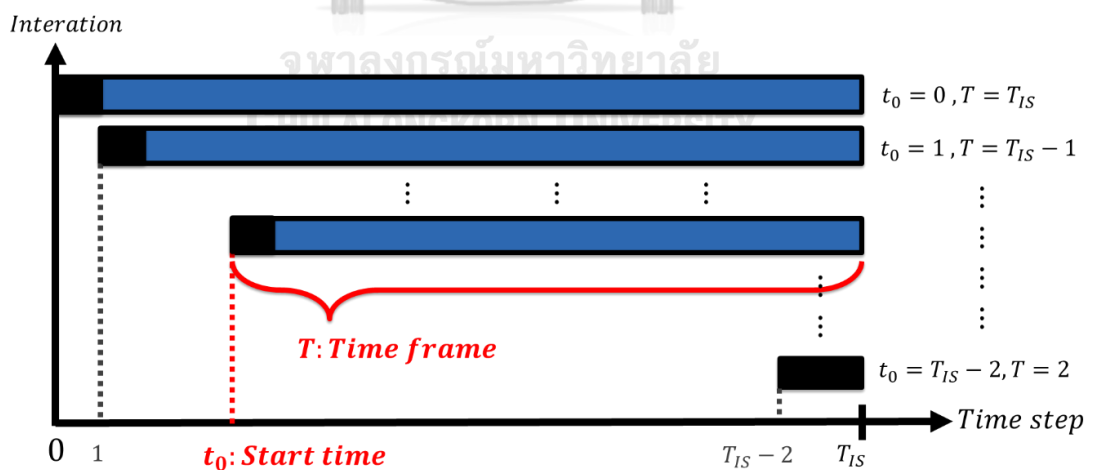
3.4 การกำหนดปัญหาในภาวะแยกโดด

วัตถุประสงค์ในภาวะแยกโดดจะพิจารณาในเฉพาะในเรื่องค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องด้วยไม่มีการคิดราคาการซื้อขายไฟฟ้าในอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU (Time of Use Tariff) ของสายส่งทำให้ค่าใช้จ่ายและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละแหล่งผลิตมีอัตราส่วนที่สอดคล้องกัน โดยสัญญาควบคุมในภาวะนี้จะควบคุมเขื่อนแม่สะงา แบตเตอรี่ โรงไฟฟ้าดีเซลล์ รวมถึงการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ไฟฟ้าในบางกรณี โดยช่วงระยะเวลาในการวางแผนการจัดสรรพลังงาน (ระยะเวลาที่ต้องการแยกโดด) ผู้ควบคุมระบบจะเป็นผู้กำหนดโดยอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ระยะเวลาฟื้นฟูระบบ ความสำคัญของโหลด ความสามารถในการสำรองพลังงาน



รูปที่ 20 ภาพรวมการจัดการสรรพลังงานในภาวะแยกโดด

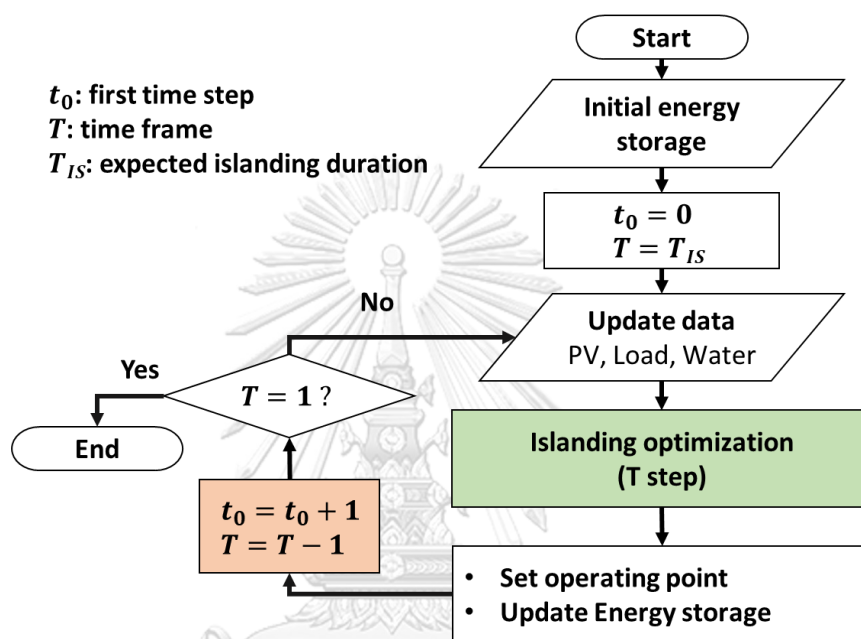
โดยขอบเขตการจัดการสรรพลังงานนี้จะเป็นการวางแผนโดยเลื่อนกรอบเวลาของการแก้ปัญหาไปพร้อมกับลดขนาดกรอบของเวลาจนกระทั่งถึงระยะเวลาในการเลี้ยงตัวเองที่กำหนดไว้ดัง รูปที่ 21 ซึ่งในภาวะนี้ t_0 จะหมายถึงช่วงเวลาเริ่มต้นในการหาคำตอบค่าเหมาะสมที่สุด T คือ กรอบของเวลาในการหาคำตอบค่าเหมาะสมที่สุด และ T_{IS} คือ ระยะเวลาเป้าหมายในการวางแผนการแยกโดด



รูปที่ 21 ภาพแสดงกรอบเวลาของการแก้ปัญหา

โดยมีวิธีหาคำตอบดัง รูปที่ 22 เริ่มจากการรับข้อมูลค่าพลังงานสะสมจากภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักของเขื่อนและแบตเตอรี่เมื่อเริ่มต้นการแยกโดด รับข้อมูลการพยากรณ์ จากนั้นหา

คำตอบโดยมีกรอบเวลาเป็นระยะเวลาในการแยกโดดที่กำหนดไว้ และนำคำตอบที่ได้เฉพาะช่วงเวลาแรกไปควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมคำนวณค่าระดับพลังงานสะสมคงเหลือ และปรับลดกรอบเวลาในการคำนวณค่าเหมาะสมสูงสุดพร้อมเลื่อนระยะเวลาเริ่มต้นในการแก้ปัญหาออกไป ซึ่งจะทำงานซ้ำไปจนกระทั่งเหลือสองช่วงเวลาสุดท้าย หรือระยะเวลาเริ่มต้นของการหาคำตอบถึงระยะเวลาแยกโดดที่วางแผนแล้ว



รูปที่ 22 แผนภาพการจัดการจัดสรรพลังงานในภาวะแยกโดด

3.4.1 ตัวแปรในแบบจำลอง

1.) ตัวแปรต่อเนื่อง

$P_{MSN,i}^t$ คือ กำลังไฟฟ้าจากเชื่อมแม่สะงายูนิต i (กิโลวัตต์)

$P_{D,i}^t$ คือ กำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าดีเซลยูนิต i (กิโลวัตต์)

P_{dis}^t คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายออกจากแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)

P_{ch}^t คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายเข้าสู่แบตเตอรี่ (กิโลวัตต์)

P_{DR}^t คือ กำลังไฟฟ้าของการตอบสนองด้านโหลด (กิโลวัตต์)

WS^t คือ พลังงานน้ำสะสมในเชื่อมแม่สะงา (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

E_b^t คือ พลังงานสะสมในแบตเตอรี่ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

S_p^t คือ พลังงานน้ำล้นของเขื่อนแม่สะงา (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

2.) ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง

X_{dis}^t คือ ตัวแปรแสดงสถานะการทำงานของสายส่งแบบเตอริว่าชาร์จหรือดีสชาร์จ

$X_{MSN,i}^t$ คือ สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเขื่อนแม่สะงายูนิต i

$X_{D,i}^t$ คือ สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลียูนิต i

$X_{MSN,SU,i}^t$ คือ สถานะการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเขื่อนแม่สะงายูนิต i

$X_{MSN,SD,i}^t$ คือ สถานะการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเขื่อนแม่สะงายูนิต i

$X_{D,SU,i}^t$ คือ สถานะการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลียูนิต i

$X_{D,SD,i}^t$ คือ สถานะการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลียูนิต i

X_{DR}^t คือ สถานะการร้องขอการตอบสนองด้านโหลด

3.4.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของภาวะแยกโดดจะพิจารณาค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าละเอียดเพิ่มขึ้น 3 ส่วน คือ 1.) ต้นทุนในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในพจน์ $c_{MSN,SU,i}^t$ และ $c_{D,SU,i}^t$ เพื่อลดจำนวนครั้งในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2.) ค่าใช้จ่ายในแบบจำลองการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าในพจน์ c_{DR}^t 3.) ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลียูนิตในพจน์ c_D^t ดังสมการ (3.35)

$$f_{is} = \sum_{t=0}^T [(\sum_N c_{MSN,i}^t \times P_{MSN,i}^t + \sum_M c_D^t \times P_D^t + \times P_{DR}^t + c_{dis}^t \times P_{dis}^t) + \sum_{NSU} (c_{MSN,SU,i}^t \times X_{MSN,SU,i}^t) + \sum_{MSU} (c_{D,SU,i}^t \times X_{D,i}^t)] \quad (3.42)$$

โดย N และ M คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงน้ำแม่สะงาและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลียูนิตที่เดินเครื่องอยู่ตามลำดับ NSU และ MSU คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงน้ำแม่สะงาและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลลียูนิตที่กำลังเริ่มเดินเครื่อง

3.4.3 การสร้างแบบจำลององค์ประกอบและข้อจำกัด

ในภาวะแยกโดดจะมีข้อจำกัดและแบบจำลองที่แตกต่างกับภาวะเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลักเนื่องด้วยในภาวะแยกโดดนั้นไม่มีการพึ่งพากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการ

ชดเชยความไม่แน่นอนของกำลังผลิตจากพลังงานหมุนเวียนและความต้องการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นในภาวะแยกโดดจึงต้องมีการคำนึงถึงการสำรองกำลังไฟฟ้าเพื่อชดเชยความไม่แน่นอนดังกล่าว โดยจะพิจารณาถึงสถานะการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละยูนิต และพิจารณาถึงแบบจำลองการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าในเพื่อช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเลี้ยงตัวเองขณะแยกโดดในกรณีที่พลังงานน้ำสะสมน้อยหรือโหลดมากกว่าที่ได้พยากรณ์ไว้

โดยบางแบบจำลองและข้อจำกัดในภาวะแยกโดดที่ยังคงเหมือนกับภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลัก ได้แก่ แบบจำลองน้ำและแบบจำลองแบตเตอรี่ ในสมการที่ (3.15-4.24) ยกเว้นแบบจำลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ที่มีความแตกต่างและพิจารณาเพิ่มเติม

1. เงื่อนไขสมดุลกำลังไฟฟ้า (Power balance)

$$\sum P_{MSN}^t + P_{dis}^t - P_{ch}^t + \sum P_{D,i}^t + P_{DR}^t = P_L^t - P_{PV}^t - P_{Hy,PB}^t \quad (3.43)$$

ในภาวะแยกโดดสมการสมดุลกำลังไฟฟ้าจะไม่มีองค์ประกอบที่เป็นสายส่งเนื่องจากได้ถูกปลดออกไป แต่มีองค์ประกอบเพิ่มเข้ามาเพื่อชดเชย คือ กำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าดีเซลล์และการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้า

2. กำลังไฟฟ้าสำรอง

$$\sum_N (X_{MSN,i}^t \times \bar{P}_{MSN,i} - P_{MSN,i}^t) + \sum_M (X_{D,i}^t \times \bar{P}_{D,i} - P_{D,i}^t) \geq (\%R)(P_L^t) \quad (3.44)$$

จาก [11] สามารถเขียนให้เหมาะสมกับแม่ฮ่องสอนไมโครกริดได้เป็นสมการที่ (3.44) คือ เงื่อนไขที่โรงไฟฟ้าต้องมีกำลังไฟฟ้าสำรองเพียงพอที่จะชดเชยความไม่แน่นอนของโหลด คิดในรูปแบบกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองพร้อมจ่าย (Spinning Reserve) ที่พิจารณาจากสถานะการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากตัวแปร $\bar{P}_{MSN,i}$ และ $\bar{P}_{D,i}$ โดยตัวแปร $\%R$ คือ เปอร์เซ็นต์การสำรองกำลังไฟฟ้าเมื่อเทียบจากโหลดทั้งหมด ณ เวลาใด ๆ โดยขึ้นอยู่กับความไม่แน่นอนของข้อมูลการพยากรณ์

3. แบบจำลองสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$X_{D,SU,i}^t + X_{D,SD,i}^t \leq 1 ; X_{D,SU,i}^t, X_{D,SD,i}^t \in \{0,1\} \quad (3.45)$$

$$X_{D,i}^t + X_{D,i}^{t-1} \leq X_{D,SU,i}^t - X_{D,SD,i}^t \quad (3.46)$$

$$X_{D,i}^t \underline{P}_D \leq P_{D,i}^t \leq X_{D,i}^t \bar{P}_D ; X_{D,i}^t \in \{0,1\} \quad (3.47)$$

$$X_{MSN,SU,i}^t + X_{MSN,SD,i}^t \leq 1 ; X_{MSN,SU,i}^t, X_{MSN,SD,i}^t \in \{0,1\} \quad (3.48)$$

$$X_{MSN,i}^t + X_{MSN,i}^{t-1} \leq X_{MSN,SU,i}^t - X_{MSN,SD,i}^t \quad (3.49)$$

$$X_{MSN,i}^t \underline{P}_{MSN} \leq P_{MSN,i}^t \leq X_{MSN,i}^t \overline{P}_{D,MSN}; X_{MSN,i}^t \in \{0,1\} \quad (3.50)$$

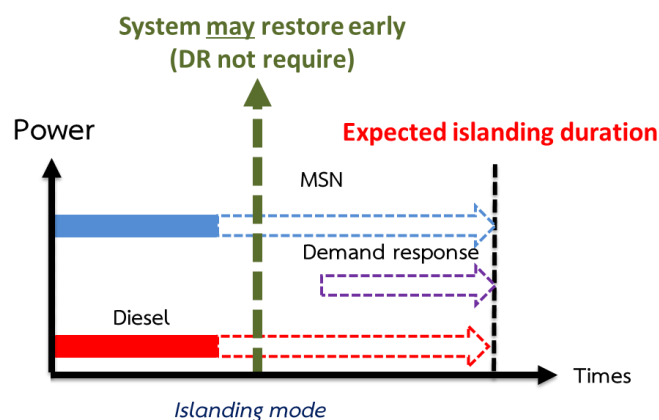
ชุดสมการที่ (3.45) - (3.48) คือ สมการที่กำหนดสถานะการเริ่มและหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล ณ เวลาใด ๆ โดยเงื่อนไขในสมการที่ (3.45) และ (3.46) คือเงื่อนไขเพื่อกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไม่สามารถมีสถานะเริ่มและหยุดเดินพร้อมกันได้ และสมการที่ (3.47) คือเงื่อนไขการกำหนดขอบเขตของกำลังการผลิต ($P_{D,i}^t$) ผ่านตัวแปรสถานะ $X_{D,i}^t$ และเช่นเดียวกันสำหรับในกรณีของสถานะโรงไฟฟ้าเชื่อมแม่สะงาในสมการที่ (3.48) - (3.50)

$$X_{MSN,i}^1 = X_{MSN,i}^{ref} \quad (3.51)$$

$$X_{D,i}^1 = X_{D,i}^{ref} \quad (3.52)$$

เนื่องด้วยการวางแผนในแต่ละรอบนั้นสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีความสัมพันธ์กับคำตอบที่ได้ในรอบก่อนหน้า ดังนั้นสมการที่ (3.51) และ (3.52) จะเป็นการกำหนดสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของคำตอบที่ได้ในช่วงเวลาแรกของการวางแผน แต่สมการดังกล่าวจะไม่ถูกพิจารณาในการหาคำตอบในการวางแผนรอบแรก เนื่องด้วยในการวางแผนรอบแรกยังไม่มีสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการอ้างอิง โดยสถานะในครั้งแรกจะเป็นตัวแปรคำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด

4. แบบจำลองการตอบสนองด้านโหลด (Demand response)



รูปที่ 23 แนวคิดการจัดสรรพลังงานภาวะแยกโดด

เพื่อให้เกิดการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดกับผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสม แนวคิดในงานวิจัยนี้เป็นดัง รูปที่ 23 โดยมีความต้องการให้ไมโครกริดใช้พลังงานน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซลล์ ในช่วงต้นของการแยกโดดก่อนแล้วจึงมีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าในภายหลัง หรืออาจไม่จำเป็นต้องร้องขอการตอบสนองด้านโหลดเลยในกรณีที่มีพลังงานน้ำสะสมมากเพียงพอ เพื่อไม่ให้เกิดการร้องขออย่างไม่จำเป็นเนื่องด้วยระบบมีความเป็นไปได้ที่จะฟื้นตัวกลับสู่ภาวะเชื่อมต่อบริเวณไฟฟ้าหลักได้เร็วกว่าระยะเวลาที่ได้วางแผนแยกโดดไว้

$$\frac{WS^t}{WS_{max}} + (1 - \frac{WS_{DR}}{WS_{max}})X_{DR}^t \leq 1 \quad (3.53)$$

$$X_{DR}^t k_{min} P_L^t \leq P_{DR}^t \leq X_{DR}^t k_{max} P_L^t \quad (3.54)$$

สมการ (3.53) และ (3.54) คือเงื่อนไขที่ออกแบบเพื่อให้การร้องขอการตอบสนองด้านโหลดถูกเรียกไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อระดับน้ำลดลงต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้แล้วเท่านั้น โดย WS_{DR} ระดับน้ำขั้นต่ำที่จะมีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลด ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการ (3.53) จะเป็นดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์แบบจำลองเงื่อนไขการตอบสนองด้านโหลด

Condition	X_{DR}^t	$P_{DR,max}^t$
$WS^t \geq WS_{DR}$	0	0
$WS^t < WS_{DR}$	0, 1	$X_{DR}^t k_{max} P_L^t$

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปราย

ในบทที่ 4 จะนำเสนอถึงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการหาค่าเหมาะสมที่สุดของทั้งภาวะเชื่อมต่อบริษัทไฟฟ้าหลักและภาวะแยกโดดที่ได้แสดงไว้ก่อนหน้าในบทที่ 3 โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2557 ในการศึกษา ซึ่งจะเป็นการศึกษาถึงผลลัพธ์ที่ได้ในเชิงตัวเลขของแต่ละวัตถุประสงค์ และศึกษาถึงแนวทางการจัดสรรพลังงานและการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา โรงไฟฟ้าดีเซลล์ แบตเตอรี่ และการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้า

4.1 ผลลัพธ์ในภาวะเชื่อมต่อบริษัทไฟฟ้าหลักแบบวางแผนล่วงหน้า

4.1.1 สมมติฐานและนิยามในแบบจำลอง

ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่สะงา

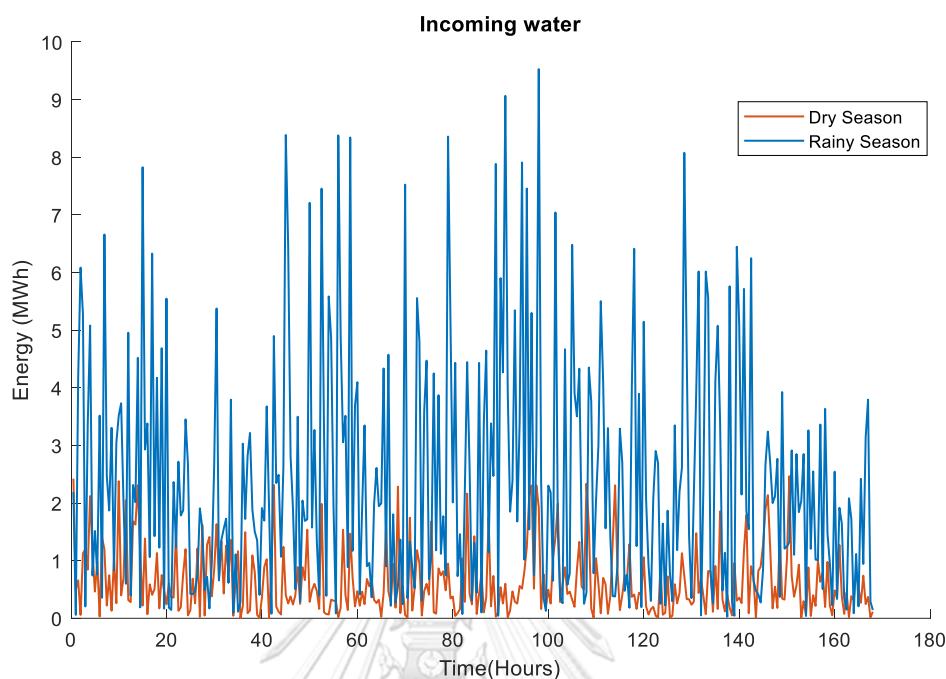
ปริมาณน้ำไหลเข้าในแบบจำลองจะคำนวณจากการนำปริมาณน้ำที่ถูกใช้ในการผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลในอดีตในเดือนที่กำหนด ในที่นี้คือ เดือนเมษายนแทนฤดูแล้ง และเดือนตุลาคมแทนฤดูฝน มาทำการสุ่มเป็นปริมาณน้ำไหลเข้าราย 30 นาที



รูปที่ 24 การจำลองปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแม่สะงา

ปริมาณน้ำในเขื่อนแม่สะงาจะพิจารณาที่ความสูง 484.3 ถึง 488.5 เมตร เท่านั้น ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้สำหรับจัดสรรพลังงานในการผลิตไฟฟ้า ไม่คำนึงถึงการจัดสรรในด้านอุปโภค บริโภค และเกษตรกรรม ดังนั้นปริมาณน้ำขั้นต่ำสุดหรือที่ระดับพลังงานน้ำสะสมเท่ากับศูนย์ จะหมายถึงปริมาณน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าหมดหรือระดับน้ำอยู่ที่ความสูง 484.3 เมตร หรือคือหัวน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าเท่านั้นไม่ได้หมายความว่าน้ำหมดทั้งเขื่อนแม่สะงา

โดยมีโปรไฟล์ปริมาณน้ำไหลเข้าดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 ปริมาณน้ำไหลเข้าในแบบจำลอง

ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าในอดีต

ข้อมูลในการจำลองจะแบ่งเป็นช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งเพื่อศึกษาแบบจำลองปริมาณน้ำ โดยในที่นี่จะกำหนดให้เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557 แทนฤดูฝนหรือช่วงน้ำมาก และ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2557 แทนฤดูแล้งหรือช่วงน้ำน้อย เนื่องจากเป็นเดือนในช่วงฤดูดังกล่าวมีข้อมูลครบถ้วนมากที่สุด และข้อมูลการผลิตของเขื่อนแม่สะงามีค่าสอดคล้องกับฤดูกาล

การสำรองพลังงาน

ในแบบจำลองนี้จะกำหนดให้แบตเตอรี่มีหน้าที่ในการชดเชยสายส่งที่ถูกปลดออกได้เป็นระยะเวลาขั้นต่ำที่ 15 นาที และจากข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จ่ายได้มากที่สุดของแบตเตอรี่อยู่ที่ 4 เมกะวัตต์ ดังนั้นแบตเตอรี่จะถูกกำหนดให้มีพลังงานสะสมขั้นต่ำอยู่ที่ 1,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ขณะเดียวกันเขื่อนแม่สะงาซึ่งมีหน้าที่หลักในการเลี้ยงตัวเองในภาวะแยกโดด โดยจะกำหนดให้มีพลังงานสะสมขั้นต่ำอยู่ที่ 12 เมกะวัตต์ชั่วโมงหรือคิดเป็นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานสะสมสูงสุดในเขื่อนแม่สะงา ซึ่งพลังงานค่านี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยโหลดในช่วงฤดูแล้งที่อยู่ประมาณ 6 เมกะวัตต์ชั่วโมงและจากความต้องการที่จะเลี้ยงตัวเองได้ขั้นต่ำที่ประมาณ 2 ชั่วโมง ซึ่ง

จะแยกโหนดด้วยพลังงานน้ำสะสมเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการจัดสรรพลังงานจริง ณ ภาวะการแยก โหนดจะมีองค์ประกอบของโรงไฟฟ้าดีเซลล์และการตอบสนองด้านโหลดที่ช่วยเพิ่มระยะเวลาในการ เลี้ยงตัวเองให้นานขึ้นไปได้อีก

ช่วงเวลาที่มีความเสี่ยง

ในงานวิจัยนี้ช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงหรือความน่าเชื่อถือได้ต่ำ หมายถึง ช่วงเวลาใดก็ตามที่ การพึ่งพาสายส่งมีค่าเกินกว่าที่ความสามารถของแบตเตอรี่จะจ่ายชดเชยได้ทันทีทันใด ทำให้เมื่อ จำเป็นต้องปลดสายส่งออก ณ ช่วงเวลานั้น จะเกิดปัญหาความไม่สมดุลของกำลังไฟฟ้าเนื่องจาก แบตเตอรี่มีกำลังไฟฟ้าสำรองไม่เพียงพอที่จะชดเชยส่วนต่างที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ความถี่ของระบบไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงขณะแยกโหนด และทำให้เกิดไฟฟ้าดับตามมา

กำลังไฟฟ้าส่วนต่างระหว่างการพึ่งพาสายส่งและกำลังไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ในช่วง วางแผน คือ ตัวแปร P_{risk} ซึ่งจะถูกลดทอนด้วยการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแนวคิด การแจ้งเตือนความเสี่ยง ในช่วงการจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ดังนั้นกำลังไฟฟ้าส่วนเกินจึง กำหนดให้มีค่าสูงสุดเป็นอัตราส่วนของโหลดในระบบ ณ เวลานั้น ๆ เช่นเดียวกับแบบจำลองการ ตอบสนองด้านโหลดที่ความร่วมมือในการลดทอนจะขึ้นอยู่กับปริมาณโหลดที่ใช้ ณ เวลาใด ๆ

ในขณะเดียวกันช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงจะถูกแทนด้วย ตัวแปร X_{risk} ซึ่งเป็นตัวแปร สถานะของกำลังไฟฟ้าส่วนเกิน โดยถูกกำหนดให้มีค่าเป็นหนึ่งก็ต่อเมื่อการพึ่งพาสายส่งมีค่าเกินกว่าที่ จะชดเชยได้ หรือ P_{risk} มีค่ามากกว่าศูนย์ **มหาวิทยาลัย**

กรณีฐาน

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจะเทียบกับแบบจำลองที่คล้ายการจัดสรรพลังงานแบบเดิม ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ คือ 1.) มีการจัดสรรพลังงานตามเงื่อนไขระดับน้ำ ณ เวลาปัจจุบันเท่านั้น ไม่ พิจารณาถึงแบบจำลองพลังงานน้ำสะสม 2.) ไม่พิจารณาข้อมูลการพยากรณ์ร่วมในการวางแผน 3.) มี จุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่หลากหลาย 4.) ไม่พิจารณาถึงการใช้งานแบตเตอรี่เพื่อการ เปลี่ยนผ่าน 5.) ไม่พิจารณาถึงอัตราการซื้อขายไฟฟ้าแบบ TOU

4.1.2 กรณีศึกษาฤดูกาล

ในการทดสอบแบบจำลองการจัดสรรพลังงานนี้จะพิจารณาในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง เพื่อศึกษาผล ของการจัดสรรพลังงานภายใต้เงื่อนไขความต้องการใช้ไฟฟ้าและปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน โดยจำลอง

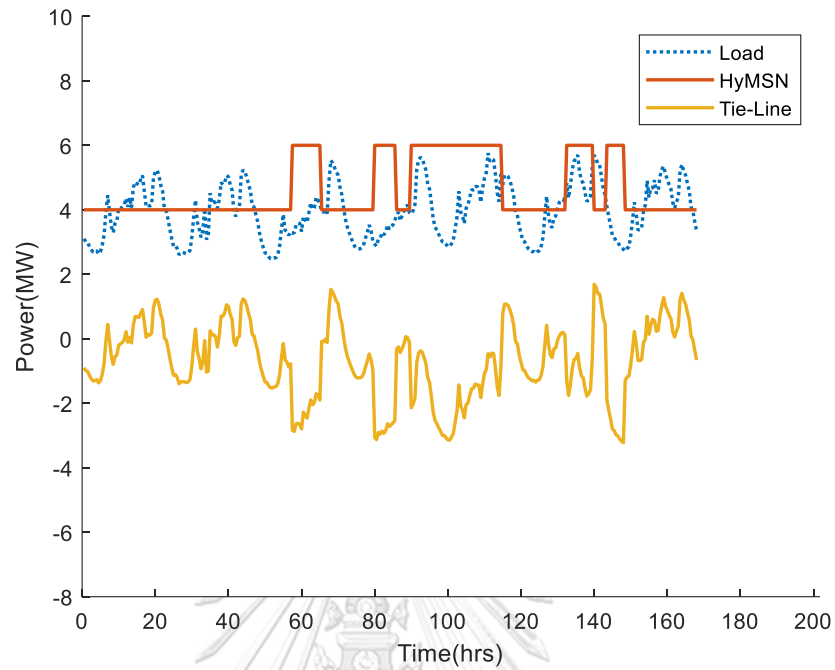
การจัดสรรพลังงานอยู่ในช่วงเวลา 1 วัน และ 7 วัน โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังตารางที่ 6 โดยในส่วนของกรฟิงพาสายส่งจะมีอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา (TOU) ซึ่งมีค่า 2.5849 บาทต่อหน่วยในช่วง Off peak (09.00-22.00 น.) และ 3.6781 บาทต่อหน่วยในช่วง On peak (22.00-9.00 น.) โดยค่าใช้จ่ายแบตเตอรี่จะคิดเฉพาะส่วนของ variable O&M เท่านั้นหรือคืออัตราค่าบำรุงรักษาต่อการใช้งาน ยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในส่วนอื่น เช่น ค่าลงทุนติดตั้ง ค่าบำรุงรักษาประจำปี [23]

ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วย

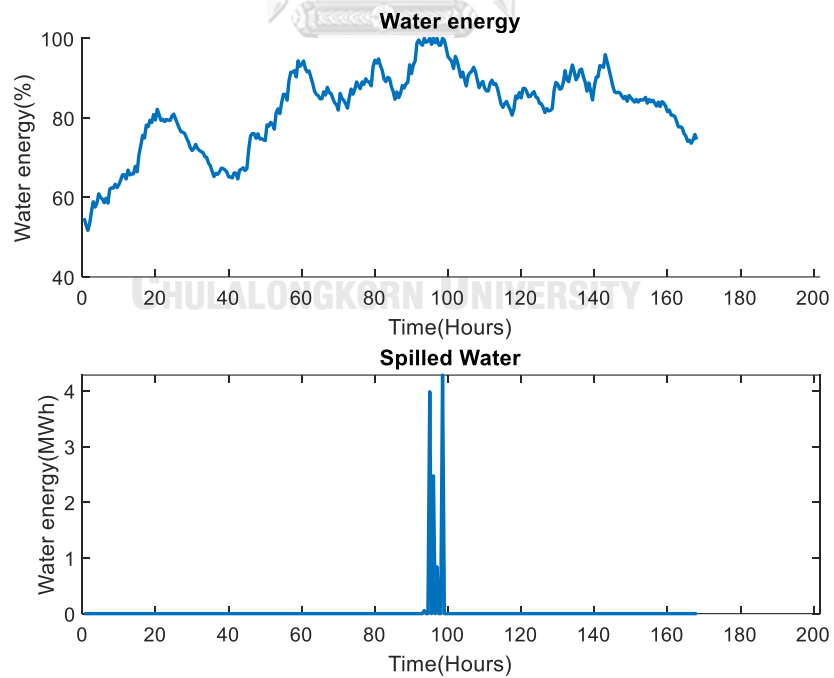
ประเภท	ราคา (บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ปริมาณมลพิษ (กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)
โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	0.3	0.048
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะงา	0.5	0.024
รับไฟฟ้าผ่านสายส่ง 115kV	2.5849	0.465
จ่ายไฟฟ้าสู่สายส่ง 115kV	- 2.5849	0
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำผาบ่อง	0.5	0.024
ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน[23]	0.097	0

ในการศึกษาจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จาก CEMS เทียบกับกรณีฐานที่ยังไม่มีการพิจารณาถึงแบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นแบตเตอรี่ในกรณีฐานจะเสมือนไม่มีการใช้งานและไม่พิจารณาถึงการควบคุมการฟิงพาสายส่ง และในการจำลองจะพิจารณาถึงพลังงานสะสมของน้ำในเขื่อนแม่สะงาและแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้เขื่อนมีพลังงานสะสมตั้งต้นอยู่ที่ 15 เมกะวัตต์ชั่วโมง ในช่วงฤดูแล้ง และ 50 เมกะวัตต์ชั่วโมงในช่วงฤดูฝน แบตเตอรี่มีพลังงานสะสมตั้งต้นอยู่ที่ 1,800 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นพลังงานสะสมสูงสุดที่แบตเตอรี่เก็บได้ในแบบจำลองนี้ และค่าน้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตั้งต้นกำหนดไว้ที่อยู่ที่ $\alpha_1 = 0.25$, $\alpha_2 = 0.25$ และ $\alpha_3 = 0.5$ และประสิทธิภาพในการชาร์จและดิสชาร์จอยู่ที่ 0.9 ตามคุณสมบัติของแบตเตอรี่ประเภทลิเทียม-ไอออน

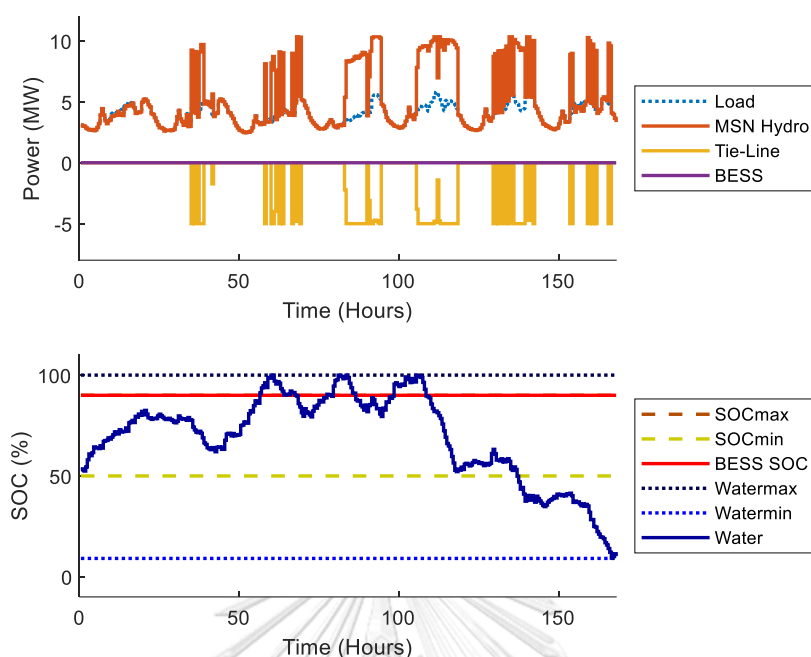
1.) กรณีฤดูฝนหรือช่วงน้ำมาก



รูปที่ 26 ผลลัพธ์การจัดการจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงฤดูฝนระยะเวลา 7 วัน



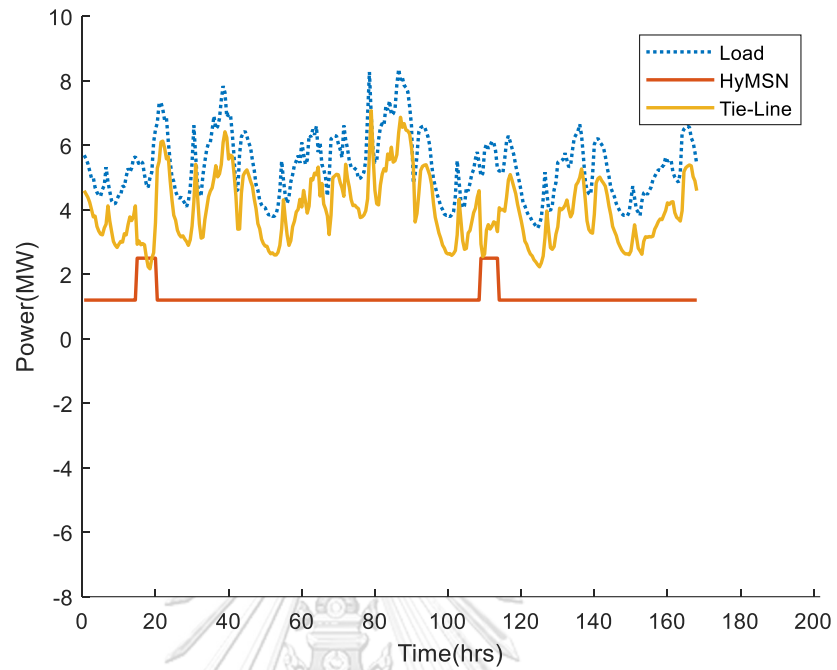
รูปที่ 27 ปริมาณน้ำจากการจัดการจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงฤดูฝนระยะเวลา 7 วัน



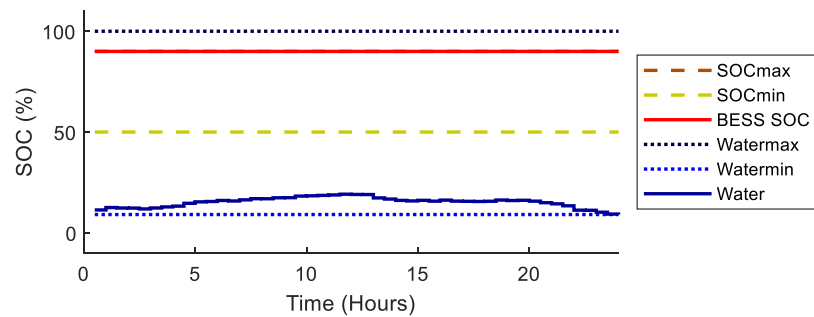
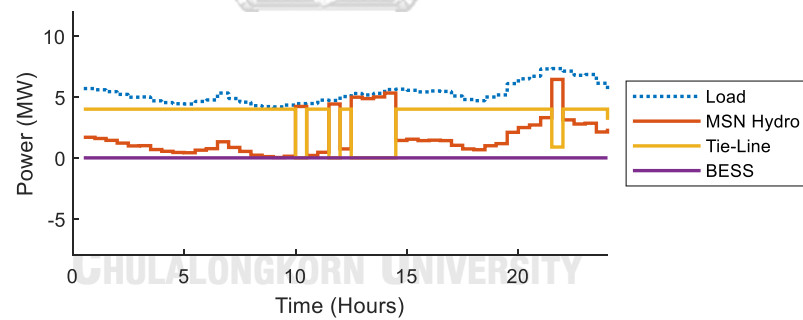
รูปที่ 28 ผลลัพธ์การจัดการสรรพลังงานจากแบบจำลองช่วงฤดูฝนระยะเวลา 7 วัน

จากรูปที่ 26 และ รูปที่ 28 ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการจัดการสรรพลังงานแบบเดิมและจากแบบจำลองในงานวิจัยนี้ คำตอบที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน คือ ในช่วงฤดูน้ำมาก จะมีพลังงานเพียงพอจ่ายโหลดของทั้งเมืองแม่ฮ่องสอนและเหลือพอต่อการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลักเพื่อเป็นการลดต้นทุนตอบสนองตามวัตถุประสงค์ แต่แตกต่างกันที่แบบจำลองในงานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงการคิดราคาแบบ TOU ทำให้มีการจัดการสรรพลังงานน้ำและสำรองไว้สำหรับขายไฟฟ้าในช่วงที่มีอัตราค่าไฟฟ้าสูงเป็นหลักเพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในไม่โครกริดและยังเป็นการช่วยลดกำลังไฟฟ้าในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงภายในระบบไฟฟ้าหลัก โดยเมื่อพิจารณาถึงพลังงานน้ำในเขื่อนและแบตเตอรี่ คำตอบที่ได้มีพลังงานสะสมเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ SOC ของแบตเตอรี่อยู่ในช่วง 20 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีการถูกใช้งาน เนื่องจากจะเกิดการสูญเสียพลังงานจากประสิทธิภาพในการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ และพลังงานสะสมในเขื่อนแม่สะงามีค่ามากกว่าพลังงานขั้นต่ำซึ่งกำหนดไว้สำหรับเลี้ยงตัวเองในภาวะแยกโดด และมีการใช้น้ำอย่างคุ้มค่าโดยไม่มีปริมาณน้ำล้นเกิดขึ้นเหมือนในกรณีฐานซึ่งแสดงในรูปที่ 27

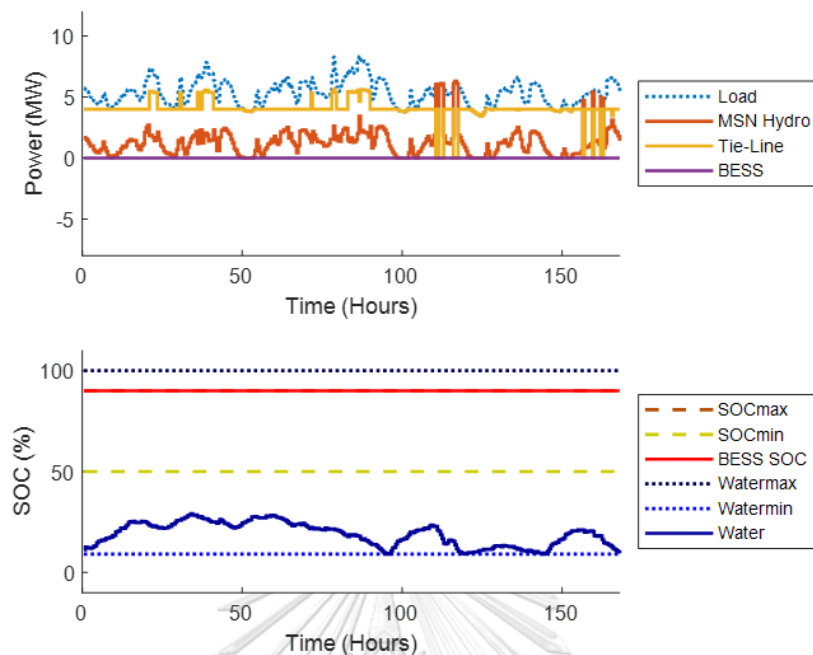
2.) กรณีฤดูแล้งหรือช่วงน้ำน้อย



รูปที่ 29 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงระยะฤดูแล้งเวลา 7 วัน



รูปที่ 30 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงระยะฤดูแล้งเวลา 1 วัน

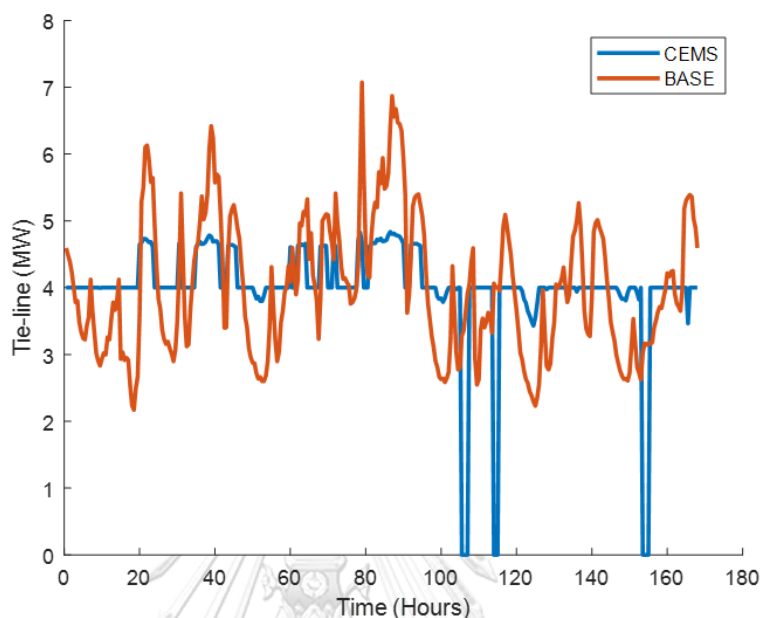


รูปที่ 31 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานแบบเดิมช่วงฤดูแล้งระยะเวลา 7 วัน

จากรูปที่ 29 ซึ่งเป็นการจัดสรรพลังงานแบบเดิมที่ยังไม่พิจารณาถึงองค์ประกอบของแบตเตอรี่ที่จะติดตั้งเพิ่มเข้ามา แสดงให้เห็นว่าการพึ่งพาสายส่งไม่ได้ถูกควบคุมและการจ่ายโหลดของแม่ส่งพิจารณาจากเงื่อนไขระดับน้ำเท่านั้น มีบางช่วงเวลาที่การพึ่งพาสายส่งมากกว่า 4 เมกะวัตต์เกินกว่าขนาดของแบตเตอรี่ในแบบจำลอง ซึ่งถือเป็นความเสี่ยงที่จะไม่สามารถเปลี่ยนไปสู่ภาวะแยกโดดได้เนื่องด้วยกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไม่เพียงพอต่อการชดเชยการพึ่งพากำลังไฟฟ้าจากสายส่งที่ถูกปลดออกไป และมีบางช่วงที่การพึ่งพาสายส่งต่ำกว่า 4 เมกะวัตต์ ซึ่งหากสามารถจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสม พลังงานส่วนที่เกินและส่วนที่ขาดจะสามารถหักล้างกันเพื่อลดจำนวนครั้งและระยะเวลาในการเกิดความสุ่มเสี่ยงได้

และจากรูปที่ 31 ซึ่งเป็นคำตอบที่ได้จากแบบจำลองที่นำเสนอ โดยจากกราฟบนแสดงให้เห็นว่าช่วงเวลาที่มีความสุ่มเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับหรือคือช่วงเวลาที่การพึ่งพาสายส่งมากกว่า 4 เมกะวัตต์มีค่าลดลง แต่ยังคงไม่สามารถควบคุมให้ต่ำกว่า 4 เมกะวัตต์ได้ทุกช่วงเวลาเนื่องด้วยปริมาณน้ำในฤดูแล้งที่มีอยู่อย่างจำกัดซึ่งแสดงอยู่ในกราฟพลังงานด้านล่างว่าพลังงานน้ำลดต่ำลงจนถึงปริมาณน้ำขั้นต่ำที่ได้สำรองไว้สำหรับแยกโดด ซึ่งถ้าต้องการลดช่วงเวลามูลเสี่ยงลงไปมากกว่านี้ด้วยการใช้พลังงานน้ำสำรอง จะทำให้แม้ระบบจะเปลี่ยนผ่านสู่ภาวะแยกโดดได้ก็ตามแต่จะไม่มีพลังงานสำรอง

เพียงพอสำหรับแยกโหนดเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นคำตอบที่ได้จึงมีช่วงเวลาที่ยังคงมีความสุ่มเสี่ยง ซึ่งจะถูกลดทอนด้วยการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงภายหลัง

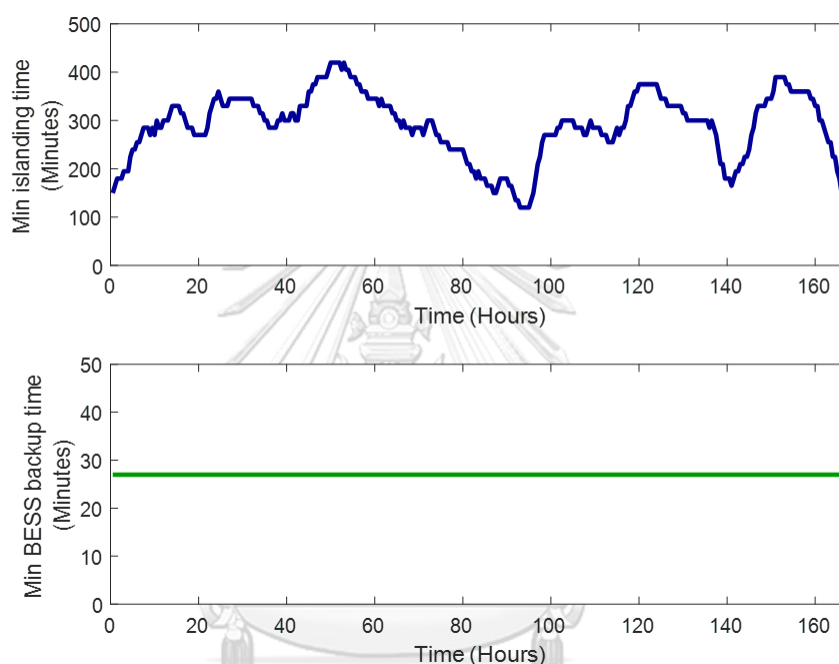


รูปที่ 32 แสดงเปรียบเทียบการพึ่งพาสายส่ง

จากรูปที่ 32 แสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานด้วยวิธีการที่นำเสนอซึ่งเป็นการควบคุมการพึ่งพาสายส่งโดยพิจารณาจากความสามารถของแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับการจัดสรรพลังงานแบบเดิม ผลลัพธ์ที่ได้คือการจัดสรรพลังงานด้วยวิธีการที่นำเสนอจะมีช่วงเวลาที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับเมื่อสายส่งถูกตัดออกไปน้อยกว่าแบบเดิม เนื่องด้วยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ให้ลดค่าของตัวแปรช่วงเวลามูลค่าเสี่ยง (X_{risk}^t) ถึงแม้ยังมีช่วงบางช่วงเวลาที่การพึ่งพาสายส่งเกินและต่ำกว่าความสามารถของแบตเตอรี่ เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านการสำรองปริมาณน้ำทำให้ในบางช่วงเวลามูลค่าต้องพึ่งพาสายส่งมากและการตอบสนองวัตถุประสงค์ด้านค่าใช้จ่ายทำให้เกิดการเดินเครื่องแม่สะงานการพึ่งพาสายส่งต่ำเกินความจำเป็นในช่วงท้ายของการวางแผน โดยตารางที่ 7 แสดงว่ามีพลังงานส่วนเกินที่ทำให้เกิดความสุ่มเสี่ยงลดลงจาก 72 เมกะวัตต์ชั่วโมงเป็น 22.86 เมกะวัตต์ชั่วโมงเนื่องด้วยวิธีการที่นำเสนอมีการควบคุมสายส่งอย่างเหมาะสมโดยให้มีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินน้อยที่สุด โดยส่วนที่ต่ำกว่าที่ยังคงเกิดขึ้นคือส่วนที่มีการใช้น้ำในช่วงท้ายของการวางแผนเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ด้านต้นทุนและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นน้ำไหลเข้าที่เพิ่มขึ้นหลังจากในกรณีที่น้ำไม่เพียงพอ

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบพลังงานส่วนเกิน

Case	Tie-line violation (No. of Hrs)	Tie-line violation (Exceeded energy)
Base case	78	72 MWh
CEMS	16	22.86 MWh



รูปที่ 33 ระยะเวลาในการสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานสะสม

โดยในรูปที่ 33 กราฟบน คือ ผลลัพธ์ซึ่งได้จากการนำข้อมูลพลังงานน้ำสะสมในเขื่อนจากการวางแผนในภาวะเชื่อมต่อบริเวณระบบไฟฟ้าหลักในฤดูแล้ง ณ ช่วง เวลาใดๆ ไปจำลองจ่ายโหลดในภาวะแยกโดดด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยพิจารณาให้จ่ายโหลดด้วยเขื่อนแม่สะงาเพียงอย่างเดียวเท่านั้นยังไม่พิจารณาถึงโรงไฟฟ้าดีเซลและการตอบสนองด้านโหลด เพื่อหาระยะเวลาในการแยกโดดขั้นต่ำที่ได้ ณ เวลาต่าง ๆ เมื่อระบบจำเป็นต้องแยกโดดเพื่อพึ่งพาตนเอง ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิดการแยกโดดระบบสามารถเลี้ยงตัวเองด้วยน้ำอย่างเดียวได้ต่ำสุดอยู่ที่ 120 นาที และเฉลี่ยอยู่ที่ 288 นาที จากการจำลองที่ความละเอียด 15 นาที

และกราฟล่าง คือ ระยะเวลาขั้นต่ำที่แบตเตอรี่สามารถชดเชยสายส่งที่ถูกปลดออกไปได้ โดยคำนวณจากพลังงานสะสมในแบตเตอรี่ ณ เวลาใด ๆ เทียบกับสายส่งที่ต้องชดเชยขนาด 4 เมกะวัตต์

เนื่องด้วยเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แบตเตอรี่จะชดเชยได้และเป็นค่ากำลังไฟฟ้ารับเข้าผ่านสายส่งที่งานวิจัยนี้ได้พยายามควบคุม ผลลัพธ์ที่ได้เนื่องด้วยไม่มีการใช้งานแบตเตอรี่เกิดขึ้น จึงชดเชยสายส่งได้เป็นเวลาเฉลี่ยและสูงสุดเท่ากันที่ 27 นาทีในฤดูแล้ง

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบ CEMS กับกรณีฐาน

Case		TOC (THB)	TCOE (kCO ₂)	Risk (Hours)	Water usage (MWh)	Spilled water (MWh)	Water left (MWh)
Rainy Season	Base case	52,884	34,169	0	775	12	96
	CEMS	-287,456	21,224 (62.11%)	0	871	0	12
Dry Season	Base case	2,285,637	319,201	78	215	0	16
	CEMS	2,237,487 (97%)	317,795 (99%)	16	219	0	12

จากตารางที่ 8 แสดงถึงการเปรียบเทียบผลลัพธ์เชิงวัตถุประสงค์ทั้งสามด้านประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าในหน่วยบาท การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหน่วยกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ และระยะเวลาที่เกิดความสูญเสียต่อการเปลี่ยนผ่านในหน่วยชั่วโมง ซึ่งผลลัพธ์ในฤดูแล้งแสดงให้เห็นว่า ช่วงเวลาที่เกิดความสูญเสียมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับกรณีฐานหากมีการจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสม แม้จะใช้พลังงานน้ำแตกต่างกันเล็กน้อย และต้นทุนในการผลิตมีค่าลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการจัดสรรพลังงานแม้จะพิจารณาการจ่ายไฟฟ้าแบบอัตรา TOU แต่ช่วงระยะเวลาที่มีความสูญเสียลดลงอย่างมากเมื่อมีการจัดสรรพลังงานที่คำนึงถึงการเปลี่ยนผ่านและการวางแผนด้วยวิธีการที่น่าเสนอ โดยระยะที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับขณะเปลี่ยนผ่านมีค่าลดลงจาก 78 ชั่วโมง เป็น 16 ชั่วโมง

และในฤดูฝนซึ่งจำลองโดยเพิ่มพลังงานน้ำไหลเข้าไปอีก 20 เปอเซ็นต์ เพื่อจำลองเทียบเป็นข้อมูลปริมาณน้ำล้นในอดีตที่ไม่ได้ถูกบันทึกไว้ โดยผลลัพธ์ที่ได้ในช่วงฤดูฝนจะเห็นว่าการจัดสรรพลังงาน

แบบเดิมที่ไม่พิจารณาถึงการวางแผนบริหารน้ำ ก่อให้เกิดน้ำล้นโดยเทียบเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ทั้งสิ้น 12 เมกะวัตต์ชั่วโมง และต้นทุนการผลิตมีค่าลดลงอย่างมากเนื่องด้วยในช่วงฤดูฝนการจัดการสรรพลังงานไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการลดความถี่เสี่ยงเนื่องจากปริมาณน้ำมีมากและสามารถจัดการเพื่อให้เกิดการซื้อขายไฟฟ้าตามอัตรา TOU ได้อย่างคุ้มค่า

4.1.3 กรณีศึกษาค่าน้ำหนักของวัตถุประสงค์

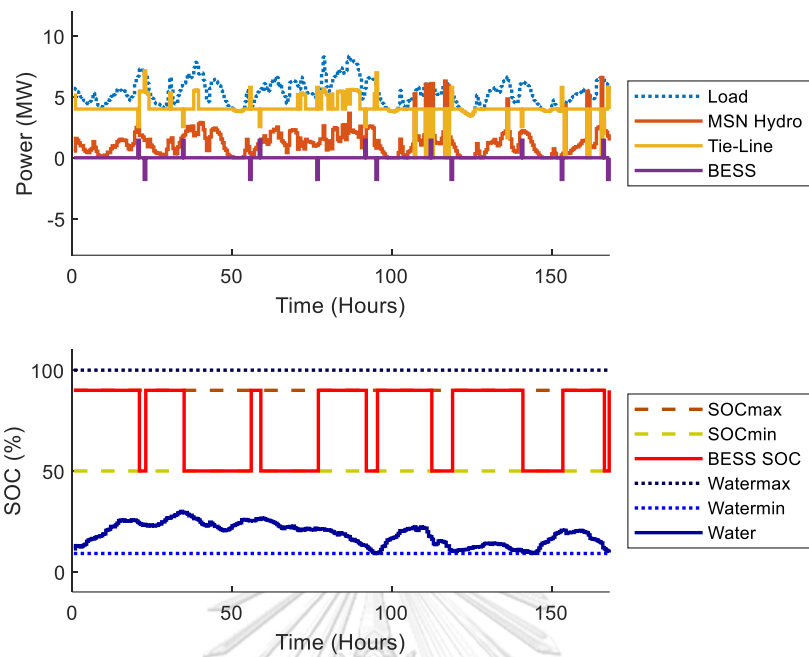
ตารางที่ 9 ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนัก

Weight (TOC:TCOE:Risk)	TOC (Baht)	TCOE (kgCO ₂)	Risk (Hours)
0.5:0.25:0.25	2,234,698	318,266	16
0.25:0.5:0.25	2,237,487	317,795	16
0.25:0.25:0.5	2,237,487	317,795	16
0.7:0.15:0.15	2,229,124	318,345	17
0.15:0.7:0.15	2,237,487	317,795	16
0.15:0.15:0.7	2,236,084	318,109	16
Normalize by	2,913,192	419,013	153

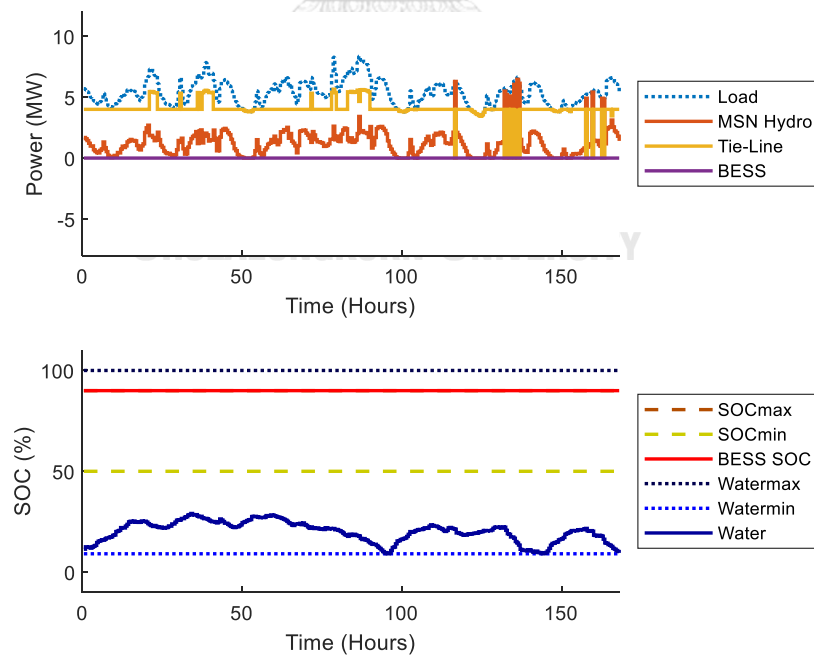
จากตารางที่ 9 แสดงผลลัพธ์เมื่อปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักหลังจากการปรับฐานของแต่ละวัตถุประสงค์ด้วยค่าน้ำหนักสูงสุดของแต่ละวัตถุประสงค์ โดยต้นทุนการผลิตจะถูกหารด้วย 2,913,192 บาท การปล่อยก๊าซเรือนกระจกถูกหารด้วย 419,013 กิโลกรัม และระยะเวลาความถี่เสี่ยงถูกหารด้วยค่า 153 ชั่วโมง โดยผลลัพธ์ถูกเปรียบเทียบในช่วงฤดูแล้งเนื่องด้วยมีส่วนของช่วงเวลาความถี่เสี่ยงให้ศึกษา โดยจะพิจารณาในสัดส่วน 25%:25%:50% และ 15%:15%:70% โดยสลับจนครบทุกความเป็นไปได้

เมื่อเทียบการเพิ่มอัตราส่วนค่าน้ำหนักในวัตถุดิบประสมเดียวกัน จากกรณีที่ 1 และ 4 การเพิ่มค่าน้ำหนักด้านต้นทุนจาก 50 % เป็น 70% ส่งผลให้ต้นทุนลดลง 5,574 บาทหรือคิดเป็น 0.24 เปอร์เซ็นต์ แต่ทำให้การปล่อยก๊าซเพิ่มขึ้น 79 กิโลกรัม หรือคิดเป็น 0.02 เปอร์เซ็นต์ และความสุ่มเสี่ยงเพิ่มขึ้น 1 ชั่วโมง หรือเป็น 5.88 เปอร์เซ็นต์จากค่าเดิม และคิดเป็น 0.29 เปอร์เซ็นต์จากช่วงเวลาทั้งหมด เนื่องด้วยค่าน้ำหนักด้านสิ่งแวดล้อมและความสุ่มเสี่ยงลดลงจาก 25% เหลือเป็น 15%

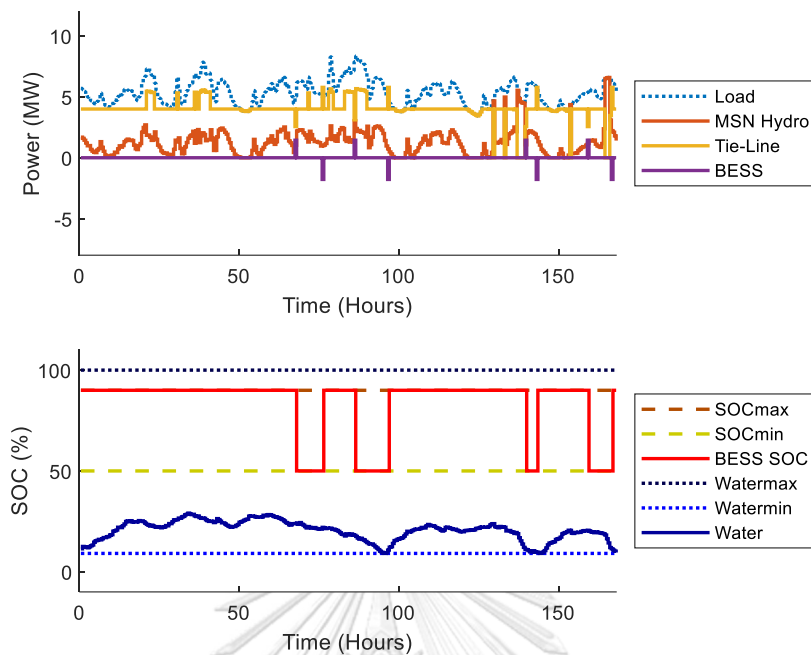
และเมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนค่าน้ำหนักของแต่ละวัตถุดิบในอัตราส่วนเดิม จากกรณีที่ 1 ถึง 3 การปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักในแต่ละวัตถุดิบ ให้ค่าต้นทุนการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 2,237,487 และต่ำสุดที่ 2,234,698 ซึ่งแตกต่างกันที่ 2,789 หรือคิดเป็น 0.12 เปอร์เซ็นต์จากค่าสูงสุด ในค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 318,266 และค่าต่ำสุดอยู่ที่ 317,795 ต่างกันที่ 471 หรือคิดเป็น 0.15 เปอร์เซ็นต์จากค่าสูงสุด โดยในอัตราส่วนที่ 25:25:50 การเปลี่ยนค่าน้ำหนักไม่ได้มีผลต่อความสุ่มเสี่ยง ทุกการเปลี่ยนค่าน้ำหนักยังคงมีค่าความสุ่มเสี่ยงอยู่ที่ 16 ชั่วโมง ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ 4 ถึง 6 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนค่าน้ำหนักในแต่ละวัตถุดิบในอัตราส่วน 15:15:70 ซึ่งค่าน้ำหนักของวัตถุดิบที่มากที่สุดจะมีอัตราส่วนที่สูงขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนค่าน้ำหนักและอัตราส่วนของค่าน้ำหนักมีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ โดยการให้ค่าน้ำหนักที่มากขึ้นในสมการวัตถุดิบกับวัตถุดิบใดประสมหนึ่งจะให้คำตอบของวัตถุดิบนั้นมีค่าลดลงแต่คำตอบของวัตถุดิบที่เหลือจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 34 ผลลัพธ์กรณีค่าน้ำหนักที่ $\alpha_1 = 0.7$, $\alpha_2 = 0.15$ และ $\alpha_3 = 0.15$



รูปที่ 35 ผลลัพธ์กรณีค่าน้ำหนักที่ $\alpha_1 = 0.15$, $\alpha_2 = 0.7$ และ $\alpha_3 = 0.15$



รูปที่ 36 ผลลัพธ์กรณีค่าน้ำหนักที่ $\alpha_1 = 0.15$, $\alpha_2 = 0.15$ และ $\alpha_3 = 0.7$

โดยจาก รูปที่ 34 ถึง รูปที่ 36 แสดงถึงความแตกต่างในการให้ค่าน้ำหนักของวัตถุประสงค์ทั้งสาม จากรูปที่ 34 เมื่อให้ค่าน้ำหนักด้านต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าวัตถุประสงค์อื่น คำตอบที่ได้จะมีการใช้งานแบตเตอรี่บ่อยครั้งขึ้น เพื่อชาร์จและดิสชาร์จไฟฟ้าให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพื่อให้เกิดการซื้อขายไฟฟ้าสู่ระบบไฟฟ้าหลักคุ้มค่ามากที่สุด แสดงให้เห็นว่าแม้จะก่อให้เกิดพลังงานสูญเสียเนื่องจากคุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในการชาร์จและดิสชาร์จ แต่เมื่อเทียบกับส่วนต่างของอัตราซื้อขายไฟฟ้าแล้วยังคุ้มค่า แต่อย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้อยู่ภายใต้การจำลองที่ค่าใช้จ่ายในการใช้งานของแบตเตอรี่ต่ำกว่าการรับซื้อไฟฟ้าผ่านสายส่ง ซึ่งเป็นการคิดเฉพาะค่าบำรุงรักษาต่อการใช้งานเท่านั้น และกรณีให้ค่าน้ำหนักความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 35 คำตอบจะไม่มีการใช้งานแบตเตอรี่เพราะจะก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย และในกรณีที่ให้ค่าน้ำหนักไปที่ความคุ้มครอง คำตอบที่ได้จะมีการใช้งานแบตเตอรี่เพื่อช่วยลดความคุ้มครองโดยการชาร์จเพื่อดิสชาร์จในช่วงที่จำเป็นต้องพึ่งพากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักมาก โดยจะคำนึงถึงความสำคัญของสิ่งแวดล้อมลดลงจึงเกิดการการใช้งานแบตเตอรี่ซึ่งสอดคล้องกับค่าน้ำหนักที่ลดทอนลงไป

4.1.4 กรณีศึกษาการเพิ่มขึ้นของโหลด

พิจารณาการเพิ่มขึ้นของโหลดต่อการจัดสรรพลังงานเพื่อลดความคุ้มครองต่อการเกิดไฟฟ้าดับ โดยจะพิจารณาในช่วงฤดูแล้งที่มือน้ำน้อยเพราะมีปัญหาความคุ้มครองเป็นหลัก โดยศึกษาด้วยการเพิ่ม

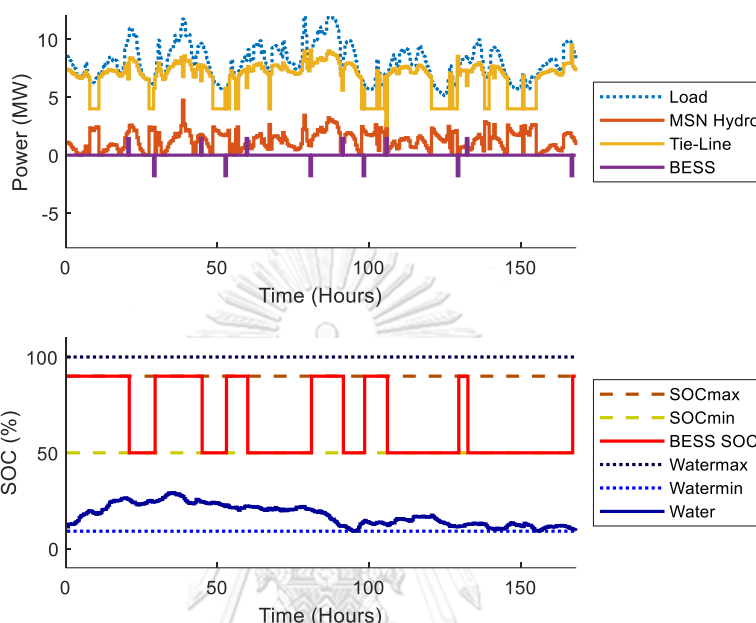
โหลดที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์เทียบกรณีฐานที่ปี พ.ศ. 2557 โดยสมมติให้นำที่สามารถจัดสรรได้มีปริมาณเท่าเดิมและศึกษาในกรณีที่กำลังไฟฟ้าส่วนเกินสูงสุดหรือ $P_{risk,max}$ ค่าที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ณ เวลานั้นๆ ได้ผลลัพธ์ดัง ตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลลัพธ์เมื่อโหลดเพิ่มขึ้น

Case	Economic		Environment		Risk	
	THB	THB/Units	KgCO ₂	KgCO ₂ /Units	Hours	%
Base (2557)	2,238,006	2.48	317,795	0.35	7.5	2.23
Load increasing 110%	2,556,771	2.57	359,697	0.36	29	8.63
Load increasing 120%	2,860,419	2.64	401,598	0.37	57	16.9
Load increasing 130%	3,159,609	2.69	443,735	0.38	84	25
Load increasing 140%	3,457,170	2.74	485,793	0.39	108	32.1
Load increasing 150%	3,737,140	2.76	527,773	0.39	131	38.9

จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าแม้ที่โหลด 110 เปอร์เซ็นต์ หากจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสม ช่วงเวลาความสุ่มเสี่ยงจะอยู่ที่ 29 ชั่วโมง ซึ่งยังคงน้อยกว่าการจัดสรรพลังงานแบบเดิมที่โหลดปกติซึ่งมีช่วงเวลาความสุ่มเสี่ยงที่ 78 ชั่วโมง และในกรณีที่โหลด 150 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเป็นประมาณปี พ.ศ. 2559 (146.41 เปอร์เซ็นต์) จากอัตราการเพิ่มขึ้นของโหลด 10 เปอร์เซ็นต์ต่อปี จะมีช่วงเวลาความสุ่มเสี่ยงเป็น 131 ชั่วโมงหรือคิดเป็น 38.9 เปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาทั้งหมดในการวางแผน โดยมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเฉลี่ยที่ 299,827 บาท และการปล่อยก๊าซเพิ่มขึ้นประมาณ 41,996 กิโลกรัม ต่อการเพิ่มขึ้นของโหลด 10 เปอร์เซ็นต์ โดยในกรณีที่กำหนดให้กำลังไฟฟ้าส่วนเกินอยู่ที่ไม่เกิน 20

เปอร์เซ็นต์ของโหลด การจัดสรรพลังงานจะหาคำตอบได้ถึงที่การเพิ่มโหลด 20 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น หรือเทียบเป็นโหลดประมาณปี พ.ศ. 2558 (121 เปอร์เซ็นต์) เนื่องด้วยติดในข้อจำกัดของปริมาณน้ำ และข้อจำกัดในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่เกินได้



รูปที่ 37 ผลลัพธ์กรณีทีโหลดเพิ่มขึ้นเป็น 150 เปอร์เซ็นต์

4.1.5 กรณีศึกษาขนาดของแบตเตอรี่

ในงานวิจัยองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยให้การเปลี่ยนผ่าน คือ แบตเตอรี่ ดังนั้นในกรณีศึกษานี้จะทดลองเปลี่ยนขนาดของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันโดยมีความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 2, 4 และ 6 เมกะวัตต์ และที่ความจุ 1, 2 และ 3 เมกะวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นการจำลองภายใต้สมมติฐานที่อัตราการคายประจุ (C-rate) คงที่ที่ 2C คือจะสามารถชดเชยสายส่งที่ขนาดเท่าแบตเตอรี่ได้เป็นเวลา 15 นาที ดังนั้นเงื่อนไขที่จะพิจารณาความเสี่ยงในการศึกษานี้จะเปลี่ยนไปตามขนาดแบตเตอรี่ เช่น ในกรณีที่แบตเตอรี่ขนาด 6 เมกะวัตต์ ความเสี่ยงจึงหมายถึงกรณีที่รับไฟผ่านสายส่ง 115 กิโลโวลต์สัทธิ เกินช่วง 6 เมกะวัตต์ โดนการศึกษาจะเปรียบเทียบกับกรณีฐาน

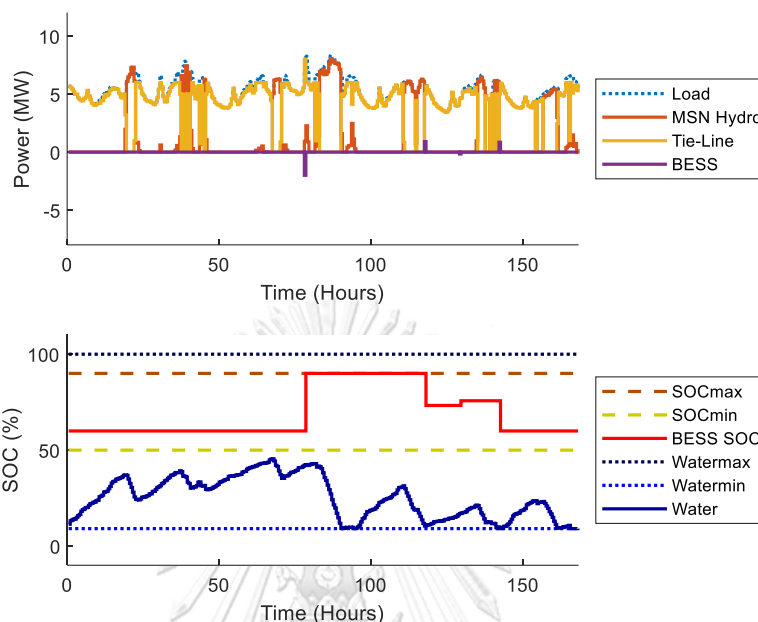
ตารางที่ 11 ผลลัพธ์เปรียบเทียบเมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดแบตเตอรี่

กรณี		ช่วงที่มีความสุ่มเสี่ยง	
		ชั่วโมง	เปอร์เซ็นต์
กรณีฐาน	2 MW/ 1 MWh	168	100 %
	4 MW/ 2 MWh	78	46.42 %
	6 MW / 3 MWh	6.5	1.93 %
แบบจำลอง	2 MW/ 1 MWh	151	89.88 %
	4 MW/ 2 MWh	7.5	2.23 %
	6 MW / 3 MWh	0	0 %

จากตารางที่ 11 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าการจัดสรรพลังงานสามารถลดช่วงเวลาความสุ่มเสี่ยงได้ในทุกขนาดของแบตเตอรี่เมื่อเทียบกับกรณีฐานที่ไม่ได้พิจารณาถึงการใช้งานแบตเตอรี่ในการเปลี่ยนผ่าน โดยกรณีที่แบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ในกรณีฐานจะมีช่วงเวลาสุ่มเสี่ยงอยู่ที่ 168 ชั่วโมง (100 %) และจากแบบจำลองที่นำเสนอมีช่วงเวลาสุ่มเสี่ยงอยู่ที่ 151 ชั่วโมง (89.88 %) ถัดมาในกรณีที่แบตเตอรี่ขนาด 4 เมกะวัตต์ แบบจำลองที่นำเสนอลดเวลาที่สุ่มเสี่ยงลงจาก 78 ชั่วโมง (46.42 %) เหลือ 7.5 ชั่วโมง (2.23 %) และสุดท้ายกรณีที่แบตเตอรี่ขนาด 6 เมกะวัตต์ จากช่วงเวลาสุ่มเสี่ยง 6.5 (1.93 %) เป็นไม่มีช่วงเวลาสุ่มเสี่ยง (0%)

โดยประสิทธิภาพของการจัดสรรพลังงานจะเห็นชัดในกรณีที่ของแบตเตอรี่ขนาด 4 เมกะวัตต์ เนื่องจากปริมาณน้ำสามารถจัดสรรให้การพึ่งพาสายส่งอยู่ภายในช่วงของขนาดแบตเตอรี่ได้มาก จึงแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างการจัดสรรพลังงานแบบเดิมและวิธีการที่นำเสนอได้ชัดเจน แต่ในกรณีที่แบตเตอรี่ขนาด 2 เมกะวัตต์ ปริมาณน้ำไม่เพียงพอที่จะควบคุมสายส่งให้เหลือต่ำกว่า 2 เมกะวัตต์ได้แม้ว่าจะมีการจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสมแล้ว และในกรณี 6 เมกะวัตต์ เนื่องจากโวลต์มีค่าเฉลี่ยที่ประมาณ 6 เมกะวัตต์ ดังนั้นแม้จะจัดสรรพลังงานโดยคำนึงถึงการควบคุมการพึ่งพาสายส่งหรือไม่คำนึงผลลัพธ์จึงไม่ได้แตกต่างกันมากนัก แต่หากพิจารณาในส่วนการเปลี่ยนด้วยปริมาณน้ำเท่า

เดิม แต่การควบคุมสายส่งสูงสุดเพิ่มขึ้นเป็น 6 เมกะวัตต์จึงสามารถให้ผลลัพธ์ที่ไม่ก่อให้เกิดช่วงเวลาที่ มีความเสี่ยงได้



รูปที่ 38 ผลลัพธ์กรณีที่แบตเตอรี่ที่ขนาด 6 เมกะวัตต์

จากรูปที่ 38 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแบตเตอรี่มีขนาด 6 เมกะวัตต์ ซึ่งใกล้เคียงกับโหลดเฉลี่ย ในช่วงฤดูแล้ง การควบคุมการพึ่งพาสายส่งจึงให้ความแตกต่างน้อยเมื่อเทียบกับกรณีฐาน เพราะแม้ว่าจะไม่ควบคุม แต่ในหลายช่วงเวลาโหลดสุทธิมีค่าต่ำกว่า 6 เมกะวัตต์อยู่แล้ว แต่การควบคุมช่วยลดทอนส่วนที่ยังเกิน 6 เมกะวัตต์ ในบางช่วงเวลาได้ ทำให้ไม่เกิดความล้มเหลวตลอดระยะเวลาการจำลอง 7 วัน

4.1.6 กรณีศึกษากำลังไฟฟ้าส่วนเกิน

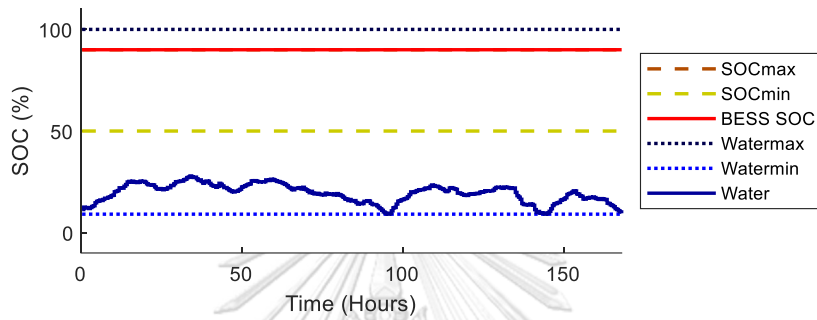
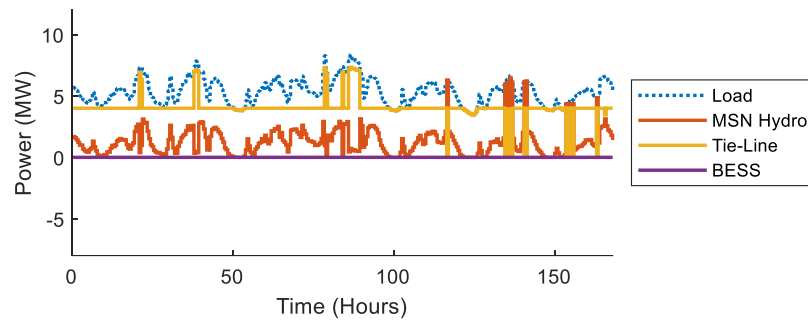
ในกรณีนี้จะศึกษาค่ากำลังไฟฟ้าส่วนเกินหรือ P_{risk} ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนผ่านอย่างราบรื่น (Smooth transition) โดยศึกษาที่ค่า $P_{risk,max}$ ต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ถึงการควบคุมการพึ่งพาสายส่ง และเตรียมการร้องขอความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีอัตราความร่วมมือมาน้อยแตกต่างกันอีกครั้งในช่วงเวลาจริง

ตารางที่ 12 ผลลัพธ์เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าส่วนเกินสูงสุด

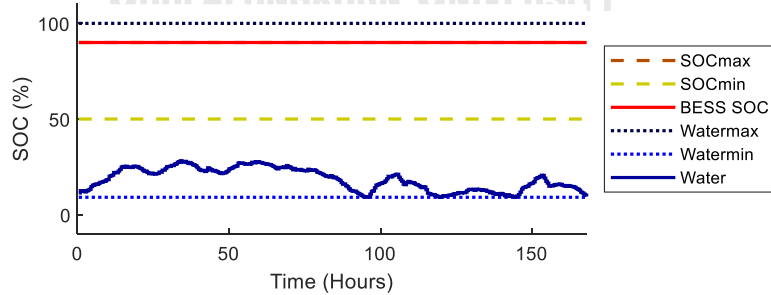
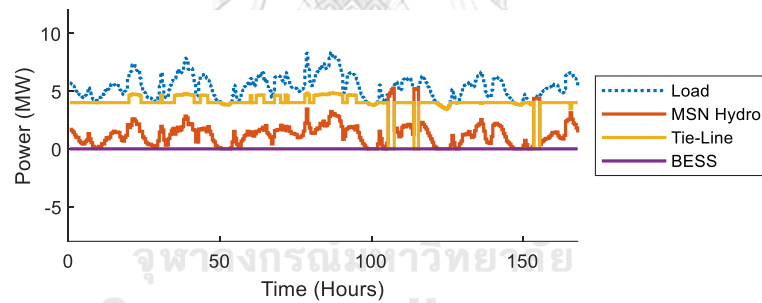
$P_{risk,max}$	TOC (Baht)	TCOE (kgCO ₂)	Risk duration (Hours)	Total Risk Energy (MWh)
10%	2,238,810	317,795	33.5	22.86
20%	2,237,487	317,795	16	22.86
30%	2,238,092	317,795	10.5	22.86
40%	2,239,520	317,795	7.5	22.86

โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก ตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าการควบคุมสายส่งส่วนเกินที่มากหรือน้อยแตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และต้นทุนการผลิตไม่มีการแปรผันตามกำลังไฟฟ้าส่วนเกินที่มากขึ้น โดยการควบคุมการพึ่งพาสายส่งโดยปล่อยให้เกิดช่วงที่กำลังไฟฟ้าส่วนเกินมาก ซึ่งเป็นกรณีที่คาดหวังว่าผู้ใช้ไฟฟ้าจะมีความร่วมมือในการลดโหลดที่มากด้วย ดังนั้นจำนวนช่วงเวลาที่เกิดความสูญเสียจะน้อยลงหรือจำเป็นต้องจ่ายเดือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าที่น้อยลง

ตัวอย่างเช่นหากคาดว่าผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถร่วมมือในการลดโหลดได้อยู่ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ณ เวลานั้น ๆ ทำให้การจัดสรรพลังงานในการวางแผนนี้ จะควบคุมให้กำลังไฟฟ้าส่วนเกินเกินกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของโหลด จำนวนช่วงเวลาที่ต้องร้องขอความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าในการลดความสูญเสียตลอดช่วงระยะเวลา 7 วันจะอยู่ที่เพียง 7.5 ชั่วโมง แต่หากคาดว่าความร่วมมือของผู้ใช้ไฟฟ้าน้อย คือ อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ของโหลด การจัดสรรพลังงานจำเป็นต้องมีการร้องขอความร่วมมือบ่อยขึ้นเป็น 33.5 ชั่วโมง ในช่วงระยะเวลา 7 วัน ดังรูปที่ 39 และ รูปที่ 40 ตามลำดับ เนื่องด้วยกำลังไฟฟ้ารับเข้าส่วนเกินนั้นเกิดจากพลังงานน้ำในระบบไมโครกริดที่ไม่สามารถช่วยจ่ายไฟฟ้าในระบบให้เพียงพอได้ ซึ่งในกรณีศึกษานี้มีค่าพลังงานรับเข้าส่วนเกินคงที่ที่ 22.86 เมกะวัตต์ ชั่วโมง ดังนั้นในกรณีที่ความร่วมมือมาก จะทำให้ช่วงเวลาที่ต้องร้องขอความร่วมมือมีค่าน้อยลง



รูปที่ 39 ผลลัพธ์กรณีค่ากำลังไฟฟ้าส่วนเกิน 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 40 ผลลัพธ์กรณีค่ากำลังไฟฟ้าส่วนเกิน 10 เปอร์เซ็นต์

4.2 ผลลัพธ์ในภาวะเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลักเวลาจริง

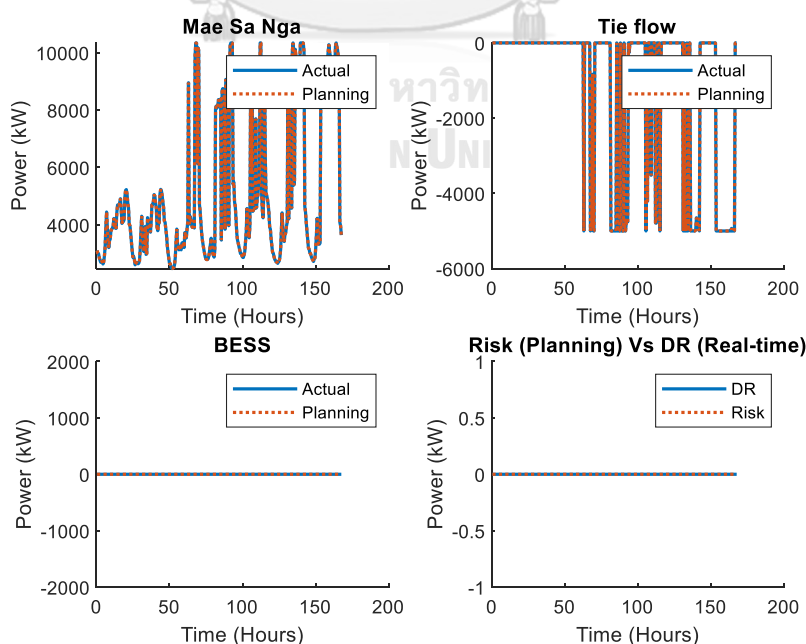
4.2.1 ข้อมูลในแบบจำลอง

แบบจำลองการพยากรณ์

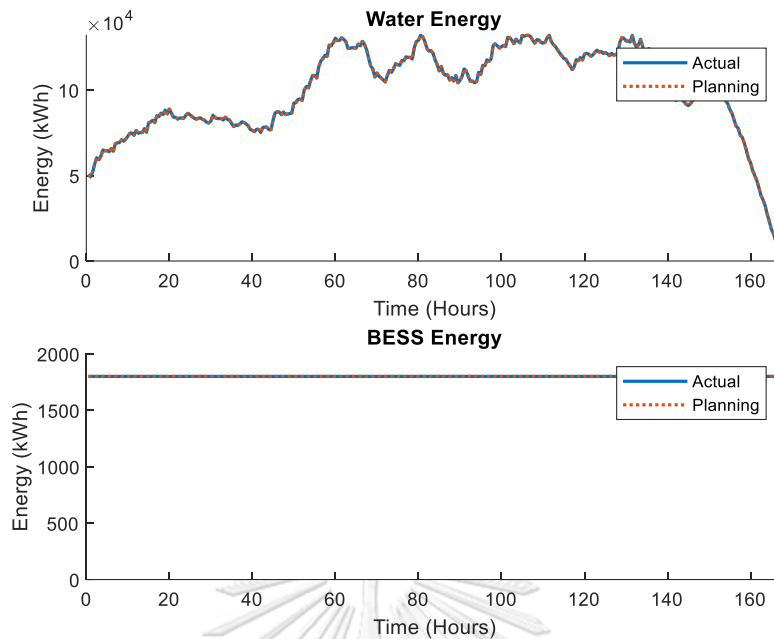
แบบจำลองความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์จะกำหนดให้ข้อมูล ณ ช่วงเวลาจริงมีความคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลพยากรณ์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบวางแผนล่วงหน้าหนึ่งวัน โดยข้อมูลการพยากรณ์คลาดเคลื่อนจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งมีลักษณะดังนี้ กรณีที่การพยากรณ์เป็นแบบ Over-forecast ข้อมูล ณ เวลาจริงจะจำลองให้มีค่าต่ำกว่าข้อมูลการพยากรณ์ โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็น 0.036 และ ค่าเฉลี่ย (Mean) เป็น -0.1 และกรณีที่การพยากรณ์เป็นแบบ Under-forecast จะมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.1 ซึ่งในการศึกษานี้ จะจำลองความคลาดเคลื่อนเฉพาะในส่วนของปริมาณน้ำไหลเข้าซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของการจัดสรรพลังงานน้ำ

4.2.2 กรณีศึกษาฤดูกาล

ผลลัพธ์ในแบบจำลองในการจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง เมื่อทดสอบที่ความแม่นยำในการพยากรณ์อยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาดในการพยากรณ์ โดยจำลองจากการใช้ข้อมูลที่วัดได้ ณ เวลาจริง เป็นข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการวางแผนล่วงหน้าหนึ่งวัน

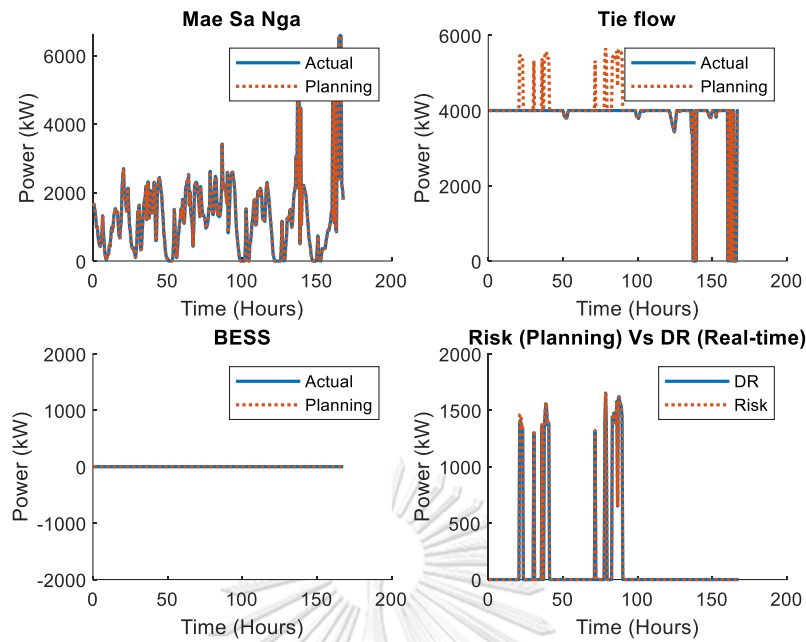


รูปที่ 41 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูฝน

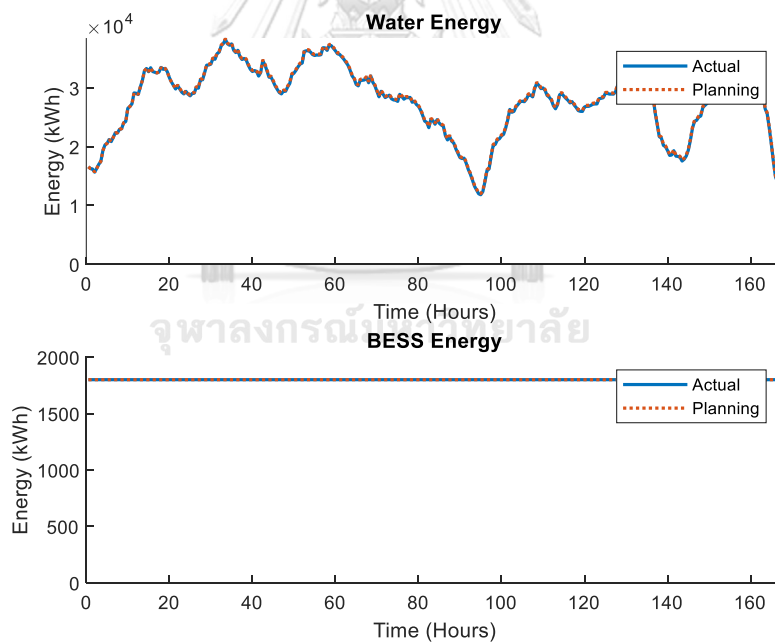


รูปที่ 42 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูฝน

จากรูปที่ 41 และ รูปที่ 42 ซึ่งเป็นผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง (เส้นทึบ) ในช่วงฤดูฝนที่มีโปรไฟล์กำลังไฟฟ้าส่งออกผ่านสายส่งสอดคล้องกับการจัดสรรล่วงหน้าทีวางแผนไว้ (เส้นประ) ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ คือ ให้การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริงมีต้นทุนต่ำและยังคงสอดคล้องกับแผนที่วางไว้ล่วงหน้าด้วยข้อมูลการพยากรณ์ เนื่องด้วยในช่วงฤดูฝนที่ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนระดับน้ำจะคงสูงกว่าเงื่อนไขในการวางแผนใหม่ ณ เวลาจริงทุกช่วงเวลา และไม่มีช่วงความเสี่ยงที่ต้องพิจารณาในการจัดสรรพลังงานใหม่ร่วมกับการตอบสนองด้านโหลด ดังนั้นคำตอบที่ได้ในช่วงฤดูฝนจะมากจากกฎอย่างง่ายที่จะให้คำตอบตามแผนที่วางไว้ล่วงหน้า



รูปที่ 43 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง



รูปที่ 44 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง

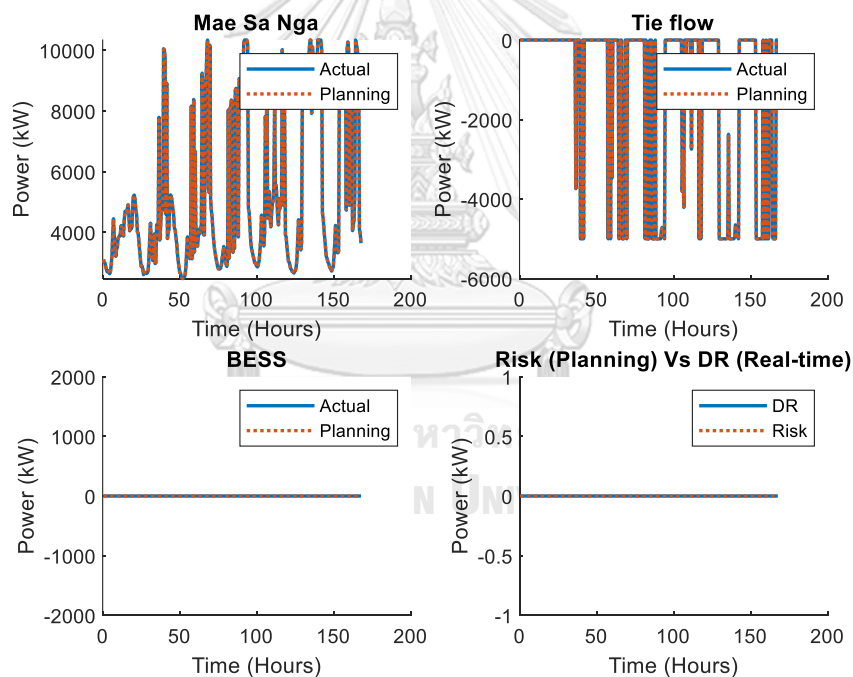
ในกรณีของฤดูแล้งดังรูปที่ 43 และรูปที่ 44 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ยังคงมีความสอดคล้องการจัดสรรที่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้าซึ่งเป็นการจัดสรรตามกฎอย่างง่ายที่ตั้งไว้ โดยช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงที่มีค่าการพึ่งพาสายส่งเกินกว่าความสามารถของแบตเตอรี่ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากการควบคุมสายส่งในการวางแผนล่วงหน้า จะถูกพิจารณาจากชดเชยด้วยการตอบสนองด้าน

โหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าอีกที ณ เวลาจริง ผ่านวิธีการแก้ปัญหาแบบหาค่าเหมาะสมที่สุดกำลังสอง เพื่อให้เกิดความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าในการลดความถี่เสี่ยงนั้น ดังนั้นหากการตอบสนองด้านโหลดเป็นไปตามที่ร้องขอไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า จะสามารถควบคุมสายส่งให้มีค่าต่ำกว่า 4 เมกะวัตต์ได้ทุกช่วงเวลาดังรูป ทำให้ระบบมีความพร้อมต่อการเปลี่ยนผ่านภาวะการทำงานในทุกช่วงเวลา แต่หากความร่วมมือต่ำกว่าที่ร้องขอ ระบบจะยังคงเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับเช่นเดิม

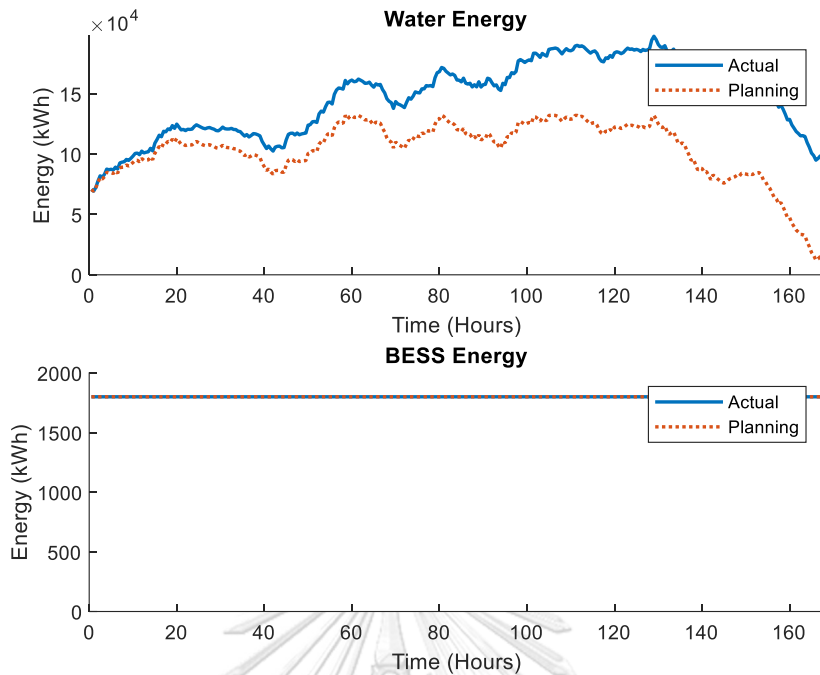
4.2.3 กรณีศึกษาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลการพยากรณ์

ทดสอบแบบจำลองเมื่อข้อมูลการพยากรณ์ล่วงหน้าหนึ่งวันมีความคลาดเคลื่อน โดยทดสอบในกรณีที่การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้ามีความคลาดเคลื่อนแบบมากเกินไป (Over-Forecast) และน้อยเกินไป (Under-Forecast)

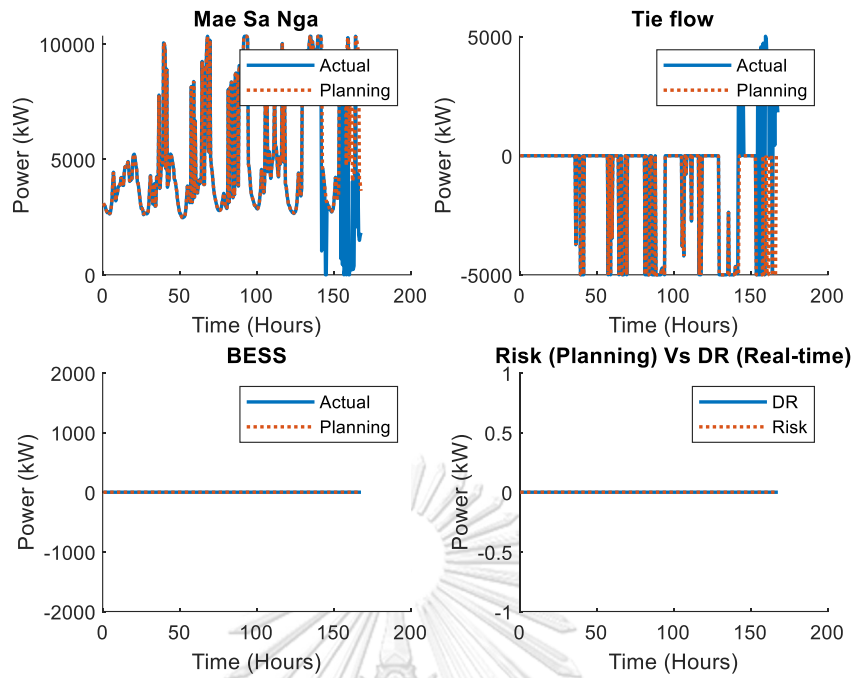
1.) กรณีฤดูฝน



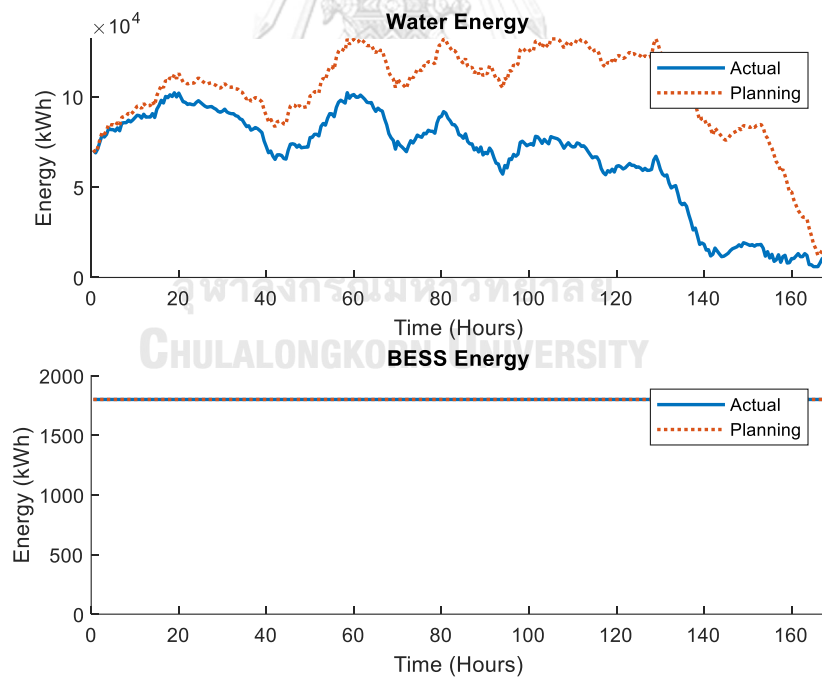
รูปที่ 45 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Under-forecast



รูปที่ 46 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Under-forecast จากรูปที่ 45 และ รูปที่ 46 ซึ่งเป็นผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในกรณีที่การพยากรณ์น้ำผิดพลาดเป็นแบบ Under-forecast ซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าสูงกว่าที่วางแผนไว้ เนื่องด้วยการไม่มีช่วงเวลาที่สุ่มเสี่ยงและระดับน้ำยังคงอยู่สูงกว่าระดับน้ำขั้นต่ำ ทำให้การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริงแก้ปัญหาด้วย rule-based เท่านั้น ดังนั้นน้ำจึงเบี่ยงเบนจากแผนมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาความสุ่มเสี่ยงในระบบที่จะเข้าเงื่อนไขในการแก้ปัญหาด้วย optimization



รูปที่ 47 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Over-forecast

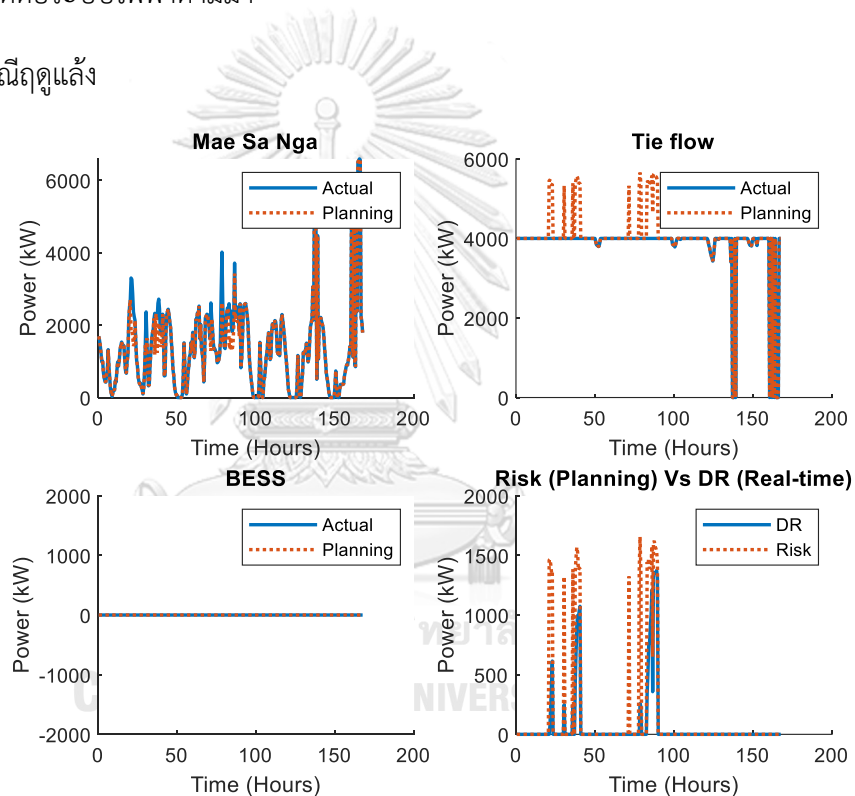


รูปที่ 48 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูฝน กรณี Over-forecast

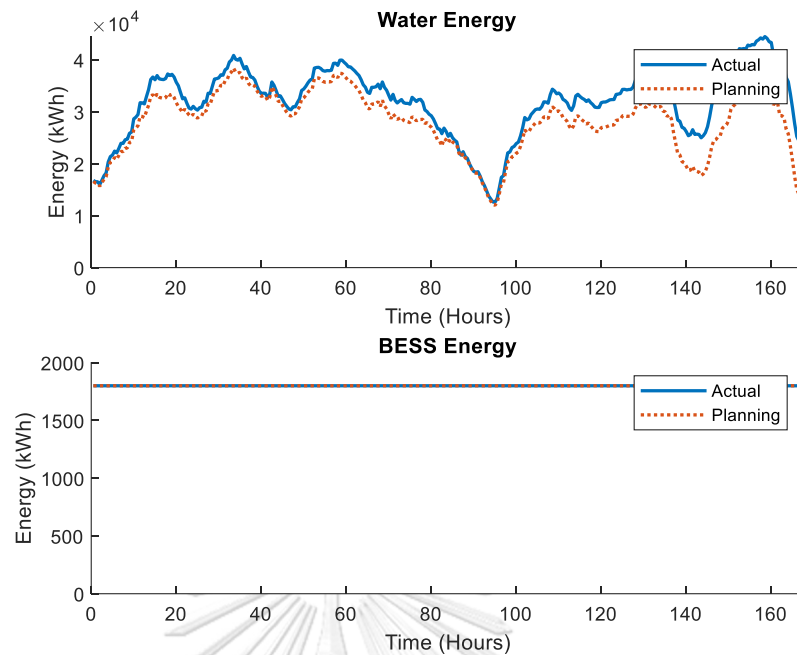
และในกรณีที่การพยากรณ์เป็นแบบ Over-forecast ดังรูปที่ 47 และ รูปที่ 48 ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลเข้าน้อยกว่าข้อมูลพยากรณ์ที่ใช้ในการวางแผน ทำให้แม้ในฤดูฝนจะไม่มีช่วงเวลาที่สุ่มเสี่ยงต่อ

การเกิดไฟฟ้าดับอันเนื่องจากการวางแผนล่วงหน้า แต่ในช่วงท้ายของการวางแผนที่มีคำตอบที่ได้พยายามใช้น้ำจนถึงค่าต่ำสุดผนวกกับความคลาดเคลื่อนแบบ Over-forecast ทำให้ปริมาณน้ำค่อย ๆ ต่ำลงกว่าแผน จนกระทั่งถึงปริมาณน้ำขั้นต่ำที่จะแก้ปัญหาด้วย optimization ซึ่งคำตอบที่ได้จะทำให้กำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งและจุดทำงานของแม่ส่งบางแห่งเบี่ยงเบนไปจากแผนได้และก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าส่วนเกินบางส่วน เพื่อรักษาระดับน้ำไม่ให้ต่ำลงไปกว่าเดิม เพราะหากจัดสรรพลังงานด้วย rule-based เพียงอย่างเดียวเพื่อที่จะควบคุมกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งให้เป็นไปตามแผนทุกช่วงเวลา ระดับน้ำจะลดลงต่ำกว่าเกณฑ์จนกระทั่งไม่เพียงพอที่จะแยกโดดได้เป็นระยะเวลานาน ซึ่งก็ก่อให้เกิดปัญหาต่อความน่าเชื่อถือได้ต่อระบบไฟฟ้าตามมา

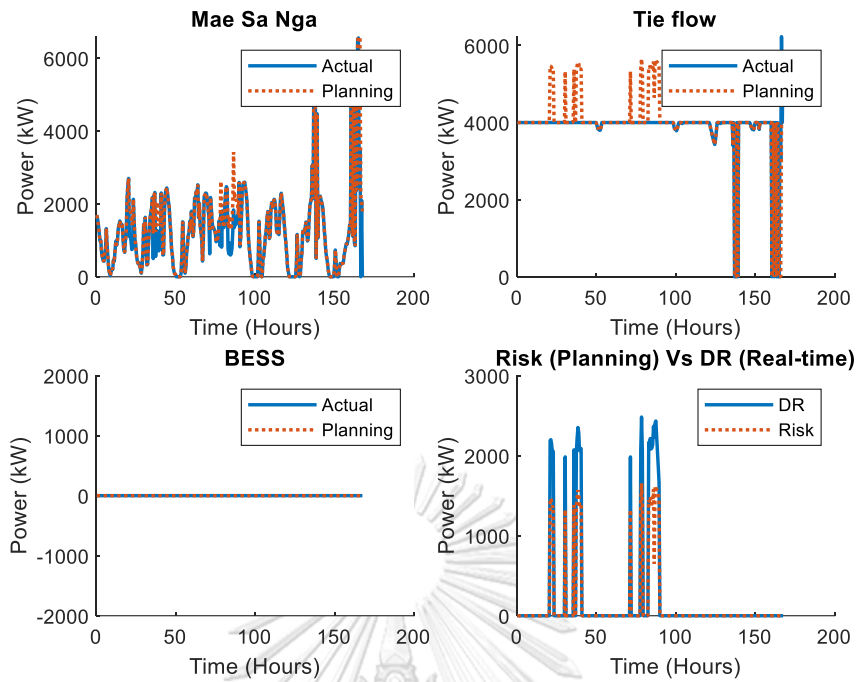
2.) กรณีฤดูแล้ง



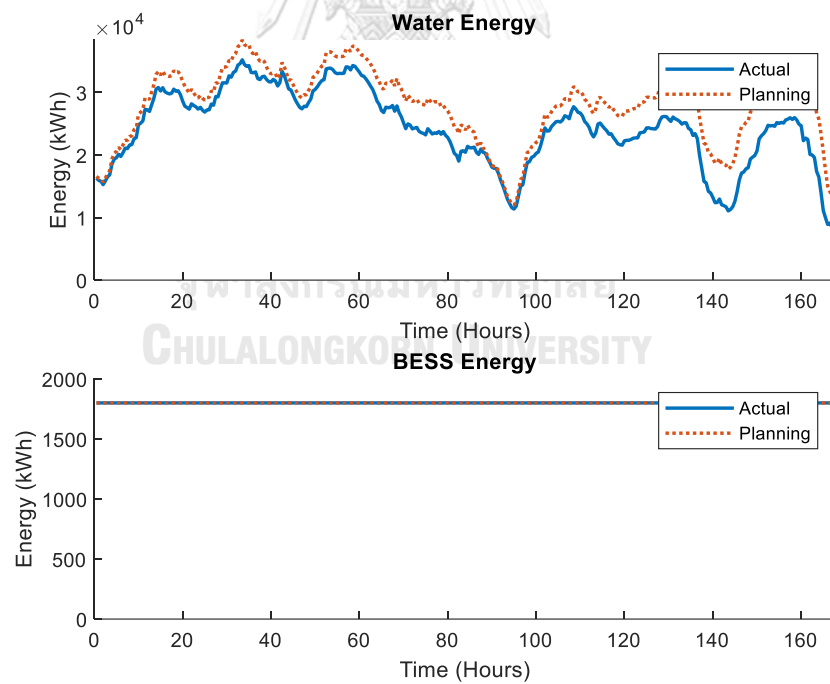
รูปที่ 49 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Under-forecast



รูปที่ 50 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Under-forecast จากรูปที่ 49 และ รูปที่ 50 ผลลัพธ์ในฤดูแล้ง กรณี Under-forecast เมื่อมีน้ำเข้ามาเยอะกว่าแผนที่วางไว้ จากรูปที่ 49 ในกราฟการพึ่งพาสายส่ง (ควอไทล์ 1) จะสังเกตเห็นว่าในการวางแผน (เส้นประ) สายส่งมีบางช่วงเวลาที่ก่อให้เกิดความสุ่มเสี่ยง แต่ ณ เวลาจริง (เส้นทึบ) ไม่มีช่วงเวลาใดสุ่มเสี่ยง เนื่องจาก ณ ช่วงเวลาดังกล่าวแก้ปัญหาด้วย optimization ซึ่งในกรณีที่มีน้ำมากกว่าที่คาดไว้ ค่าตอบที่ได้จะให้แม่สะงา (ควอไทล์ 2) จ่ายโหลดมากกว่าแผนในช่วงเวลาที่สุ่มเสี่ยง เพื่อลดการพึ่งพาการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ไฟฟ้าที่วางแผนว่าจะถูกเรียกใช้เพื่อลดทอนการพึ่งพาสายส่งส่วนเกิน ซึ่งแสดงให้เห็นใน ควอไทล์ที่ 4 โดยการตอบสนองด้านโหลดที่ต้องการ ณ เวลาจริง (เส้นทึบ) จะมีค่าน้อยกว่าที่กำลังไฟฟ้าส่วนเกินวางแผนไว้ (เส้นประ)



รูปที่ 51 ผลลัพธ์การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Over-forecast



รูปที่ 52 ผลลัพธ์การจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ในฤดูแล้ง กรณี Over-forecast

ส่วนในกรณีที่ปริมาณน้ำไหลเข้าน้อยกว่าแผนที่วางไว้ ดังรูปที่ 51 และ รูปที่ 52 เมื่อน้ำไหลเข้าน้อยกว่าแผนที่วางไว้ ณ ช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงที่แก้ปัญหาด้วย Quadratic programming ซึ่ง

แสดงให้เห็นดังรูปที่ 51 คิวโวลต์ที่ 4 โดยการร้องขอการตอบสนองด้านโหลด ณ เวลาจริง (เส้นทึบ) จำเป็นต้องมากกว่าแผนที่คาดการณ์ไว้ (เส้นปะ) เพื่อจะลดความถี่เสี่ยงในช่วงเวลาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปริมาณน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด จากรูปที่ 52 ในช่วงท้ายของการจัดสรรพลังงานแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำต่ำกว่าค่าที่สำรองไว้เพื่อเลี้ยงตัวเองขณะแยกโดด และเข้าเงื่อนไขในการแก้ปัญหาด้วย Quadratic programming โดยไม่พิจารณาการตอบสนองด้านโหลด ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การพึ่งพาสายส่งจำเป็นต้องมีค่ามากกว่าแผนที่วางไว้ ซึ่งทำให้มีช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงในการเกิดไฟฟ้าดับขณะเปลี่ยนผ่าน แต่อย่างไรก็ตามระดับน้ำจะไม่ลดต่ำไปกว่าเดิม ซึ่งมีความเหมาะสมตามที่ต้องการคือ การให้ความสำคัญกับระดับน้ำขั้นต่ำต่ำกว่าความถี่เสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับขณะเปลี่ยนผ่าน เพราะหากเปลี่ยนผ่านได้แต่ปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการแยกโดด สุดท้ายระบบก็จะเกิดปัญหาไฟฟ้าดับตามมา แต่หากมีพลังงานน้ำสำรองเพียงพอแม้ระบบจะเกิดปัญหาไฟฟ้าดับชั่วคราวขณะเปลี่ยนผ่าน แต่ระบบสามารถฟื้นคืนและเข้าสู่ภาวะแยกโดดและพึ่งพาตนเองด้วยพลังงานน้ำที่สำรองไว้ได้

ตารางที่ 13 ตารางแสดงสรุปความเสี่ยง

Dry	Risk (Hours)	Rainy	Risk (Hours)
Base case	78	Base case	0
CEMS without DR	16	CEMS without DR	0
CEMS with DR	0	CEMS with DR	0
CEMS with DR (Under forecast)	0	CEMS with DR (Under forecast)	0
CEMS with DR (Over forecast)	1.5	CEMS with DR (Over forecast)	2

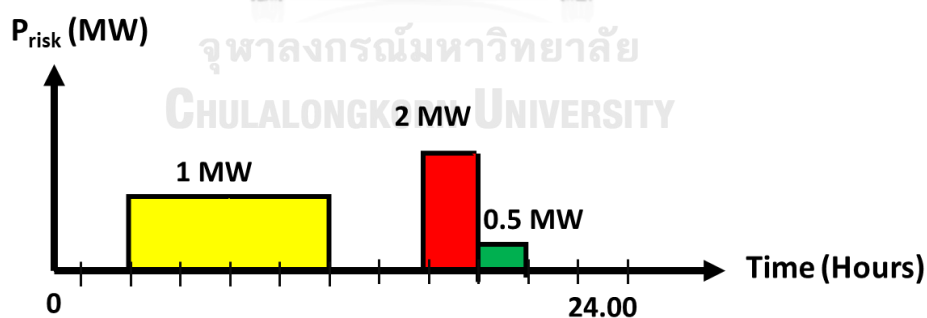
ในตารางที่ 13 เป็นการสรุปผลลัพธ์ของการจัดสรรพลังงานด้วย CEMS ทั้งแบบพิจารณาและไม่พิจารณาการตอบสนองด้านโหลด โดยในฤดูฝนซึ่งมีปริมาณน้ำมาก การจัดสรรด้วยวิธีการแบบกรณีฐาน หรือแบบ CEMS ที่แม้เป็น Over forecast ก็ไม่มีปัญหาด้านความถี่เสี่ยง ส่วนในกรณีของฤดูฝน การจัดสรรพลังงานด้วยวิธีการที่นำเสนอแม้จะยังไม่พิจารณาถึงการตอบสนองด้านโหลด เพียงการควบคุมสายส่งเพียงอย่างเดียวก็สามารถลดช่วงเวลาคือความถี่เสี่ยงลงจาก 78 ชั่วโมง เหลือ 16 ชั่วโมง ได้ และหากมีการร้องขอความร่วมมือและได้รับการตอบสนองจากผู้ใช้ไฟฟ้า จะทำให้ระบบไม่มีช่วงเวลาคือความถี่เสี่ยงเกิดขึ้นเลย อย่างไรก็ตามหากข้อมูลที่นำมาใช้อ้างอิงในการวางแผนมีความ

ผิดพลาดมากและเป็นประเภท Over forecast คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ จะก่อให้เกิดความสูญเสียเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากปริมาณน้ำลดต่ำ จึงจำเป็นต้องเพิ่มการพึ่งพาสายส่งเพื่อลดการใช้ปริมาณน้ำในระบบ

4.2.4 แนวคิดภาวะเฝ้าระวังและการแจ้งเตือน

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอถึงแนวคิดการนำคำตอบที่ได้ผ่านวิธีการที่นำเสนอไปการประยุกต์ใช้งานจริง ซึ่งเป็นการนำเสนอข้อมูลสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่เพื่อเป็นการแจ้งเตือนถึงช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงและเป็นการร้องขอความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อลดทอนโหลด โดยจะยังไม่พิจารณาถึงข้อสัญญาการควบคุมโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง หรือสัญญาอัตราค่าชดเชยในการลดโหลด โดยแนวคิดที่จะแจ้งเตือนขอความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าในหัวข้อนี้ จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ 1.) การแจ้งเตือนล่วงหน้า และ 2.) การแจ้งเตือน ณ เวลาจริง ซึ่งจะถูกแสดงผ่านสมาร์ทมิเตอร์และสมาร์ทแอปพลิเคชัน ตามแนวคิดเดิม

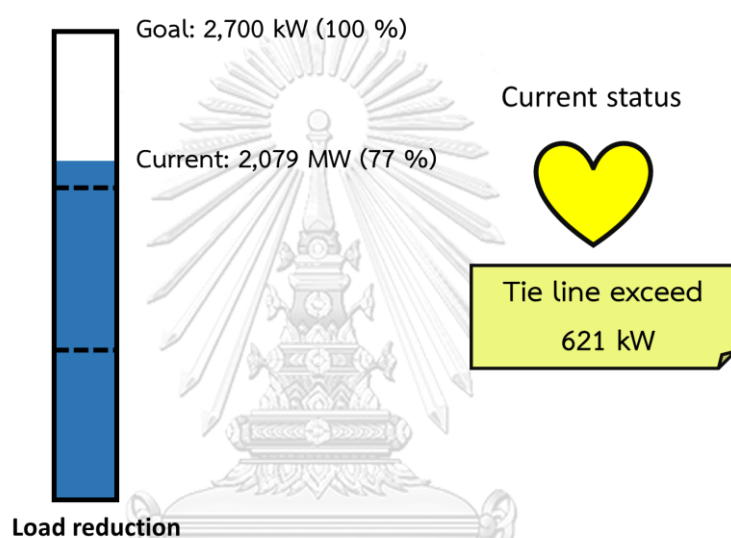
โดยในการแจ้งเตือนล่วงหน้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าหากอ้างอิงจากข้อมูลผลลัพธ์ขั้นการวางแผนในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะแจ้งแก่ผู้ใช้ไฟฟ้ล่วงหน้าเมื่อมีการวางแผนของการจัดสรรพลังงานในวันถัดไป โดยอาจเป็นช่วงเช้าในทุก ๆ วัน ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าจะทราบช่วงเวลาที่จะมีการร้องขอความร่วมมืออย่างแน่ชัด แต่จะทราบปริมาณที่ต้องการขอความร่วมมืออย่างคร่าว ๆ เท่านั้น เนื่องด้วย ณ เวลาจริงอาจจะการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพยากรณ์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 53



รูปที่ 53 แนวทางการแจ้งเตือนล่วงหน้า

และ ณ ช่วงเวลาจริงซึ่งการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้จะมีการแก้ปัญหาใหม่อีกครั้งทุก ๆ 30 นาที ซึ่งการร้องขอความร่วมมือในการลดทอนโหลดอาจจะเปลี่ยนแปลงไปจากแผนที่วางไว้ โดยจะยังคงมีการร้องขอตามเวลาที่แจ้งไว้ล่วงหน้าเท่านั้น ไม่มีการร้องขอแบบฉับพลัน แต่การแจ้งเตือน ณ เวลาจริงจะมีการระบุระดับพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการให้ลดทอนอย่างชัดเจน ซึ่งสามารถ

เปลี่ยนแปลงได้ทั้งมากขึ้นและน้อยลงจากแผนที่วางไว้ขึ้นอยู่กับความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพยากรณ์ โดยมีแนวคิดที่จะแจ้งข้อมูลให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบสองส่วนหลัก คือ 1.) กำลังไฟฟ้าส่วนเกินเป้าหมายที่ต้องการลดในช่วงเวลา ณ ขณะนั้น และกำลังไฟฟ้าที่ลดได้ในปัจจุบันอันเนื่องมาจากความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้า 2.) สถานะของระบบ ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน กำลังไฟฟ้าส่วนเกินสุทธิพร้อมทั้งแสดงสีของระบบ ซึ่งประกอบด้วยสีเขียว เหลือง และ แดง โดยแบ่งตามกำลังไฟฟ้าส่วนเกินสุทธิในขณะนั้น เช่น สีเขียวจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 600 kW ซึ่งคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลดเฉลี่ย สีเหลืองจะอยู่ในช่วง 600 ถึง 1,200 kW และสีแดงกรณีที่มีมากกว่า 1,200 kW ดังตัวอย่างในรูปที่ 54



รูปที่ 54 แนวทางการแจ้งเตือน ณ ช่วงเวลาจริง

4.3 ผลลัพธ์ในภาวะแยกโดด

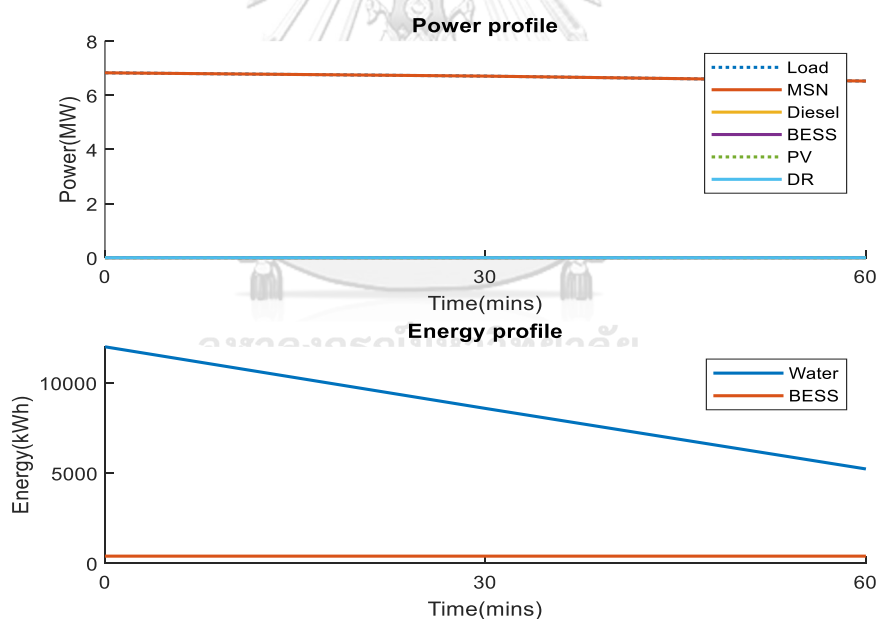
4.3.1 สมมติฐานและข้อมูลในแบบจำลอง

1. การจัดสรรพลังงานนี้เป็นภาวะภายหลังจากการเปลี่ยนผ่านเข้าสู่ภาวะแยกโดดแล้ว คือ ไม่มีองค์ประกอบของสายส่ง และไม่พิจารณาการชดเชยกันระหว่างสายส่งและแบตเตอรี่
2. ระยะเวลาแยกโดดสูงสุดที่คำนวณได้จากการจำลองเกิดจากการเพิ่มระยะเวลาเป้าหมายในการเลี้ยงตัวเองไปจนกระทั่งไม่สามารถหาคำตอบได้ โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้ ระยะเวลาในการหาคำตอบไม่เกิน 60 วินาที ช่วงของความคลื่อนค่าตอบที่ได้ในแต่ละรอบแตกต่างกันไม่เกิน 0.01 เนื่องจากผลลัพธ์การจัดสรรพลังงานที่ได้จำเป็นต้องได้ คำตอบใหม่ทุก ๆ 30 นาที

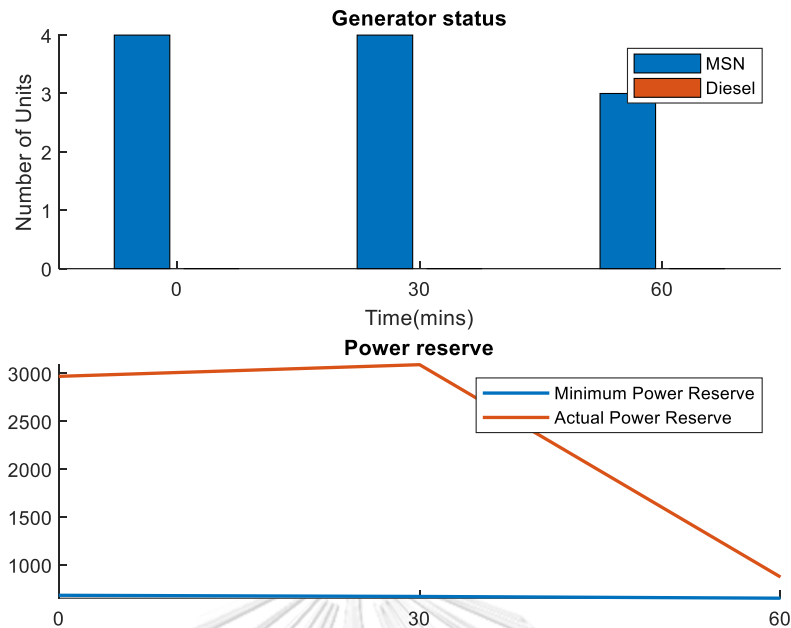
3. ผลลัพธ์ที่ได้เกิดจากการนำจุดทำงานแรกในแต่ละรอบการคำนวณ (30 นาที) มาแสดงร่วมกันในกราฟเดียว
4. แบบจำลองนี้ไม่คำนึงถึงปริมาณเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลล์ สมมติให้สามารถใช้อย่างไม่จำกัด

4.3.2 กรณีศึกษาระยะเวลาในการแยกโดด

กรณีศึกษานี้จะเป็นการปรับระยะเวลาเป้าหมายที่ต้องการให้ไมโครกริดแยกโดดได้ เพื่อผลลัพธ์การจัดสรรทรัพยากรด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยจะกำหนดให้มีพลังงานสะสมตั้งต้นจากสถานะเชื่อมต่อบริษัทไฟฟ้าหลักเท่ากับ 12,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นพลังงานน้ำสะสมขั้นต่ำที่จะสำรองไว้ในสถานะเชื่อมต่อบริษัทไฟฟ้าหลัก โดยแบ่งการจำลองเป็นการเลี้ยงตัวเองระยะสั้นเป็นเวลา 90 นาที ระยะกลางเป็นเวลา 210 นาที และ ระยะยาวเป็นเวลา 600 นาที ซึ่งการจำลองนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขการสำรองกำลังไฟฟ้าที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลด และแบตเตอรี่มีพลังงานสะสมอยู่ที่ 400 กิโลวัตต์ชั่วโมงซึ่งเป็นค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นกรณีร้ายแรงที่สุดแต่ยังอยู่ภายใต้ขอบเขตคุณสมบัติของแบตเตอรี่

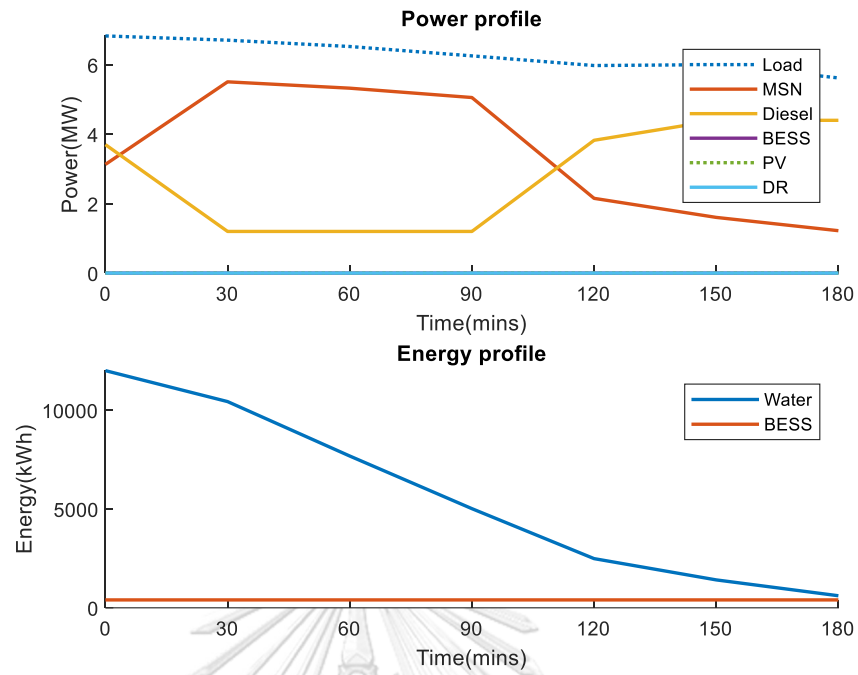


รูปที่ 55 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม (90 นาที)

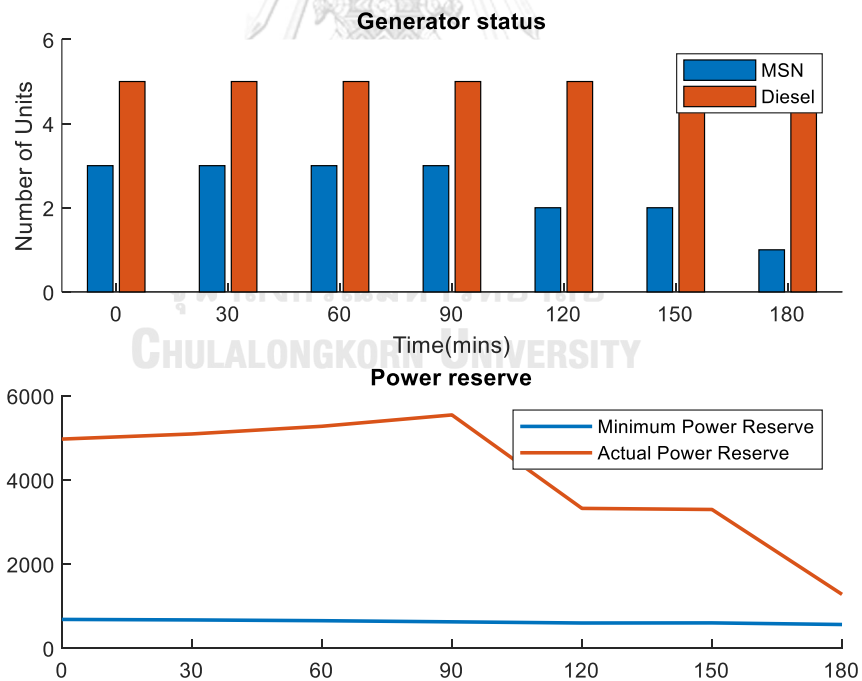


รูปที่ 56 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสำรอง (90 นาที)

ในกรณีเลี้ยงตัวเองเป็นระยะเวลา 90 นาที (ต่ำกว่าระยะเวลาที่สำรองพลังงานน้ำไว้) จะมีการจัดสรรพลังงานดังรูปที่ 55 โดยโหลดทั้งหมดถูกจ่ายด้วยเขื่อนแม่สะงา เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากเพียงพอต่อระยะเวลาที่ตั้งเป้าไว้ และมีพลังงานน้ำสะสมคงเหลือดังที่แสดงในกราฟพลังงานสะสม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่สะงาอย่างเดียวจำนวน 3 ยูนิต ก็เพียงพอต่อการสำรองไฟฟ้างดังรูปที่ 56

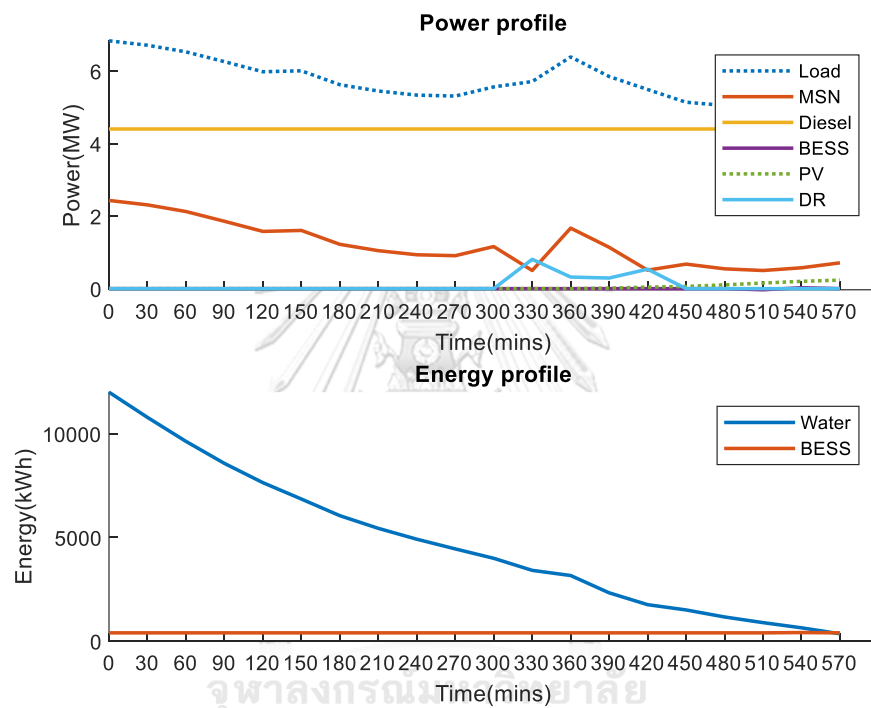


รูปที่ 57 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม (210 นาที)

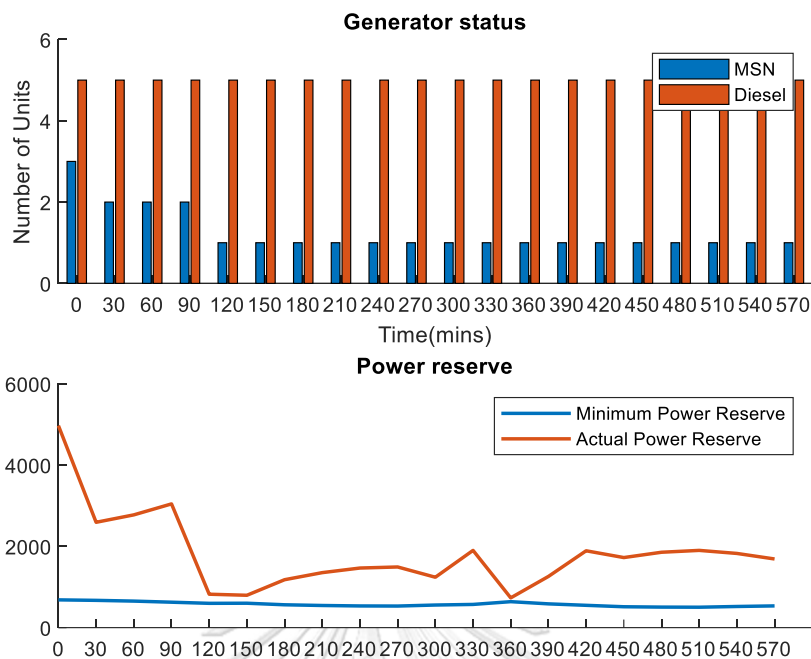


รูปที่ 58 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสำรอง (210 นาที)

ในกรณีเลี้ยงตัวเองเป็นระยะเวลา 210 นาที ซึ่งสูงกว่าระยะเวลาที่สำรองไว้เพื่อเลี้ยงระบบ ด้วยพลังงานน้ำอย่างเดียวน้อย จะมีการจัดสรรพลังงานดังรูปที่ 57 ซึ่งโหลดถูกจ่ายด้วยโรงไฟฟ้า เชื้อนแม่สะงาร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซล เนื่องจากปริมาณน้ำอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอต่อการจ่ายโหลด ทั้งหมด สังเกตได้จากกราฟพลังงานที่มีการใช้พลังงานน้ำจนหมด ณ ช่วงเวลาสุดท้าย และโรงน้ำแม่สะงาสามารถเดินเครื่องเพียง 1 ถึง 2 ยูนิท เพื่อจ่ายไฟฟ้าในระดับหนึ่ง เนื่องจากมีโรงไฟฟ้าดีเซล ร่วมเดินเครื่องอยู่ 5 ยูนิท ซึ่งเพียงพอการสำรองกำลังไฟฟ้ารูปที่ 58



รูปที่ 59 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม (600นาที)



รูปที่ 60 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสำรอง (600 นาที)

ในกรณีเลี้ยงตัวเองเป็นระยะเวลา 600 นาที ซึ่งสูงกว่าระยะเวลาที่สำรองไว้เพื่อเลี้ยงระบบด้วยน้ำ จะมีการจัดสรรพลังงานดังรูปที่ 59 และ รูปที่ 60 โดยโรงไฟฟ้าดีเซลจะเดินอยู่ที่ 4,400 กิโลวัตต์ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จ่ายได้ของจำนวน 5 ยูนิต และโรงน้ำแม่สะงาเดินอยู่ที่ประมาณ 1,000 ถึง 2,000 กิโลวัตต์ เพื่อจ่ายร่วมกับดีเซลให้สมดุลต่อโหลดทั้งหมด และมีบางช่วงเวลาที่ต้องมีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลด เนื่องจากปริมาณน้ำสะสมและดีเซลที่จ่ายอยู่เต็มพิกัดไม่เพียงพอต่อระยะเวลาเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกับแบบจำลองที่สร้างไว้ คือ การตอบสนองด้านโหลดจะถูกร้องขอในช่วงท้ายของการวางแผน ในกรณีนี้กำหนดไว้ให้สามารถร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าได้ก็ต่อเมื่อปริมาณน้ำสะสมมีค่าต่ำกว่า 4,000 กิโลวัตต์ชั่วโมงแล้วเท่านั้น โดยการสำรองไฟฟ้าในกรณีนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าการสำรองขั้นต่ำที่กำหนดไว้มาก เนื่องจากโรงไฟฟ้าดีเซลจ่ายเต็มพิกัดอยู่ตลอดเวลาการสำรองกำลังไฟฟ้าจึงมาจากโรงไฟฟ้าแม่สะงาเท่านั้น

ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีแยกโดด 90 นาที แสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ได้ตอบสนองตามวัตถุประสงค์ ด้วยการจ่ายโหลดด้วยเขื่อนแม่สะงาซึ่งต้นทุนต่ำสุดและไม่มีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างไม่จำเป็น และในกรณีที่กำหนดให้แยกโดดนานขึ้นเป็น 210 นาที ระบบ

ต้องจ่ายโหลดด้วยน้ำควบคู่ไปกับโรงไฟฟ้าดีเซลที่มีต้นทุนสูงขึ้นมา เพราะถ้าหากจ่ายโหลดด้วยน้ำเพียงอย่างเดียวในช่วงต้นแล้วจึงเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลภายหลังจะไม่สามารถแยกโดดได้ ระยะเวลาตามเป้าหมายด้วยข้อจำกัดด้านกำลังผลิตสูงสุดของดีเซลจะทำให้ไม่สามารถจ่ายโหลดแม่ฮ่องสอนได้ครอบคลุม และในกรณีแยกโดดเป็นเวลา 600 นาที ระบบจ่ายโหลดด้วยโรงไฟฟ้าแม่สะงาร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซลที่พิกัดและรวมถึงมีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงท้ายของการวางแผนเพื่อตอบให้ระบบสามารถเลี้ยงตัวเองได้ตามเป้าหมาย

4.3.3 กรณีศึกษาการปรับเงื่อนไขการตอบสนองด้านโหลด

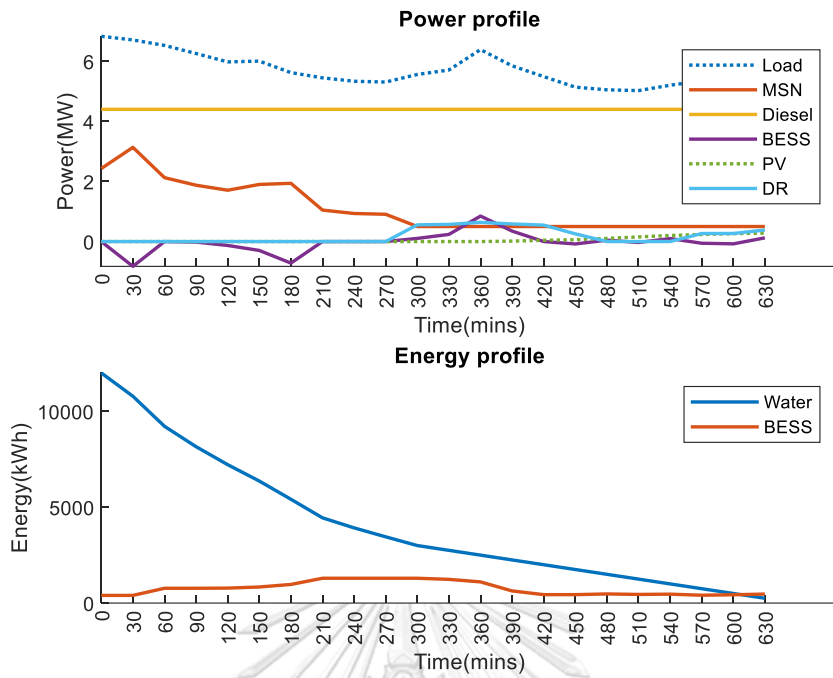
ในกรณีศึกษาเป็นการศึกษาถึงการกำหนดเงื่อนไขในการร้องขอความร่วมมือไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านระดับพลังงานสะสมคงเหลือ โดยพิจารณาจากความร่วมมือที่คาดหวังหรืออัตราความร่วมมือของผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ โดยเป็นการปรับค่าตัวแปร k_{max} จากเทอม $X_{DR}^t k_{max} P_L^t$ ในสมการ (3.53) เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาในการแยกโดดสูงสุดที่เป็นไปได้ภายใต้ความร่วมมือที่แตกต่างกัน โดยในที่นี้จะจำลองที่ปริมาณน้ำตั้งต้นที่ 12,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นพลังงานขั้นต่ำที่กำหนดให้สะสมไว้ในภาวะเชื่อมต่อบนระบบไฟฟ้าหลัก ดังนั้นระยะเวลาแยกโดดที่จำลองได้จะเป็นระยะเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ โดยจะทดสอบที่ระดับน้ำคงเหลือ 3,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 6,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเทียบเป็น 25 และ 50 เปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำสะสมขั้นต่ำ โดยในกรณีนี้จะพิจารณาที่การสำรองกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ณ เวลานั้น

ตารางที่ 14 ผลลัพธ์ระยะเวลาในแยกโดดต่อเงื่อนไขการตอบสนองด้านโหลด

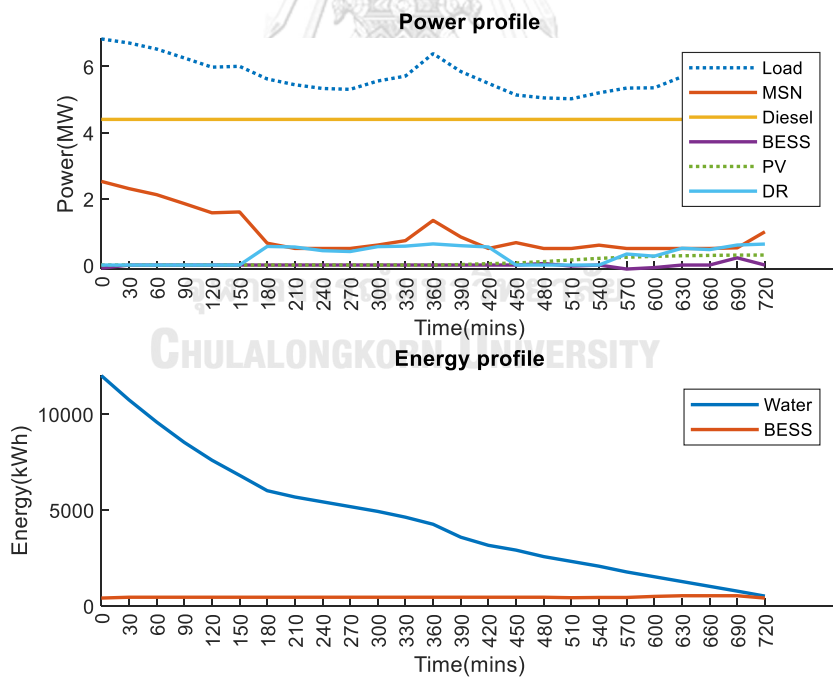
Initial water (kWh)	DR maximum limit (% of load)	Condition to call DR (kWh)	Maximum Islanding (Minutes)
12,000 (GC reserve)	0	-	480
	5	3,000	540
		6,000	540
	10	3,000	660
		6,000	750
	15	3,000	750
		6,000	900
	20	3,000	810
		6,000	1,080
	25	3,000	870
		6,000	1,260
	30	3,000	900
		6,000	1,350

จากตารางที่ 14 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าหากผู้ใช้ไฟฟ้ามีความร่วมมือในการลดการใช้ไฟฟ้าลง
ไป 10 เปอร์เซ็นต์ ระบบสามารถแยกโหนดได้นานขึ้น 180 นาที สำหรับกรณีที่กำหนดให้มีการร้องขอ
ความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อพลังงานน้ำลดต่ำกว่า 3,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นการร้องขอเมื่อน้ำ
เหลือน้อยโดยร้องขอในช่วงท้ายของการวางแผน และหากกำหนดให้มีการร้องขอไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า
ไวขึ้น คือ เมื่อพลังงานน้ำต่ำกว่า 6,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง ระบบจะเลี้ยงตัวเองได้นานขึ้นอีก 90
นาที และในกรณีที่คาดการณ์ว่าผู้ใช้ไฟฟ้ามีความร่วมมือมีค่ามากขึ้นเป็น 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ระบบ
สามารถเลี้ยงตัวเองได้เป็นระยะเวลา 810 และ 900 นาที ตามลำดับในกรณีที่ร้องขอเมื่อพลังงานน้ำ
ต่ำกว่า 3,000 กิโลวัตต์ชั่วโมง

ซึ่งในการใช้งานจริงผู้ควบคุมสามารถกำหนดให้ร้องขอความร่วมมือด้วยเงื่อนไขพลังงานน้ำที่
สูงกว่า 3,000 หรือ 6,000 ได้เพื่อการเลี้ยงตัวเองที่นานขึ้น แต่อาจทำให้เกิดการร้องขออย่างไม่จำเป็น
และเป็นการพึ่งพาผู้ใช้ไฟฟ้ามากเกินไป ดังรูปที่ 61 ถึง รูปที่ 63 จะเห็นว่าหากกำหนดเงื่อนไขระดับ
น้ำไว้ที่ 3,000 ผลลัพธ์ที่ได้จะเริ่มมีการร้องขอการตอบสนองด้านโหลดหลังจากการแยกโหนดผ่านไป
300 นาที แต่กรณีที่ 6,000 จะเริ่มร้องขอหลังจากแยกโหนดผ่านไปเพียง 180 นาที ดังนั้นด้วยความ
ต้องการที่จะไม่ให้เกิดภาระหรือรบกวนผู้ใช้ไฟฟ้ามากเกินไปจึงควรกำหนดเงื่อนไขระดับน้ำให้น้อยที่สุด
เพราะในการใช้งานจริงระบบอาจฟื้นฟูและพร้อมเชื่อมต่อกลับสู่ระบบไฟฟ้าหลักได้รวดเร็วกว่าที่
วางแผนแยกโหนดไว้



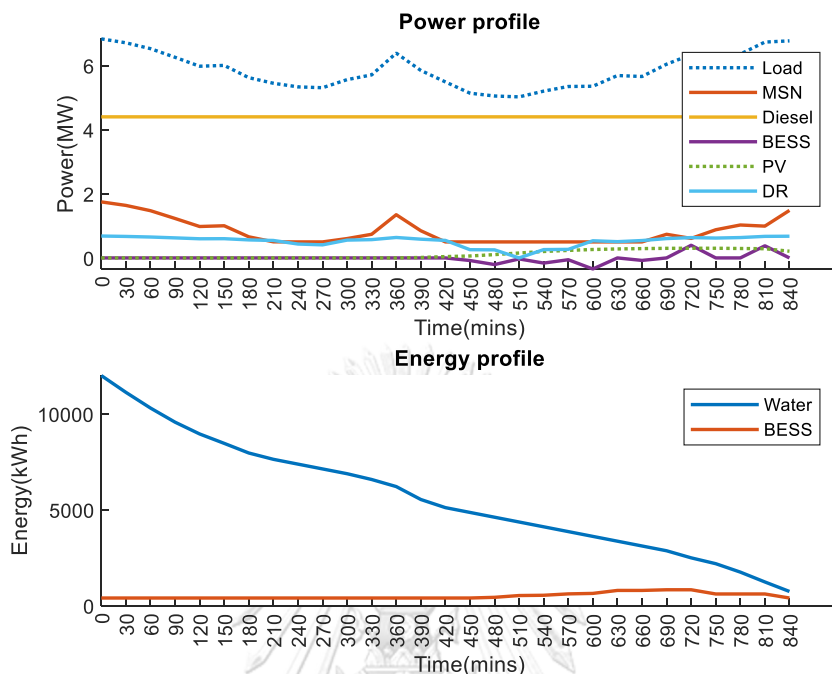
รูปที่ 61 การแยกโหนดภายใต้ความร่วมมือ 10 เปอร์เซ็นต์และเงื่อนไขระดับ 3,000



รูปที่ 62 การแยกโหนดภายใต้ความร่วมมือ 10 เปอร์เซ็นต์และเงื่อนไขระดับ 6,000

โดยหากต้องการให้ระยะเวลาแยกโหนดมีค่าสูงสุดโดยไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาในการร้องขอการตอบสนองด้านโหลด เงื่อนไขปริมาณน้ำขึ้นต่ำในการเริ่มร้องขอการตอบสนองด้านโหลดในสมการ

(3.53) สามารถกำหนดให้เป็นปริมาณน้ำสูงสุดเพื่อให้เงื่อนไขดังกล่าวเป็นจริงเสมอและร้องขอการตอบสนองด้านโหลดขณะแยกโดดตลอดเวลา ดังรูปที่ 63



รูปที่ 63 การแยกโดดเมื่อร้องขอการตอบสนองด้านโหลดทุกช่วงเวลา

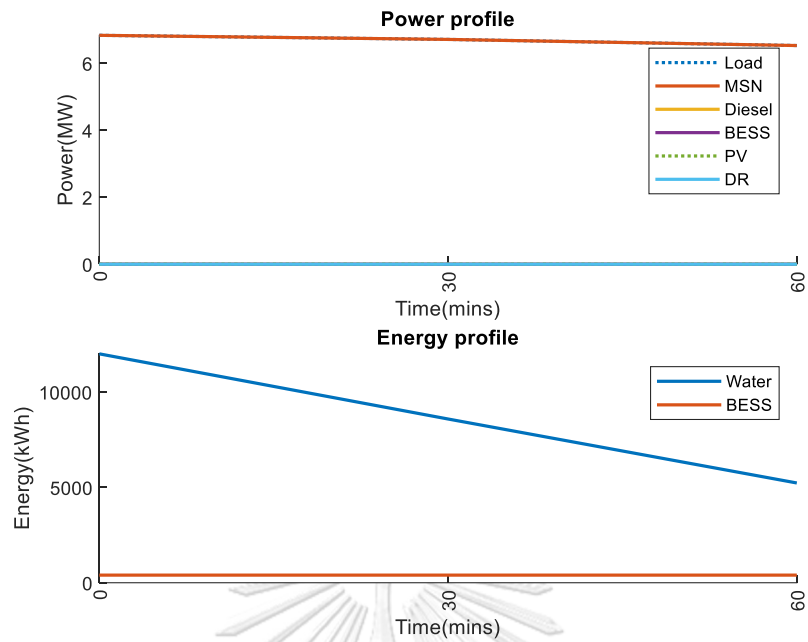
4.3.4 กรณีศึกษาการสำรองกำลังไฟฟ้า

เปรียบเทียบผลลัพธ์เมื่อกำหนดให้ระบบสำรองกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นเพื่อรองรับความไม่แน่นอนของข้อมูลการพยากรณ์ เพื่อศึกษาถึงกำลังไฟฟ้าที่ระบบได้ทำการสำรองต่อค่าความไม่แน่นอนต่าง ๆ ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะพิจารณาที่ระยะเวลาในการแยกโดด 2 กรณี 1. ระยะเวลาแยกโดด 90 นาที ซึ่งพลังงานน้ำสำรองในโรงไฟฟ้าแม่สะงาเพียงแหล่งเดียวก็สามารถจ่ายโหลดได้เพียงพอ 2. ระยะเวลาแยกโดด 360 นาที ซึ่งโรงไฟฟ้าแม่สะงาจำเป็นต้องเดินร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซลส์เพื่อให้แยกโดดได้ระยะเวลาดังกล่าว โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันที่พลังงานน้ำสะสม 12,000 กิโลวัตต์ ชั่วโมง

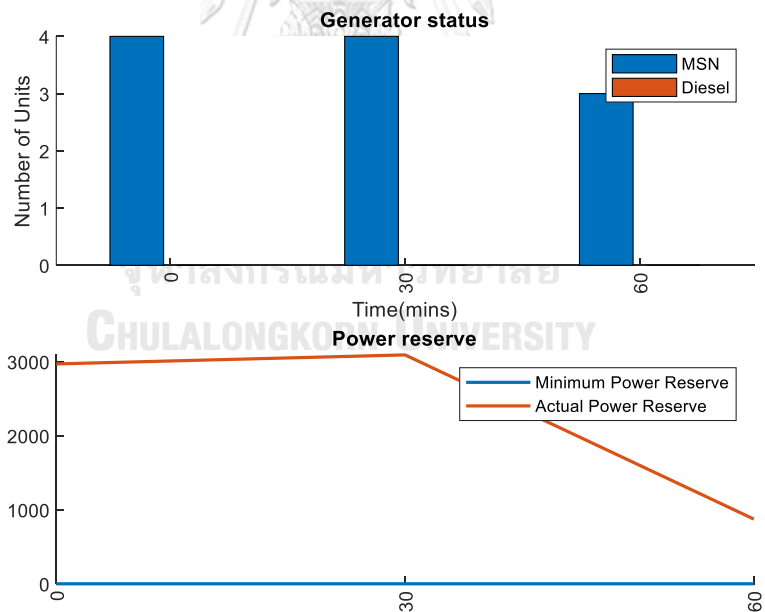
ตารางที่ 15 ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าสำรองเฉลี่ยต่ออัตราการสำรองกำลังไฟฟ้า

Islanding duration (Minutes)	Reserve ratio	Minimum reserve (kW)	Maximum reserve (kW)	Average reserve (kW)
90	0	873	3,091	2,311
	0.1	873	3,091	2,311
	0.2	2,969	3,273	3,111
	0.3	2,969	3,273	3,111
360	0	1,191	3,992	3,159
	0.1	1,191	5,822	4,243
	0.2	1,191	5,543	4,051
	0.3	3,691	5,822	4,659

ตารางที่ 15 แสดงให้เห็นถึงค่าการสำรองกำลังไฟฟ้าจากการจัดสรรพลังงานเมื่อถูกกำหนดเงื่อนไขให้ต้องสำรองกำลังไฟฟ้า โดยในกรณีการแยกโดดเป็นเวลา 90 นาที ซึ่งเป็นการจ่ายโหลดด้วยโรงไฟฟ้าแม่สะงาอย่างเดียว โดยโรงไฟฟ้าแม่สะงาความสามารถในการจ่ายโหลดสูงสุดอยู่ที่ 10.34 เมกะวัตต์ มากกว่าค่าโหลดสูงสุดในแม่ฮ่องสอนซึ่งอยู่ที่ประมาณ 7 เมกะวัตต์ ดังนั้นในกรณีที่กำหนดให้ไม่มีการสำรองกำลังไฟฟ้าและกรณีการสำรองอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ จึงให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน เพราะในการเดินเครื่องแม่สะงาจำนวน 3 ถึง 4 ยูนิตเพื่อจ่ายโหลดทั้งแม่ฮ่องสอน ต่อให้ไม่กำหนดเงื่อนไขการสำรองกำลังไฟฟ้า ระบบก็ยังคงมีกำลังไฟฟ้าส่วนต่างระหว่างจุดทำงานและค่าสูงสุดที่ครอบคลุม 10 เปอร์เซ็นต์นั้น และในกรณี 360 นาที ที่เป็นการจ่ายโหลดร่วมกันของโรงไฟฟ้าแม่สะงาและโรงไฟฟ้าดิเซลล์ ผลลัพธ์ของเงื่อนไขการสำรองกำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นในกรณีกำหนดให้สำรองที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการสำรองขั้นต่ำที่มากกว่า 2,000 กิโลวัตต์ และผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรอง 30 เปอร์เซ็นต์ของทั้งสองกรณีมีความครอบคลุมสำหรับการสำรองในกรณีที่พิจารณาจากขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดด้วย เพื่อรองรับในเหตุการณ์ที่เครื่องไฟฟ้าอาจมีปัญหาและต้องปลดออก โดยในที่นี้คือโรงไฟฟ้าขนาดแม่สะงาที่มีขนาด 2,560 กิโลวัตต์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในกรณีนี้คือสำรองขั้นต่ำอยู่ที่ 2,969 และ 3,691 กิโลวัตต์ ตามลำดับ



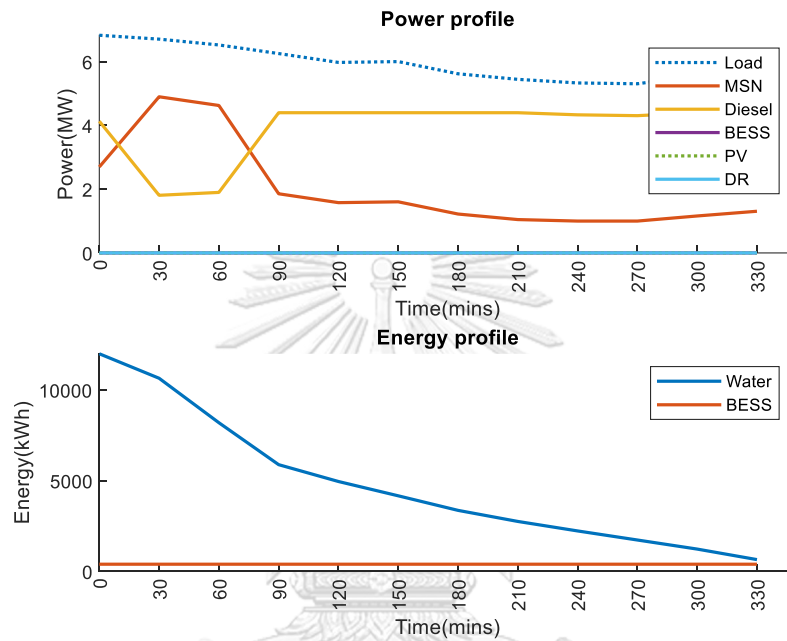
รูปที่ 64 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสมเมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (90 นาที)



รูปที่ 65 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสำรองกำลังไฟฟ้าเมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (90 นาที)

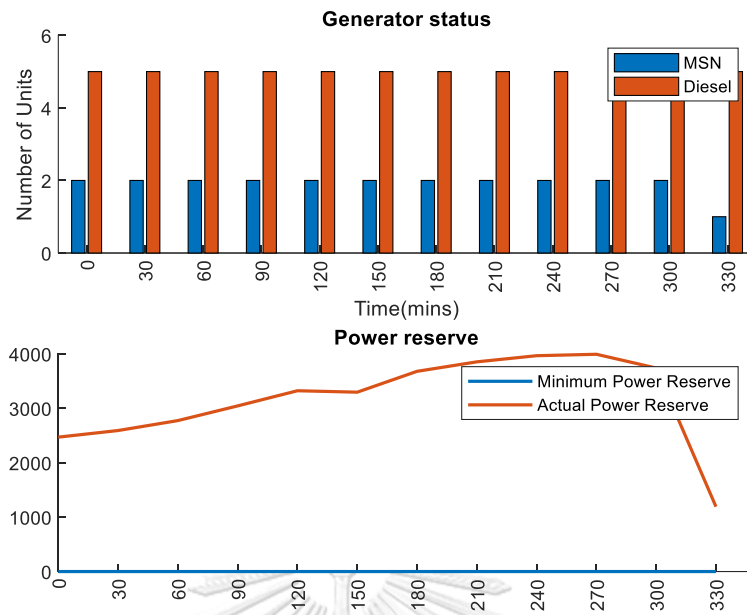
ผลลัพธ์ที่ได้จากกรณีที่เลี้ยงตัวเองเป็นระยะเวลา 90 นาที และสำรองกำลังไฟฟ้าที่ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะมีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแม่สะงาในช่วงนาทีที่ 60 ถึง 90 เพิ่มขึ้นหนึ่งยูนิตจาก

กรณีที่สำรอง 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องด้วยขณะนั้นมีโหลดอยู่ที่ 6,526 กิโลวัตต์ และการสำรองที่ 20 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ที่ 1,305 กิโลวัตต์ ซึ่งหากเดิน 3 หน่วย เหมือนในกรณี 10 เปอร์เซ็นต์ จะสำรองได้เพียง 1,094 กิโลวัตต์ ซึ่งไม่เพียงพอ

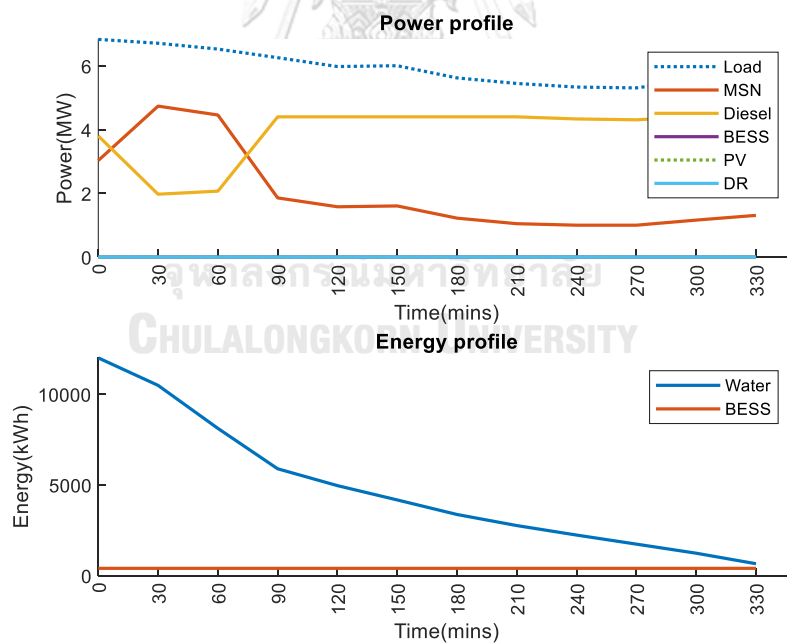


รูปที่ 66 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม
เมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (360 นาที)

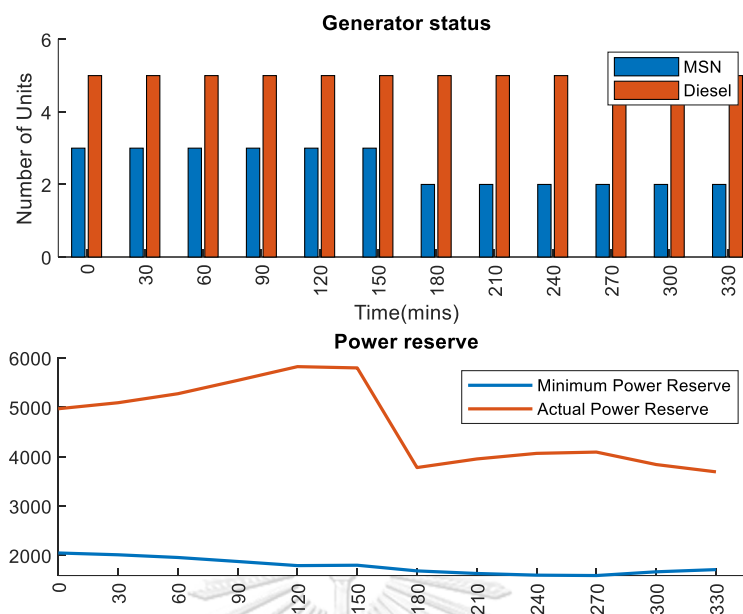
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 67 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสำรองกำลังไฟฟ้า
เมื่อไม่กำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้า (360 นาที)



รูปที่ 68 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรพลังงานสะสม
เมื่อกำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้าที่ 30 เปอร์เซ็นต์ (360 นาที)



รูปที่ 69 สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสำรองกำลังไฟฟ้า
เมื่อกำหนดการสำรองกำลังไฟฟ้าที่ 30 เปอร์เซ็นต์ (360 นาที)

จากการเปรียบเทียบในกรณีทีแยกโดดเป็นระยะเวลา 360 นาที หรือ การเดินเครื่องโรงไฟฟ้าแม่สะงาร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซลล์ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองการสำรองกำลังไฟฟ้า ไม่ส่งผลต่อจุดทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากนักดังแสดงใน รูปที่ 66 และ รูปที่ 68 แต่ส่งผลต่อจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ช่วยในการสำรองกำลังไฟฟ้านั้น รูปที่ 67 และ รูปที่ 69 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่การสำรองกำลังไฟฟ้า 30 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับการไม่สำรองกำลังไฟฟ้า จะทำให้ระบบจำเป็นต้องเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหนึ่งยูนิตในช่วงเวลา 0 ถึง 180 นาที เพื่อให้เพียงพอต่อเงื่อนไขดังกล่าว

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้เสนอแนวคิดการจัดสรรพลังงานผ่านวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับแม่ฮ่องสอนไม่โครกริด โดยอยู่ภายใต้สมมติฐานที่มีการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าล่วงหน้าเพื่อพิจารณาถึงแบบจำลองปริมาณน้ำสำหรับจัดสรรพลังงานและอ้างอิงข้อมูลการพยากรณ์จากปี พ.ศ. 2557 โดยในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักแบบวางแผนล่วงหน้า จะพิจารณาถึงการควบคุมการพึ่งพาสายส่งเพื่อช่วยลดความเสี่ยงในการเปลี่ยนผ่าน เพื่อให้มีช่วงเวลาที่จะสามารถแยกโดดได้เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้น แต่ยังคงอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยในภาวะนี้ จะยังไม่คำนึงถึงการตอบสนองด้านโหลด และในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักที่เป็นการจัดสรร ณ เวลาจริง จะพิจารณาถึงความสมดุลระหว่างความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังผลิตอีกครั้งภายใต้ข้อมูลพยากรณ์ที่มีความถูกต้องมากขึ้น โดยยังคงอ้างอิงจากข้อมูลที่วางแผนไว้และพิจารณาถึงการตอบสนองด้านโหลดร่วมด้วยเปรียบเสมือนเป็นภาวะเฝ้าระวังของโครงการที่ได้พิจารณาถึงแนวทางการร้องขอความร่วมมือจากผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ส่วนในภาวะแยกโดดเมื่อแยกโดดแล้วจะเป็นการจัดสรรพลังงานโดยเป็นการกำหนดกรอบของระยะเวลาที่ตายตัวแล้วแก้ปัญหาโดยจัดสรรพลังงานอย่างเหมาะสมที่สุดเพื่อให้ระบบเลี้ยงตัวเองได้ตามเป้าหมาย มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด กระทบผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด

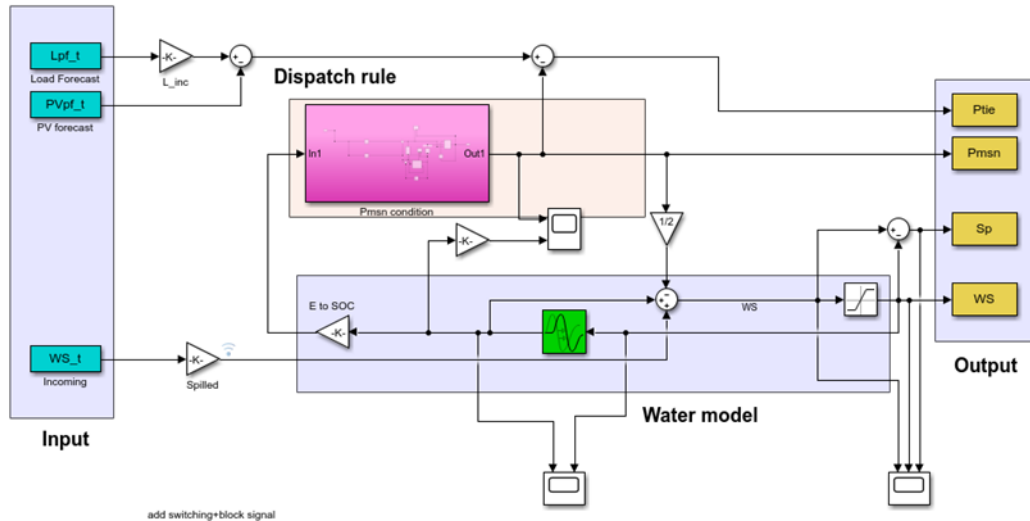
จากผลลัพธ์ที่ได้ถูกเปรียบเทียบกับกรณีฐาน ในภาวะเชื่อมต่อบระบบไฟฟ้าหลักแสดงให้เห็นว่าช่วงระยะเวลาที่ระบบจะสามารถเปลี่ยนผ่านสู่ภาวะแยกโดดอย่างราบรื่นมีค่ามากขึ้นและต้นทุนมีค่าลดลง โดยเพียงการควบคุมการพึ่งพาสายส่งเพียงอย่างเดียวก็ช่วยลดช่วงเวลาความเสี่ยงในฤดูแล้งลงไปได้จาก 78 ชั่วโมง เหลือ 16 ชั่วโมง มีการใช้งานน้ำอย่างเหมาะสมมากขึ้นไม่เกิดปริมาณน้ำล้นในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำมาก และการปรับค่าน้ำหนักของแต่ละวัตถุประสงค์ส่งผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ตามค่าน้ำหนักที่ได้ปรับ และในการจัดสรรพลังงาน ณ เวลาจริง ที่มีการลดทอนโหลด โดยหากมีความร่วมมือตามแผนที่ได้วางไว้จะทำให้ระบบไม่เกิดช่วงเวลาที่มีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นอีก และมีความเสี่ยงเกิดขึ้นเล็กน้อยในกรณีที่เป็น Over-forecast

ในกรณีภาวะแยกโหนดแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ คือ มีการสำรองกำลังไฟฟ้าด้วยการพิจารณาถึงสถานะการเดินเครื่อง มีการให้ตัดสินใจในการเลี้ยงตัวเองตามลำดับความสำคัญขององค์ประกอบ ที่สะท้อนอยู่ในค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า และการตอบสนองด้านโหลด มีการร้องขอกรณีที่เป็นเท่านั้นคือกรณีที่ต้องการแยกโหนดมากกว่าที่พลังงานสะสมจะจ่ายโหลดร่วมกับโรงไฟฟ้าดีเซลก็ได้ โดยการรบกวนผู้ใช้ไฟฟ้าในกรณีที่มีพลังงานสำรองสามารถแยกโหนดได้เพียงพอแล้ว และการตอบสนองด้านโหลดถูกออกแบบเพื่อให้ร้องขอในช่วงท้ายของการวางแผนเท่านั้น เพื่อให้ไม่เกิดการร้องขออย่างไม่จำเป็นในกรณีที่ระบบฟื้นตัวได้รวดเร็ว

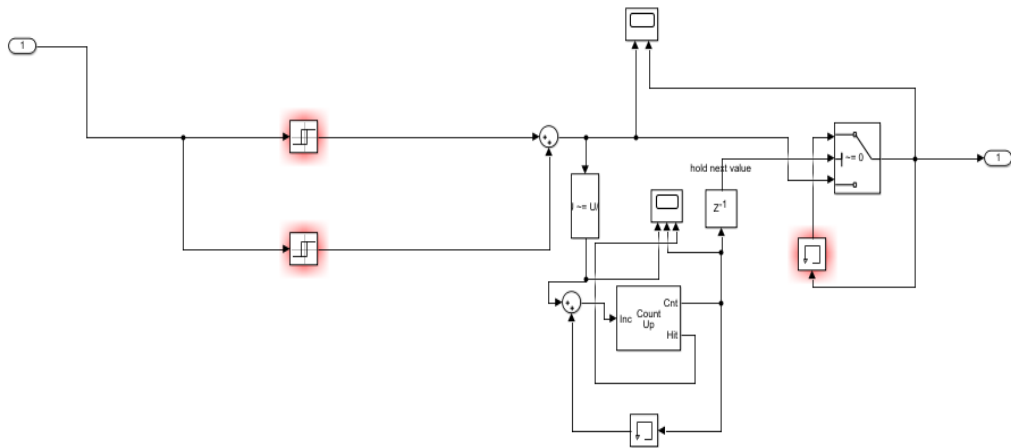
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. คำนึงถึงความไม่แน่นอนของข้อมูลการพยากรณ์ป้อนเข้าด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น Stochastic optimization, Robust optimization, Model predictive control
2. พิจารณาแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าจากเขื่อนแม่สะงาให้มีความเหมาะสมได้ยิ่งขึ้น โดยเปลี่ยนเป็นสมการเชิงเส้นเนื่องจากพื้นที่เขื่อนเป็นทรงสี่เหลี่ยมคางหมู และกำลังไฟฟ้าในการผลิตไฟฟ้าจะขึ้นกับระดับความสูงของน้ำ โดยอาจใช้การแก้ปัญหาแบบอื่นที่เป็น non-linear optimization, genetic algorithm และ particle swarm optimization
3. พิจารณาถึงแรงดัน มุม ความถี่ และกำลังไฟฟ้า ในระบบเพิ่มเติมได้หากมีแบบจำลองระบบไฟฟ้าและแบบจำลองโรงไฟฟ้า โดยการเขียนสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow equation) เพิ่ม หรือนำแบบจำลองที่นำเสนอไปแก้ปัญหา Optimization ในโปรแกรมที่มีการคำนวณ Power flow สำเร็จรูป เช่น DigSILENT
4. พิจารณาแบบจำลองการตอบสนองด้านโหลดในรูปแบบอื่น เช่น พิจารณาการตอบสนองด้านโหลดเป็นสัญญาปริมาณพลังงาน การแบ่งผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นกลุ่มที่ร่วมมือและไม่ร่วมมือเพื่อคิดอัตราค่าไฟฟ้าปกติที่ต่างกัน และอาจพิจารณาถึงแนวทางในการจูงใจผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่เพิ่มเติม
5. พิจารณาแนวทางแก้ไขปัญหาระดับพลังงานน้ำสะสมคงเหลือต่ำในช่วงท้ายของการแก้ปัญหา เนื่องจากเป็นการแก้ปัญหารายวัน ด้วยการออกแบบข้อจำกัดเพิ่มเติม เช่น การใช้เทอมปรับโทษควบคุมความแตกต่างของน้ำคงเหลือกับน้ำที่ควรสำรองไว้

ภาคผนวก



รูปที่ 70 แบบจำลองกรณีฐานในโปรแกรม Simulink



รูปที่ 71 รูปแบบจำลองการเดินโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ

รูปที่ 70 เป็นแบบจำลองการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ Delay block ในการอัปเดตสถานะของน้ำ และ รูปที่ 71 เป็นแบบจำลองสำหรับกรณีฐานซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จาก CEMS โดยมีคุณสมบัติคือมีการตัดสัญญาณการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระดับน้ำค้างเหลือจาก relay block และมีการคงค่าจุดทำงานเดิมไว้ระยะเวลาหนึ่งผ่าน block จาก counter, memory

และ delay block โดยจะคงค่าไว้จนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของเงื่อนไขระดับน้ำโดยมีการตรวจสอบผ่าน detect change block



บรรณานุกรม

- [1] T. M. Priya and J. Fuller, "Optimized economic dispatch in microgrids," in *2017 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 23-26 April 2017 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGT.2017.8086034.
- [2] S. Conti, R. Nicolosi, S. A. Rizzo, and H. H. Zeineldin, "Optimal Dispatching of Distributed Generators and Storage Systems for MV Islanded Microgrids," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, no. 3, pp. 1243-1251, 2012, doi: 10.1109/TPWRD.2012.2194514.
- [3] N. Piphitpattanaprap and D. Banjerdpongchai, "Multi-objective dispatch strategy of hybrid power generation in normal mode with application to MHS energy management system," in *TENCON 2014 - 2014 IEEE Region 10 Conference*, 22-25 Oct. 2014 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/TENCON.2014.7022453.
- [4] N. Piphitpattanaprap and D. Banjerdpongchai, "Energy management system of hybrid power generation with battery energy storage and application to MHS smart grid project," in *2015 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)*, 28-30 July 2015 2015, pp. 922-927, doi: 10.1109/SICE.2015.7285545.
- [5] N. Piphitpattanaprap and D. Bangerdpongchai, "Optimal dispatch strategy of hybrid power generation with battery energy storage system in islanding mode," in *2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, 3-6 Nov. 2015 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7387153.
- [6] F.-F. Li and J. Qiu, "Multi-objective optimization for integrated hydro-photovoltaic power system," *Applied Energy*, vol. 167, pp. 377-384, 2016/04/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.018>.
- [7] S. Niu and M. Insley, "On the economics of ramping rate restrictions at hydro power plants: Balancing profitability and environmental costs," *Energy Economics*, vol. 39, pp. 39-52, 2013/09/01/ 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.04.002>.
- [8] Y. Xiang, J. Liu, and Y. Liu, "Robust Energy Management of Microgrid With

- Uncertain Renewable Generation and Load," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 2, pp. 1034-1043, 2016, doi: 10.1109/TSG.2014.2385801.
- [9] Z. Zhang, J. Wang, T. Ding, and X. Wang, "A Two-Layer Model for Microgrid Real-Time Dispatch Based on Energy Storage System Charging/Discharging Hidden Costs," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 8, no. 1, pp. 33-42, 2017, doi: 10.1109/TSTE.2016.2577040.
- [10] K. Rahbar, J. Xu, and R. Zhang, "Real-Time Energy Storage Management for Renewable Integration in Microgrid: An Off-Line Optimization Approach," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 1, pp. 124-134, 2015, doi: 10.1109/TSG.2014.2359004.
- [11] Q. Jiang, M. Xue, and G. Geng, "Energy Management of Microgrid in Grid-Connected and Stand-Alone Modes," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 28, no. 3, pp. 3380-3389, 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2013.2244104.
- [12] J. B. Almada, R. P. S. Leão, R. F. Sampaio, and G. C. Barroso, "A centralized and heuristic approach for energy management of an AC microgrid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1396-1404, 2016/07/01/ 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.002>.
- [13] H. Kanchev, F. Colas, V. Lazarov, and B. Francois, "Emission Reduction and Economical Optimization of an Urban Microgrid Operation Including Dispatched PV-Based Active Generators," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 5, no. 4, pp. 1397-1405, 2014, doi: 10.1109/TSTE.2014.2331712.
- [14] P. Malysz, S. Sirouspour, and A. Emadi, "An Optimal Energy Storage Control Strategy for Grid-connected Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, no. 4, pp. 1785-1796, 2014, doi: 10.1109/TSG.2014.2302396.
- [15] J. Wang, C. Zhao, A. Pratt, and M. Baggu, "Design of an advanced energy management system for microgrid control using a state machine," *Applied Energy*, vol. 228, pp. 2407-2421, 2018/10/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.07.034>.
- [16] G. Razeghi, F. Gu, R. Neal, and S. Samuelsen, "A generic microgrid controller: Concept, testing, and insights," *Applied Energy*, vol. 229, pp. 660-671, 2018/11/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.014>.

- [17] "IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers," *IEEE Std 2030.7-2017*, pp. 1-43, 2018, doi: 10.1109/IEEESTD.2018.8340204.
- [18] A. R. Jordehi, "Optimisation of demand response in electric power systems, a review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 103, pp. 308-319, 2019/04/01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.054>.
- [19] M. F. Zia, E. Elbouchikhi, and M. Benbouzid, "Microgrids energy management systems: A critical review on methods, solutions, and prospects," *Applied Energy*, vol. 222, pp. 1033-1055, 2018/07/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.103>.
- [20] D. Wang, J. Qiu, L. Reedman, K. Meng, and L. L. Lai, "Two-stage energy management for networked microgrids with high renewable penetration," *Applied Energy*, vol. 226, pp. 39-48, 2018/09/15/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.112>.
- [21] แนนบุญ หุญเจริญ, การพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ทกริด กรณีศึกษาเมืองแม่ฮ่องสอน. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ. 2559.
- [22] ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยมาตรฐานการให้บริการในการประกอบกิจการไฟฟ้า, ประเภทใบอนุญาตระบบจำหน่ายไฟฟ้า no. 133, พ.ศ. 2558.
- [23] T. Brinsmead, P. Graham, J. Hayward, E. Ratnam, and L. Reedman, *Future energy storage trends: An assessment of the economic viability, potential uptake and impacts of electrical energy storage on the NEM 2015–2035*. 2015.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายพงศา พยอมแย้ม
วัน เดือน ปี เกิด	11 พฤศจิกายน 2537
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ ประเทศไทย
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วศ.บ) วิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	470 สวนผัก 50 ถนนสวนผัก แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน กรุงเทพฯ
ผลงานตีพิมพ์	-
รางวัลที่ได้รับ	-



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY