

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน

ธีระภัทร์ แมนมิตร¹ และ ปานจิต ดำรงกุลกำจร²

¹วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*Email: teerapatmanmit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบขนาดระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด

ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับคำนวณขนาดระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสม ผู้วิจัยเลือกใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์ผ่านทางโปรแกรม Matlab ซึ่งผู้ใช้โปรแกรมสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในแต่ละกรณี ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้จัดทำกรณีศึกษาผู้ใช้ไฟกลุ่มการผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 250 kWp เพื่อแสดงผลที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า เมื่อผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำแบตเตอรี่เข้ามาบริหารจัดการพลังงาน เพื่อควบคุมปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ผู้ใช้ไฟจะได้รับผลตอบแทนทางการเงินที่มากขึ้นจากค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือนเมื่อเทียบกับกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

คำสืบค้น

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่, ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน

Optimal Battery Energy Storage System for PV Grid Connector for Customer with Time-Of- Use Tariff

Teerapat Manmit¹ and Parnjit Damrongkulkamjorn²

¹*Master of Engineering, Department of Electrical Engineering, The Graduate School, Kasetsart University.*

²*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.*

*Email: teerapatmanmit@gmail.com

ABSTRACT

The main purpose of this research is to develop a program to determine the optimal size of energy storage system for electrical customer with photovoltaic generating system.

In this program, Genetic Algorithm in Matlab is used as a tool to calculate the optimal size of energy storage system. The parameters in the program can be properly adjusted by the users when applied to various case studies. The electrical customer type used in this research to illustrate the optimal results of the developed program is the concrete product industry with the photovoltaic installation of 250 kWp.

The calculation results show that when the customers with photovoltaic install the energy storage system to maintain their monthly peak demand at a proper level, their net present worth is higher compared to the case where the energy storage system is not installed due to the decrease of the monthly demand charge.

KEYWORDS

Battery Energy Storage System (BESS), Photovoltaic (PV), Time-Of- Use Tariff (TOU)

1. บทนำ

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามธรรมชาตินั้น ไฟฟ้าที่ได้จะถูกผลิตออกมาเป็นระยะๆ ไม่สามารถควบคุมปริมาณและช่วงเวลาในการผลิตได้ ก่อให้เกิดความผันผวนในเรื่องของการจ่ายพลังงาน และในระบบที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามธรรมชาติเป็นปริมาณมากหากปล่อยให้มีการจ่ายไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าโดยตรงโดยไม่มีการควบคุม จะเกิดเหตุการณ์ที่มีปริมาณไฟฟ้าไหลเข้าสู่ระบบเป็นจำนวนมากในช่วงที่มีความต้องการใช้น้อย แต่ในขณะที่มีความต้องการมากแหล่งพลังงานทดแทนตามธรรมชาติกลับผลิตไฟฟ้าออกมาได้เพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ระบบกักเก็บพลังงานสามารถสร้างสมดุลของปริมาณไฟฟ้าในระบบให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานซึ่งมีความแปรปรวนตลอดเวลา โดยการกักเก็บพลังงานส่วนที่เกินที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำเพื่อนำมาช่วยจ่ายให้กับส่วนที่ขาดในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้สามารถควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand Charge Management), สามารถควบคุมค่าไฟฟ้าในกรณีที่เกิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time-of-Use Energy Cost Management) และสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาไปใช้ในช่วงเวลาอื่น (Renewable Energy Time Shift) ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนตามธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงขึ้น

ความเหมาะสมของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ ในการนำมาใช้งานด้านกักเก็บพลังงาน ต้องพิจารณาจากความต้องการของงานที่จะนำไปใช้ว่ามีความสำคัญกับปัจจัยด้านใดเป็นหลัก เช่น อัตราส่วนระหว่างกำลังและพลังงานที่ได้ (Power to Energy Ratio), ความหนาแน่นของพลังงานต่อพื้นที่ (Energy Density), ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนพลังงาน (Energetic Efficiency), รอบอายุการใช้งาน (Life Cycles), ระยะเวลาของการใช้งานแต่ละครั้ง (Calendar Life), ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง (Capital and BMS Cost), ค่าบำรุงรักษา (Maintenance Cost), ความใหม่เก่าของเทคโนโลยี (Commercial Maturity), ความปลอดภัย (Security) เป็นต้น [1] ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดมีความเหมาะสมในการนำมาเก็บพลังงานให้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามธรรมชาติเพื่อรักษาสมดุลของพลังงานที่ผลิตได้ เนื่องจากมีราคาที่เหมาะสมกับประสิทธิภาพและสามารถให้เสถียรภาพการจ่ายไฟฟ้าที่ดี [2]

การทำงานลักษณะ OPT (Optimized Dispatch Schedule) คือ แบตเตอรี่ชาร์จพลังงานเก็บไว้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำในอัตราคงที่ และดิสชาร์จออกมาใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในอัตราตามค่าส่วนต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับค่าเป้าหมายการใช้พลังงานสูงสุดที่ได้กำหนดไว้ เป็นการทำงานที่เหมาะสมของระบบกักเก็บพลังงานในการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand Charge) เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานทำการดิสชาร์จเฉพาะช่วงที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้เท่านั้น จึงทำให้มีพลังงานเพียงพอต่อการทำงานตลอดช่วงระยะเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงในแต่ละวัน [3] ส่งผลให้ผู้ใช้ไฟที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้รับผลตอบแทนทางการเงินจากการลดปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือน [4]

งานวิจัยนี้เลือกใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์ในการหาขนาดของระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ และค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เหมาะสมในแต่ละเดือน สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทราบขนาดติดตั้งแล้ว เพื่อให้เกิดผลตอบแทนทางการเงินที่สูงที่สุดภายใต้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้แบตเตอรี่ชาร์จพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำหรือเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าออกมามากกว่าปริมาณการใช้ และนำพลังงานไฟฟ้ามาดิสชาร์จในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงเพื่อควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินระดับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในแต่ละเดือนซึ่งพิจารณาภายใต้สมมติฐานที่ว่า การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีขนาดเท่ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด กล่าวคือผู้ใช้ไฟมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สม่ำเสมอในแต่ละวัน

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับออกแบบขนาดระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุดนั้น มีรายละเอียดของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ดังนี้

2.1 ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ [5] ดังสมการ [6,7,8]

$$P_{y,m,d,\tau}^{PV} = \eta^{PV} * N^{PV} * A * I_{y,m,d,\tau} \quad (1)$$

โดยที่ $P_{y,m,d,\tau}^{PV}$ = ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้ ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kW)

η^{PV} = ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์

N^{PV} = จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)

A = ขนาดพื้นที่เซลล์แสงอาทิตย์ต่อแผง ($m^2/\text{แผง}$)

$I_{y,m,d,\tau}$ = ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kW/m^2)

2.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสุทธิ

ช่วงเวลาที่แสงแดด เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟ และในช่วงเวลาที่ผลิตออกมาได้มากกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าพลังงานส่วนที่เหลือสามารถขายเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ดังนั้นการไฟฟ้าจะมองเห็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการ

$$P_{y,m,d,\tau}^{EA_PV} = P_{y,m,d,\tau}^{Load\ Profile} - P_{y,m,d,\tau}^{PV} \quad (2)$$

โดยที่ $P_{y,m,d,\tau}^{EA_PV}$ = ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า ที่การไฟฟ้ามองเห็น ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ เมื่อผู้ใช้ไฟติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

$P_{y,m,d,\tau}^{Load\ Profile}$ = ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ [9] ก่อนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kW)

กรณีผู้ใช้ไฟติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติมเพื่อบริหารจัดการพลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด หากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานออกมาได้มากกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าขณะนั้น ส่วนที่เหลือจะนำไปชาร์จให้กับระบบกักเก็บพลังงานในช่วงของพีคการชาร์จจนกว่าระบบกักเก็บพลังงานจะเต็ม จึงจะสามารถขายไฟฟ้าส่วนที่เหลือเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าได้ ดังนั้นการไฟฟ้าจะมองเห็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ [6,8]

$$P_{y,m,d,\tau}^{EA_PV\&BESS} = P_{y,m,d,\tau}^{Load\ Profile} - P_{y,m,d,\tau}^{PV} + P_{y,m,d,\tau}^{BESS} \quad (3)$$

โดยที่ $P_{y,m,d,\tau}^{EA_PV\&BESS}$ = ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า ที่การไฟฟ้ามองเห็น ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ เมื่อผู้ใช้ไฟติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน (kW)

$P_{y,m,d,\tau}^{BESS}$ = ปริมาณกำลังไฟฟ้าถ่ายโอนจากระบบกักเก็บพลังงาน ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kW)

2.3 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU)

อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ คือ อัตราการจัดเก็บค่าไฟฟ้าตามต้นทุนการผลิตในแต่ละช่วงเวลา โดยในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง (On Peak) อัตราการจัดเก็บค่าไฟฟ้าจะสูงตามต้นทุนการผลิต และในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) อัตราการจัดเก็บค่าไฟฟ้าจะต่ำตามต้นทุนการผลิตเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 1 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทกิจการขนาดใหญ่ [10]

ระดับแรงดัน	ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
69 kV ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
12 kV-24 kV	132.93	0	3.6796	2.1760	312.24
ต่ำกว่า 12 kV	210.00	0	3.8254	2.2092	312.24

2.4 อัตรารับซื้อไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบ Feed-in Tariff (FiT)

โครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) รัฐบาลได้อนุมัติให้เปิดรับซื้อไฟฟ้าในอัตรา FiT 6.16 บาทต่อหน่วย (อ้างอิงจากราคา Adder เดิม) ในระยะเวลาสนับสนุน 20 ปี เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถมีรายได้จากการขายไฟฟ้า โดยมีผลตอบแทนการลงทุนที่เหมาะสมสอดคล้องกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง

2.5 การคำนวณค่าไฟสุทธิในแต่ละเดือน

การคิดค่าไฟฟ้าสำหรับผู้ที่ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการแยกมิเตอร์ออกเป็น 2 ส่วน คือ มิเตอร์ส่วนที่ซื้อไฟจากการไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าที่เลือกใช้ และมิเตอร์ส่วนที่ขายไฟให้การไฟฟ้าตามอัตรา FIT ดังนั้นค่าไฟสุทธิในแต่ละเดือนสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$EC_{y,m} = EC_{y,m}^{TOU} - EC_{y,m}^{FIT} \quad (4)$$

โดยที่ $EC_{y,m}$ = ค่าไฟฟ้าสุทธิ ณ ปีที่ y เดือนที่ m

$EC_{y,m}^{TOU}$ = ค่าซื้อไฟจากการไฟฟ้าในอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ณ ปีที่ y เดือนที่ m

$EC_{y,m}^{FIT}$ = ค่าขายไฟให้การไฟฟ้าในอัตรา FiT ณ ปีที่ y เดือนที่ m

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน

2.6 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อนำไปพิจารณาความเหมาะสมในการลงทุนโครงการต่างๆ โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินตามระยะเวลาดังสมการ [11]

$$NPV = \sum_{y=1}^Y \frac{S_y^{EC} - C_y^{om}}{(1+i)^y} - C_0 \quad (5)$$

โดยที่ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) ของโครงการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่

S_y^{EC} = ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในปีที่ y (Electricity Charge Savings)

C_y^{om} = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบรายปี (Operation and Maintenance Costs)

C_0 = ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ (Capital Costs)

Y = อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์

i = อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ (Minimum Attractive Rate of Return : MARR)

จากสมการข้างต้นคำตอบที่ได้เป็นตัวชี้ให้เห็นว่าการนำเอาระบบกักเก็บพลังงานเข้ามาบริหารจัดการพลังงานนั้นมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ ซึ่งถ้าผลที่ได้แสดงค่าอยู่ในแดนบวกหมายความว่า โครงการดังกล่าวสามารถสร้างผลกำไรในการลงทุน

มูลค่ากระแสเงินสดรายรับ เกิดจากค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (Electricity Charge Savings) ในแต่ละเดือน โดยพิจารณาจากส่วนต่างของค่าไฟฟ้าเดิมก่อนการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเทียบกับกรณีที่มีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ [3,12]

$$S_{y,m}^{EC} = EC_{y,m}^{PV} - EC_{y,m}^{PV\&BESS} \quad (6)$$

โดยที่ $S_{y,m}^{EC}$ = ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ณ ปีที่ y เดือนที่ m

$EC_{y,m}^{PV}$ = ค่าไฟฟ้า ณ ปีที่ y เดือนที่ m เมื่อผู้ใช้ไฟติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

$EC_{y,m}^{PV\&BESS}$ = ค่าไฟฟ้า ณ ปีที่ y เดือนที่ m เมื่อผู้ใช้ไฟติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน

มูลค่ากระแสเงินสดรายจ่าย ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายตอนเริ่มต้นในการจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายรายปีในการดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบ

2.7 เงื่อนไขในการทำงานของแบตเตอรี่ (Battery Constraints)

เงื่อนไขแบตเตอรี่ในการจำลองสถานการณ์การทำงานของระบบกักเก็บพลังงานประกอบไปด้วย

2.7.1 อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ พิจารณาจากจำนวนรอบการถ่ายโอนพลังงาน ดังสมการ [3]

$$NCC = \sum 0.5 * \left| \frac{E_{y,m,d,\tau}^{BESS} - E_{y,m,d,\tau-1}^{BESS}}{DoD * E_{BESS_total}^{BESS}} \right| \quad (7)$$

- โดยที่ NCC = จำนวนรอบการถ่ายโอนพลังงานของแบตเตอรี่ (Number of Charge Cycles)
- DoD = ค่าระดับความลึกของปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถดีสชาร์จออกมาใช้งาน (Deep of Discharge)
- $E_{y,m,d,\tau}^{BESS}$ = ปริมาณพลังงานของระบบกักเก็บพลังงาน ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kWh)
- E^{BESS_total} = ปริมาณความจุพลังงานทั้งหมดของระบบกักเก็บพลังงาน (kWh)

2.7.2 ระดับปริมาณพลังงานในแบตเตอรี่ พิจารณาจากสถานะการทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน ณ. ช่วงเวลานั้นว่าอยู่ในสถานะใด (Charge, Discharge, Standby) ตามสมการดังนี้ [3,6]

ก. สถานะชาร์จ

$$E_{y,m,d,\tau+1}^{BESS} = E_{y,m,d,\tau}^{BESS} + (P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Cha} * \Delta t * \eta^{Cha}) \quad (8)$$

- โดยที่ $P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Cha}$ = ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ระบบกักเก็บพลังงานชาร์จ ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kW)
- Δt = ระยะห่างของแต่ละช่วงระยะเวลา (The Length of The Time Period : 0.25 hr)
- η^{Cha} = ประสิทธิภาพการชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน (%)

ข. สถานะดีสชาร์จ

$$E_{y,m,d,\tau+1}^{BESS} = E_{y,m,d,\tau}^{BESS} - (P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Dis} * \Delta t / \eta^{Dis}) \quad (9)$$

- โดยที่ $P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Dis}$ = ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ระบบกักเก็บพลังงานดีสชาร์จ ณ ปีที่ y เดือนที่ m วันที่ d ช่วงเวลา τ (kW)
- η^{Dis} = ประสิทธิภาพการดีสชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน (%)

ค. สถานะสแตนด์บาย

$$E_{y,m,d,\tau+1}^{BESS} = E_{y,m,d,\tau}^{BESS} \quad (10)$$

ทั้งนี้ระดับปริมาณพลังงานในช่วงเวลาใดๆ ต้องไม่เกินค่าพลังงานสูงสุดที่ระบบกักเก็บพลังงานสามารถกักเก็บไว้ได้ และไม่น้อยกว่าค่าพลังงานต่ำสุดที่ต้องคงไว้ ดังสมการ [3,6,7,8]

$$E^{BESS_Min} \leq E_{y,m,d,\tau}^{BESS} \leq E^{BESS_Max} \quad (11)$$

$$E^{BESS_Max} = DoD^{Bat} * Unit * Cap^{Bat} * V^{BESS} \quad (12)$$

$$E^{BESS_Min} = (1 - DoD^{Bat}) * Unit * Cap^{Bat} * V^{BESS} \quad (13)$$

- โดยที่ E^{BESS_Min} = ปริมาณพลังงานน้อยที่สุดที่แบตเตอรี่สามารถกักเก็บไว้ได้ (kWh)
- E^{BESS_Max} = ปริมาณพลังงานมากน้อยที่สุดที่แบตเตอรี่สามารถกักเก็บไว้ได้ (kWh)
- $Unit$ = จำนวนชุดของแบตเตอรี่ที่นำมาต่อขนาน (Parallel : Boot The Capacity)
- Cap^{Bat} = ปริมาณความจุของแบตเตอรี่ (Ah)
- V^{BESS} = แรงดันไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ (240 V^{DC})

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน

2.7.3 อัตราการชาร์จ พิจารณาจากพลังงานที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้เกินกว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินค่าพิสัยการชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน และระบบกักเก็บพลังงานจะทำการชาร์จในอัตราพิสัยในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ เพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง รอบถัดไป [3,8]

$$P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Cha} = P_{y,m,d,\tau}^{PV} - P_{y,m,d,\tau}^{Load\ Profile} \quad (14)$$

$$P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Cha} \leq Rate^{BESS_Cha} \quad (15)$$

โดยที่ $Rate^{BESS_Cha}$ = พิสัยการชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน (kW)

2.7.4 อัตราการดิสชาร์จ พิจารณาจากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ชดเชยเพื่อรักษาระดับการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ไม่ให้เกินค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ แต่ทั้งนี้ต้องไม่เกินค่าพิสัยการดิสชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน [3,8]

$$P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Dis} = P_{y,m,d,\tau}^{EA_PV} - P^{target} \quad (16)$$

$$P_{y,m,d,\tau}^{BESS_Dis} \leq Rate^{BESS_Dis} \quad (17)$$

โดยที่ P^{target} = ค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand Target)

$Rate^{BESS_Dis}$ = พิสัยการดิสชาร์จของระบบกักเก็บพลังงาน (kW)

2.8 การกำหนดขอบเขตค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด พิจารณาจากสมมติฐานที่ว่า การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีขนาดเท่ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด กล่าวคือผู้ใช้ไฟมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สม่ำเสมอตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา ดังนั้นค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันของแต่ละเดือนสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_{m,d}^{target} = \left(\sum_{\tau=37}^{\tau=89} (P_{m,d,\tau}^{EA_PV} \geq 0) * \Delta t \right) / H^{OnP} \quad (18)$$

โดยที่ $P_{m,d}^{target}$ = ค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เดือนที่ m วันที่ d

H^{OnP} = จำนวนของช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ในรอบวัน (09.00 – 22.00 น.: 13 hr)

2.8.1 การกำหนดขอบเขตล่างของค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด พิจารณาจากปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ของวันที่มากที่สุดในแต่ละเดือน ดังสมการ

$$LB_m^{P_target} = \max(P_{m,d}^{target}) \quad (19)$$

โดยที่ $LB_m^{P_target}$ = ขอบเขตล่างของค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เดือนที่ m

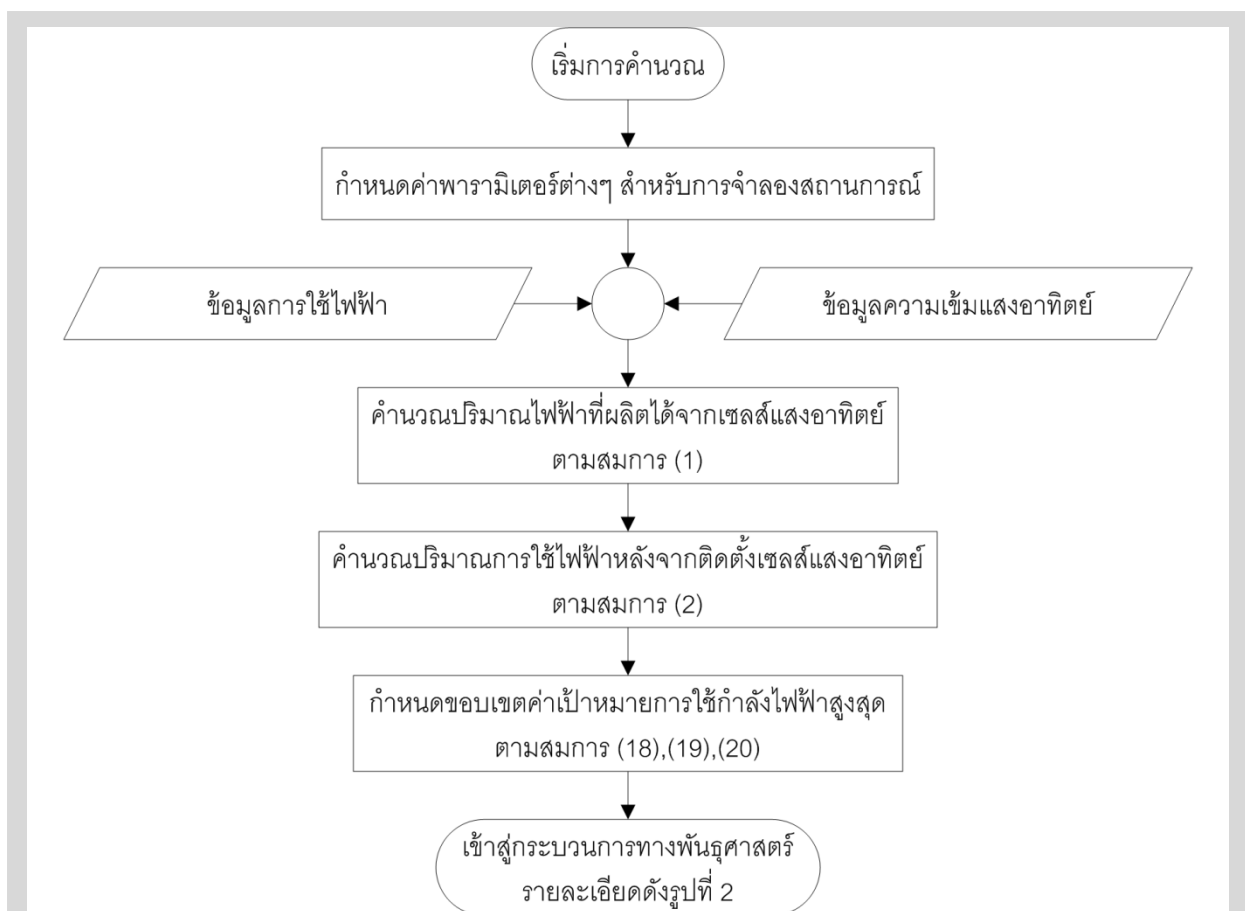
2.8.2 การกำหนดขอบเขตบนของค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด พิจารณาจากปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ของวันที่มากที่สุดในรอบปี ดังสมการ

$$UB_m^{P-target} = \max \left(\max \left(P_{m,d}^{target} \right) \right) \quad (20)$$

โดยที่ $UB_m^{P-target}$ = ขอบเขตบนของค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เดือนที่ m

2.9 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรม

งานวิจัยนี้ใช้กระบวนการทางพันธุศาสตร์ผ่านทางโปรแกรม Matlab ในการคำนวณหาขนาดของระบบกักเก็บพลังงานและค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือน ที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้ไฟกลุ่มการผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด โดยคาดหวังว่าเมื่อนำเอาแบตเตอรี่เข้ามาบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสมจะสามารถลดปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือนได้ ส่งผลให้ผู้ใช้ไฟเสียค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานตามแผนผังลำดับการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1-7

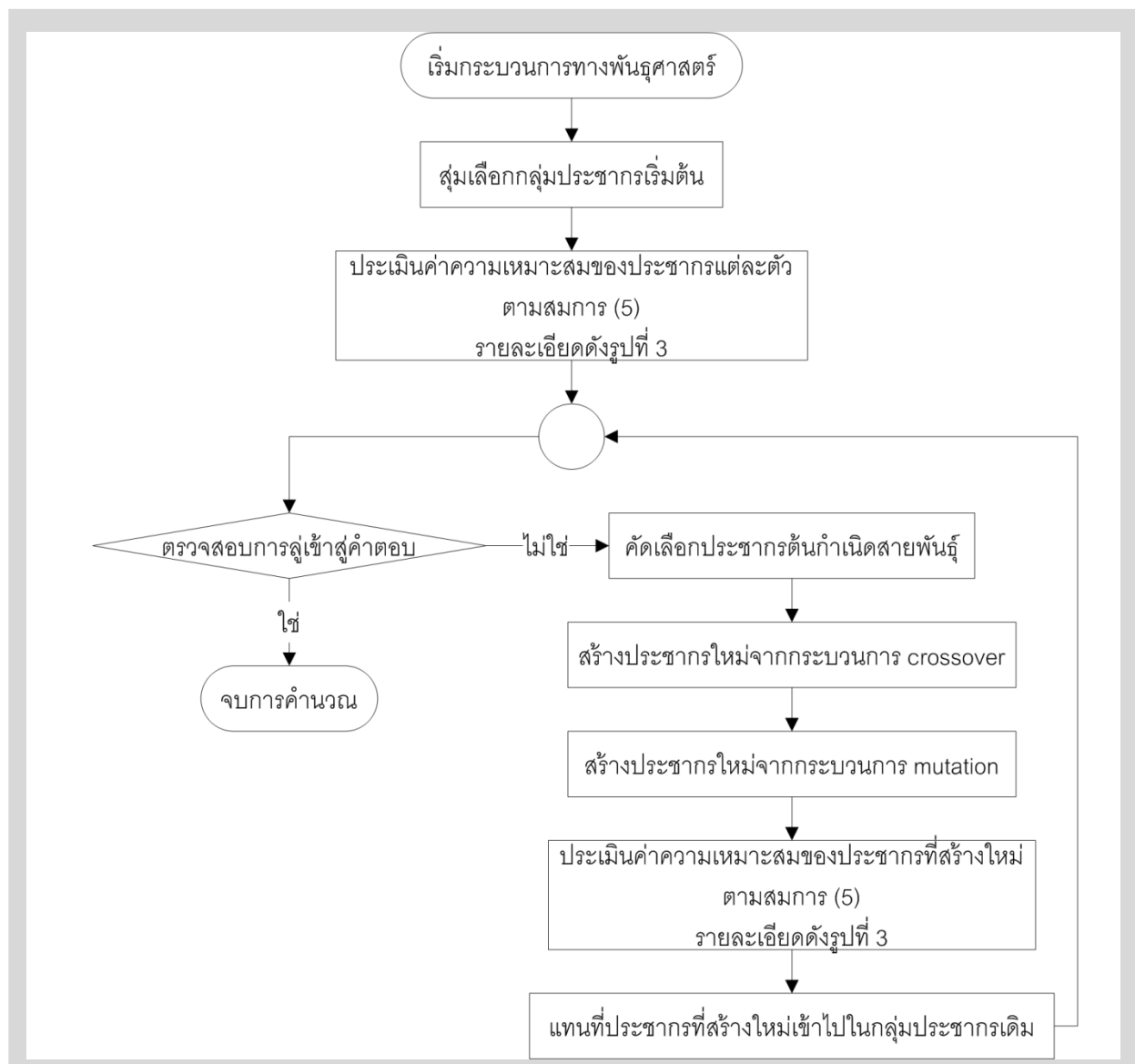


รูปที่ 1 แผนผังลำดับการคำนวณ

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน

ในรูปที่ 1 แสดงลำดับการคำนวณ เริ่มจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการจำลองสถานการณ์ ประกอบด้วย ขนาดพิกัดการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์, ระดับแรงดันระบบกักเก็บพลังงาน, ข้อมูลแบตเตอรี่, ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าและอัตราดอกเบี้ยในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จากนั้นป้อนข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและข้อมูลความเข้มแสงซึ่งเป็นข้อมูลตลอดทั้งปีโดยแบ่งออกเป็นช่วงเวลาละ 15 นาที เพื่อนำไปคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า

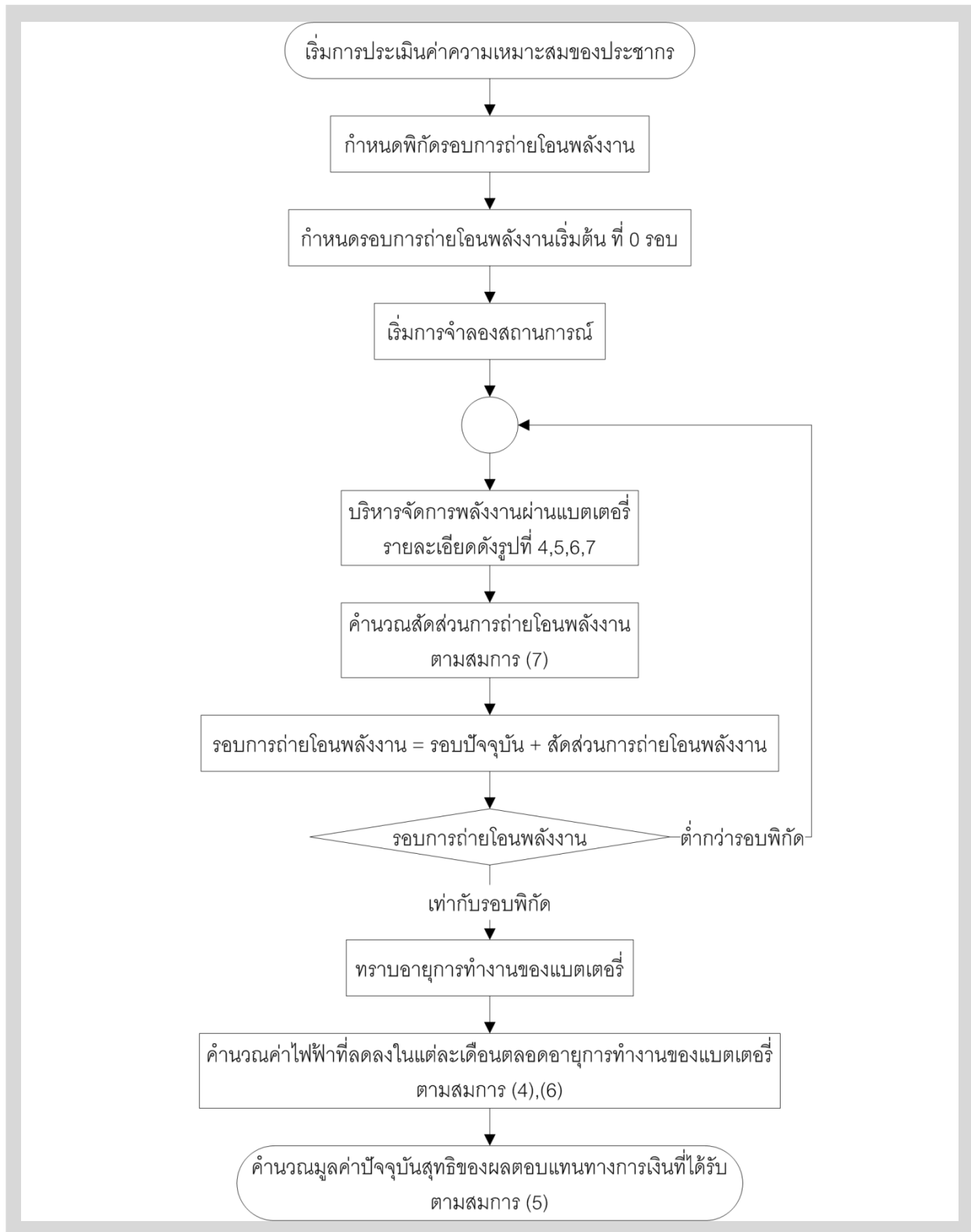
จากปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเราสามารถคำนวณค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงของแต่ละวันที่ทำให้ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1 เพื่อนำไปกำหนดขอบเขตค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเดือน หลังจากนั้นเป็นการเข้าสู่กระบวนการทางพันธุศาสตร์ต่อไป



รูปที่ 2 แผนผังลำดับกระบวนการทางพันธุศาสตร์

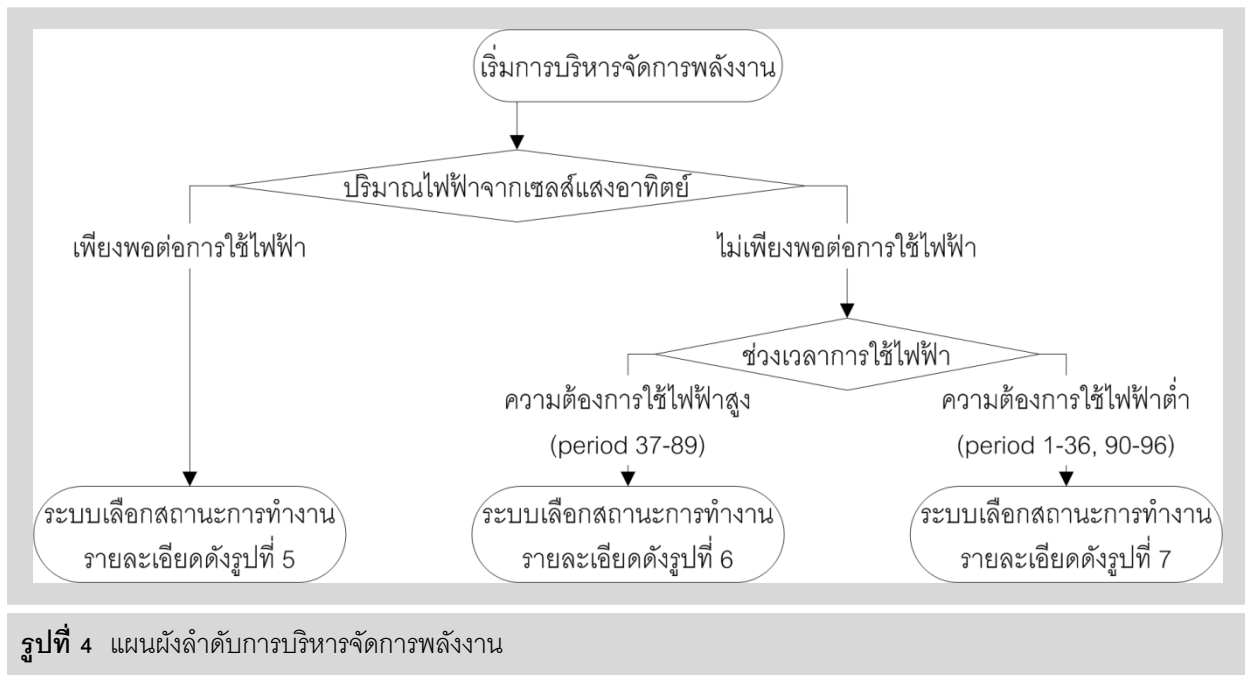
ในรูปที่ 2 แสดงกระบวนการทางพันธุศาสตร์โดยประกอบไปด้วยขั้นตอนตามลำดับดังนี้ สุ่มเลือกกลุ่มประชากรเริ่มต้น, ประเมินค่าความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัว, คัดเลือกประชากรต้นกำเนิดสายพันธุ์, สร้างประชากรใหม่จากกระบวนการ Crossover หรือ Mutation, ประเมินค่าความเหมาะสมของประชากรที่สร้างมาใหม่, แทนที่ประชากรที่กำเนิด

มาใหม่เข้าไปในกลุ่มประชากรเดิม และเริ่มต้นขั้นตอนคัดเลือกประชากรต้นกำเนิดสายพันธุ์ใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการ [13,14]

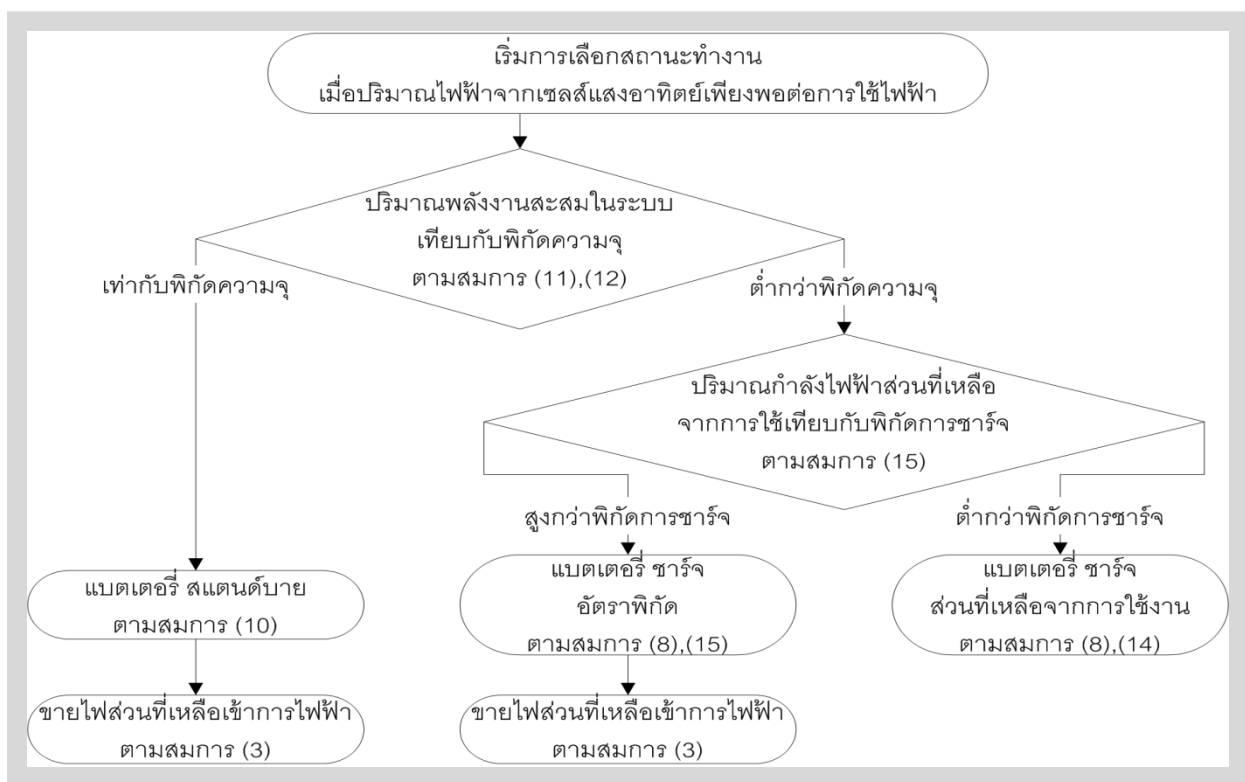


รูปที่ 3 แผนผังลำดับการประเมินค่าความเหมาะสมของประชากร

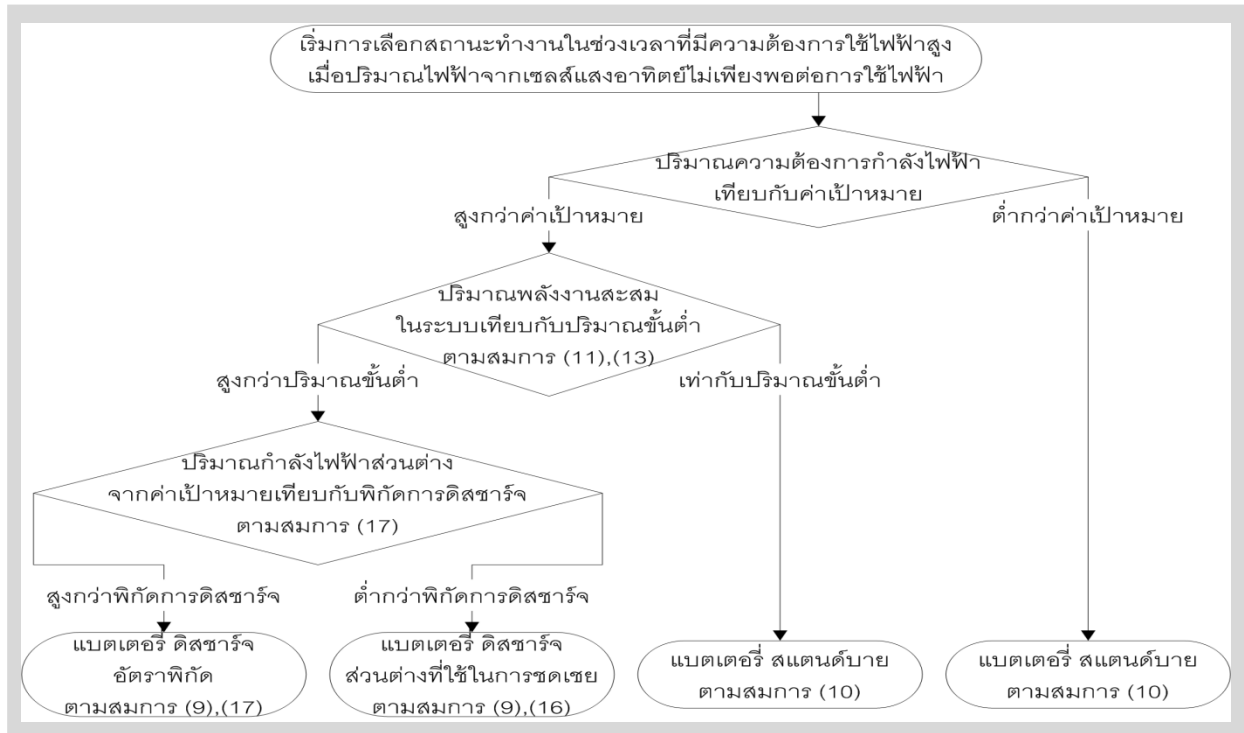
ในรูปที่ 3 แสดงการประเมินความเหมาะสมของประชากรแต่ละตัวผ่านค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนทางการเงินที่ได้รับจากค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือน เมื่อเทียบกับกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว



ในรูปที่ 4 แสดงแนวทางการบริหารจัดการพลังงานตามช่วงเวลาการใช้ไฟฟ้าโดยมีรายละเอียดดังนี้ ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงระบบกักเก็บพลังงานจะพยายามควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเดือน และช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำระบบกักเก็บพลังงานจะชาร์จพลังงานเพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงรอบถัดไป ทั้งนี้หากไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณมากกว่าการใช้กำลังไฟฟ้า พลังงานจะส่วนที่เหลือสามารถนำมาชาร์จเก็บไว้ในระบบกักเก็บพลังงานหรือขายเข้าในยังระบบของการไฟฟ้าตามลำดับ

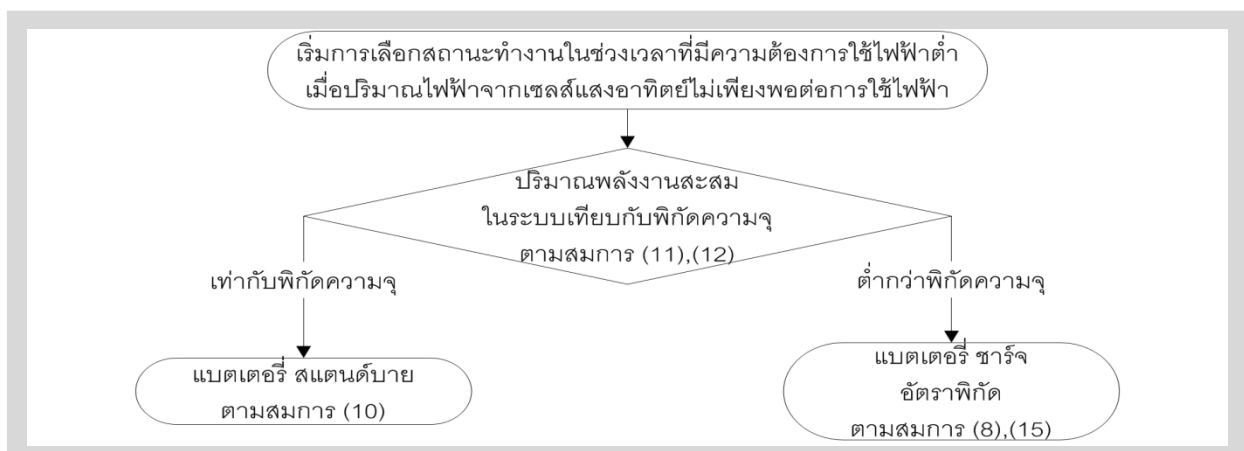


ในรูปที่ 5 แสดงการเลือกสถานะทำงานเมื่อปริมาณไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานจะทำงานในสถานะสแตนด์บายหรือสถานะชาร์จพลังงานขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานสะสมคงเหลือและอัตราพิດการชาร์จของแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถชาร์จเก็บไว้ได้จะถูกขายเข้าไปยังระบบของการไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 6 แผนผังลำดับการเลือกสถานะทำงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง เมื่อปริมาณไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้า

ในรูปที่ 6 แสดงการเลือกสถานะทำงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง เมื่อปริมาณไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานจะทำงานในสถานะสแตนด์บายหรือสถานะชาร์จพลังงานขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าขณะนั้นเทียบกับค่าเป้าหมายและปริมาณพลังงานสะสมคงเหลือของแบตเตอรี่ ทั้งนี้ปริมาณกำลังไฟฟ้าชดเชยที่ระบบดีเซลชาร์จออกมาเพื่อรักษาระดับการใช้กำลังไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ถูกควบคุมโดยอัตราพิດการชาร์จของแบตเตอรี่



รูปที่ 7 แผนผังลำดับการเลือกสถานะทำงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ เมื่อปริมาณไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้า

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน

ในรูปที่ 7 แสดงการเลือกสถานะทำงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ เมื่อปริมาณไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานจะทำการชาร์จพลังงานจากการไฟฟ้ามาเก็บไว้ในอัตราที่คิดจนกว่าจะเต็มพิกัดความจุปริมาณพลังงานสะสมของแบตเตอรี่ เพื่อนำไปใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงรอบถัดไป

2.10 กรณีศึกษา

ระบบทดสอบสำหรับการจำลองสถานการณ์ในงานวิจัยเพื่อคำนวณขนาดระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสม สำหรับผู้ใช้ไฟกลุ่มการผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิต 250 kWp (Kilowatt Peak) เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์สูงสุด มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ อัตราดอกเบี้ยในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิอยู่ที่ 6%, ระบบกักเก็บพลังงานมีค่าแรงดันที่ 240 Vdc, แบตเตอรี่เลือกใช้ JYC Battery GE250-12 12V250AH, พิกัดการชาร์จของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำอยู่ที่ 0.03C และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เลือกใช้ SOLARTRON Multicrystalline Silicon Solar Module SP310 310W

3. ผลการทดลอง

จากโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาเพื่อคำนวณหาขนาดของระบบกักเก็บพลังงานและค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือน พบว่าผู้ใช้ไฟกลุ่มการผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีต ซึ่งกำหนดให้มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 250 kWp จะได้รับผลตอบแทนทางการเงินคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดเมื่อมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานขนาด 499.20 kWh ร่วมกับการกำหนดค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือนดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดขอบเขตค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากสมมติฐานที่ว่า การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจะมีขนาดเท่ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจากกรณีศึกษา ค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ระหว่าง 508.77-581.25 kW และเมื่อมีการบริหารจัดการด้านพลังงานที่เหมาะสมแล้ว ระบบกักเก็บพลังงานสามารถให้ผลตอบแทนทางการเงินคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดตลอดอายุการใช้งานที่ 877,660 บาท โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินในโครงการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย
อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำ (Minimum Attractive Rate of Return : MARR)	6	%
อายุของโครงการ (Life Project)	15	ปี
ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ (Capital Costs)	1,336,000	บาท
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (Electricity Charge Savings)	267,800	บาท
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาระบบรายปี (Operation and Maintenance Costs)	40,080	บาท
มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net Present Value)	877,660	บาท

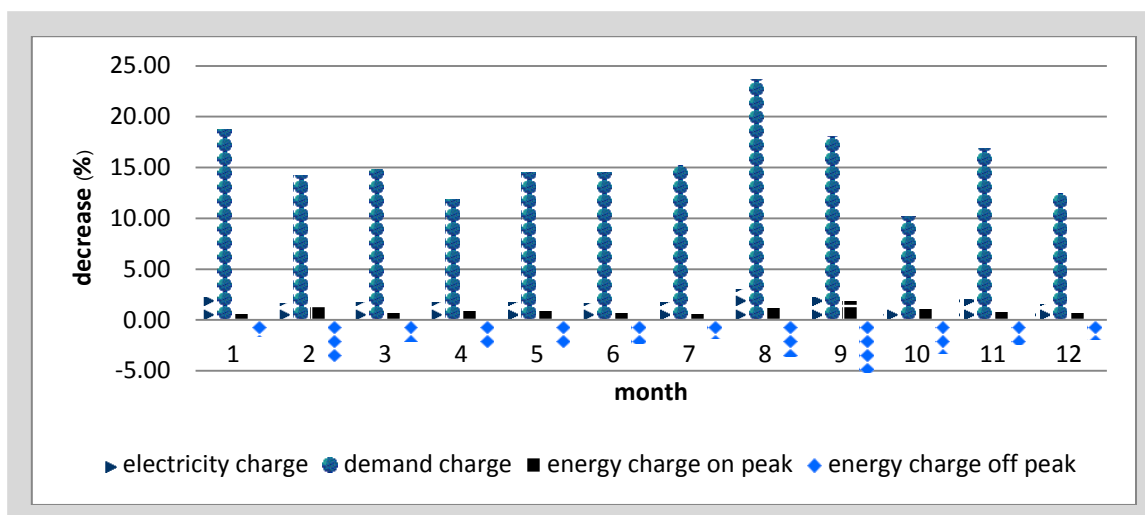
มูลค่ากระแสเงินสดรายรับของโครงการ เกิดจากค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ (Electricity Charge Savings) ในแต่ละเดือน โดยพิจารณาจากส่วนต่างของค่าไฟฟ้าเดิมก่อนการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเทียบกับกรณีที่มีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าไฟฟ้าในรอบปีจากกรณีศึกษา

เดือนที่	ก่อนการติดตั้ง BESS (บาท)	หลังการติดตั้ง BESS (บาท)	ลดลง	
			(บาท)	(%)
1	1,207,000	1,180,500	26,500	2.20
2	1,222,300	1,202,500	19,800	1.62
3	1,174,500	1,154,600	19,900	1.69
4	1,085,500	1,066,500	19,000	1.75
5	1,194,900	1,174,800	20,100	1.68
6	1,202,700	1,183,100	19,600	1.63
7	1,220,800	1,200,000	20,800	1.70
8	1,235,000	1,197,800	37,200	3.01
9	1,232,200	1,205,200	27,000	2.19
10	1,247,900	1,233,500	14,400	1.15
11	1,213,800	1,189,800	24,000	1.98
12	1,249,300	1,229,800	19,500	1.56

ในการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานซึ่งจะชาร์จพลังงานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำเพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้ควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงไม่ให้เกินค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเดือน ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำมีปริมาณที่สูงขึ้นจากเดิม แต่ก็ส่งผลให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงมีปริมาณที่ลดลงจากเดิมเช่นกัน และจากส่วนต่างในอัตราค่าไฟฟ้าของทั้งสองช่วงเวลา เมื่อกำหนดออกมาเป็นค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนพบว่าค่าไฟฟ้าหลังการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานมีปริมาณที่ลดลงแม้ว่าค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำจะมีปริมาณที่สูงขึ้นจากเดิมก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 8

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน



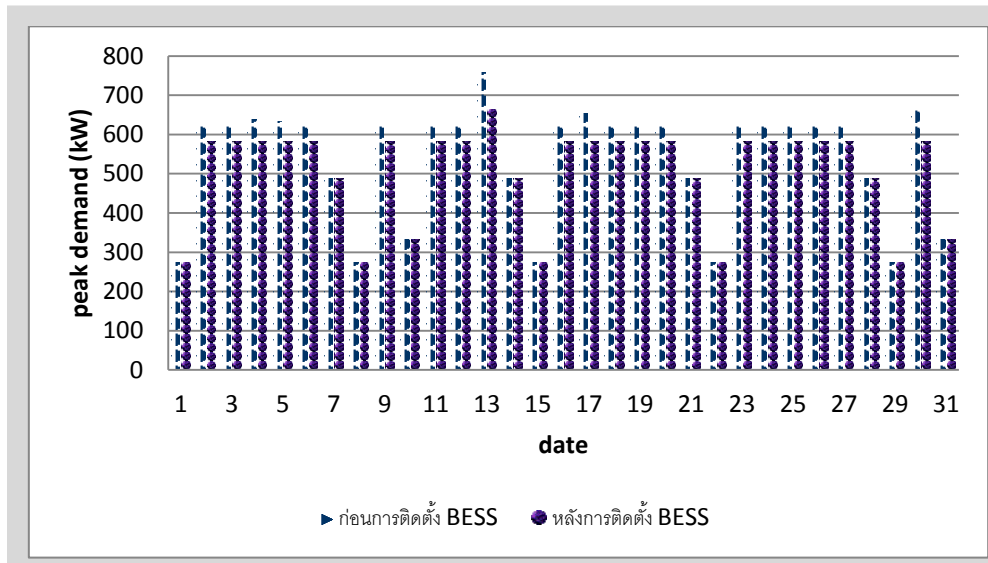
รูปที่ 8 เปอร์เซนต์การลดลงของค่าไฟฟ้า, ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าในรอบปี

จากรูปที่ 8 เห็นได้ว่าค่าไฟฟ้าลดลงสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนสิงหาคม, มกราคม และกันยายนตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหลักในการลดค่าไฟฟ้าคือ การควบคุมปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบปีจากกรณีศึกษา

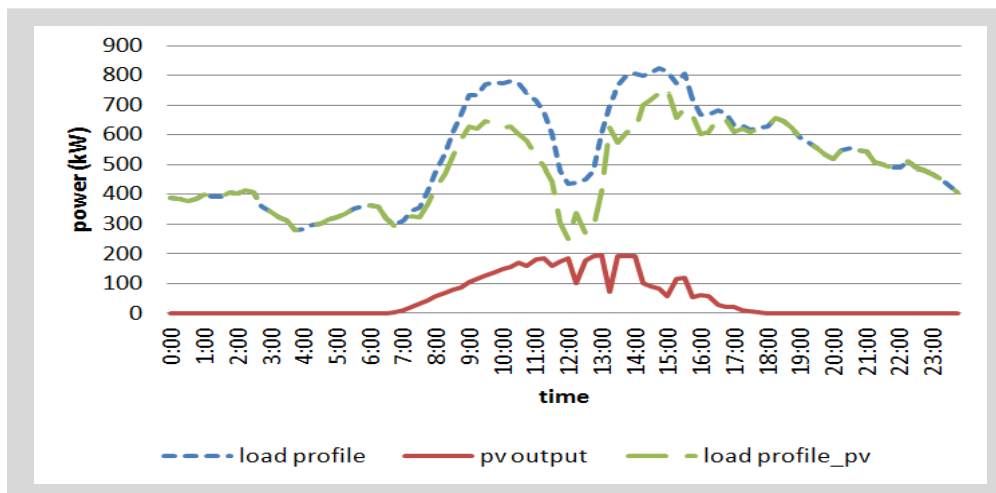
เดือนที่	ก่อนการติดตั้ง BESS (กิโลวัตต์)	ค่าเป้าหมายที่เหมาะสม (กิโลวัตต์)	หลังการติดตั้ง BESS (กิโลวัตต์)	ลดลง (%)
1	673.50	547.56	547.56	18.70
2	676.49	580.34	580.34	14.21
3	639.16	544.51	544.51	14.81
4	768.78	581.25	677.69	11.85
5	667.04	570.55	570.55	14.47
6	648.91	554.70	554.70	14.52
7	649.96	550.96	550.96	15.23
8	732.40	558.81	558.81	23.70
9	700.71	574.28	574.28	18.04
10	707.26	581.19	635.08	10.21
11	674.99	560.81	560.81	16.92
12	757.40	581.03	663.39	12.41

จากตารางที่ 4 เห็นได้ว่าการต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละเดือนมีปริมาณที่ลดลงเมื่อมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน ถึงแม้ว่าในเดือนเมษายน, ตุลาคม และธันวาคม ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีขนาดเกินกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ก็ตาม โดยมีรายละเอียดปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวันในเดือนธันวาคมดังรูปที่ 9



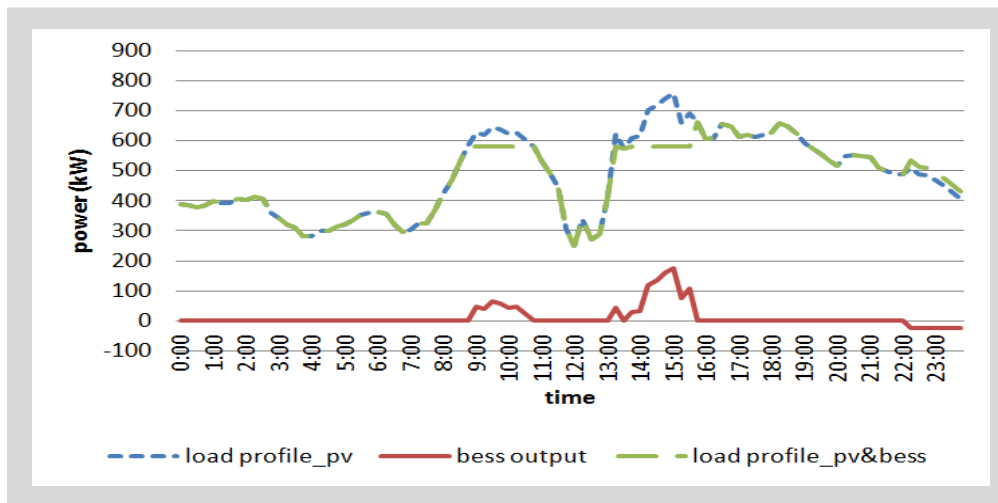
รูปที่ 9 ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดรายวัน ประจำเดือนธันวาคม

จากรูปที่ 9 เห็นได้ว่าปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในวันที่ 13 มีขนาดเกินกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยมีรายละเอียดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

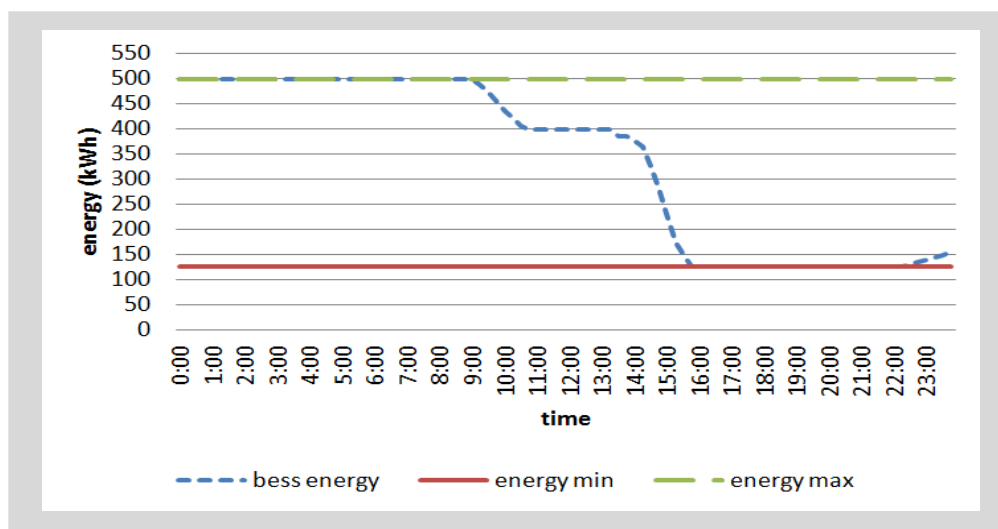


รูปที่ 10 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์กำลังผลิต 250 kWp ประจำวันที่ 13 เดือนธันวาคม

ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน



รูปที่ 11 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานขนาด 499.20 kWh ประจำวันที่ 13 เดือนธันวาคม



รูปที่ 12 ปริมาณพลังงานสะสมในระบบกักเก็บพลังงานขนาด 499.20 kWh ประจำวันที่ 13 เดือนธันวาคม

จากรูปที่ 11 และ 12 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานโดยในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak : 09.00-22.00 น.) แบตเตอรี่จะดิสชาร์จพลังงานออกมาเพื่อชดเชยปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกินจากค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเดือน (ธันวาคม : 581.03 kW) ซึ่งจะทำงานในลักษณะดังกล่าวจนกระทั่งระดับปริมาณพลังงานคงเหลือในระบบกักเก็บพลังงานลดลงถึงระดับพลังงานสะสมคงเหลือขั้นต่ำ (124.80 kWh) และเมื่อถึงช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off Peak : 22.00-09.00 น.) แบตเตอรี่จะชาร์จพลังงานเพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงรอบถัดไป

ทั้งนี้ในวันที่ 13 ธันวาคม การใช้ไฟฟ้ามีปริมาณที่สูงส่งผลให้ขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่ติดตั้ง (499.20 kWh) มีพลังงานสะสมไม่เพียงพอในการควบคุมปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ ได้ตลอดช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงของวัน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในเดือนธันวาคม มีขนาดเกินกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้

4. อภิปรายและสรุป

ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า เมื่อผู้ใช้ไฟที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำแบตเตอรี่เข้ามาบริหารจัดการพลังงาน เพื่อควบคุมปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงระบบกักเก็บพลังงานจะพยายามควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่ให้เกินค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเดือน และช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำระบบกักเก็บพลังงานจะชาร์จพลังงานเพื่อเก็บไว้สำหรับการใช้งานในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงรอบถัดไป ผู้ใช้ไฟจะได้รับผลตอบแทนทางการเงินที่มากขึ้นจากค่าไฟฟ้าที่ลดลงในแต่ละเดือนเมื่อเทียบกับกรณีที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

สิ่งที่น่าสนใจคือในการพิจารณาผลตอบแทนทางการเงินเป็นหลัก ขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมไม่จำเป็นต้องสามารถครอบคลุมการชดเชยพลังงานที่เกินจากค่าเป้าหมายการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดให้ได้ทุกกรณี เนื่องจากการเพิ่มขนาดระบบกักเก็บพลังงานให้ครอบคลุมการใช้งานทุกกรณีจะมีสัดส่วนของค่าติดตั้งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการลดลงของค่าไฟฟ้า

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น พิกัดการชาร์จ, ชนิดของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ให้ และการเลือกใช้อัตราค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟ จะส่งผลกับค่าผลตอบแทนทางการเงินที่ได้จากการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงาน ดังนั้นในการนำไปใช้โปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นไปใช้งาน ควรมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในแต่ละกรณี

บรรณานุกรม

- [1] Saez-de-Ibarra, A., A. Milo, H. Gaztanaga, I. Etxeberria-Otadui, P. Rodriguez, S. Bacha and V. Debusschere. 2013. Analysis and comparison of battery energy storage technologies for grid applications, pp. 1-6. *In IEEE Grenoble PowerTech*. 16-20 June 2013. Grenoble, France.
- [2] Coppez, G., S. Chowdhury and S.P. Chowdhury. 2010a. The importance of energy storage in Renewable Power Generation: A review, pp. 1-5. *In 45th International Universities Power Engineering Conference*. 31 August-3 September 2010. Cardiff, Wales.
- [3] Nottrott, A., J. Kleissl and B. Washom. 2012. Storage dispatch optimization for grid-connected combined photovoltaic-battery storage systems, pp. 1-7. *In Power and Energy Society General Meeting*. 22-26 July 2012. San Diego, California.
- [4] Oudalov, A., D. Chartouni, C. Ohler and G. Linhofer. 2006. Value Analysis of Battery Energy Storage Applications in Power Systems, pp. 2206-2211. *In Power Systems Conference and Exposition*. 29 October-1 November 2006. Atlanta, Georgia.
- [5] ฝ่ายตรวจมลภาวะรังสีและไอโซน สำนักเฝ้าระวังและเตือนสภาวะอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา. 2557. ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ปี 2552. แหล่งที่มา: http://ozone.tmd.go.th/solar_today.htm, 28 มีนาคม 2557.
- [6] Gitizadeh, M. and H. Fakharzadegan. 2013. Effects of electricity tariffs on optimal battery energy storage sizing in residential PV/storage systems, pp. 1072-1077. *In International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. 10-12 April 2013. Nagercoil, Indian.
- [7] Hassanzadehfard, H., S.M. Moghaddas-Tafreshi and S.M. Hakimi. 2011. Effect of energy storage systems on optimal sizing of islanded micro-grid considering interruptible loads, pp. 1-7. *In Proceedings of the 3rd International Youth Conference on Energetics*. 7-9 July 2011. Leiria, Portugal.

- [8] Ru, Y., J. Kleissl and S. Martinez. 2012. Battery sizing for grid connected PV systems with fixed minimum charging/discharging time, pp. 270-275. *In American Control Conference*. 27-29 June 2012. Montreal, Canada.
- [9] กองเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2557. การศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทการผลิตผลิตถ่านหินถ่านปี 2556. แหล่งที่มา: http://pastpea.pea.co.th/th/loadprofile_t/show.php, 8 กรกฎาคม 2557.
- [10] การไฟฟ้านครหลวง. 2557. อัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่. แหล่งที่มา: <http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=114&pid=109>, 5 กันยายน 2557
- [11] สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์. แหล่งที่มา: <http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm>, 17 มกราคม 2557.
- [12] Belli, G., G. Brusco, A. Burgio, D. Menniti, A. Pinnarelli and N. Sorrentino. 2013. A feed-in tariff to favorite photovoltaic and batteries energy storage systems for grid-connected consumers, pp. 1-5. *In Innovative Smart Grid Technologies Europe 4th*. 6-9 October 2013. Copenhagen, Denmark.
- [13] อาทิตย์ ศรีแก้ว. 2552. ปัญญาเชิงคำนวณ. แหล่งที่มา: <http://kongkawee.blogspot.com/2011/05/artificial-intelligence-ai.html>, 1 มีนาคม 2557.
- [14] Hong, T.Z. and S. Weixiang. 2008. Application of genetic algorithms in the design of a solar array-exclusive standalone photovoltaic system, pp. 451 - 456 . *In IEEE 2nd International Conference on Power and Energy (PECon 8)*. 1-3 December 2008. Johor Baharu, Malaysia.