

## การศึกษาโครงสร้างค่าไฟฟ้าสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน A study of electricity tariff structure for solar PV systems with energy storage

เป็ติภัทร ธิระเกียรติ<sup>1</sup>, โสภิตสุดา ทองโสภิต<sup>2</sup>

<sup>1</sup> เป็ติภัทร ธิระเกียรติ นิสิตปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<sup>2</sup> นักวิจัยสถาบันวิจัยพลังงาน และอาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน แขวงวังใหม่ กรุงเทพฯ 10330

\*ผู้ติดต่อ: peetiphat.t@gmail.com, 0876122266

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เข้ามามีบทบาทในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยมากขึ้น ด้วยแรงขับเคลื่อนจากมาตรการสนับสนุนของภาครัฐ ประกอบกับแนวโน้มราคาแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงเกือบทศวรรษที่ผ่านมา นอกจากนี้ ด้วยราคาที่ลดลงอย่างต่อเนื่องของระบบกักเก็บพลังงาน (energy storage) ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เองในบ้านร่วมกับการกักเก็บพลังงาน (PV-storage hybrid) เป็นทางเลือกที่น่าสนใจมากขึ้นสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้า แต่เนื่องจากต้นทุนโดยรวมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานยังมีค่อนข้างสูง ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบ PV-storage hybrid นี้ยังไม่สามารถแข่งขันได้กับค่าไฟฟ้าขายปลีก ในขณะเดียวกัน ระบบ PV-storage hybrid สามารถช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ (reliability) ของไฟฟ้าสำหรับการใช้งานของผู้ใช้ไฟฟ้าและยังช่วยลดความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้าโดยรวมอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงศึกษาวิเคราะห์ทางเลือกหนึ่งของภาครัฐในการส่งเสริมระบบ PV-storage hybrid คือการจัดทำโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษ ที่จะช่วยจูงใจในการลงทุนระบบ PV-storage hybrid โดยการเปรียบเทียบความคุ้มค่าและผลตอบแทนทางการเงินของโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาปกติในปัจจุบัน (Current TOU rate) และโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษ (Special TOU rate) ซึ่งผู้วิจัยออกแบบเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะกับการส่งเสริม PV-storage hybrid ซึ่งโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษนี้มีฐานการออกแบบจากโครงสร้างค่าไฟฟ้าในต่างประเทศ โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลา ได้แก่ On-peak 11.00 - 14.00 Regular 7.00 - 11.00, 14.00 - 22.00 และ Off-peak 22.00 - 7.00 โดยนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินของระบบ PV-storage hybrid ที่ใช้ในกิจการขนาดเล็ก เปรียบเทียบกับโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาปกติที่ใช้ในปัจจุบัน ผลการศึกษาพบว่า การใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษ ทำให้ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าช่วงเวลา 25 ปี ประหยัด 433,277 บาท หรือคิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์จากโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาปกติในปัจจุบัน และเมื่อเปรียบเทียบผลตอบแทนทางการเงิน พบว่าการใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษมีระยะเวลาคืนทุนลดลงจากเดิม 2.2 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์

**คำหลัก:** การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบกักเก็บพลังงาน, โครงสร้างค่าไฟฟ้า, โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา

### Abstract

Currently, electricity from solar PV systems is playing a greater role in Thailand's electricity generation, a trend driven by the government's support measures and the continuous decline in the price of solar panels during the past decade. In addition, with the declining price of energy storage systems, electricity generation from solar energy for self-consumption at home combined with energy storage (PV-storage hybrid) is becoming an attractive alternative for electricity users. However, the combined investment cost of solar photovoltaic (PV) and storage is still high, rendering a high levelized cost electricity that cannot compete with

retail grid electricity prices. At the same time, PV-storage hybrid systems can increase the reliability for electricity users, and it can also reduce the peak demand of individual users and the peak demand of the entire electrical system. This research analyzed one of the policy options for the government to promote PV-storage hybrid systems through the comparison of the feasibility of the current TOU rate vs. a special TOU rate, which the researchers designed to support PV-storage hybrid. This special electricity structure was designed based on a review of international electricity tariff structures. Both structures were used to analyze the financial return of PV-storage hybrid systems in small businesses. The analysis was conducted by comparing the financial return of PV-storage hybrid systems under the current electricity time of use tariff structure vs. under the special TOU rate. The results from the study indicated that the use of the special electricity tariff structure reduces the annual electricity cost by 433,277 baht in 25 years or 22 percent lower than the saving accrued by the current tariff structure. Furthermore, when comparing the financial returns, it was found that the use of electricity tariff structure over a modified period could reduce the payback period 2.2 years from the original, and the internal rate of return increased by 2 percent.

**Keywords:** Solar photovoltaic (PV) system, Energy storage system, Tariff structure, TOU rate

## 1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ พลังงานทางเลือกได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการใช้พลังงานของประเทศไทย โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์หรือโซลาร์เซลล์ กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายในการลงทุนเพื่อผลิตไฟฟ้าเองใช้เองในบ้าน อาคาร และโรงงาน โดยรัฐบาลได้เข้ามามีบทบาทวางแผนกำหนดนโยบายและมาตรการสนับสนุนการลงทุนในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (โซลาร์รูฟ) แต่แนวนโยบายล่าสุดยังไม่มีมาตรการสนับสนุนให้โซลาร์รูฟมีการขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ หรือสนับสนุนให้มีการชดเชยไฟฟ้าส่วนที่เหลือจากการใช้และไหลเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า ดังนั้นเทคโนโลยี energy storage จะเข้ามามีบทบาทในการกักเก็บพลังงานในเวลาที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้า เพื่อไม่ให้เกิดการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยสูญเปล่า ด้วยเหตุผลข้างต้นประกอบกับราคาที่ลดลงต่อเนื่องของทั้งโซลาร์เซลล์และ energy storage ทำให้มีผู้สนใจนำเทคโนโลยี energy storage มาใช้ร่วมกับระบบโซลาร์รูฟ (PV-storage hybrid) มากขึ้น

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ของกระทรวงพลังงาน ได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 6,000 เมกะวัตต์ภายในปี 2579 เทคโนโลยี energy storage จะเข้ามามีบทบาทในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในระบบ ด้วยการนำเอาพลังงานที่เก็บสะสม

ไว้ในช่วงที่ผลิตไฟฟ้าเกินจำนวนที่ต้องการ ออกมาใช้ได้ทันที จะช่วยให้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด นอกจากนี้ระบบ PV-storage hybrid ยังช่วยให้ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และ ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย

นอกจากประโยชน์ข้างต้นแล้ว ระบบ PV-storage hybrid ยังเป็นประโยชน์กับระบบไฟฟ้าในแง่ของการวางแผนและบริหารจัดการ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความไม่สม่ำเสมอ แปรผันไปตามสภาพภูมิอากาศ ถ้าความเข้มแสงลดลงจากค่าปกติ ทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงเวลานั้นจะหายไปจากระบบเป็นจำนวนมาก และอาจทำให้เกิดไฟดับเป็นวงกว้าง ดังนั้นเทคโนโลยี energy storage จึงมีบทบาทสำคัญในการเสริมความมั่นคงในระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่เกิดเหตุการณ์ไฟดับและไฟตกอยู่บ่อยครั้ง ประชาชนหรือสถานประกอบการที่ต้องการใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา อย่างเช่นโรงพยาบาล หรือร้านค้า ต้องติดตั้งเครื่องปั่นไฟขนาดเล็กที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล เพื่อให้สามารถมีไฟฟ้าใช้งานได้ตลอดเวลา รวมถึงในเวลาฉุกเฉิน ดังนั้น การส่งเสริมระบบ PV-storage hybrid ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีแหล่งพลังงานที่มีความเสถียรและยืดหยุ่นมากขึ้น ทำให้ไฟไม่ไหลย้อนเข้าระบบมากเกินไป และทำให้การไฟฟ้าไม่ขาดเสถียรภาพในการจ่ายไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบกักเก็บพลังงานสำหรับกิจการขนาดเล็ก

วิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน และโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อสนับสนุนระบบ PV-storage hybrid โดยจะวิเคราะห์โดยใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา Time of Use (TOU) ซึ่งการกำหนดอัตราที่แตกต่างตามช่วงเวลาการใช้งาน เป็นอัตราที่เหมาะสมกับการใช้งานของ PV-storage hybrid

## 2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เกี่ยวกับเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน และ โครงสร้างค่าไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1.1 เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน

เป็นกระบวนการแปลงไฟฟ้าจากแหล่งอื่น ๆ ให้อยู่ในรูปแบบพลังงานที่เก็บไว้ได้ และสามารถแปลงกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าเมื่อเกิดความจำเป็น กระบวนการนี้จะช่วยให้การผลิตไฟฟ้าที่ผลิตในช่วงความต้องการไฟฟ้าต่ำหรือช่วงที่แหล่งพลังงานผลิตไฟฟ้าต่อเนื่องไม่สูญเสียเปล่า และยังสามารถนำกลับมาใช้ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงได้ โดยเทคโนโลยีนี้มีความจำเป็นกับอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า แต่ในปกติความต้องการการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน หรือในแต่ละฤดูกาล มีความแตกต่างกันอย่างมาก นักวางแผนระบบไฟฟ้าจึงต้องวางแผนสร้างกำลังการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้าสูงสุด

ประโยชน์ของ เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy Storage) คือสามารถใช้ได้กับทุกส่วนของระบบในการผลิตไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรองในภาวะไฟฟ้าขัดข้องหรือเป็น Standby Reserve
2. การจัดเก็บพลังงานในเวลากลางคืน เพื่อไว้ใช้ในช่วงเวลากลางวัน ด้วยการซื้อและสะสมพลังงานไฟฟ้าราคาถูกในช่วง off-peak และนำไปขายคืนในช่วง on-peak
3. ลดหรือเลื่อนความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (peak-demand) และรักษาคุณภาพไฟฟ้าที่ให้บริการผู้ใช้โดยการรักษารูปคลื่น (peak shave)
4. เพิ่มเสถียรภาพของระบบผลิตไฟฟ้า ด้วยการควบคุมแรงดันทางไฟฟ้า และชะลอการลงทุนสำหรับการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่ม [2]

#### 2.1.2 โครงสร้างค่าไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้าที่มีทั่วโลก มีรูปแบบที่ต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้ จะวิเคราะห์โดยใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา Time of Use (TOU) ซึ่งการกำหนดอัตราที่แตกต่างตามช่วงเวลาการใช้งาน เป็นอัตราที่เหมาะสมกับการใช้งานของ PV-storage hybrid

#### 2.1.2.1 โครงสร้างค่าไฟฟ้าประเทศไทย

ประเทศไทยในปัจจุบัน โครงสร้างอัตราตามช่วงเวลามีการแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ด้วยการกำหนดเวลา ดังนี้

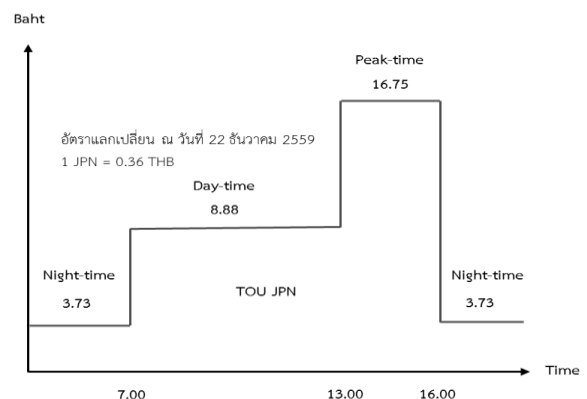
Peak time จันทร์-ศุกร์ 9.00-22.00

Off-Peak จันทร์-ศุกร์ 22.00-9.00, เสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ [3]

#### 2.1.2.2 โครงสร้างค่าไฟฟ้าต่างประเทศ

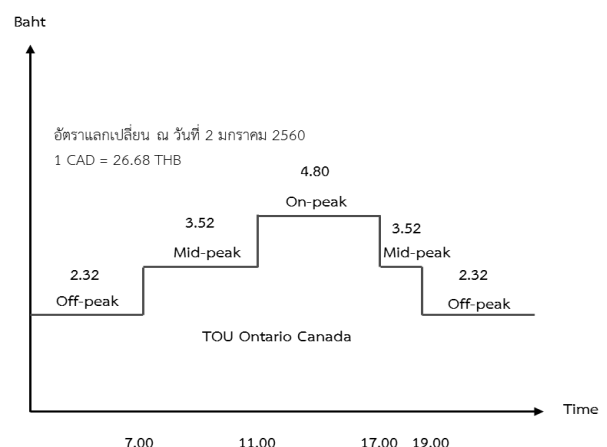
การศึกษาค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาในต่างประเทศ เพื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่าในต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น บางรัฐในออสเตรเลีย บางรัฐในสหรัฐอเมริกา มีการใช้อัตราตามช่วงเวลา มากกว่า 2 ช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น

#### ประเทศญี่ปุ่น และ รัฐออนแทรีโอ (รูปที่ 1-2)



#### รูปที่ 1 โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาประเทศญี่ปุ่น

#### รัฐออนแทรีโอ ประเทศแคนาดา



## รูปที่ 2 โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา รัฐออนแทรีโอ ประเทศแคนาดา

จากรูปที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นว่า ในต่างประเทศนั้น มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าหลายช่วงเวลา โดยสำหรับในประเทศญี่ปุ่น นั้นอัตราค่าไฟฟ้าในช่วง peak ต่างกับช่วง night time อยู่ถึง 13 บาท ซึ่งสูงยิ่งย่องสำหรับการนำ PV-storage hybrid มาใช้ เนื่องจากอัตราที่สูงในช่วง peak จะทำให้เกิดการกระตุ้นการลดใช้ไฟฟ้าในช่วง หรือใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แทน และการมี PV-storage hybrid เข้ามาในระบบจะช่วยในการเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วง night-time เพื่อนำไปใช้ในช่วง peak-time ที่ระบบ PV ผลิตไม่เพียงพอ งานวิจัยนี้จึงนำลักษณะโครงสร้างค่าไฟฟ้างกล่าวมาออกแบบ โดยเพิ่มช่วงระยะเวลาที่มีอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างจากเดิม 2 ช่วงเป็น 3 ช่วงเวลา เพื่อวิเคราะห์ ความสนใจในการลงทุน เทียบกับกรณีค่าไฟฟ้าแบบ TOU ปกติ

### 2.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ประโยชน์ของการมีเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน และ การวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างค่าไฟฟ้าดังต่อไปนี้

งานวิจัยของ อีระภัทร์ แมนมิตร, ปานจิตร ดำรงกุล กำจร [4] ทำการศึกษาการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประโยชน์ของการมีระบบการเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน (Time of Use: TOU) สำหรับกิจการขนาดใหญ่ โดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม (System Advisor Model: SAM) มาช่วยในการคำนวณขนาดระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสม โดยสมมติฐานคือ ให้ผู้ใช้ไฟมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สม่ำเสมอตลอดช่วงระยะเวลาที่พิจารณา โดยมีเป้าหมายลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยการชาร์จแบตเตอรี่ในช่วงที่มีความต้องการพลังงานต่ำ และดิสชาร์จในช่วงเวลาความต้องการสูง เพื่อการบริหารจัดการพลังงานที่เหมาะสม

ผลการศึกษาของงานวิจัยระบุว่า เมื่อมีผู้ใช้ไฟที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีการนำแบตเตอรี่ที่เหมาะสม มาควบคุมความต้องการไฟฟ้าสูงสุดให้ลดลง ผู้ใช้ไฟ

ที่ติดตั้ง จะได้รับผลตอบแทนทางการเงินที่มากขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเดียว เนื่องจากค่าไฟฟ้าที่ลดลง

Masoud Zebarjadi, Alireza Askarzadeh, [5] การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการผลิตไฟฟ้าจากกริดที่เชื่อมต่อกับโซลาร์เซลล์ โดยการเปรียบเทียบในกรณีเชื่อมกริดกับโซลาร์เซลล์ปกติ และกริดที่เชื่อมต่อกับโซลาร์เซลล์ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน เพื่อวิเคราะห์ว่าระบบกักเก็บพลังงานจะทำให้ระบบพลังงานมีความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพมากขึ้น โดยกรณีศึกษาที่เมืองในประเทศอิหร่าน ซึ่งงานวิจัยข้างต้น ทำการแบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ที่ 1 ไม่มีระบบกักเก็บพลังงานในการออกแบบระบบ สถานการณ์ที่ 2 มีระบบกักเก็บพลังงานเข้าร่วมในระบบ แล้วทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางเศรษฐศาสตร์

ผลการวิจัย พบว่า จากการอ้างอิงราคาค่าไฟฟ้าปัจจุบัน ประเทศอิหร่าน พบว่าการใช้ไฟฟ้าจากกริด เชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ นั้นยังไม่เหมาะสมในการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ แต่หากราคาค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 3.8 เท่า การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบจะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น สำหรับในสถานการณ์ที่ 2 แบบกริด เชื่อมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และมีระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วย งานวิจัยระบุว่า ในกรณีราคาค่าไฟฟาราคาต่ำ การมีระบบกักเก็บพลังงานยังไม่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น แต่หากราคาค่าไฟเพิ่มขึ้นจากเดิม การใช้ PV-storage hybrid จะช่วยให้มีความคุ้มค่าของระบบมากขึ้น เพราะเมื่อสร้างพลังงานจากพลังงานหมุนเวียนมากกว่าความต้องการโหลด พลังงานส่วนเกินจะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ พลังงานที่เก็บไว้นี้จะนำไปใช้ในสภาพขาดดุล ในกรณีความต้องการโหลดทั้งหมดไม่พอ แบตเตอรี่จะเป็นหน่วยที่สำรองไฟเพื่อตอบสนองกับความการใช้ไฟฟ้าที่มากกว่าการผลิตจาก PV เพียงอย่างเดียว ังแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของ PV-storage hybrid

Sandy Rodrigues, Fabio Faria, Nuno cafofo and F. Morgado-Dias [6] ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจของระบบ PV ที่ขนาดต่างๆกัน ได้แก่ 1 กิโลวัตต์ 3 กิโลวัตต์ และ 5 กิโลวัตต์ แบบมีแบตเตอรี่และไม่มีแบตเตอรี่ โดยเปรียบเทียบกันในแต่ละเมืองของประเทศโปรตุเกส ผลการวิจัยระบุว่า ระบบ PV ควรมีขนาดเท่ากับการบริโภค

ไฟฟ้า ให้กำไรมากที่สุด โดยการผลิตแล้วใช้เอง 100 เปอร์เซ็นต์ มีกำไรมากกว่า การผลิตแล้วใช้เองแค่ 70 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ต้องมีแบตเตอรี่ เพราะแบตเตอรี่ยังมีราคาสูง ผลการวิจัยยังระบุอีกว่าการผลิต PV 1 กิโลวัตต์ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้น เพราะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าให้พอต่อการบริโภค งานวิจัยนี้เป็น การระบุ ว่า การผลิตไฟฟ้าแล้วใช้เอง (Self-Consumption) ให้ผลตอบแทนดีกว่าการขายเข้ากริด

งานวิจัยนี้ต้องการสนับสนุนการใช้ PV-storage hybrid ให้คุ้มค่ามากที่สุด โดยจากงานวิจัยทั้งหมดข้างต้นนั้น มีแนวคิดว่าการมี PV-storage hybrid ก่อให้เกิดประโยชน์ต่างๆ ในหลายด้าน แต่ยังมีข้อจำกัดบางอย่างที่ทำให้ PV-storage hybrid ยังไม่คุ้มค่า งานวิจัยข้างต้นวิเคราะห์กรณีที่ทำให้ PV-storage hybrid คุ้มค่า ได้แก่ การกำหนดเวลาการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ การเพิ่มราคาค่าไฟฟ้า และการติดตั้ง PV-storage hybrid ในพื้นที่ที่สูง กลายเป็นแนวคิดของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการต่อยอดกรณีที่ทำให้ PV-storage hybrid มีความคุ้มค่ามากขึ้น คือ การนำกรณีของงานวิจัยข้างต้นมาผสมผสาน ทั้งการกำหนดเวลาชาร์จดิสชาร์จแบตเตอรี่ การติดตั้ง PV-storage hybrid ในพื้นที่ที่เหมาะสม และได้เพิ่มวิธีใหม่ คือการปรับโครงสร้างค่าไฟฟ้า ที่จะทำให้การใช้ PV-storage hybrid มีความคุ้มค่ามากขึ้น

### 3. วัตถุประสงค์และขอบเขตในการวิจัย

#### 3.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

3.1.1 เพื่อศึกษาเทคโนโลยีและความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงาน (energy storage) สำหรับกิจการขนาดเล็ก

3.1.2 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบกักเก็บพลังงานร่วม (PV-storage hybrid) โดยใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาราคาปกติ และโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่ยกออกเพิ่มขึ้น ในมุมมองของการสนับสนุนระบบกักเก็บพลังงานร่วม

#### 3.2 ขอบเขตในการวิจัย

กรณีศึกษา เป็นอาคารที่ประกอบกิจการธุรกิจขนาดเล็ก ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดกำลังการผลิต 5 กิโลวัตต์



### 4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ จะทำการวิเคราะห์เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานในขั้นต้น จากนั้น วิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับการมีระบบกักเก็บพลังงาน โดยการเปรียบเทียบโครงสร้างค่าไฟฟ้า แบบคิดตามช่วงเวลา TOU ปกติ เทียบกับ TOU แบบพิเศษ ที่สร้างขึ้นโดยการอ้างอิงกับแนวทางการคิดโครงสร้างค่าไฟฟ้าในต่างประเทศ โดยงานวิจัยนี้จะเสนอกรอบแนวคิดเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโครงสร้างค่าไฟฟ้า โดยใช้ตัวอย่างของ load profile ของกิจการขนาดเล็กมาพิจารณา<sup>1</sup> ได้เป็นแต่ละกรณี โดยมีองค์ประกอบที่นำมาพิจารณาดังนี้

1. ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar PV)
2. รูปแบบการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงใน 1 ปี (Load Profile)
3. ค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากระบบที่มีแผงพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ (LCOE)
4. ค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้า

โดยมีกรณีวิเคราะห์เปรียบเทียบ ดังนี้

- กรณีใช้ไฟฟ้าจาก PV-storage hybrid ด้วยอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาปกติ (TOU ปกติ)
- กรณีใช้ไฟฟ้าจาก PV-storage hybrid ด้วยอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาแบบพิเศษ (TOU พิเศษ)

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม (System Advisor Model: SAM) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณการติดตั้ง PV ในการวิเคราะห์ที่คำนวณหาปริมาณไฟฟ้าที่เข้าออก จากกริด, แบตเตอรี่, และเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 ข้อมูลด้านเทคนิคและราคาของระบบ

Technical PV System			
	Size	Price	Total Price
PV System Investment for self-consumption	5.041 KW		554,495 Baht
Module	280 W	38 Baht/W	191,576.08 Baht/W
Inverter	3800	9.5 Baht/W	47,894.02

<sup>1</sup> ข้อมูล Load profile ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลจากการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยจากการสำรวจกิจการขนาดเล็ก 258 แห่ง

	W		Baht/W
Battery	14	16705.25	234,361.28
	Kwh	Baht/Kwh	Baht/kwh
Installation cost		16 Baht/W	80,663.61
			Baht/W

ตารางที่ 2 ตัวแปรด้านลักษณะของระบบ

System parameter	
ประเภทแผงโซลาร์	Mono Crystalline
ประสิทธิภาพแผงโซลาร์	17%
ประเภทแบตเตอรี่	Lithium ion
ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์	96%
อัตราส่วน DC to AC	1.1
Tilt (Latitude)	13.7 องศา
Azimuth (หันหน้าไปทางทิศใต้)	180 องศา
อัตราการเสื่อมสภาพ	0.5% ต่อปี
ช่วงเวลาที่ศึกษา	25 ปี

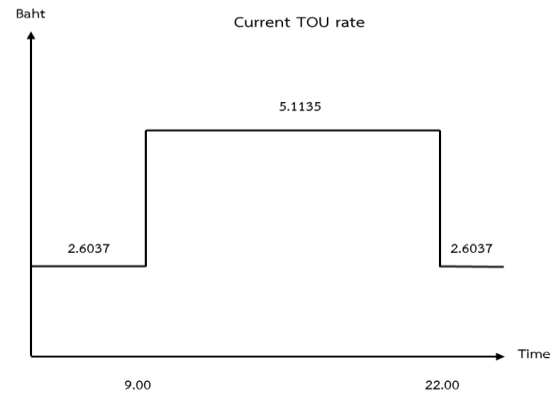
ตารางที่ 3 ค่าไฟตามช่วงเวลาปกติและค่าไฟตามช่วงเวลา  
ออกแบบขึ้น

Electricity tariff price : Small Business		
Current TOU rate	On-peak	5.1135 Baht
	Off-peak	2.6037 Baht
Special TOU rate	On-peak	6 Baht
	Regular	4.35 Baht
	Off-peak	2 Baht
Fixed monthly charge rate	312.24 Baht	
Load growth rate	3.50%	

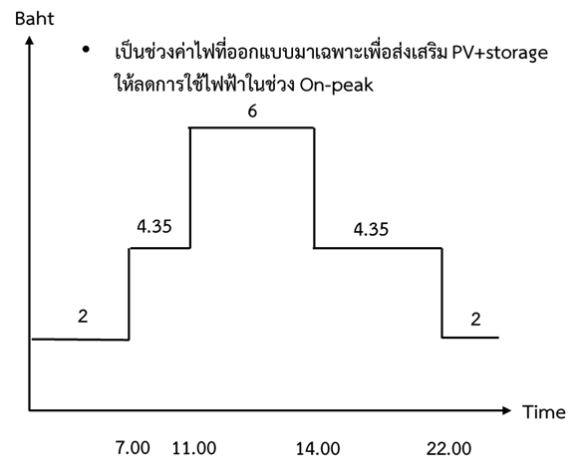
ตารางที่ 4 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

Financial Parameter		
Debt ratio	0%	ชำระด้วยตนเองทั้งหมด
Inflation rate	2.5%	ต่อปี
Discount rate	2.5%	ต่อปี
insurance rate	0.25%	ของราคาติดตั้ง

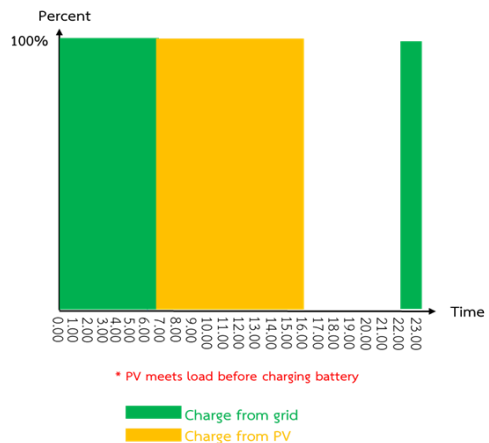
แสดงเป็นช่วงเวลาได้ดังนี้



รูปที่ 1 โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาในปัจจุบัน

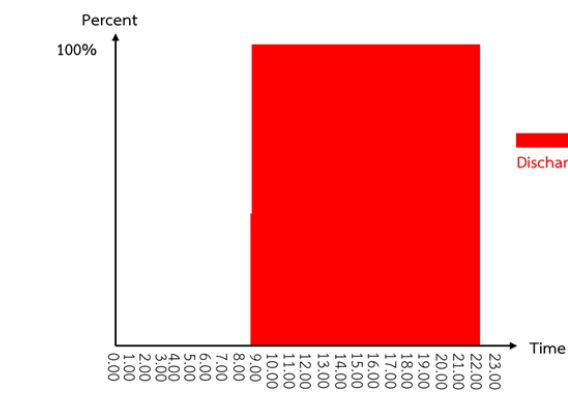


รูปที่ 2 โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษ



รูปที่ 3 รูปแบบการสั่ง Charge แบตเตอรี่

กรณีศึกษา เป็นหน่วยกิจการขนาดเล็ก ที่มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน โดยนำผลการวิจัยมาเปรียบเทียบ ได้ดังนี้



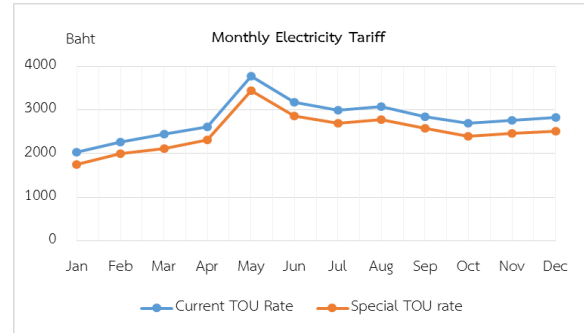
รูปที่ 4 รูปแบบการสั่ง Discharge แบตเตอรี่

จากรูปที่ [3] แสดงถึงการสั่งการทำงานของแบตเตอรี่ โดยแบ่งตามช่วงเวลา โดยตั้งค่าการชาร์จจากกริด ในเวลา 22.00-6.00 เพราะเป็นช่วงที่ราคาค่าไฟมีราคาต่ำ จึงเหมาะกับการเก็บพลังงานเข้าแบตเตอรี่ และ charge จาก PV ในช่วงเวลา 6.00-14.00 เพราะเป็นช่วงเวลาที่ PV สามารถผลิตไฟฟ้าได้ แต่มีข้อแม้ว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก PV จะต้องใช้ในโหลดจนหมดก่อนที่จะทำการชาร์จไว้ในแบตเตอรี่ และรูปที่ [4] แสดงถึงการ Discharge หรือการปล่อยพลังงานเข้ามาในระบบ ในช่วงเวลากลางวันในกรณี PV ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการพลังงานสูงสุด และกำหนดการ Discharge ในช่วงเวลา 16.00-22.00 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ มีความต้องการไฟฟ้าสูง และค่าไฟฟ้าอยู่ในช่วงอัตราที่สูง แบตเตอรี่จะ Discharge พลังงานเพื่อมาช่วยในส่วนนี้ ทำให้ประหยัดมากขึ้น

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณประเมินเปรียบเทียบศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ของกรณีศึกษาข้างต้น ต่างๆ คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV), ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) , อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) ของทั้งสองโครงสร้าง

## 5. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ เมื่อนำข้อมูลที่ได้ มาทำการวิเคราะห์ในโปรแกรม เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบมีระบบกักเก็บพลังงานร่วม (PV-storage hybrid) โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาปกติ (Time of use : TOU) และโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษ โดยใช้



รูปที่ 5 ค่าไฟสุทธิของ 2 โครงสร้างในเวลา 1 ปี

ตารางที่ 5 ผลตอบแทนทางการเงิน

Financial PV System		
Current TOU rate vs Special TOU rate	Current TOU rate	Special TOU rate
IRR (%)	8%	10%
NPV (Baht)	219,214	448,552
PB (Years)	13.2	11

ตารางที่ 6 ผลประหยัดทางการเงินในช่วงเวลา 25 ปี

Value of electricity saving in 25 years	
TOU rate	Baht
Current TOU rate	1,661,285
Special TOU rate	2,134,562
Saving	473,277

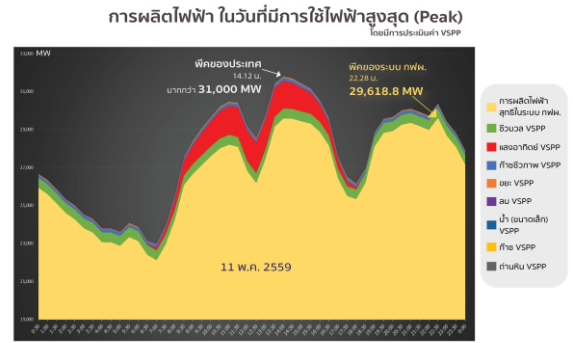
ผลการวิจัยพบว่า ในการเปรียบเทียบใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษจะทำให้ค่าไฟสุทธิหลังการติดตั้ง PV-storage hybrid ที่ใช้จ่ายในแต่ละเดือนมีราคาถูกลง แสดงดังรูปที่ [5] จากการคำนวณพบว่าราคาค่าไฟหลังติดตั้งระบบที่ใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษมีราคาลดลง 3583.38 บาท หรือคิดเป็น 11 เปอร์เซ็นต์ ใน 1 ปี เมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังตารางที่ 5 พบว่าการใช้โครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษ จะมีระยะเวลาคืนทุนลดลง 2.2 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ และผลประโยชน์ทางการเงินในช่วงเวลา 25 ปี จะมีผลประหยัดเพิ่มขึ้น 473,277 บาท แสดงผลดังตารางที่ 6

## 6. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยในข้างต้น ผลการวิจัยพบว่า เมื่อปรับเปลี่ยนโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาปกติในปัจจุบัน ให้เป็นโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบพิเศษ ทำให้เกิดความคุ้มค่ามากขึ้น ทั้งในแง่เชิงเศรษฐศาสตร์ การลงทุน และการก่อให้เกิดประโยชน์ในอนาคต สรุปผลได้ดังนี้

การที่มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาในปัจจุบันของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีระบบกักเก็บพลังงาน (PV-storage hybrid) มีระยะเวลาคุ้มทุนที่ค่อนข้างสูง แต่หากทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างค่าไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมมากขึ้น จะช่วยทำให้เกิดประโยชน์ทุกฝ่าย ทั้งต่อรัฐบาล ผู้บริหารจัดการระบบไฟฟ้า ประชาชนทั่วไป และผู้ที่สนใจลงทุนระบบ PV การที่มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษ จะส่งผลกระทบต่อทุกฝ่าย ดังต่อไปนี้

- ผลกระทบต่อรัฐบาล การมีโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบใหม่นี้ จะช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคหันมาใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น ส่งผลให้มีการลดใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายที่ภาครัฐทำในปัจจุบันที่ต้องการให้ประชาชนลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง
- ผลกระทบต่อผู้บริหารจัดการระบบไฟฟ้า (การไฟฟ้าทั้งสามแห่ง) เมื่อมีระบบ PV-storage hybrid มากขึ้น จะดีกว่าการเพิ่มขึ้นของระบบ PV เพียงอย่างเดียว เนื่องจากผู้ลงทุนระบบ PV ที่มี storage นั้นจะไม่ส่งไฟฟ้าจาก PV เข้ากริด ดังนั้นจึงไม่เกิดปัญหาที่การไฟฟ้าคาดหวังว่าจะมีคือไฟฟ้าไหลย้อนในปริมาณมากที่อาจจะลดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้
- ผลประโยชน์ต่อประชาชนทั่วไป คือ การไฟฟ้า การมีระบบกักเก็บพลังงานมาช่วยในเวลากลางวันจะทำให้ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในระบบลดลง ซึ่งก็หมายถึง การลดการสร้างโรงไฟฟ้าสำรองเพิ่มเติม (Reserve Load) ดังรูปที่ 4 ซึ่งทำให้ในระยะยาวจะช่วยชะลอการขึ้นของค่าไฟฟ้าเนื่องจากการลดการลงทุนในโรงไฟฟ้าใหม่



รูปที่ 6 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าประเทศไทย [7]

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยมีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การไฟฟ้าจะต้องเตรียมรับมือในการสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อเป็นกำลังสำรองเพิ่มเติม แต่หากสามารถลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดลงได้ ก็จะเป็นผลดีแก่ประชาชนที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ผ่านค่าไฟฟ้า

- ผลประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจลงทุนระบบ PV-storage hybrid คือ การที่มีระบบกักเก็บพลังงาน จะช่วยให้มีไฟฟ้าสำรองยามเกิดเหตุขัดข้อง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อธุรกิจได้ และ การที่มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษเป็นการกระตุ้นให้หันมาใช้ระบบกักเก็บพลังงาน ช่วยลดรายจ่ายในการใช้ไฟฟ้าได้ และมีผลตอบแทนทางการเงินที่ดีขึ้น

จากการวิเคราะห์การวิจัยนี้ พบว่า การที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาในปัจจุบัน ให้เป็นโครงสร้างค่าไฟฟ้าแบบพิเศษ จะส่งผลกระทบต่อทุกฝ่าย ทั้งรัฐบาล ผู้บริหารจัดการระบบไฟฟ้า ประชาชนทั่วไป และผู้ที่สนใจลงทุนระบบ PV-storage hybrid ในส่วนของรัฐบาล สามารถนำไปกำหนดนโยบายได้ในอนาคต ในส่วนของผู้ผลิต มีเสถียรภาพของระบบเพิ่มขึ้น และในส่วนของผู้บริโภค จ่ายค่าไฟฟ้าที่ถูกลง และยังได้ใช้พลังงานสะอาดอีกด้วย

## 7. ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าในปัจจุบัน การมีระบบกักเก็บพลังงานในระบบเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย เนื่องจากราคายังค่อนข้างสูง ทำให้ระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างนาน ไม่น่าเป็นที่ดึงดูดใจให้ผู้บริโภคหันมาใช้ระบบกักเก็บพลังงาน แต่หากมองอีกมุมว่า ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้ราคาอุปกรณ์ต่างๆ มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนสั้นลง การที่มีระบบกักเก็บพลังงานในระบบจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ และไฟฟ้า



นั้นเป็นปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิต การที่มีระบบกักเก็บพลังงาน ยังช่วยให้มีไฟฟ้าสำรองยามขาดแคลน ถ้าประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานได้อย่างเหมาะสม จะทำให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

ข้อจำกัดในงานวิจัยนี้ มีหลายด้าน ทั้งขนาดแบตเตอรี่ที่ยังไม่มีขนาดความจุหลากหลาย และมีราคาสูง ทั้งการที่ต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าระบบพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ทำให้ระยะเวลาคืนทุนนาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยเพิ่มเติมในอนาคต ในเรื่องการกำหนดนโยบาย และการประยุกต์ใช้ การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบกักเก็บพลังงานร่วม และการใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับช่วงเวลาการใช้งาน

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 (AEDP 2015), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [http://www.dede.go.th/ewt\\_news.php?nid=42195](http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=42195), เข้าดูเมื่อ วันที่ 11 ตุลาคม 2559
- [2] Haisheng Chen, Thang Ngoc Cong, Wei Yang, Chunging Tan, Yongliang Li, Yulong Ding, (2008), Progress in electrical energy storage system: A critical review, Institute of Particle Science and Engineering, University of Leeds, UK
- [3] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2558). Electricity tariff, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [https://www.pea.co.th/Portals/\\_default/Documents/Rate2015.pdf](https://www.pea.co.th/Portals/_default/Documents/Rate2015.pdf), เข้าดูเมื่อ วันที่ 11 ตุลาคม 2559
- [4] ชีระภัทร์ แมนมิตร และ ปานจิตร ดำรงกุลกำจร, (2015). ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้งาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [5] Masoud Zebarjadi, Alireza Askarzadeh, (2015), Optimization of a reliable grid-connected PV-based power plant with/without energy storage system by a heuristic approach, Institute of Science and High

Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Iran

[6] Sandy Rodrigues, Fabio Faria, Nuno cafofo and F. Morgado-Dias (2017), Analysis of the Self-Consumption Regulation for Photovoltaic Systems with Battery Banks in the Portuguese Residential Sector, Madeira Interative Technologies Institute Funchal, University of Madeira, Portugal

[7] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (5 กรกฎาคม 2559).

พีค 4 พุ่มจุดเปลี่ยนพลังงานไทย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา [https://www.egat.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1552:article-20160705-01&catid=49&Itemid=251](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=1552:article-20160705-01&catid=49&Itemid=251), เข้าดูเมื่อ วันที่ 5 เมษายน 2560