การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้โซลาร์เซลล์ระบบออฟกริดในที่พักอาศัย
Economic Analysis of Off-Grid Domestic PV System

มัณฑนา รังสิโยภาส[1]*, เบนยามิน อุปถัมภ์[1], พงศ์พิพัฒน์ ดวงสว่าง[1]และ ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131
*ติดต่อ: montana@eng.buu.ac.th, +66(0)38-102222

บทคัดย่อ

การประยุกต์โซลาร์รูฟในระดับหน่วยย่อยยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทยเนื่องจากต้นทุนหลักของการติดตั้งระบบนั่นคือแบตเตอรี่ยังมีราคาที่สูงในขณะที่ผลตอบแทนที่ได้รับจากค่าไฟฟ้าไม่สูงนัก ทำให้ไม่เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีด้านแบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอาจส่งผลสะท้อนต่อราคาของแบตเตอรี่ที่ลดลง และค่าไฟฟ้าอาจมีการปรับตัวสูงขึ้นเนื่องจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้โซลาร์เซลล์ระบบออฟกริดในที่พักอาศัยโดยคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงราคาของแบตเตอรี่และค่าไฟฟ้า

งานวิจัยนี้เป็นกรณีศึกษาบ้านอยู่อาศัยแบบ 2 ชั้น จำนวน 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ ขนาดพื้นที่ 25 ตารางวา มีผู้อยู่อาศัยจำนวน 7 คน ระบบโซลาร์เซลล์ที่จะติดตั้งเป็นระบบออฟกริด โดยได้ประเมินความต้องการใช้ไฟฟ้าของบ้านเพื่อนำมาหาขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ ขนาดแบตเตอรี่ที่ใช้กักเก็บ และขนาดอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็นสำหรับระบบ จากนั้นประเมินต้นทุนของระบบและผลตอบแทนที่ได้รับจากค่าไฟฟ้าที่ใช้เพื่อนำมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยวิธีการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) โดยคิดจากอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6.75 ต่อปี และอายุโครงการ 10 ปี จากผลการศึกษาพบว่า ยังไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้โซลาร์เซลล์ระบบออฟกริดในที่พักอาศัยหากไม่คำนึงการเปลี่ยนแปลงราคาของแบตเตอรี่และค่าไฟฟ้า ราคาแบตเตอรี่และค่าไฟฟ้าเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้มีความเป็นไปได้ของการลงทุน

คำหลัก: พลังงานแสงอาทิตย์; โซลาร์ออฟกริด; ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

Small-scale rooftop PV system in Thailand's domestic sector is still not widely utilized since the majority cost of installation, i.e., battery price is very high while the benefit from electricity cost is not high making it is not worth in current investment. However, the battery technology is changing rapidly, which may affect the price of batteries is projected to decline. In addition, the electricity tariff trends to increase in the next 20 years due to the rising of marginal costs regularly. The sensitivities of these factors should be accounted into the economic analysis of off-grid domestic PV system which is the objective of this research.

This research will be a case study of a 2-storey residential house with 3 bedrooms and 2 bathrooms in the area of 25 square wah (100 square meter). Off-grid PV system is implemented to this house. The electricity demand of the house is measured in order to estimate the PV power generation. Then, the sizing of PV arrays, batteries, and system utilities are calculated. The investment for the off-grid PV system and the benefit of electricity cost are analyzed economically by NPV method. The interest rate of 6.75 percent per year is accounted during the period that the system owners will get paid for 10 years. The study results shown that there is still no economic value for using off-grid PV system in residential house, without considering the variation price of batteries and electricity tariff. The battery price and the electricity tariff play the important roles in reaching the feasible investment.

Keywords: Solar energy; Off-grid PV system; Economic worthiness.

1. บทนำ

สถานการณ์ความต้องการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปีในขณะที่แหล่งพลังงานมีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกมีนโยบายที่มุ่งเน้นจะใช้พลังงานทดแทนที่เป็นพลังงานสะอาด ประเทศไทยนั้นมีศักยภาพที่จะนำพลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้ประโยชน์ โดยล่าสุดที่ประชุม กพช. เห็นชอบ แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 - 2580 (PDP 2018) ตามที่กระทรวงพลังงาน (พน.) เสนอ โดยให้ กบง. และ กกพ. พิจารณาแนวทางการดำเนินการโครงการพลังงานแสงอาทิตย์โซลาร์ภาคประชาชน ปีละ 100 เมกะวัตต์ 10 ปี ตั้งแต่ปี 2562 เป็นต้นไป [1] อย่างไรก็ตามปัญหาและอุปสรรคสำคัญที่ทำให้การส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ภาคประชาชนของประเทศไทยยังไม่แพร่หลายคือเรื่องต้นทุนของระบบและขาดความต่อเนื่องของนโยบายการรับซื้อพลังงานที่เหลือใช้ แม้ว่าล่าสุดจะมีนโยบายการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับหน่วยย่อยที่จะรับซื้อที่หน่วยละ 1.68 บาทเป็นระยะเวลาตามสัญญา 10 ปี สำหรับประชาชนผู้ผ่านการพิจารณาข้อเสนอโครงการภายใต้โควตาที่รัฐบาลประกาศกำหนดนั้น อาจไม่เป็นที่ดึงดูดความสนใจหรือผลักดันให้เกิดการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระดับหน่วยย่อยนักเนื่องจากมีอายุสัญญาเพียง 10 ปีและราคารับซื้อไฟฟ้าที่ต่ำกว่าราคาขายปลีกของการไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ระบบออฟกริดเพื่อนำไปเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจสำหรับผู้ที่สนใจติดตั้งระบบ และเนื่องจากขนาดของระบบและอุปกรณ์มีผลต่อเงินลงทุนเป็นอย่างยิ่ง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องประเมินหาขนาดของระบบให้ใกล้เคียงกับภาระใช้งานจริงโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบออฟกริดที่จะต้องมีการกักเก็บพลังงานให้เพียงพอต่อภาระการใช้งานจริง

จากการสำรวจตลาดของผู้ประกอบการที่รับออกแบบและติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า จะเสนอราคาสำหรับระบบ 2 รูปแบบ คือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบออนกริดที่ขายไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าหน่วยละ 6.85 บาทซึ่งเป็นแผนการรับซื้อเมื่อหลายปีก่อน และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการกักเก็บพลังงานส่วนที่เหลือใช้ไว้ในแบตเตอรี่ โดยขนาดความจุของแบตเตอรี่ที่เสนอส่วนใหญ่จะไม่มากนักซึ่งอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานทั้งนี้อาจเนื่องมาจากราคาแบตเตอรี่ที่สูงจะมีผลต่อระยะเวลาคืนทุนซึ่งไม่ดึงดูดให้ผู้สนใจติดตั้งระบบ ดังนั้นข้อเสนอจากผู้ประกอบการจะเป็นการประมาณขนาดระบบเบื้องต้น ไม่ได้นำข้อมูลของภาระโหลดและความเข้มรังสีอาทิตย์ของพื้นที่ที่ติดตั้งมาประกอบการออกแบบ รวมถึงไม่ได้แสดงให้เห็นถึงเงินลงทุนส่วนเพิ่มเติมสำหรับการเปลี่ยนแบตเตอรี่และอินเวอร์เตอร์ในอนาคต งานวิจัยนี้จึงได้คิดรวมผลของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเซลล์ที่มีผลต่อความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อกำหนดขนาดของระบบและใช้ลักษณะโหลดจริงมาวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นแนวทางให้ผู้สนใจสามารถนำไปใช้ในการออกแบบต่อไป

Juman Al-Saqlawi และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และทางเทคนิคของระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่พักอาศัยแบบติดตั้งอิสระใน Muscat ของ Oman โมเดลทางคณิตศาสตร์ถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลองค่าความเข้มแสง กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ รวมถึงประสิทธิภาพการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ ข้อมูลโหลดความต้องการใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงตลอดทั้งปีของบ้าน 14 หลัง และข้อมูลสภาวะอากาศรายชั่วโมงตลอดทั้งปีถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้า ต้นทุนโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์และตัวควบคุมการชาร์จได้จากสมการคำนวณที่อ้างอิงและคิดค่าติดตั้งค่าบำรุงรักษาเป็น 10% และ 2% ของราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามลำดับ ผลการจำลองระบบในช่วงเวลา 20 ปีพบว่า ระบบโซลาร์เซลล์บนหลังคาที่พักอาศัยแบบติดตั้งอิสระไม่มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เว้นแต่ค่าไฟฟ้าจะสูงขึ้นและต้นทุนของแบตเตอรี่จะลดลง 90%

Akash Kumar Shukla และคณะ [3] เห็นว่ากระบวนการให้ได้มาซึ่งขนาดกำลังไฟฟ้าโซลาร์เซลล์เกี่ยวข้องกับการออกแบบ การเลือก และการกำหนดรายละเอียดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่นที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ สภาพอากาศ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณการใช้โหลด ดังนั้นจึงได้ออกแบบระบบโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอิสระบนหลังคาของโฮสเทลแห่งหนึ่งใน

อินเดียและใช้ซอฟต์แวร์ในการจำลองของ Sunny design, SAM และ Blue Sol เพื่อทำนายปริมาณพลังงานที่ผลิตได้รายเดือนและรายปีของระบบโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอิสระบนหลังคาขนาด 110 kWp ของโฮสเทล MANIT Bhopal ระบบดังกล่าวใช้แบตเตอรี่ 2V ขนาดความจุ 400Ah จำนวน 180 ลูก และอินเวอร์เตอร์ขนาด 43.5 kW โดยคิดเงินลงทุนเพิ่มสำหรับการเปลี่ยนแบตเตอรี่ 5 ครั้งสำหรับระยะเวลาโครงการ 25 ปี ผลทางเศรษฐศาสตร์พบว่ามีความน่าสนใจในการลงทุนเนื่องด้วยมีระยะเวลาคืนทุน 8.2 ปี NPV 1.12 และรัฐบาลสนับสนุน 25%ของเงินลงทุนในการจัดหาและติดตั้งระบบ

Eric O'Shaughnessy และคณะ [4] ได้นำเสนอวิธีการเพิ่มศักยภาพการใช้โซลาร์เซลล์ที่มีการกักเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่สำหรับที่อยู่อาศัยโดยการควบคุมโหลดเพื่อปรับลักษณะโหลด เช่น การซักผ้า การทำน้ำร้อน เป็นต้น ให้เกิดความสอดคล้องกับลักษณะการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เนื่องจากขนาดแบตเตอรี่เล็กลง

จะเห็นได้ว่าแต่ละงานวิจัย [2-4] จะพิจารณาปัจจัยด้านต่าง ๆ เช่น ความเข้มแสง ลักษณะโหลด ที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ มาประเมินขนาดของระบบโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอิสระในที่อยู่อาศัยเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับตัดสินใจในการลงทุน โดยพบว่า ต้นทุนแบตเตอรี่เป็นตัวแปรสำหรับระบบดังกล่าว สำหรับประเทศไทยซึ่งมีความเข้มแสงและที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ที่แตกต่าง ราคาของอุปกรณ์ที่ขายในท้องตลาดที่แตกต่างกัน อัตราค่าไฟฟ้าและนโยบายการสนับสนุนจากภาครัฐ ก็ส่งผลต่อความคุ้มค่าหรือความน่าสนใจในการลงทุนติดตั้งใช้งานของระบบ ลักษณะโหลดการใช้ไฟฟ้าของบ้านที่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะภูมิอากาศแต่ละประเทศก็เป็นอีกตัวแปรที่สำคัญที่จะต้องมีการประเมินเพื่อให้การจำลองขนาดของระบบมีความแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบระบบโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอิสระที่ใช้ในบ้านโดยนำเอาข้อมูลความเข้มแสงจากสถิติที่ผ่านมาในพื้นที่ติดตั้งระบบและพฤติกรรมของโหลดจากบ้านอยู่อาศัยมาประเมินหาขนาดของระบบและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ข้อมูลที่สืบค้นราคาอุปกรณ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด อัตราดอกเบี้ย ณ ปัจจุบัน และอัตราค่าไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนที่ผ่านมา เพื่อจะได้ทราบถึงความเป็นไปได้ของการลงทุน

2. ข้อมูลและวิธีการประเมิน

การออกแบบระบบจะนำข้อมูลแสงอาทิตย์ของจังหวัดชลบุรี ลักษณะโหลดจากการวัด คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์มาประเมินหาขนาด และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จะใช้ข้อมูลอัตราดอกเบี้ย ณ ปัจจุบัน และอัตราค่าไฟฟ้าจากบิลค่าไฟฟ้า ดังแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.1 – 2.4

2.1 ข้อมูลพื้นที่และบ้านที่ติดตั้งระบบ

บ้านอยู่อาศัยในจังหวัดชลบุรีเป็นบ้าน 2 ชั้น จำนวน 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ ขนาดพื้นที่ 25 ตารางวา มีผู้อยู่อาศัยจำนวน 7 คน ทิศทางการวางตัวของบ้านในแนวเหนือ-ใต้ ภายในบ้านมีอุปกรณ์/เครื่องใช้ไฟฟ้าดังตารางที่ 1 จากการสำรวจช่วงเวลาการใช้งานจะสามารถประเมินภาพรวมของภาระทางไฟฟ้าได้ แต่พฤติกรรมและปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่แท้จริงจะต่ำกว่าเนื่องจากการใช้งานอุปกรณ์อาจไม่ได้ทำงานที่โหลดเต็มพิกัดกำลัง ดังนั้นจะต้องวัดเพื่อหาภาระโหลดใช้งานจริง

ตารางที่ 1 ภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน

Time / Appliance	Quantity	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	Energy(Wh)
ELECTROLUX MICROWAVE 1200W	1																			300						300
SHARP WASHER 340/160W	1														109											109
LIGHT BULB BATHROOM1 11W	2																		22	22					22	66
AJ BOLIER 1500W	1			75																					75	150
LIGHT BULB FRONT YARD 22W	1			22	22	22	22	22	22	22																154
PANASONIC DRYER 1500W	1									75				75								75				225
NATIONAL COOKER 300W	1																						150			150
PHILIPS COOKER 660W	1																						330			330
LIGHT BULB BEDROOM1 44W	4									44													44	44	44	176
LIGHT BULB BEDROOM2 44W	4									44													44	44	44	176
LIGHT BULB BEDROOM3 44W	4									44													44			88
LIGHT BULB BATHROOM2 22W	2																						7	7		15
TOSHIBA TV 65W	1																				65	65	65	65	65	325
LENOVO COMPUTER 62W	1																					62	62	62		186
ASUS LAPTOP 65W	1																				65	65	65	65		260
ACER LAPTOP 19W	1																				19	19	19	19		76
SAMSUNG AIR CONDITION 770W	1	770	770	770	770	770	770	770	770	770															770	7700
SAMSUNG AIR CONDITION 1000W	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000									1000	16000
SAMSUNG AIR CONDITION 1000W	1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000											1000	14000
WATER PUMP 200W	1	33		33						33				33								33				167
LIGHT BULB LIVINGROOM 10W	4	40	40																		40	40	40	40	40	280
LIGHT BULB LIVINGROOM 11W	4	44	44																		44	44	44	44	44	308
FAN HATARI 16 INCH 50W	1	50	50	50								50	50	50	50					50	50	50	50	50	50	650
FAN HATARI 18 INCH 75W	1	75	75	75								75	75	75	75					75	75	75	75	75	75	975
IPHONE ADAPTER 5W	5	25	25	25	25										25	25	25	25			25	25	25			275
IPHONE ADAPTER 12W	1	12	12	12	12																12	12	12			84
SAMSUNG ADAPTER 15W	2	30	30	30	30										30	30	30				30	30	30			300
HUAWEI INTERNET MODEM 12W	1	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	288
TOTAL ENERGY CONSUMPTION (Wh)		3091	3058	3104	2871	2804	2804	2804	2804	3044	2012	2137	2137	2245	1301	1067	67	37	34	459	437	607	1118	527	3241	**43812**

2.2 ข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล

ข้อมูลความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านจะถูกวัดที่ตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์และบันทึกผลอัตโนมัติตลอด 24 ชั่วโมงทั้งวันธรรมดาและวันหยุดเสาร์อาทิตย์โดยใช้เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ทางไฟฟ้า ยี่ห้อ Metrel รุ่น Mi2892 ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การวัดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและเครื่องมือวัด Metrel รุ่น Mi2892

ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายชั่วโมงของเดือนเมษายน พ.ศ.2559 จังหวัดชลบุรี แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเข้มรังสีอาทิตย์จังหวัดชลบุรี

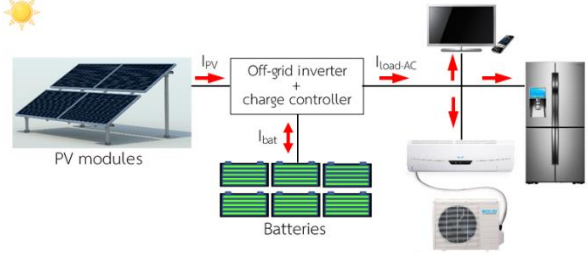
เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)	เวลา	ความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)
5:00	0.00	12:00	852.79
6:00	25.59	13:00	817.55
7:00	182.77	14:00	715.57
8:00	394.93	15:00	553.24
9:00	569.03	16:00	351.70
10:00	690.32	17:00	120.65
11:00	814.40	18:00	0.00

ที่มา: ศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย ผลงานวิจัยการพัฒนาเครือข่ายการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย

2.3 การออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอิสระบนหลังคาบ้าน

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอิสระมีส่วนประกอบหลัก ดังรูปที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้ากระแสตรงและถูกประจุลงในแบตเตอรี่โดยผ่าน

วงจรควบคุมการประจุ พลังงานจากแบตเตอรี่จะถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายโหลด เทคโนโลยีในปัจจุบันผู้ผลิตได้ผนวกวงจรควบคุมการประจุเข้ากับอินเวอร์เตอร์ [5] ทำให้สะดวกในการเชื่อมต่อสาย



รูปที่ 2 แผนภาพของระบบโซลาร์เซลล์แบบติดตั้งอิสระ

การกำหนดขนาดของส่วนประกอบหลักในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอิสระบนหลังคานั้น มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: ประเมินหากำลังผลิตไฟฟ้าและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณลักษณะเฉพาะดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrystalline silicon

Rated Maximum Power, P_{max} (W)	300
Rated Maximum Power, P_{max} (W/m^2)	154.61
Module size (mm)	1956x992x40
Module weight (kg)	21
Module weight (kg/m^2)	10.82
Open-circuit voltage, V_{oc} (V)	45.20
Short-circuit current, I_{sc} (A)	8.73
Maximum voltage, V_{mp} (V)	36.41
Maximum power current, I_{mp} (A)	8.24
Maximum system voltage (V)	1000
Temperature coefficients of P_{max} (%/°C)	-0.43
Temperature coefficients of V_{oc} (%/°C)	-0.33
Temperature coefficients of I_{sc} (%/°C)	0.058
Module efficiency (%) (STC)	15.5
Price (Baht)	3200
Price per area (Baht/m^2)	1649.19
Price per Watt (Baht/W)	10.67

จากข้อมูลคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ และข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ซึ่งในที่นี้ใช้ข้อมูลเฉลี่ยเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 เนื่องจากการประเมินภาระโหลดเป็นข้อมูลเดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่ของเดือนนี้มีค่าใกล้เคียงกัน นำมาประเมินหากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายชั่วโมง (W) ดังสมการ

$$P_{out} = V_m I_m \qquad (1)$$

โดยที่ V_m คือ แรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ขณะที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (V)

I_m คือ กระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ขณะที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (A)

กระแสและแรงดันไฟฟ้าตามสมการ (1) จะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ คำนวณได้จากสมการดังนี้ [6]

$$T_{cell} = T_a + \frac{G(t)}{800}\left(T_{NOCT} - 20\right) \qquad (2)$$

$$f_{temp} = 1 + \left(\frac{\alpha_{I_{SC}}}{100}\right)\left(T_{cell} - T_{STC}\right) \qquad (3)$$

$$I_m = I_{mp} f_{temp} \frac{G_t}{G_{STC}} \qquad (4)$$

$$V_m = V_T \ln\left[1 + \frac{I_{SC} - I_m}{I_{SC}}\left(e^{\frac{V_{OC}}{V_T}} - 1\right)\right] - I_m R_s \qquad (5)$$

โดยที่ $G(t)$ คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ STC

T_{NOCT} คือ อุณหภูมิที่ nominal operating conditions

f_{temp} คือ แฟคเตอร์ลดทอนเนื่องจากอุณหภูมิ

$\alpha_{I_{SC}}$ คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่กระแสลัดวงจร (%/°C)

V_T คือ ความต่างศักย์เนื่องจากความร้อน (V)

R_s คือ ความต้านทานสมมูลอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)

ดังนั้นจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะต้องใช้เพื่อรองรับภาระโหลดทางไฟฟ้าจะเป็น

$$N_{PV} = \frac{\int_{1day} P_{out}\,dt}{\int_{1day} P_{Load}\,dt} \qquad (6)$$

ขั้นตอนที่ 2: ประเมินหาขนาดอินเวอร์เตอร์

สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอิสระนั้น อินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่จ่ายโหลดทางไฟฟ้าทั้งหมดที่

เกิดขึ้นซึ่งจะต้องมีขนาดที่สามารถรองรับภาระโหลดสูงสุดที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ อย่างไรก็ตามในการใช้งานปกติภาระโหลดอาจไม่ได้ใช้งานเต็มพิกัดกำลังตลอดเวลา และการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดมากกว่าภาระใช้งานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ลดลง รวมถึงต้นทุนที่สูงขึ้นตามไปด้วย ในที่นี้จะประเมินขนาดอินเวอร์เตอร์โดยใช้แฟคเตอร์เผื่อ 1.25[7] ตามสมการ (6)

$$P_{inv} = 1.25P_{AC_load} \quad (6)$$

โดยที่ P_{ACload} คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสูงสุด (W)

ขั้นตอนที่ 3: ประเมินหาขนาดและจำนวนแบตเตอรี่

จากข้อมูลลักษณะโหลดของบ้านที่ได้สำรวจดังตารางที่ 1 พบว่า โหลดจะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนและมีการใช้โหลดน้อยในตอนกลางวัน จากลักษณะโหลดดังกล่าวจะต้องอาศัยแบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุสูงเพื่อย้ายพลังงานที่ผลิตได้ในตอนกลางวันเกือบทั้งหมดมาใช้ในตอนกลางคืน ดังนั้นความจุของแบตเตอรี่จะประเมินได้จากพลังงานไฟฟ้าที่เหลือใช้ในช่วงกลางวัน

$$Wh_{batt} = \int_{8:00-17:00} (P_{out} - P_{Load})dt \quad (7)$$

โดยที่ Wh_{batt} คือ พลังงานที่เหลือใช้และกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่

โดยทั่วไปอายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะขึ้นกับปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ความลึกของการคายประจุ (%DOD) และอุณหภูมิ เมื่อใช้งานในลักษณะที่มีความลึกของการคายประจุมากจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงหรือครบจำนวนรอบของการอัดและคายประจุตามคุณสมบัติของผู้ผลิตแบตเตอรี่ ดังนั้นความจุของแบตเตอรี่จึงคำนวณได้จากสมการ

$$Ah_{batt} = \frac{Wh_{batt}}{V_{batt}(\%DOD / 100)} \quad (8)$$

โดยที่ Ah_{batt} คือ ความจุของแบตเตอรี่ (Ah)

V_{batt} คือ แรงดันไฟฟ้าทั่วไปของแบตเตอรี่ (V)

2.4 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการนี้ จะเลือกใช้วิธีการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) โดยคำนวณได้จาก

$$NPV = \sum_t^n \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

โดยที่ R_t = กระแสเงินสดของเงินลงทุน-กระแสเงินสดที่ประหยัดได้

i = อัตราดอกเบี้ย

t = ระยะเวลา (ปี)

3. ผลและการวิเคราะห์

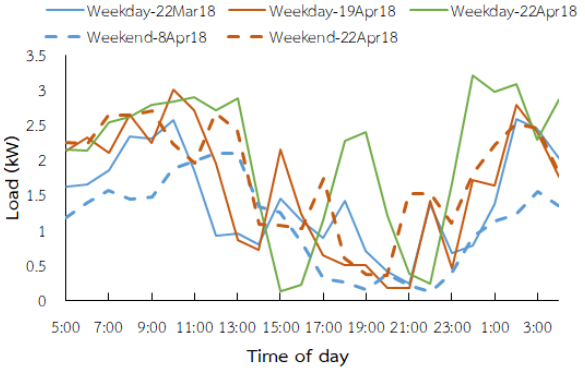
ผลความต้องการใช้ไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และขนาดของอุปกรณ์ในระบบ แสดงในหัวข้อ 3.1 จะนำไปประเมินต้นทุนและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในหัวข้อ 3.2

3.1 ผลความต้องการใช้ไฟฟ้าและผลการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์แบบออฟกริด

ผลการวัดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านที่ศึกษาและข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์จังหวัดชลบุรีถูกนำมาใช้ประเมินขนาดของระบบและอุปกรณ์ตามขั้นตอนข้างต้น ได้ผลดังนี้

3.1.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้า

ผลการวัดความต้องการใช้ไฟฟ้าของบ้านในวันธรรมดาและวันเสาร์อาทิตย์รวม 5 วัน แสดงดังรูปที่ 3



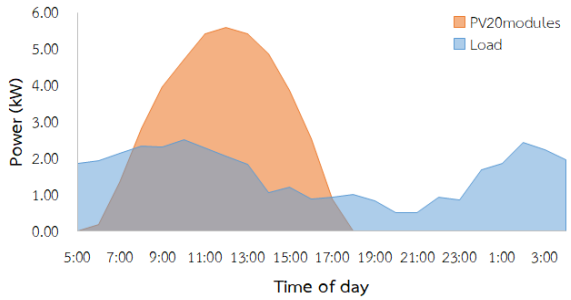
รูปที่ 3 ลักษณะโหลดของบ้าน

จะเห็นได้ว่า พฤติกรรมการใช้โหลดส่วนใหญ่จะเป็นช่วงเวลากลางคืนซึ่งสอดคล้องกับผลในตารางที่ 1 และค่าโหลดสูงสุดที่วัดได้ไม่เกิน 3.5 kW จะเป็นข้อมูลที่นำไปใช้ประกอบการออกแบบขนาดของอินเวอร์เตอร์

3.1.2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

จากการคำนวณตามสมการ (1) – (5) จะได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะต้องเพียงพอกับภาระโหลดทางไฟฟ้าที่ต้องการในแต่ละวัน รูปที่ 4 แสดงผลการประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้ารายชั่วโมงเทียบ

กับความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย โดยจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการใช้ได้จากการนำภาระโหลดรายวันซึ่งมีค่าประมาณ 38.20 kWh หารด้วยพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงผลิตไฟฟ้าได้ จากการประเมินมีค่า 2.08 kWh ดังนั้นต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 20 แผง



รูปที่ 4 แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ในช่วงเวลา 6:00 – 18:00 น. โดยบางช่วงเวลาผลิตได้น้อยกว่าโหลดและบางช่วงเวลาผลิตได้มากกว่าโหลด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนำแบตเตอรี่มากักเก็บพลังงานส่วนเกินเพื่อจ่ายให้โหลดในช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ทำงานหรือผลิตได้น้อยกว่าโหลด ตัวควบคุมการอัดประจุแบตเตอรี่จะต้องสามารถส่งผ่านกำลังได้เพียงพอต่อกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และขนาดอินเวอร์เตอร์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถรองรับกำลังสูงสุดซึ่งมีค่า 3.2 kW เมื่อคูณด้วยแฟคเตอร์เผื่อจึงเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดพิกัด 5 kW ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณลักษณะเฉพาะของอินเวอร์เตอร์

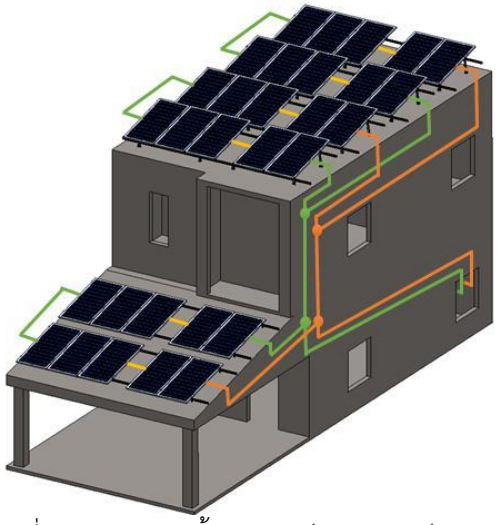
Rated power	5 kW
Battery voltage	192 Vdc
Operating mode	PV priority/AC priority
PV input voltage range	192 – 400 Vdc
Max. charging current	10 – 60 A
Optimum operating voltage (V_{mp})	240 – 284 Vdc
Max. PV power (P_{max})	11520 W
Max. conversion efficiency	98%

ในแง่ของราคาและประสิทธิภาพที่ยอมรับได้ เทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในระบบกักเก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ในปัจจุบันยังคงเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดดังแสดงคุณลักษณะเฉพาะในตารางที่ 5 และในการออกแบบจะเลือกใช้ %DOD ที่ 80% โดยจะต้องใช้แบตเตอร์ที่มีขนาดความจุ 150 Ah จำนวน 16 ลูก

ตารางที่ 5 คุณลักษณะเฉพาะของแบตเตอรี่

ชนิดของแบตเตอรี่	Deep cycle	Double deep cycle
แรงดันแบตเตอรี่	12V	12V
ขนาดความจุ (C20)	150Ah	150Ah
No.of Cycle ที่ 80%DOD	960	1320
อายุใช้งาน (ปี)	2.63	3.62

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ชั้นบนสุดของบ้าน และเดินสายไฟฟ้าเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์และแบตเตอรี่ที่อยู่ด้านล่างของบ้าน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

3.2 ผลการประเมินเงินลงทุนและผลตอบแทน

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของโครงการ จะกำหนดอายุโครงการ 10 ปี อัตราดอกเบี้ยคิดที่ 7% โดยจะคิดผลการประเมินเงินลงทุนและผลตอบแทนดังนี้

3.2.1 ผลการประเมินเงินลงทุน

จากผลการออกแบบระบบโซลาร์เซลล์แบบออฟกริดในหัวข้อ 3.1 จะได้ขนาดและจำนวนของอุปกรณ์แล้วนำไปสืบค้นราคาของอุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาดเพื่อประเมินเงินลงทุนเริ่มต้นซึ่งมีมูลค่าเงินปัจจุบันของอุปกรณ์สรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เงินลงทุนเริ่มต้น

อุปกรณ์	ราคา (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Polycrystalline silicon ขนาด 300 W	3,200	20 แผง	64,000
อออฟกริดไฮบริดอินเวอร์เตอร์ 5000 W	50,838	1 ตัว	50,838
แบตเตอรี่ตะกั่วกรด ขนาดความจุ 150 Ah	6,915	16 ลูก	110,640
รวมเงินลงทุนเริ่มต้นค่าอุปกรณ์			225,478
ค่าติดตั้งพร้อมอุปกรณ์ประกอบ (คิดเป็น 5 บาท/วัตต์ของกำลังผลิตติดตั้ง)			30,000
รวมเงินลงทุนเริ่มต้น			255,478

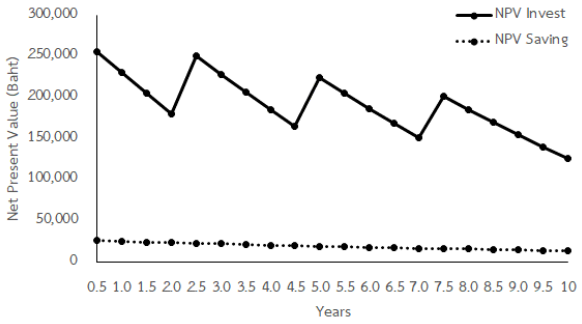
นอกจากนี้ยังมีเงินลงทุนเพิ่มระหว่างโครงการประกอบด้วย เงินลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้จำกัด คือ แบตเตอรี่ ที่ต้องเปลี่ยนตามอายุการใช้งาน 2.5 ปี และค่าบำรุงรักษาต่อปีคิดเป็น 1% ของมูลค่าอุปกรณ์ตลอดอายุโครงการ

3.2.2 ผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ

ผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับคือการลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้า โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของบ้านหลังนี้เฉลี่ยจากบิลค่าไฟฟ้าย้อนหลัง 4 บาท/kWh และข้อมูลจากผลการตรวจวัดภาระโหลดทางไฟฟ้าเฉลี่ยของบ้าน 38.20 kWh/วัน หรือ 13,943 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 55,772 บาท/ปี

3.3 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

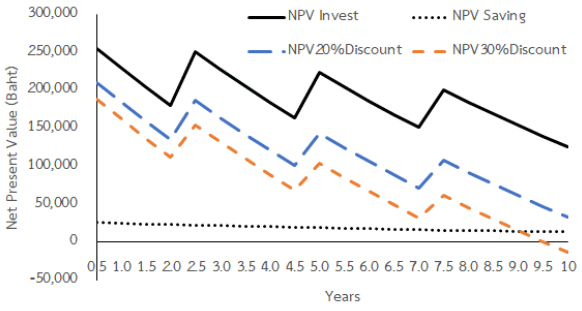
การวิเคราะห์มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและผลตอบแทนที่ได้รับของโครงการ สามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและผลตอบแทนของระบบโซลาร์แบบออฟกริด

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่า มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนจะมีค่าสูงกว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับตลอดอายุโครงการ 10 ปี นั้นหมายความว่าระบบโซล่าร์แบบออฟกริดไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยปัจจัยที่ทำให้โครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนก็คือต้นทุนของแบตเตอรี่ จากรูปจะเห็นได้ว่า มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนจะมีค่าเพิ่มขึ้นทุกครั้งเมื่อต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่หมดอายุการใช้งาน สำหรับบ้านหลังนี้อัตราส่วนพลังงานไฟฟ้าที่ประจุในแบตเตอรี่ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็น 22.68 : 41.60 หรือ 55 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีขนาดสัดส่วนที่สูงเกินกว่าครึ่งจึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการลงทุนที่สูงและเกิดความไม่คุ้มค่าในการลงทุน

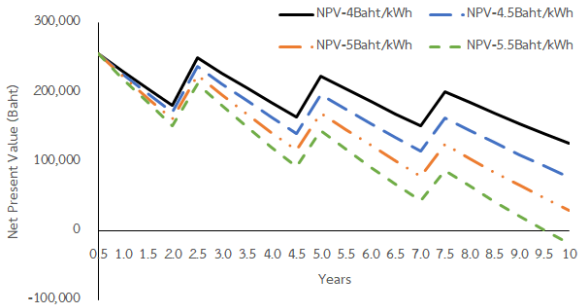
ในอนาคตเทคโนโลยีของแบตเตอรี่จะมีการพัฒนาให้มีความสามารถในการประจุไฟฟ้าสูงขึ้น อายุการใช้งานนานขึ้น และการแข่งขันด้านการตลาดส่งผลให้ราคาแบตเตอรี่ถูกลง ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงด้านราคาของแบตเตอรี่ต่อความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการนี้โดยปรับเปลี่ยนราคาแบตเตอรี่ลดลง 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้เป็นดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและผลตอบแทนของระบบโซล่าร์แบบออฟกริดเมื่อราคาของแบตเตอรี่มีต้นทุนลดลง 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์

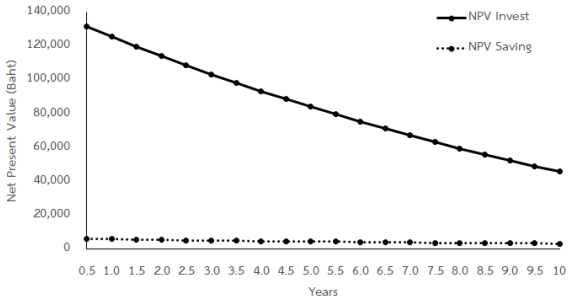
เมื่อราคาแบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงลดลง 20% จากราคาปัจจุบัน พบว่าจะทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนลดลงก็จริง แต่ยังคงมีค่าสูงกว่ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนที่ได้รับในระยะเวลา 10 ปี แต่หากราคาแบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงลดลง 30% จากราคาปัจจุบันจะส่งผลทำให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนภายใน 9.51 ปี

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่อาจจะเกิดจากการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าจะพบว่า ถ้าค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเพิ่มขึ้นจนถึง 5.5 บาท/kWh จะเกิดความคุ้มค่าในการลงทุนภายใน 9.53 ปี ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและผลตอบแทนของระบบโซล่าร์แบบออฟกริดเมื่อราคาค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 4.00 บาท/kWh ไปจนถึง 5.50 บาท/kWh

สำหรับโซล่าร์เซลล์ระบบออฟกริดนั้นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อต้นทุนของระบบที่จะทำให้ไม่เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนคือต้นทุนด้านราคาของแบตเตอรี่ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโซลาร์เซลล์ระบบออนกริดตามนโยบายการรับซื้อไฟฟ้าของรัฐบาล สำหรับโครงการนี้ โซลาร์เซลล์ระบบออนกริดจะมีต้นทุนอุปกรณ์หลักเพียง 2 ส่วน คือ ต้นทุนของเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ โดยออนกริดอินเวอร์เตอร์จะมีราคาที่ถูกกว่าออฟกริดเหลือเพียง 29,000 บาท และต้องเสียค่าเชื่อมต่อให้การไฟฟ้า 8,500 บาท คิดเป็นเงินลงทุนเริ่มต้นทั้งสิ้น 101,500 บาท ตามเงื่อนไขการรับซื้อไฟฟ้าจะคิดอัตราการรับซื้อไฟฟ้า 1.68 บาท/kWh โดยผู้ใช้จะต้องใช้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เองก่อน ดังนั้น ผลตอบแทนจากการลงทุนเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4 คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด แบ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านที่ติดตั้ง 18.73 kWh/วัน จะประหยัดเงินค่าไฟฟ้าได้ 27,621.3 บาท/ปี และส่วนที่เหลือขายให้การไฟฟ้า 22.68 kWh/วัน เป็นเงินที่ขายไฟฟ้าได้ 13,906.3 บาท/ปี สำหรับในขณะที่ช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จะใช้พลังงานไฟฟ้า 19.28 kWh/วัน และต้องจ่ายค่าไฟฟ้าให้การไฟฟ้า 28,150.8 บาท/ปี คิดเป็นเงินสุทธิที่ประหยัดได้ 13,376.8 บาท/ปี ผลการวิเคราะห์มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและผลตอบแทนของโซล่าร์เซลล์ระบบออนกริด ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 มูลค่าเงินปัจจุบันของเงินลงทุนและผลตอบแทนของโซลาร์เซลล์ระบบออนกริด

จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่า การใช้โซลาร์เซลล์ระบบออนกริดตามนโยบายรับซื้อไฟฟ้าของรัฐบาลของที่พักแห่งนี้ไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน เมื่อมีระยะเวลาโครงการ 10 ปีตามอายุสัญญาการรับซื้อไฟฟ้าจากนโยบายรัฐบาล ทั้งนี้วิเคราะห์ได้ว่า โซลาร์เซลล์ระบบออนกริดจะมีความคุ้มค่าในการลงทุนเพิ่มขึ้นต่อเมื่อการใช้พลังงานไฟฟ้านอกช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ลดลงหรือย้ายโหลดกลางคืนมาใช้ในช่วงเวลากลางวันมากขึ้นนั่นเอง

4. สรุปผล

การออกแบบระบบโซลาร์เซลล์แบบออฟกริดสำหรับที่อยู่อาศัยโดยใช้ข้อมูลแสงอาทิตย์ของพื้นที่ติดตั้งใช้งานและออกแบบร่วมกับข้อมูลลักษณะโหลดจากการวัด จะทำให้ขนาดของระบบใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง ต้นทุนของระบบจะลดลง เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับบ้านหลังนี้ที่มีขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 6 kW การใช้โซลาร์เซลล์ระบบออฟกริดยังไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน แต่หากต้นทุนด้านราคาของแบตเตอร์รี่ลดลง 30 เปอร์เซ็นต์หรืออัตราค่าไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 5.5 บาท/kWh ระบบนี้จึงจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ภายในระยะเวลา 10 ปี และถ้าวิเคราะห์โซลาร์เซลล์ระบบออนกริด จะพบว่าการลงทุนต่ำกว่าระบบออฟกริดเกือบ 2.5 เท่า และยังสามารถขายไฟฟ้าคืนได้นั้น แต่ระบบออนกริดก็ยังไม่มีความคุ้มค่าในการ

ลงทุนเช่นเดียวกัน ดังนั้นในปัจจุบันการใช้โซลาร์เซลล์ในที่พักอาศัยหรือระดับหน่วยย่อยจะยังไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นระบบใดในกรณีที่ภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงเกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของภาระทางไฟฟ้าตลอดวันดังเช่นกรณีศึกษานี้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน (2562). *แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 (PDP2018)*, URL: http://www.eppo.go.th เข้าดูเมื่อวันที่ 12/04/2562.

[2] Juman Al-Saqlawi, Kaveh Madani and Niall Mac Dowell (2018). Techno-economic feasibility of grid-independent residential roof-top solar PV systems in Muscat, Oman, *Energy Conversion and Management*, vol. 178, pp. 322 – 334.

[3] Akash Kumar Shukla, K. Sudhakar and Prashant Baredar (2016). Design, simulation and economic analysis of standalone roof top solar PV system in India, *Solar Energy*, vol. 136, pp.437 – 449.

[4] Eric O'Shaughnessy, Dylan Cutler, Kristen Ardani and Robert Margolis (2018). Solar plus: Optimization of distributed solar PV through battery storage and dispatchable load in residential buildings, *Applied Energy*, vol. 213, pp.11 – 21.

[5] Volker Quaschning (2005). *Understanding Renewable Energy Systems*, Earthscan, London.

[6] Luis Castaner and Santiago Silvestre (2002). *Modelling Photovoltaic Systems using PSpice*, John Wiley & Sons, New York.

[7] S.I. Sulaiman, T.K.A. Rahman, I. Musirin, S. Shaari (2011). Sizing grid-connected photovoltaic system using genetic algorithm, in: Industrial Electronics and Applications (ISIEA), IEEE Symposium on, 2011, pp. 505-509.