

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ: กรณีศึกษาจังหวัดสงขลา

Economic Feasibility Analysis and Environmental Impact Assessment of Off grid Solar Energy Systems for Smart Greenhouses: A Case Study in Songkhla Province

ลัญฉกร นิลรัตน์^{1*} และ ศรัณย์ ณรงค์กุล¹

Lanchakorn Nintarat¹, and Sarun Narongkul¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและไอโอที คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา 90000

¹Department of Information Technology and IoT, Faculty of Industrial Technology

Songkhla Rajabhat University 90000

*Corresponding author: Tel.: 091-0489818. E-mail address: Lanchakorn.ni@skru.ac.th

Abstract

This research aims to study the feasibility of using off-grid solar energy systems for a 6x15 meter smart greenhouse in Songkhla Province, Thailand, by analyzing both economic value and environmental impact. The study begins with an analysis of the greenhouse's energy demand for tobacco cultivation, which was found to be 3.88 kWh per day. Subsequently, an appropriate solar power system was designed, consisting of a 1.12 kW solar panel array and a 650 Ah, 24V battery bank. The economic analysis reveals that the project has a payback period of 12.5 years, a positive net present value (NPV) of 11,234.56 baht, and an internal rate of return (IRR) of 4.37%, which is higher than the 3% discount rate used in the analysis, indicating long-term investment viability. Additionally, the system can reduce greenhouse gas emissions by 25.50 tCO₂e over the project's 25-year lifespan, which is equivalent to planting 425 trees, reflecting significant environmental benefits. The results of this study demonstrate that the use of off-grid solar energy systems for smart greenhouses is not only economically viable in the long term but also has a significant positive impact on the environment. This aligns with Thailand's sustainable agricultural development approach and greenhouse gas emission reduction goals.

Keywords: Solar energy, Off-grid system, Smart greenhouses, Economic analysis, Greenhouse gas reduction

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะขนาด 6x15 เมตร ในจังหวัดสงขลา ประเทศไทย โดยวิเคราะห์ทั้งในแง่ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การศึกษาเริ่มจากการวิเคราะห์ความต้องการพลังงานของโรงเรือนสำหรับการปลูกต้นยาสูบ ซึ่งพบว่ามีความต้องการพลังงาน 3.88 kWh ต่อวัน จากนั้นทำการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1.12 kW และแบตเตอรี่ขนาด 650 Ah ที่แรงดันไฟฟ้า 24V ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า โครงการมีระยะเวลาคืนทุน 12.5 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นบวกที่ 11,234.56 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ 4.37% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ 3% แสดงถึงความคุ้มค่าในการลงทุนระยะยาว นอกจากนี้ ระบบสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 25.50 tCO₂e ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งเทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้ 425 ต้น สะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะไม่เพียงแต่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระยะยาว แต่ยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาการเกษตรอย่างยั่งยืนและการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์ ระบบออฟกริด โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การลดก๊าซเรือนกระจก

บทนำ

ภาคการเกษตรในประเทศไทยกำลังเผชิญกับความท้าทายหลายประการ ทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การขาดแคลนแรงงาน และความต้องการเพิ่มผลผลิตเพื่อรองรับประชากรที่เพิ่มขึ้น [1] แนวโน้มการพัฒนาการเกษตรในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566-2570) ได้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในภาคเกษตรกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและความยั่งยืน [2] ในบริบทนี้ โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ (Smart Greenhouse) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจอย่างมากในการแก้ไขปัญหาและตอบสนองต่อความท้าทายดังกล่าว

โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะช่วยให้เกษตรกรสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมการเพาะปลูกได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของพืช รวมถึงลดการใช้ทรัพยากรและปัจจัยการผลิต [3] โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาด 6x15 เมตร ออกแบบเฉพาะสำหรับการปลูกต้นยาสูบ ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในจังหวัดสงขลา โรงเรือนนี้ใช้เทคโนโลยี IoT (Internet of Things) ในการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง และการให้น้ำ ทำให้สามารถสร้างสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นยาสูบได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การดำเนินการโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะมีความต้องการพลังงานสูง โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบแสงสว่าง ระบบควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น ตลอดจนระบบให้น้ำและปุ๋ย [4] ซึ่งส่งผลให้มีต้นทุนการดำเนินงานที่สูงและอาจไม่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย ในขณะที่เดียวกัน ประเทศไทยมีศักยภาพสูงในด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งรวมถึงจังหวัดสงขลาที่มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อปีสูงถึง 17-18 MJ/m²-day [5] พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสูงในการตอบสนองความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ การบูรณาการระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับโรงเรือนไม่เพียงแต่จะช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานในระยะยาว แต่ยังสอดคล้องกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและ

พลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018) ของประเทศไทย ที่มุ่งเน้นการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนในภาคการผลิตไฟฟ้า [6] นอกจากนี้ การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการติดตั้งโรงเรือนในพื้นที่ห่างไกลที่ระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึง และลดการพึ่งพาระบบไฟฟ้าจากสายส่ง

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะในจังหวัดสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้

1. เพื่อวิเคราะห์ความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะขนาด 6x15 เมตร สำหรับการปลูกต้นยาสูบในจังหวัดสงขลา
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดที่เหมาะสมกับความต้องการพลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่พัฒนาขึ้น

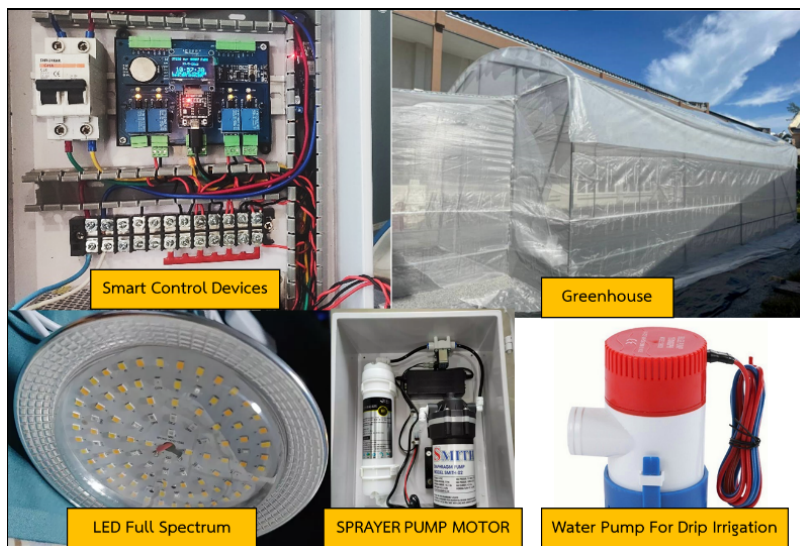
ผลการวิจัยจะเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาการเกษตรอัจฉริยะที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 7 (พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) [7]

วิธีการดำเนินการวิจัย

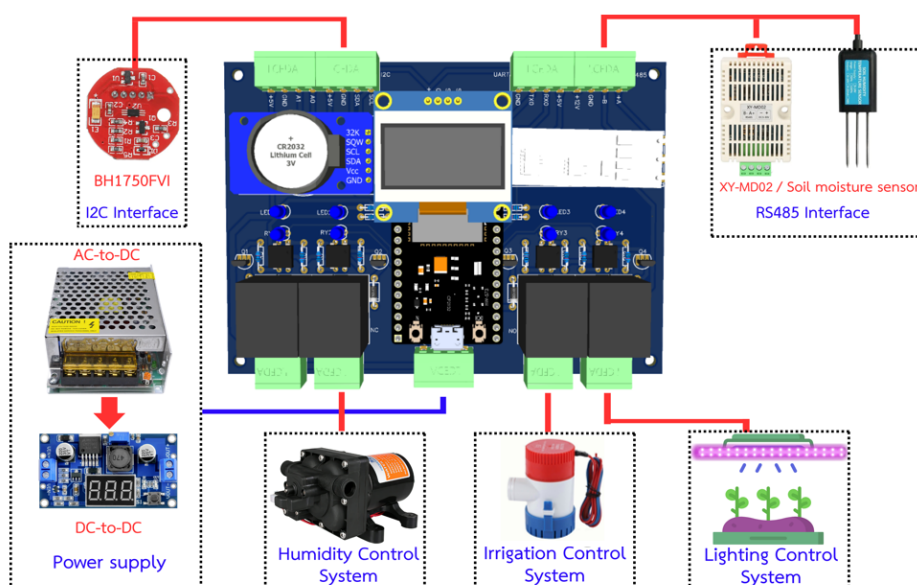
การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

1. การวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน

การวิเคราะห์ความต้องการพลังงานสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและมีความสำคัญ โดยประกอบด้วยขั้นตอนหลายขั้นตอน เริ่มจากการระบุอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงเรือน จากนั้นรวบรวมข้อมูลกำลังไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์และประมาณการเวลาการใช้งาน โรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะที่ใช้ในการศึกษานี้มีขนาด 6x15 เมตร สูง 4 เมตร รวมพื้นที่ใช้สอย 90 ตารางเมตร โครงสร้างทำจากเหล็กชุบสังกะสี หลังคาและผนังเป็นแผ่นโพลีคาร์บอเนตใส หนา 6 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงผ่านได้ดี ลักษณะอัจฉริยะของโรงเรือนประกอบด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยใช้เทคโนโลยี IoT [8] ซึ่งมีอุปกรณ์หลักดังนี้ เช่น เซอร์วูดอุณหภูมิและความชื้น เซอร์วูดความชื้นแสง เซอร์วูดความชื้นในดิน ระบบแสงเทียม ระบบควบคุมการให้น้ำและปุ๋ยอัตโนมัติ ระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และซอฟต์แวร์ควบคุมที่พัฒนาขึ้นเฉพาะ ซึ่งได้แสดงภาพรวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะดังภาพที่ 1 ข้อมูลเหล่านี้นำไปสู่การคำนวณพลังงานที่ใช้ต่อวันและปริมาณพลังงานรวมที่ต้องการ การวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความแปรปรวนตามฤดูกาล ภาระทางไฟฟ้าสูงสุด และการขยายตัวในอนาคต นอกจากนี้ ข้อมูลสภาพอากาศและความเข้มแสงอาทิตย์ในพื้นที่มีความสำคัญต่อการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ขั้นตอนสุดท้ายคือการสร้างโปรไฟล์การใช้พลังงาน ซึ่งแสดงรูปแบบการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง การวิเคราะห์อย่างละเอียดและรอบคอบจะช่วยให้การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริด มีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับการใช้งานจริง และคุ้มค่าในระยะยาว อีกทั้งยังช่วยป้องกันปัญหาการออกแบบระบบที่ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของโรงเรือนและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์



ภาพที่ 1 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ



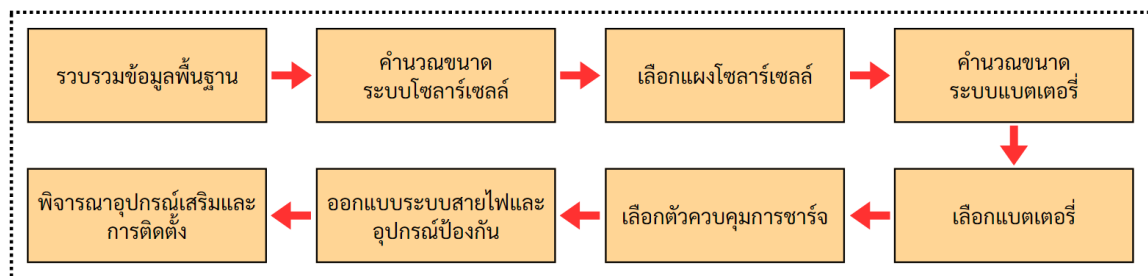
ภาพที่ 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ

ภาพที่ 2 แสดงแผนผังการเชื่อมต่อของระบบควบคุมสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ โดยมีองค์ประกอบหลักเป็นบอร์ด ESP32 DEVKIT V1 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน มีจอ OLED แสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บอร์ดควบคุมนี้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลายส่วน เริ่มจากด้านบนซ้ายมีโมดูล BH1750FVI ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง ทำให้ระบบสามารถตรวจสอบปริมาณแสงที่พืชได้รับได้อย่างแม่นยำ ด้านบนขวามีเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินและอินเตอร์เฟซแบบ RS485 ซึ่งช่วยในการตรวจวัดความชื้นของดินและการสื่อสารข้อมูล ส่วนด้านล่างของภาพแสดงระบบย่อยที่สำคัญได้แก่ ระบบจ่ายไฟ DC-to-DC ที่ทำหน้าที่แปลงและจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ ระบบควบคุมความชื้นที่ช่วยรักษาระดับความชื้นในอากาศให้เหมาะสม ระบบควบคุมการให้น้ำที่จัดการการรดน้ำพืชอย่างอัตโนมัติ และระบบควบคุมแสงสว่างที่ปรับระดับแสงให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช การเชื่อมต่อแบบนี้ทำให้ระบบสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ โดยบอร์ดควบคุมจะประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และสั่งการระบบย่อยให้ทำงานสอดคล้องกัน เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ทำให้โรงเรือนสามารถควบคุมปัจจัยสำคัญต่าง ๆ เช่น แสง น้ำ และความชื้น ได้อย่างแม่นยำและอัตโนมัติ ส่งผลให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสูงขึ้น

2. การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะเป็นกระบวนการที่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย โดยมีเป้าหมายหลักคือการสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการผลิตพลังงานตามความต้องการ ในขณะเดียวกันก็ต้องควบคุมต้นทุนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม [9] แสดงขั้นตอนการออกแบบดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะเป็นขั้นตอนสำคัญในการตัดสินใจลงทุน โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ด้านดังนี้

3.1 ด้านการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดในโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะ เป็นกระบวนการสำคัญที่ช่วยในการตัดสินใจลงทุนและประเมินประโยชน์ที่จะได้รับทั้งในแง่เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม [9] โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอน 1 การคำนวณต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (CAPEX) ซึ่งประกอบด้วยค่าอุปกรณ์ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าติดตั้ง และค่าออกแบบ

$$\text{CAPEX} = \text{ค่าแผงโซลาร์เซลล์} + \text{ค่าแบตเตอรี่} + \text{ค่าอุปกรณ์อื่น ๆ} + \text{ค่าติดตั้ง} + \text{ค่าออกแบบ} \quad (1)$$

ขั้นตอน 2 คำนวณต้นทุนดำเนินการและบำรุงรักษา (OPEX) ซึ่งรวมถึงค่าบำรุงรักษาประจำปีและค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ตามอายุการใช้งาน

$$\text{OPEX รายปี} = \text{ค่าบำรุงรักษาประจำปี} + (\text{ค่าเปลี่ยนแบตเตอรี่} \div \text{อายุการใช้งานแบตเตอรี่}) \quad (2)$$

ขั้นตอน 3 การประมาณการผลประโยชน์ที่ได้รับ ซึ่งหลัก ๆ คือค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$\text{ผลประโยชน์รายปี} = \text{ระบบผลิตไฟฟ้าได้} \times \text{จำนวนวัน} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย/kWh} \quad (3)$$

ขั้นตอน 4 คำนวณตัวชี้วัดทางการเงินระยะเวลาคืนทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{CAPEX} \div (\text{ผลประโยชน์รายปี} - \text{OPEX รายปี}) \quad (4)$$

ขั้นตอน 5 คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0 \quad (5)$$

ขั้นตอน 6 คำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)

$$\sum_{t=0}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+IRR)^t} - I_0 = 0 \quad (6)$$

โดยที่ B_t = ผลประโยชน์ในปีที่ t
 C_t = ต้นทุนในปีที่ t
 r = อัตราคิดลด (ในกรณีนี้ใช้ 3%)
 t = ปีที่ 0 ถึง n (อายุโครงการ 25 ปี)
 I_0 = เงินลงทุนเริ่มต้น

3.2 ด้านการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ในส่วนของการคำนวณปริมาณการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยใช้ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบไว้ และค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย เพื่อคำนวณปริมาณ CO₂ ที่ลดได้เมื่อเทียบกับการใช้ไฟฟ้าจากระบบสายส่ง [10] โดยใช้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ที่ 0.5 kg CO₂ ต่อ kWh

$$\text{ปริมาณ CO}_2 \text{ ที่ลดได้ต่อปี} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี} \times \text{ค่าการปลดปล่อย CO}_2 \text{ ต่อหน่วยไฟฟ้า} \quad (7)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรียนเพาะปลูกอัจฉริยะในจังหวัดสงขลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในภาคเกษตรกรรม ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางการพัฒนาพลังงานทดแทนและการเกษตรอัจฉริยะของประเทศไทย การศึกษานี้ครอบคลุมการวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ตลอดจนการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

1. ผลการวิเคราะห์ความต้องการพลังงาน

การวิเคราะห์ความต้องการพลังงานเป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรียนเพาะปลูก โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องผลิตให้เพียงพอต่อการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงเรียน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์และการใช้พลังงาน

อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า	จำนวน	เวลาใช้งาน/วัน	พลังงานที่ใช้/วัน
หลอดไฟ LED Full Spectrum	100W	4 ชุด	4 ชั่วโมง	1,600 Wh
ปั๊มน้ำแรงดันสูง	80W	2 ตัว	4 ชั่วโมง	640 Wh
วงจรควบคุมอัจฉริยะ	10W	1 ชุด	24 ชั่วโมง	240 Wh
มอเตอร์ดูดสารละลาย	36W	3 ตัว	2 ชั่วโมง	216 Wh

ตารางที่ 1 แสดงอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดในโรงเรียน ซึ่งประกอบด้วยหลอดไฟ LED ป้อนน้ำ วงจรควบคุมอัจฉริยะ และมอเตอร์ดูดน้ำ แต่ละอุปกรณ์มีกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยหลอดไฟ LED ใช้พลังงานมากที่สุดที่ 1,600 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ตามด้วยปั้มน้ำที่ 640 วัตต์-ชั่วโมง วงจรควบคุมที่ 240 วัตต์-ชั่วโมง และมอเตอร์ดูดน้ำที่ 216 วัตต์-ชั่วโมง จากนั้นรวมพลังงานของทุกอุปกรณ์ ได้ความต้องการพลังงานรวมประมาณ 2.696 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน อย่างไรก็ตาม เราต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ด้วย เช่น ค่าสูญเสียในระบบและการขยายตัวในอนาคต จึงมีการเผื่อค่าสูญเสียในระบบ 20% เพื่อรองรับความไม่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์และการสูญเสียในสายไฟ และเผื่อการขยายตัวในอนาคตอีก 20% เพื่อรองรับการเพิ่มอุปกรณ์หรือการใช้งานที่อาจเพิ่มขึ้น หลังจากการปรับค่าจะได้อุปกรณ์พลังงานที่ประมาณ 3.88 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเป็นค่าที่ควรใช้ในการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ เรายังต้องพิจารณาภาระทางไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้ารวมเมื่อทุกอุปกรณ์ทำงานพร้อมกัน ในกรณีนี้คือ 0.68 กิโลวัตต์ ข้อมูลนี้สำคัญสำหรับการออกแบบในลำดับถัดไป

2. ผลการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ขั้นตอนแรกของการออกแบบคือการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญ ได้แก่ ความต้องการพลังงานของโรงเรียนโดยได้รวบรวมจากรายการอุปกรณ์และการใช้พลังงานในตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าพลังที่ใช้ในโรงเรียนทั้งหมด 3.88 kWh ต่อวัน และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยในพื้นที่จังหวัดสงขลาซึ่งอยู่ที่ 17.2 MJ/m²-day หรือ 4.78 kWh/m²/วัน [5] ข้อมูลเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการคำนวณขนาดของระบบ จากนั้นคำนวณขนาดระบบโซลาร์เซลล์ที่ต้องการ โดยนำความต้องการพลังงานหารด้วยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย และเผื่อค่าประสิทธิภาพอีก 15% ทำให้ได้กำลังการผลิตที่ต้องการประมาณ 0.934 kW ซึ่งนำไปสู่การเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ขนาด 280W จำนวน 4 แผง เพื่อให้ได้กำลังการผลิตรวม 1,120W การเลือกใช้แผง Polycrystalline แทน Monocrystalline เป็นหนึ่งในวิธีการลดต้นทุน แม้ว่าประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย แสดงการคำนวณดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การคำนวณขนาดระบบโซลาร์เซลล์

รายการ	การคำนวณ	ผลลัพธ์	หน่วย
กำลังการผลิตที่ต้องการ	$3.88 \div 4.78$	0.812	kW
กำลังการผลิตที่ต้องการ (เผื่อ 15%)	0.812×1.15	0.934	kW
จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ (280W)	$934 \div 280$	$3.34 \approx 4$	แผง
กำลังการผลิตรวม	4×280	1,120	W

ขั้นตอนต่อมาคือการคำนวณขนาดระบบแบตเตอรี่ โดยคำนึงถึงการสำรองพลังงานไว้ใช้ 2 วัน และใช้แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle Lead-Acid ที่ใช้งานได้ 50% ของความจุ ทำให้ต้องการแบตเตอรี่ขนาด 650 Ah ที่แรงดัน 24V การเลือกใช้แบตเตอรี่ Lead-Acid แทน Lithium-ion เป็นอีกหนึ่งวิธีในการลดต้นทุน แม้ว่าจะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าและต้องการการดูแลรักษามากกว่า แสดงการคำนวณดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การคำนวณขนาดระบบแบตเตอรี่

รายการ	การคำนวณ	ผลลัพธ์	หน่วย
พลังงานสำรอง (2 วัน)	3.88×2	7.76	kWh
ความจุแบตเตอรี่ (DoD 50%)	$7.76 \div 0.5$	15.52	kWh
ความจุแบตเตอรี่ (Ah)	$15,520 \div 24$	647	Ah

สำหรับตัวควบคุมการชาร์จเลือกใช้แบบ PWM ขนาด 60A ซึ่งมีราคาถูกกว่าแบบ MPPT แต่ยังคงเพียงพอสำหรับระบบขนาดเล็กนี้ ส่วนระบบสายไฟและอุปกรณ์ป้องกันเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมกับกระแสสูงสุดในระบบ และใช้ฟิวส์แทนเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อประหยัดต้นทุน นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงโครงสร้างรองรับแผงโซลาร์เซลล์ โดยอาจเลือกใช้วัสดุราคาประหยัด เช่น เหล็กอาบสังกะสี แทนอลูมิเนียม และวางแผนการติดตั้งที่อาจทำเองบางส่วนเพื่อลดค่าใช้จ่าย โดยสรุปการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบต้นทุ่นน้ำนี้เป็นการสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและต้นทุน โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีราคาประหยัดแต่ยังคงสามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของโรงเรียนเพาะปลูกอัจฉริยะได้

3. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ส่วนนี้เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งพบว่า โครงการวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการลงทุน เมื่อคำนวณต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (CAPEX) อยู่ที่ 104,000 บาท ดังข้อมูลดังตารางที่ 4 และมีต้นทุนดำเนินการและบำรุงรักษา (OPEX) 800 บาทต่อปี ในขณะที่ผลประโยชน์ที่ได้รับต่อปีอยู่ที่ 8,315.28 บาท ทำให้โครงการมีระยะเวลาคืนทุน 12 ปี 6 เดือน ซึ่งถือว่าค่อนข้างนาน แต่เมื่อพิจารณาในระยะยาว 25 ปี พบว่าโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นบวกที่ 11,234.56 บาท และมีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ 4.37% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ 3%

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายของต้นทุนในแต่ละรายการ (CAPEX)

รายการ	ราคา (บาท)
แผงโซลาร์เซลล์ (4 แผง)	44,000
แบตเตอรี่	36,000
ตัวควบคุมการชาร์จ	8,000
อุปกรณ์ติดตั้งและสายไฟ	11,000
ค่าแรงติดตั้ง	5,000
รวม CAPEX	104,000

อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาคืนทุนที่ค่อนข้างนานอาจเป็นอุปสรรคสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่มีข้อจำกัดด้านเงินทุน ดังนั้น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจึงมีความสำคัญ ผลการวิเคราะห์พบว่า หากค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 10% จะทำให้ NPV เพิ่มขึ้นเป็น 25,987.32 บาท และ IRR เพิ่มขึ้นเป็น 5.82% นอกจากนี้ หากได้รับเงินสนับสนุนจากภาครัฐ 20% ของต้นทุนเริ่มต้นจะทำให้ NPV เพิ่มขึ้นเป็น 32,034.56 บาท และ IRR เพิ่มขึ้นเป็น 6.89% ซึ่งแสดงให้เห็นว่านโยบายสนับสนุนจากภาครัฐสามารถช่วยเพิ่มความคุ้มค่าของโครงการได้อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โครงการนี้สามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1.02 tCO₂e ต่อปี หรือ 25.50 tCO₂e ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งเทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้ 425 ต้น การลดการขั้รถยนต์ 98,076 กิโลเมตร การยกเลิกการเดินทางโดยเครื่องบินไป-กลับ กรุงเทพฯ-ภูเก็ต 3.19 เที่ยวบินต่อปี หรือการลดการใช้แอร์ขนาด 12,000 BTU 0.7 เครื่องต่อปี (ใช้ 8 ชั่วโมงต่อวัน) ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าโครงการมีส่วนช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปได้ว่า โครงการนี้นอกจากจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 7 (พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ) การสนับสนุนโครงการลักษณะนี้จึงเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาภาคการเกษตรอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม การพิจารณามาตรการสนับสนุนทางการเงินสำหรับเกษตรกรรายย่อยยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ควรได้รับการพิจารณาเพื่อให้การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบออฟกริดสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกอัจฉริยะในจังหวัดสงขลาแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาภาคเกษตรกรรมอย่างยั่งยืน ผลการวิจัยพบว่าระบบที่ออกแบบสามารถตอบสนองความต้องการพลังงานของโรงเรือนได้อย่างเพียงพอ โดยใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1.12 kW และแบตเตอรี่ขนาด 650 Ah ที่ 24V การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคุ้มค่าในระยะยาว แม้จะมีระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างนานที่ 12.5 ปี แต่ก็ให้ผลตอบแทนภายในที่ 4.37% ซึ่งสูงกว่าอัตราคิดลดที่ใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ โครงการยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถึง 25.50 tCO₂e ตลอดอายุโครงการ 25 ปี ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในภาคเกษตรกรรมไม่เพียงแต่เป็นไปได้ในทางเทคนิค แต่ยังมีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์และเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว การส่งเสริมและสนับสนุนการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้จึงเป็นก้าวสำคัญในการพัฒนาการเกษตรอัจฉริยะและการเปลี่ยนผ่านสู่พลังงานสะอาดของประเทศไทย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา สำหรับการสนับสนุนทุนนำเสนองานวิจัย ซึ่งเป็นโอกาสอันมีค่าในการเผยแพร่ผลงานและแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). ยุทธศาสตร์เกษตรและสหกรณ์ ระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560–2579). กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [2] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566–2570). กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.
- [3] Hemming, S., de Zwart, F., Elings, A., Petropoulou, I., & Dieleman, V. (2020). Cherry tomato production in intelligent greenhouses Sensors and AI for control of climate, irrigation, crop yield, and quality. *Sensors*, 20(22), 6430.
- [4] Zhang, M., Yan, T., Wang, W., Jia, X., Wang, J., & Klemeš, J. J. (2022). Energy-saving design and control strategy towards modern sustainable greenhouse: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 164, 112602.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- [6] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561–2580 (AEDP2018). กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- [7] United Nations. (2015). Sustainable Development Goals. Retrieved from <https://sdgs.un.org/goals>.
- [8] Shamshiri, R. R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., ... & Shad, Z. M. (2018). Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22.

- [9] Canakci, M., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8-9), 1243-1256.
- [10] Yano, A., & Cossu, M. (2019). Energy sustainable greenhouse crop cultivation using photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 116-137.