

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบการผลิตไฟฟ้าได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน
AGRI – VOLTAIC SYSTEM FEASIBILITY ANALYSIS OF
GROUND MOUNTED PHOTOVOLTAIC POWER PLANT



มานิช กุ่มพนาลัยสถิต

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน

ผู้วิจัย

มาโนช คุ้มพนาลัยสถิต

สาขาวิชา

พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย อนุรักษ์ จันทร์ศรี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สิ้นธุยา

คณะกรรมการสอบ

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาลย์ ชัยชนะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พิชรประทีติ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย อนุรักษ์ จันทร์ศรี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สิ้นธุยา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ โชติกเดชาณรงค์)

วันที่ 19 เดือน เมษายน พ.ศ. 2567

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบการผลิตพืชได้แสง
เซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
บนพื้นดิน

ผู้วิจัย : มาโนช กุ่มพนาลัยสถิต

สาขาวิชา : พลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

- | | |
|---|---------------------------------|
| : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัชย์ ฌรัฐจันทรศิริ | อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก |
| : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์ | อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม |
| : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สตินรญา | อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของระบบการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นดิน โดยทำการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ วิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อพลังงาน สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ผลการศึกษา พบว่าการปลูกพืชเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งการลงทุนและผลผลิต ในขณะที่การผลิตผักวางตุ้งฮ่องเต้ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ส่งผลทำให้การผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเฉลี่ย 0.18 – 0.42 องศาเซลเซียส และส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เฉลี่ยวันละ 45 วัตต์ หรือร้อยละ 2.15 นอกจากนี้ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกพืชยังสามารถทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เพิ่มขึ้น (LER) ร้อยละ 13 – 80 นอกจากนี้ประโยชน์ดังกล่าวแล้ว ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกพืชยังเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียน สร้างความมั่นคงด้านพลังงานและอาหาร ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการและเกษตรกร อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการจ้างงานในชุมชน ลดการแข่งขันด้านที่ดินเพื่อการเกษตร และลดการบุกรุกพื้นที่ป่า รวมทั้งสามารถส่งเสริมให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ : การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์, การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร, ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน, พืชทนต่อสภาพแสงน้อย

The Title : Agri – Voltaic System Feasibility Analysis of Ground Mounted Photovoltaic Power Plant

The Author : Manoch Kumpanalaisatit

Program : Community Energy and Environment

Thesis Advisors

- | | |
|--|--------------|
| : Assistant Professor Dr. Surachai Narrat Jansri | Advisor |
| : Assistant Professor Dr. Worajit Setthapun | Co – advisor |
| : Assistant Professor Dr. Hathaithip Sintuya | Co – advisor |

ABSTRACT

The study investigated the feasibility of an agrivoltaic system for a ground-mounted solar power plant by designing, testing, and analyzing its impact on energy, environment, economy, and society. Crop production emerged as a viable model for maximizing land use under solar panels, demonstrating its potential for both investment and yield. While crop (Bok Choy) cultivation did not significantly increase power generation or decrease solar panel temperature, it demonstrably reduced solar panel temperature by 0.18 – 0.42 °C and increased daily electricity generation by 45 Wh/day (2.15 %). Additionally, the Land Equivalent Ratio (LER) increased by 13 – 80 %. Beyond these direct benefits, agrivoltaic systems hold promise for promoting renewable energy use, enhancing energy and food security, reducing greenhouse gas emissions, and generating income for entrepreneurs and farmers. Furthermore, they can contribute to increased community employment, reduced agricultural land competition, and decreased forest encroachment, all while fostering a higher LER.

Keywords : Solar Power Generation, Agrivoltaic System, Land Use Efficiency, Shade Tolerance Plants

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ฌรัฐ จันท์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรจิตต์ เศรษฐพรรัตน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หทัยทิพย์ สินธูยา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษาในเรื่องการเรียน การค้นคว้าวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาลย์ ชัยชนะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร พัชรประภคิติ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คุณงามความดีหรือประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแต่บิดามารดาที่ได้อบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ทุกท่าน เพื่อน พี่ น้อง นักศึกษาทุกคนที่ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือระหว่างทำการวิจัย จนสำเร็จตามความมุ่งหมาย

มานิช คุ่มพนาลัยสถิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ข
ABSTRACT	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย	3
สมมติฐานการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	4
กรอบแนวคิดการวิจัย	5
2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	6
การผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	19
แนวคิดระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	22
ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	23
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบการผลิต	
ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	45
ผลผลิตพืชที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการ	
การผลิตพืช	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2	
ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช	46
ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช	47
การประเมินสมรรถนะของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ...	53
การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์	55
3	
วิธีดำเนินการวิจัย	57
การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	57
การศึกษาการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	60
การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช	63
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์	71
การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	74
การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงานสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม	76
4	
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	77
การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	77
การทดสอบผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	81
การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช	92
ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช	99
ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์	100

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4	
การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	103
การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีต่อพลังงานสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม	109
5	
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	115
สรุปผลการวิจัย	115
ข้อเสนอแนะ	118
บรรณานุกรม	119
ภาคผนวก	132
ภาคผนวก ก การเก็บข้อมูลกิจกรรมการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ พื้นที่ใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	133
ภาคผนวก ข การเก็บข้อมูลกิจกรรมการผลิตพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	141
ภาคผนวก ค การเก็บข้อมูลกิจกรรมการออกแบบและทดสอบระบบการ ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช	146
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกิจกรรมการ ออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการผลิตพืช	150
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การพัฒนาแนวทาง การวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	157
ประวัติผู้วิจัย	160

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงและพื้นที่ระหว่างแผงเพื่อการเกษตรของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบถาวร	30
2.2	การศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	33
2.3	ความต้องการแสงของพืช	49
3.1	ข้อมูลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	74
4.1	การวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกพืช	86
4.2	การเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้	88
4.3	ผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้	90
4.4	ประสิทธิภาพของระบบการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการเกษตร	91
4.5	ความความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับการผลิตพืช ..	91
4.6	ผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงควบคุมที่มีความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงปกติ	99
4.7	ข้อมูลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	101
4.8	ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	102
4.9	การวิเคราะห์ปริมาณการใช้ดินเพื่อการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	104
4.10	การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp)	106
4.11	ต้นทุนและผลตอบแทนของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp)	107
4.12	ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) และระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ร่วมกับการผลิตพืช	108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	กรอบแนวคิดการวิจัย	5
2.1	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	7
2.2	ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	8
2.3	ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	8
2.4	การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนเสาเดี่ยว	9
2.5	การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นดิน	10
2.6	การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (a) การติดตั้งบนหลังคาลาดเอียง (b) การติดตั้งบนหลังคาแบบเรียบ	10
2.7	การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แทนหลังคา	11
2.8	การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการกับตัวอาคาร	11
2.9	การติดตั้งบนแพพลาสติกกับโครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี	12
2.10	การเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอนุภาคนีโอมออกไซด์และแทนทาลัมเพนทอกไซด์	16
2.11	แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการทำการเกษตร	20
2.12	แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตถ่าน	21
2.13	แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพีระหว่างแผงเซลล์ แสงอาทิตย์	22
2.14	การปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	24
2.15	การปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์	25
2.16	การเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	26
2.17	ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเพื่อการผลิตพืช	29
2.18	การติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาโรงเรือนผลิตพืช	29
3.1	การออกแบบรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	58
3.2	เครื่องมือวัดสภาพแวดล้อมและการผลิตไฟฟ้าสำหรับรูปแบบการใช้ประโยชน์ พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์	59

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.3 ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับกำลังการผลิต 25 กิโลวัตต์ (kW) ภายในวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (ศูนย์แมริม)	60
3.4 แผนผังการผลิตพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	61
3.5 การให้น้ำของระบบการผลิตพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์	62
3.6 เครื่องวัดสเปกตรัมและปริมาณแสง PAR-PPFD สำหรับการปลูกพืช	64
3.7 ตัวอย่างการวิเคราะห์การจัดกลุ่มพืชจากข้อมูลอายุการเก็บเกี่ยว	66
3.8 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและรังสีดวงอาทิตย์	67
3.9 เครื่องบันทึกข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	67
3.10 การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	68
3.11 การออกแบบแปลงปลูกพืชในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร โดยด้านซ้ายเป็นแปลงทดลองปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และด้านขวาเป็นแปลงควบคุมที่ปลูกในสภาพแสงปกติ	68
3.12 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย	76
4.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	78
4.2 การวัดอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อนการทดลอง (a) ระหว่างการทดลอง (b)	79
4.3 การวัดการบดบังที่เกิดจากเงาของพื้นที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสง (a)) (ไม่ใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสง (b))	80
4.4 การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	81
4.5 การวัดรังสีดวงอาทิตย์	82
4.6 การวัดอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชใต้แสงและไม่มีการปลูกพืชใต้แสง	84
4.7 การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชใต้แสงและไม่มีการปลูกพืชใต้แสง	85

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	ต้นผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่อายุเก็บเกี่ยว 35 วัน	90
4.9	ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชขนาด 480 วัตต์ (W)	92
4.10	ค่ารังสีดวงอาทิตย์รายวัน ช่วงวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563	93
4.11	อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ	94
4.12	กำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	95
4.13	การเจริญเติบโตด้านความสูง	96
4.14	การเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ	97
4.15	การเจริญเติบโตด้านความกว้างของใบ	97
4.16	การเจริญเติบโตด้านความยาวของใบ	98
4.17	ลักษณะต้นของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในแปลงควบคุม (ซ้าย) และใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ขวา)	98
4.18	ความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์และความเข้มแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp)	105
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างด้านพลังงาน อาหาร สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	109

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกในปี พ.ศ. 2561 มีกำลังผลิตทั้งหมด 500 กิกะวัตต์ (GW) เจเกอร์ – วัลเดา (Jäger – Waldau, 2018) โดยแบ่งเป็นไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา 27.9 กิกะวัตต์ (GW) ยุโรป (Europe, 2018) ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผิวน้ำ 1.1 กิกะวัตต์ (GW) กามาร์รา และร็องค์ (Gamarra & Ronk, 2019) และส่วนใหญ่นิยมสร้างแบบติดตั้งลงบนพื้นดินแบบถาวร (Ground Mounted Photovoltaic Power Plants) คิดเป็นร้อยละ 94.2 ของกำลังผลิตทั้งหมด หรือประมาณ 471 กิกะวัตต์ (GW) โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่ไม่มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการสูญเสียพื้นที่เป็นจำนวนมาก นักวิจัยจึงได้หาแนวทางแก้ไข เพื่อให้เกิดการใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดย เกทซ์เบอร์เกอร์ และแซสโตรว์ (Goetzberger & Zastrow, 1982) ได้เสนอแนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการทำการเกษตร (Agrivoltaic System) ซึ่งมีแนวทางการดำเนินงาน 2 แนวทาง ได้แก่ แนวทางที่ 1 การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งถาวร โดยไม่มีการวางแผนการทำเกษตร และแนวทางที่ 2 การวางแผนจัดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าควบคู่กับการวางแผนการทำเกษตร การดำเนินการวิจัยในช่วงปี พ.ศ. 2525 – 2561 นักวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการดำเนินการตามแนวทางที่ 2 เนื่องจากสามารถออกแบบให้พื้นที่ใต้แผงมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ เช่น วัลเล่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2017) ได้ศึกษาการเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์ของที่ดิน โดยวางแผนและออกแบบการจัดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ควบคู่กับการเกษตร ทำให้พื้นที่ใต้แผงมีปริมาณแสงแดดที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช สำหรับการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งถาวร โดยไม่มีการวางแผนการทำเกษตรนั้น มีสภาพแวดล้อมใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชมากนัก แต่ก็ยังมีพืชบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในที่ร่มหรือแสงรำไรได้ เช่น ผักกาดหอม มันเทศ มะเขือยาว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น วูล์ฟฟ์ และ โคลท์แมน (Wolff, & Coltman, 1990) ดังนั้น จึงต้องมีการศึกษาเพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์

แสงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง เพื่อการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเพื่อลดปัญหาเรื่องการใช้ประโยชน์จากที่ดิน

สำหรับประเทศไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ได้มีการกำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan 2015 : AEDP2015) แผนพัฒนาฉบับนี้มีเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนสัดส่วน ร้อยละ 20 ของปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าสุทธิ และในปี พ.ศ. 2579 ได้กำหนดเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 6,000 เมกะวัตต์ (MW) อัจฉริกุล และบลูพริ้นต์ (Achawangkul & Blueprint, 2015) ปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 1,558 เมกะวัตต์ (MW) และมีโครงการที่อยู่ระหว่างการดำเนินการจำนวน 1,261 เมกะวัตต์ (MW) รวมทั้งสิ้น 2,819 เมกะวัตต์ (MW) ฉิมเรศ และวงศ์วิเศษ (Chimres & Wongwises, 2016) ซึ่งก็ยังไม่สอดคล้องตามเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 อย่างไรก็ตามถ้าโครงการที่กำลังดำเนินการเสร็จสิ้น คาดว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้พื้นที่ทั้งหมด 56,380 ไร่ หรือ 9,020 เฮกตาร์ (ha) และถ้าการดำเนินการเป็นไปตามแผนงาน AEDP2015 ที่กำหนดไว้ การสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้องใช้พื้นที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 63.02 ของพื้นที่ติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน หรือประมาณ 120,000 ไร่ ซึ่งจะทำให้เกิดภาวะแย่งชิงพื้นที่ภาคเกษตร และการบุกรุกป่าไม้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหารและทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ โรงไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย ส่วนมากเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งถาวรโดยไม่มีการวางแผนการทำเกษตร ดังนั้น การวิจัยนี้ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการทดลองปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวทางที่ 1 ภายใต้แนวคิดของ เกิทซ์เบอร์เกอร์ และแซสโตรว์ (Goetzberger & Zastrow, 1982) ในพื้นที่วิจัยโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย (Asian Development College for Community Economy and Technology: adiCET) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เป็นพื้นที่ศึกษา โดยการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมติดตามผลกระทบของระบบการผลิตพืชที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมทั้งการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแผงแบบถาวร ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นรูปแบบหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและบรรเทาปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและทดสอบระบบการผลิตพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงาน สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้รูปแบบการผลิตพืชที่เหมาะสมภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ในพื้นที่ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
2. ได้ทราบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หลังจากรับใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์
3. ได้มีการใช้ประโยชน์ของที่ดินใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สมมติฐานการวิจัย

1. ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแสงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น เมื่อมีการปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ จะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิของแสงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้
2. พืชที่สามารถปลูกร่วมกับต้นไม้ใหญ่ในระบบเกษตรป่าไม้ หรือระบบวนเกษตร เป็นพืชที่สามารถปรับตัวและเจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีแสงน้อย ดังนั้น การนำพืชดังกล่าวมาปลูกใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงสามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้
3. การปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์มาก่อน ดังนั้น การปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าของพื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ขอบเขตของการวิจัย

1. การศึกษาระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ ภายในวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อย่างน้อย 1 ระบบ ดังภาพที่ 1.1
2. พืชทดลองที่เหมาะสมกับพื้นที่อย่างน้อย 1 ชนิด

3. การศึกษาผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

4. การขยายพื้นที่การใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kW) โดยการประมาณด้วยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

นิยามศัพท์เฉพาะ

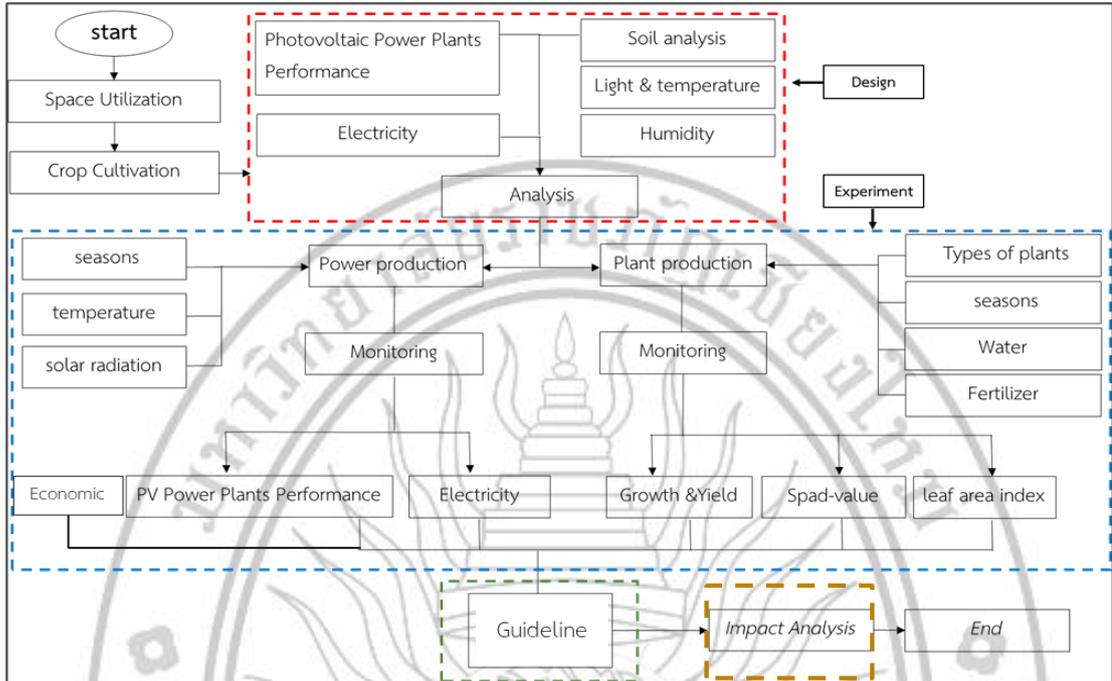
การผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึง การผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งถาวรโดยไม่มีการวางแผนการทำเกษตร ประกอบด้วย พืช แปลงเพาะปลูก ระบบการให้น้ำ ระบบการให้ปุ๋ย รวมทั้งการดูแลรักษา ตั้งแต่การปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต

การประเมินสมรรถนะการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Agrivoltaic System Performance) หมายถึง การติดตามผลกระทบของระบบการผลิตพืชที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมทั้งการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบถาวร

ระบบการผลิตไฟฟ้าบนพื้นดิน หมายถึง การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวร

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (Solar Panel Efficiency) หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1.1 : กรอบแนวคิดการวิจัย

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

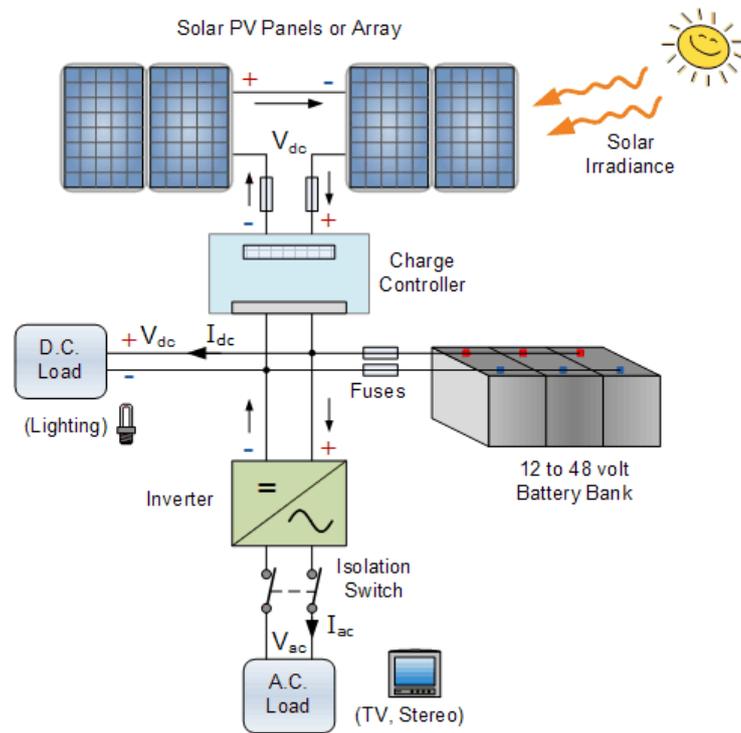
การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ใช้แล้วสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ ซึ่งนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้ฟอสซิล การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแสงอาทิตย์ตกกระทบผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่ออนุภาคของแสง (Photon) ตกกระทบเซลล์ เกิดเป็นคู่ประจุบวก (Hole) และประจุอิเล็กตรอน (Electron) เมื่อประจุเหล่านี้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ (Junction) จะถูกสนามไฟฟ้าผลักประจุบวกไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor) และประจุลบไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor) สะสมจนเกิดเป็นความต่างศักย์ระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ เมื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า (Load) ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic Effect) (วุฒิชัย กาญจนาน, 2562) การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Photo Voltaic : PV) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone System) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (Grid Connected System) และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) (อังสนา พจน์ศิริ, 2559) ดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Standalone System)

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระเป็นระบบที่เหมาะสมกับพื้นที่ห่างไกลที่ไม่มีไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หลักการทำงานทั่วไปเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เป็นตัวควบคุม ในขณะที่ต้องการใช้งานไฟฟ้า แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งแปลง

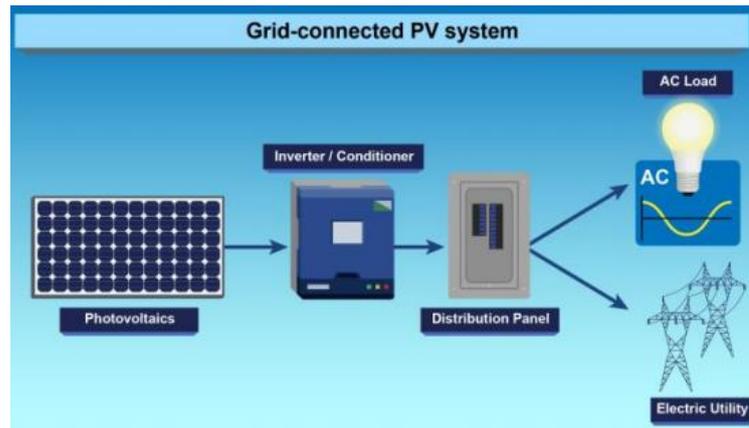
ไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ให้เป็นกระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า (พิชชา จิรวรรณวงศ์, 2556) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 : ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ
ที่มา : นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร, 2561

2. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid Connected System)

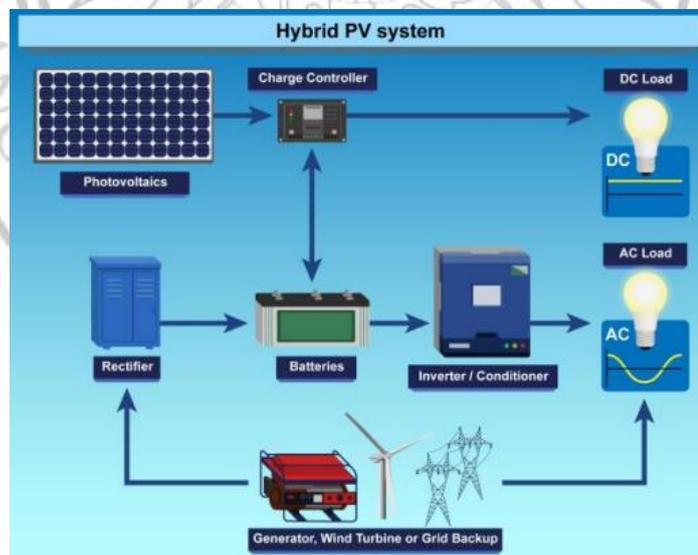
ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายเป็นระบบที่ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบนี้เป็นการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เป็นกระแสสลับ และในขณะเดียวกันสามารถเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าผ่านสวิตช์ตัดตอน และมีเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 : ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562

3. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและพลังงานน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับการออกแบบตามวัตถุประสงค์เป็นกรณีเฉพาะ (อังสนา พจน์ศิริ, 2559) ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 : ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562

รูปแบบการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการติดตั้งหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ในการติดตั้งและลักษณะการใช้งาน ซึ่งรูปแบบการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามแนวคิดของ กฎชนนท์ สวณจันทร (2560) สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1. การติดตั้งบนเสาเดี่ยว (Pole Mounting) การติดตั้งบนเสาเดี่ยวเป็นรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าที่มีจำนวนแผง ตั้งแต่ 1 – 12 แผง ขนาดเสาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว โดยการขุดหลุมให้ลึกประมาณ 1.2 เมตร แล้วรอกันหลุมด้วยอิฐหยาบ หรือเทคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแห้งแล้วให้ทำการตั้งเสา และเทคอนกรีตลงในหลุมจนถึงระดับพื้นดิน ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 : การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนเสาเดี่ยว
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562

2. การติดตั้งบนพื้นดิน (Ground Mounted PV Power Plant System) การติดตั้งบนพื้นดินเป็นรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ หรือโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังผลิตสูง โดยทำฐานรากคอนกรีตและใช้โครงอะลูมิเนียมหรือโครงเหล็กชุบกัลวาไนซ์ (Galvanized Steel) เป็นเสา และวางรองรับชุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 : การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนพื้นดิน

3. การติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop System) การติดตั้งบนหลังคาเป็นรูปแบบที่ติดตั้งกับหลังคาของอาคาร บ้านพักอาศัย หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ หลังคาลาดเอียง และหลังคาแบบเรียบ ดังภาพที่ 2.6 โดยการติดตั้งบนหลังคาลาดเอียงจะทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เอียงตาม โครงสร้างของหลังคา ดังภาพที่ 2.6 (a) ส่วนการติดตั้งบนหลังคาแบบเรียบจะต้องทำโครงสร้างที่สามารถปรับระดับความลาดเอียงเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุด ดังภาพที่ 2.6 (b)



ภาพที่ 2.6 : การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา
(a) การติดตั้งบนหลังคาลาดเอียง (b) การติดตั้งบนหลังคาแบบเรียบ

ที่มา : กฤษนนท์ สวนจันทร์, 2560

4. การติดตั้งแทนหลังคา (In – roof System) การติดตั้งแทนหลังคาเป็นระบบที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ การผลิตไฟฟ้า และการป้องกันภาวะอากาศจากภายนอก การติดตั้งแบบนี้เหมาะสำหรับบ้านที่ออกแบบเพื่อให้สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ รวมทั้งการใช้วัสดุที่สามารถป้องกันน้ำรั่วซึมลงใต้หลังคา ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 : การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แทนหลังคา
ที่มา : กฤษนนท์ สวนจันทร์, 2560

5. การติดตั้งบูรณาการกับตัวอาคาร (Building Integrated Photovoltaic) การติดตั้งบูรณาการกับตัวอาคารเป็นการติดตั้งเป็นผนังของอาคาร นิยมใช้กับอาคารสมัยใหม่เพื่อรองรับเรื่องอาคารเขียว (Green Building) หรืออาคารอนุรักษ์พลังงาน (Energy Saving Building) เช่น อาคารสำนักงาน อาคารของรัฐบาล อาคารศูนย์ประชุม ศูนย์แสดงสินค้า เป็นต้น ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 : การติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบบูรณาการกับตัวอาคาร
ที่มา : กฤษนนท์ สวนจันทร์, 2560

แต่เนื่องด้วยปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่นิยมมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น การติดตั้งบนพื้นดินหรือการติดตั้งบนหลังคา จึงมีความจำเป็นต้องใช้พื้นที่จำนวนมากเพื่อการติดตั้ง ดังนั้น จึงทำให้มีการติดตั้งเพิ่มอีกรูปแบบ คือ การติดตั้งบนผิวน้ำ (Floating Solar System) ซึ่งเป็น การติดตั้งแบบลอยน้ำเพื่อเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า โดยวิธีการติดตั้งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การติดตั้งบนทุ่นลอยน้ำ การติดตั้งบนแพพลาสติกกับโครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี และการติดตั้งบนแพพลาสติก (กาญจนศิษฐ์ เวชการ, 2560) มีรายละเอียดดังนี้

1. การติดตั้งบนทุ่นลอยน้ำ

การใช้ทุ่นในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบลอยน้ำ โดยส่วนใหญ่ใช้ในการ ติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กและขนาดกลาง เนื่องจากทุ่นลอยน้ำมีราคาที่แพง ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้นักวิชาการพยายามหาวิธีการเพื่อลดต้นทุนในการติดตั้ง จึงทำให้ได้วิธีการ ที่เหมาะสมในการติดตั้งไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้แพสำหรับการติดตั้ง

2. การติดตั้งบนแพพลาสติกกับโครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี

การติดตั้งบนแพพลาสติกชนิด โพลีเอทิลีนที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) กับ โครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 : การติดตั้งบนแพพลาสติกกับ โครงสร้างเหล็กชุบสังกะสี
ที่มา : กามาร์รา และร็องค์ (Gamarra & Ronk, 2019)

3. หลักการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีหลักการดังนี้

3.1 การประเมินพื้นที่ในการติดตั้งและศักยภาพในการใช้แสงอาทิตย์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งควรเป็นบริเวณที่โล่ง ปราศจากการบดบังแสงในช่วงเวลา 9 โมงเช้าถึงบ่าย 3 โมงในแต่ละวัน ซึ่งการบดบังแสงแดดส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลง ตำแหน่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการใช้ในบ้านที่เหมาะสมคือ บริเวณหลังคาของที่อยู่อาศัย (สุรเชษฐ ย่านวารี, 2559) แต่สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ หรือการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อจำหน่ายนิยมติดตั้งบนพื้นดินที่เป็นพื้นที่โล่ง โดยก่อนการดำเนินการติดตั้งบนพื้นดินต้องประเมินพื้นที่ โดยเริ่มจากการวัดเงาด้วยเครื่อง Solar Pathfinder เพื่อให้ทราบข้อมูลจำนวนชั่วโมงที่แสงส่องกระทบถึงบริเวณที่ต้องการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังต้องวัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ และเก็บข้อมูลสภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และทิศทางลม ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับทิศทางในการตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ควรหันหน้าของแผงไปทางทิศใต้ โดยดวงอาทิตย์เคลื่อนที่อ้อมทิศใต้จากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก นอกจากนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งทำมุมประมาณ 15 – 20 องศากับละติจูด เพื่อให้แสงอาทิตย์กระทบตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเที่ยงให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

3.2 การคำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้และคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ (สุรเชษฐ ย่านวารี, 2559)

3.2.1 ระบบ PVs ที่ผลิตไฟฟ้าแล้วจ่ายเข้าสายส่งโดยตรง ดังสมการ

$$\text{Maximum Power (kWp)} = \frac{A_{\text{Installation}} \times W_{\text{STC}}}{A_{\text{PV}}}$$

$$\text{Power generation (kW)} = P_{\text{Max}} \times f_{\text{temp}} \times f_{\text{dirt}} \times f_{\text{mis}} \times f_{\text{inv}}$$

$$\text{Power per generated time (kWh)} = P_{\text{generation}} \text{ (kW)} \times \text{Time (hr)}$$

เมื่อ f_{temp} แทน การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากอุณหภูมิ (ร้อยละ)

f_{dirt} แทน การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดฝุ่นและสิ่งสกปรก (ร้อยละ)

f_{mis}	แทน	การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่สม่ำเสมอและการสูญเสียในสายไฟ (ร้อยละ)
f_{inv}	แทน	การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ (ร้อยละ)
$A_{\text{Installation}}$	แทน	พื้นที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (m^2)
W_{STC}	แทน	กำลังไฟฟ้ามาตรฐาน (Standard Condition Test: STC)
A_{PV}	แทน	พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
P_{Max}	แทน	กำลังไฟฟ้าสูงสุด (kWp)
$P_{\text{generated}}$	แทน	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (kW)

3.2.2 ระบบ PVs ที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในบ้าน ดังสมการ

$$\text{Load (kWh)} = P_{\text{Load}} \times \% \times N \times \text{Time (hr)}$$

$$P_{\text{PV}} = \frac{\text{Load (kWh)}}{4}$$

$$\text{Battery} = \frac{\text{Load (W)} \times \text{Time (hr)}}{\text{Batt}_v \times F_{\text{Batt}} \times F_{\text{Inv.}}}$$

เมื่อ	Load	แทน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน (kWh)
	P_{Load}	แทน	กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า (W)
	%	แทน	สัดส่วนการใช้พลังงาน
	N	แทน	จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า
	P_{PV}	แทน	กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
	4	แทน	จำนวนชั่วโมงที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
	$F_{\text{Inv.}}$	แทน	ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เท่ากับ 0.60
	F_{Batt}	แทน	ประสิทธิภาพของ Inverter เท่ากับ 0.85
	Batt_v	แทน	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

4. ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า (Solar Power Generation Efficiency) แสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีดังนี้

4.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงตามอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มสูงขึ้น ความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณร้อยละ 89 ของค่า (Standard Condition Test : STC) เอ็นเดคอน เอ็นจีเนียริง (Endecon Engineering, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ ราชวิกรม และลีโอพอนราช (Rajvikram & Leoponraj, 2018) ที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อเคลือบด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอลูมิเนียมออกไซด์และแทนทาลัม-เพนทอกไซด์ (Aluminum Oxide and Tantalum Pentoxide) ดังภาพที่ 2.10 ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงประมาณ 5 องศาเซลเซียส แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการหล่อเย็นเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย โดย เป็ง, เฮอร์ฟัทมานิช และหลิว (Peng, Herfatmanesh, & Liu, 2017) ได้ทดลองหล่อเย็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำแข็งในห้องปฏิบัติการ ซึ่งกำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 20 วัตต์ (Wp) และให้แสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) พบว่า เทคนิคการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยระบบหล่อเย็นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร้อยละ 47 ซึ่งสอดคล้องผลการทดลองของ อนุชา ดีผาง และพรหมชัย สุพรรณ (2561) ที่ทำการศึกษการเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีปรับมุมแผงติดตามดวงอาทิตย์ เป็นช่วงเวลาร่วมกับการระบายความร้อนแผงด้วยน้ำ ผลการศึกษา พบว่า อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่เอียงทำมุม 16 องศาเซลเซียส กับแนวระดับและไม่มีระบบระบายความร้อนประมาณ 2.9 องศาเซลเซียส ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแผงที่ติดตั้งอยู่กับที่และไม่มีระบบระบายความร้อนประมาณ 16.9 วัตต์ (W) หรือประมาณร้อยละ 28.36



ภาพที่ 2.10 : การเคลือบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอลูมิเนียมออกไซด์และแทนทาลัมเพนทอกไซด์

ที่มา : ราชวิกรม และลีโอพราจ (Rajvikram & Leoponraj, 2018)

4.2 ฟูนและความสกปรก

แผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อใช้ไประยะหนึ่งจะมีฟูนละอองหรือคราบสกปรกมาเปื้อนบนหน้าแผงซึ่งปัจจัยนี้ส่งผลให้ความสามารถในการรับแสงอาทิตย์ลดลงทำให้ศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงตามไปด้วย โดยทั่วไปผลกระทบที่เกิดจากสิ่งสกปรกและฟูนละอองนี้ ทำให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณร้อยละ 93 ของค่า STC เอ็นเดคอน เอ็นจินีเยริง (Endecon Engineering, 2001) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ นิพนธ์ เกตุจ้อย และมรพงษ์ กอนอยู่ (2555) ที่ศึกษาผลกระทบของฟูนบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า พบว่า กำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด เท่ากับกับ 85.87 วัตต์ (W) เมื่อมีฟูนละอองหรือคราบสกปรกมาเปื้อน จะทำให้กำลังไฟฟ้าเหลือเพียง 77.67 วัตต์ (W) หรือการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ 6.03

4.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่สม่ำเสมอและการสูญเสียในสายไฟ

การทดสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเป็นแถวเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบเดี่ยว โดยการติดตั้งทั้ง 2 รูปแบบด้วยจำนวนแผงที่เท่ากัน พบว่า ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงที่ต่อกันเป็นแถวมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพของแผงเดี่ยวรวมกัน นอกจากนี้ความต้านทานในสายไฟก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้าขึ้นได้ โดยทั่วไปการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการต่อแผงที่ไม่สม่ำเสมอและสูญเสียภายในสายไฟทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือร้อยละ 95 ของค่า STC เอ็นเดคอน เอ็นจินีเยริง (Endecon Engineering, 2001)

4.4 การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แต่อุปกรณ์ที่ใช้ตามบ้านเรือนนั้นส่วนใหญ่พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ดังนั้นไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องผ่านตัวแปลงกระแสไฟ (Inverter) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้า

กระแสสลับก่อนเสมอ การแปลงกระแสไฟฟ้านี้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นส่วนหนึ่ง โดยทั่วไปการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการแปลงกระแสไฟฟ้านี้ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณร้อยละ 90 ของค่า STC เอ็นเดคอน เอ็นจิเนียริง (Endecon Engineering, 2001) ซึ่ง นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมี (2557) ได้ทดสอบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์แบบโมดูลกับเซลล์แสงอาทิตย์ต่างชนิดกันในสภาวะการใช้งานจริงในประเทศไทย พบว่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่ต่อร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน มีค่าต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมและผลึกเดี่ยว โดยมีประสิทธิภาพ ร้อยละ 83.77, 86.57 และ 85.80 ตามลำดับ

5. การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission : IEC 61724 ซึ่งมีพารามิเตอร์สำคัญสำหรับการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (กาญจนศิษย์ เวชการ, 2560; พีระวุฒิ ชินวรรังสี และคนอื่นๆ, 2558) ดังสมการ

$$Y_A = \frac{E_{pv(DC)}}{P_{o(installed)}}$$

$$Y_f = \frac{E_{pv(AC)}}{P_{o(installed)}}$$

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}}$$

$$L_C = Y_r - Y_f$$

$$L_S = Y_A - Y_f$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100$$

$$\eta_A = E_a / H_i A_A$$

$$\eta_{\text{tot}} = E_a / H_i A_A$$

$$E_{\text{pv(DC)}} = V_{\text{DC}} \times I_{\text{DC}} \times \text{Time}$$

$$E_{\text{grid(AC)}} = V_{\text{AC}} \times I_{\text{AC}} \times \text{Time}$$

เมื่อ Y_a	แทน	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง: Array Yield (kWh/kWp)
Y_r	แทน	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง: Final Yield (kWh/kWp)
Y_r	แทน	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทางทฤษฎี: Reference Yield (kWh/kWp)
L_c	แทน	พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์: Capture Losses (kWh/kWp)
L_s	แทน	พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์: System Losses (kWh/kWp)
PR	แทน	ค่าสมรรถนะของระบบ: Performance Ratio (%)
η_A	แทน	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency)
η_{tot}	แทน	ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency)
$E_{\text{pv(DC)}}$	แทน	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)
$E_{\text{grid(AC)}}$	แทน	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)
P_o (installed)	แทน	ขนาดของระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้ง (kWp)
H_i	แทน	ค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (kWh/m ²)
G_{STC}	แทน	ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m ²)

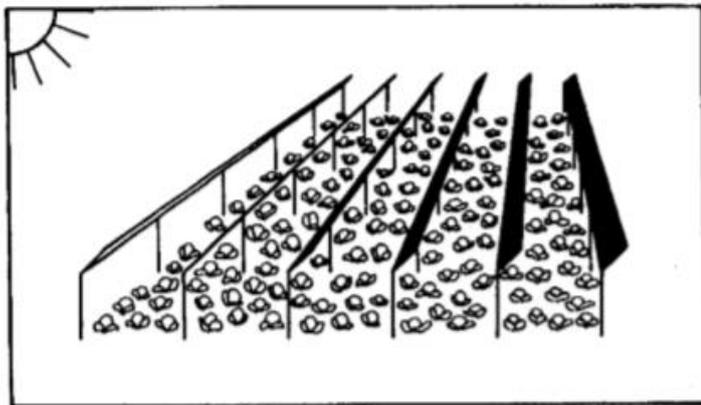
การผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกในปี พ.ศ. 2561 มีกำลังผลิตทั้งหมด 500 กิกะวัตต์ (GW) เยเกอร์ – วัลเดา (Jäger – Waldau, 2018) โดยแบ่งเป็นการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา 27.9 กิกะวัตต์ (GW) ยุโรป (Europe, 2018) การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผิวน้ำ 1.1 กิกะวัตต์ (GW) กามาร์รา และร็องก์ (Gamarra & Ronk, 2019) และการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งลงบนพื้นดินแบบถาวร (Ground Mounted Photovoltaic Power Plants) ประมาณ 471 กิกะวัตต์ (GW) คิดเป็นร้อยละ 94.2 ของกำลังผลิตทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก ส่วนมากเป็นการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งลงบนพื้นดินแบบถาวร

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งลงบนพื้นดินแบบถาวร โดยส่วนใหญ่ไม่มีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดการสูญเสียพื้นที่เป็นจำนวนมาก จึงทำให้นักวิจัยหาวิธีการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีแนวคิดในดำเนินการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช แนวคิดนี้เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2525 โดย เกิทซ์เบอร์เกอร์ และแซสโตรว์ (Goetzberger & Zastrow, 1982) ซึ่งได้เสนอว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรติดตั้งให้สูงจากพื้นดินประมาณ 2 เมตร และมีระยะห่างระหว่างแถวประมาณ 6 เมตร ดังภาพที่ วัตต์ต่อตารางเมตร นอกจากนั้นได้มีการคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งรังสีโดยตรงและรังสีกระจาย เพื่อให้รังสีดวงอาทิตย์เพียงพอ สำหรับการผลิตพืช จากนั้นในปี พ.ศ. 2547 ประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาต้นแบบการแบ่งปันพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้ปลูกพืชกับผลิตกระแสไฟฟ้า (Solar Sharing) จนทำให้ประเทศญี่ปุ่นมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรมากกว่า 1,000 แห่ง นอกจากนั้นยังมีชื่ออื่น ๆ เช่น Agrophotovoltaics (APV) เบ็ค และคนอื่น ๆ (Beck et al., 2012) ในประเทศเยอรมนี และ Agro-voltaics ในประเทศอิตาลี

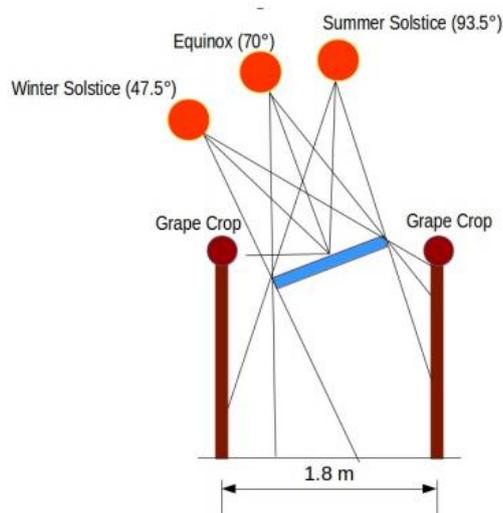
คำว่า Agrivoltaic system ถูกเผยแพร่ครั้งแรกในวารสาร Renewable Energy เมื่อปี พ.ศ. 2554 โดย ดูปราซ และคนอื่น ๆ (Dupraz et al., 2011) โดยได้มีการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายหรือคาดการณ์ผลผลิตของพืชที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประเมินมูลค่าของระบบ Agrivoltaic โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างมูลค่าระบบการผลิตไฟฟ้ากับมูลค่าระบบการผลิตพืช ผลการทำนายแสดงให้เห็นว่า การผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มมูลค่าของที่ดินได้มากถึงร้อยละ 35 – 73 และมีข้อเสนอแนะให้ผู้ประกอบการที่ต้องการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ควรออกแบบให้เหมาะสมต่อการปลูกพืช เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด

จากนั้นระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชได้รับความสนใจ และทำการวิจัยมากยิ่งขึ้น เช่น ปี พ.ศ. 2555 เบ็ค และคนอื่น ๆ (Beck et al., 2012) ได้ศึกษาการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งภาคพื้นดินและการผลิตอาหาร โดยปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า พืชที่สามารถปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ต้องเป็นพืชที่ใช้แสงน้อยสามารถปลูกได้ร่มเงา หรือแสงรำไร (Shade Tolerant Plant) ปี พ.ศ. 2560 วัลเล่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2017) ได้ศึกษาวิธีการเพิ่มมูลค่าของที่ดินด้วยระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช โดยทดลองปลูกผักกาดหอมใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบหมุนตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking System) และแบบโครงสร้างยึดอยู่กับที่ (Fix System) พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอ ทำให้ผลผลิตที่ได้ใกล้เคียงกับการเกษตรแบบปกติ (Conventional Agriculture) โดยน้ำหนักแห้งของผักที่ปลูกใต้แผง เท่ากับ 13.66 กรัม ส่วนการปลูกแบบการเกษตรปกติ เท่ากับ 14.66 กรัม และปี พ.ศ. 2561 ออธมานและ ยახอบ (Othman & Ya'acob, 2018) ได้ศึกษาศักยภาพของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช สำหรับการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียวของมาเลเซีย โดยการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation) เพื่อวางแผนการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร ผลการจำลอง พบว่า โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เหมาะสำหรับการทำระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจสีเขียวของประเทศมาเลเซีย เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนที่ 5 – 6 ปี และมีอัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุนร้อยละ 13 – 15



ภาพที่ 2.11 : แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการทำการเกษตร
ที่มา : เกิทซ์เบอร์เกอร์ และแซสโตรว์ (Goetzberger & Zastrow, 1982)

ระบบการปลูกพืชร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในกรณีที่โครงสร้างระบบไฟฟ้าถูกติดตั้งก่อนแล้วสามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 เป็นการปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เกิทซ์เบอร์เกอร์ และแซสโตรว์ (Goetzberger & Zastrow, 1982) และแนวทางที่ 2 เป็นการปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาลู, ชาร์มา และเพียร์ซ (Malu, Sharma & Pearce, 2017) จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า การศึกษาระบบการปลูกพืชร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวร และได้รับการติดตั้งก่อนแล้ว ส่วนใหญ่เป็นการปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนิยมปลูกผักและพืชล้มลุก เบอร์เจส (Burgess, 2014) ดังภาพที่ 2.13 และไม้ผลจำพวก องุ่น เสาวรส ดังภาพที่ 2.12 มาลู, ชาร์มา และเพียร์ซ (Malu, Sharma & Pearce, 2017) การปลูกพืชดังกล่าวสามารถปลูกพืชได้น้อย เนื่องจากพื้นที่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่าพื้นที่ได้แผง และทำให้ทางเดินระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แคบลง ซึ่งไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานด้านไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงดำเนินการพัฒนาระบบการปลูกพืชที่เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างระบบไฟฟ้าระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวรและได้รับการติดตั้งก่อนแล้ว โดยศึกษาข้อมูลสภาพอากาศและคุณสมบัติของดินได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคัดเลือกพืชไปปลูกได้แผงและติดตามการเจริญเติบโตของพืช



ภาพที่ 2.12 : แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตองุ่น
ที่มา : มาลู, ชาร์มา และเพียร์ซ (Malu, Sharma & Pearce, 2017)



ภาพที่ 2.13 : แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : เบอร์เจส (Burgess, 2014)

แนวคิดระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร

เกิทซ์เบอร์เกอร์ และแซสโตรว์ (Goetzberger & Zastrow, 1982) ได้แนวคิดการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรเกิดขึ้นครั้งแรก เริ่มขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2525 โจ และคนอื่น ๆ (Jo et al., 2022) ซึ่งได้ให้ข้อเสนอแนะว่า การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชควรศึกษากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งสูงจากพื้นดิน 2 เมตร และมีระยะห่างระหว่างแถว 6 เมตร การติดตั้งแผงในความสูงและระยะห่างประมาณนี้ ทำให้รังสีดวงอาทิตย์ทั้งรังสีโดยตรงและรังสีกระจายเพียงพอสำหรับการผลิตพืชและสามารถให้ผลผลิตได้ จากนั้นในปี พ.ศ. 2547 ประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาต้นแบบการแบ่งปันพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ปลูกพืชกับผลิตกระแสไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า Solar Sharing จนทำให้ประเทศญี่ปุ่นมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรมากกว่า 1,000 แห่ง โทเลโด และสโกญามิกลิโอ (Toledo & Scognamiglio, 2021) ส่วนคำว่า Agri-voltaic System ถูกเผยแพร่ในวารสารครั้งแรกในปี พ.ศ. 2554 โดย ดูปราซ และคนอื่น ๆ (Dupraz et al., 2011) ซึ่งได้สร้างแบบจำลองเพื่อทำนายหรือคาดการณ์ผลผลิตของพืชที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประเมินมูลค่าของมูลค่าระบบการผลิตไฟฟ้าเปรียบเทียบกับมูลค่าระบบการผลิตพืช พบว่า การผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถเพิ่มมูลค่าของที่ดินได้ประมาณร้อยละ 35 – 73 นอกจากนี้ การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าจะต้องเหมาะสมกับการผลิตพืช

เพื่อเกิดผลประโยชน์สูงสุดในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร ซึ่งจะสามารถเพิ่มมูลค่าของที่ดินได้ประมาณร้อยละ 60 – 70

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรได้รับความสนใจจากการวิจัยระดับโลกอย่างมาก เช่น เดอ ลา ตอร์เร และคนอื่น ๆ (de la Torre et al., 2022) ได้ทำการออกแบบ ติดตั้ง และวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งในสวนมะกอก (Olive Groves) ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความสูง 3 เมตร และความกว้าง 1.5 เมตร โดยพืชจะไม่ได้รับร่มเงาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio: LER) พบว่า การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรมีค่า LER อยู่ในช่วงร้อยละ 28.9 และ 47.2 นอกนั้น คัตซิกิเกียนนิส และคนอื่น ๆ (Katsikogiannis et al., 2022) ได้ใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลอง แบบ Multi-scale Modeling Technique สำหรับการวิเคราะห์สภาพแวดล้อม ผลผลิตของพืช และผลผลิตไฟฟ้า โดยแบบจำลอง E-W Wing มีความเหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไป พบว่า สามารถเพิ่มศักยภาพในการผลิตพืชได้ถึงร้อยละ 50 ขณะที่การผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ 33

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร สามารถแบ่งการออกแบบระบบได้ 2 ประเภท ได้แก่

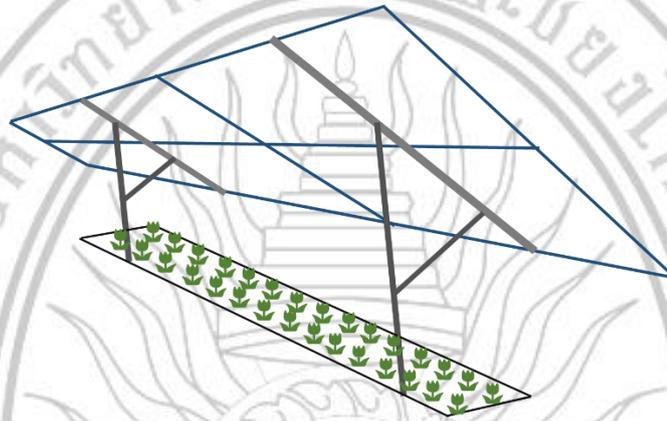
1. ระบบโครงสร้างที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อการผลิตพืช

การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแบบถาวร ซึ่งเป็นระบบที่ไม่มีการวางแผนเพื่อการทำเกษตร หรือเป็นระบบที่มีการทำเกษตรหลังจากการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบถาวร โดยไม่มีการวางแผนการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับการเกษตร ดังตัวอย่างงานวิจัยที่ได้สรุปและแสดงดังตารางที่ 2.1 สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1.1 การปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อการผลิตพืชจะมีข้อจำกัดเรื่องความเข้มของแสง ดังนั้น ระบบนี้จึงไม่ได้รับความนิยมในการปฏิบัติ คัตซิกิเกียนนิส และคนอื่น ๆ (Katsikogiannis et al., 2022) แต่อย่างไรก็ตาม พืชบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในที่ร่มหรือแสงรำไรได้ เช่น ผักกาดหอม มันเทศ มะเขือยาว ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เป็นต้น วูล์ฟฟ์ และ โคลท์แมน (Wolff & Coltman, 1990) ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น กุ่มพนาลัยสถิต และคนอื่น ๆ (Kumpanalaisatit et al., 2019) ได้ศึกษาการใช้

ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยติดตั้งบ่อน้ำ ปลุกพริก และปลูกหญ้า พร้อมติดตามความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ผลการทดลอง พบว่า บ่อน้ำ และการปลูกพริกส่งเสริมให้การผลิตไฟฟ้าดีที่สุด โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1.6 กิโลวัตต์ (kW) เท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปลูกพืชไปได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งถาวร โดยไม่มีการวางแผนทำเกษตรสามารถให้ผลผลิตได้ ดังภาพที่ 2.14

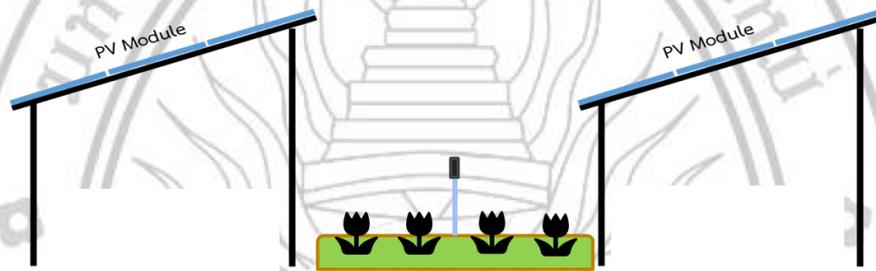


ภาพที่ 2.14 : การปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : คู่มือพจนานัลยสถิติ (Kumpanalaisatit, 2022)

1.2 การปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตพืชที่ปลูกพืชระหว่างช่องว่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแถว การปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถปลูกพืชได้น้อย เนื่องจากพื้นที่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแถวน้อยกว่า เมื่อเทียบกับพื้นที่ได้แผง อีเวนส์ และคนอื่น ๆ (Evans et al., 2022) นอกจากนี้ ยังทำให้ทางเดินระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานด้านไฟฟ้า อย่างไรก็ตามรูปแบบนี้ก็ยังเป็นที่น่าสนใจ เนื่องจากการปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับแสงใกล้เคียงกับสภาพการปลูกพืชทั่วไป ดังนั้น การใช้ประโยชน์พื้นที่ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงมีการศึกษาเพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสม และไม่ส่งผลการปฏิบัติงานด้านไฟฟ้า และมีความคุ้มค่าต่อการผลิตพืช ตัวอย่างการศึกษากการปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ราวี (Ravi et al., 2016) ได้ทำการติดตั้งระบบน้ำบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อกำจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และนำน้ำจากการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์มารดน้ำในแปลงปลูกว่านหางจระเข้ ซึ่งเป็นการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนั้น มาลู และคนอื่น ๆ

(Malu et al., 2017) ได้ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และความเป็นไปได้ สำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตอุนในประเทศอินเดีย โดยทำการ ประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการผลิต อุน ผลการประเมิน พบว่า มูลค่าทางเศรษฐกิจของฟาร์มอุนที่ปลูกร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นมากกว่า 15 เท่า เมื่อเทียบกับการทำฟาร์มอุนแบบดั้งเดิม และหากไร่อุน ทั่วประเทศมีการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตอุน จะทำให้ผลิตกระแสไฟฟ้า ได้ 16,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (GWh) ซึ่งมีศักยภาพในการตอบสนองความต้องการของประชากร มากกว่า 15 ล้านคน ดังภาพที่ 2.15



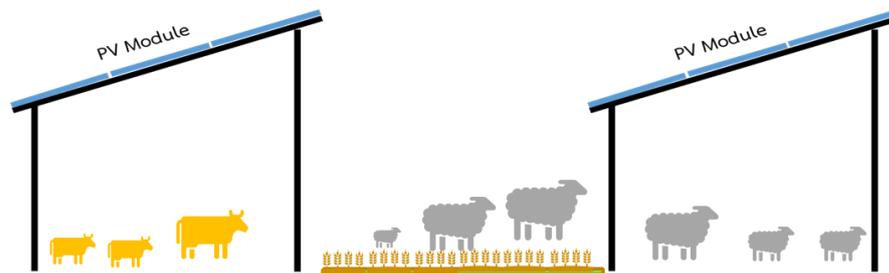
ภาพที่ 2.15 : การปลูกพืชระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : คู่มือนาลัยสถิต (Kumpanalaisatit, 2022)

1.3 การเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถดำเนินการ ได้ทั้งสัตว์น้ำและสัตว์บก ซึ่ง ฟริงกิล, แฮนด์เลอร์ และเพียร์ซ (Pringle, Handler & Pearce, 2017) ได้ทำการศึกษการเลี้ยงสัตว์น้ำร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยติดตั้งระบบที่ติดตั้ง ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนผิวน้ำของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ พบว่า ระบบไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผิวน้ำร่วมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า เพิ่มขึ้นร้อยละ 30 เนื่องจากไอน้ำจากบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เมื่อระเหยกระทบได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งการค้นพบดังกล่าวสอดคล้องกับ ราชวิกราม และลีโอพราจ (Rajvikram & Leoponraj, 2018) ที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อเคลือบด้านบนของเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยอลูมิเนียมออกไซด์และแทนทาลัมเพนทอกไซด์ (Aluminum Oxide and Tantalum

Pentoxide) อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 2.16

นอกจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับสัตว์น้ำแล้วยังมีการผลิตร่วมกับการเลี้ยงสัตว์บกและสัตว์ที่เลี้ยงในโรงเรือนที่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ไมอา และคนอื่น ๆ (Maia et al., 2020) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แถมโดยการเลี้ยงแกะ พบว่า เมื่อรังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มข้นมากกว่า 800 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) และจะใช้เวลาร้อยละ 70 อยู่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากถึง 5.19 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (MWh) และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2.77 ตันต่อปี



ภาพที่ 2.16 : การเลี้ยงสัตว์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
ที่มา : กลุ่มพนาลัยสถิต (Kumpanalaisatit, 2022)

2. ระบบโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อการผลิตพืช

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชแบบระบบโครงสร้างที่ไม่ได้ออกแบบเพื่อการผลิตพืช แสดงให้เห็นว่าการดำเนินงานไม่สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้ โดยเฉพาะแสงแดดที่ส่งลงมายังพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น จึงเกิดแนวคิดอื่นเพื่อให้สภาพใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตพืช โดยการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช ดังตัวอย่างงานวิจัยที่สรุปและแสดงดังตารางที่ 2.2 และภาพที่ 2.17 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการออกแบบและติดตั้งให้มีความสูงที่เหมาะสม เพื่อให้แสงส่องถึงพื้นเพียงพอต่อความต้องการของพืช นอกจากนี้ หากติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงจะทำให้สามารถใช้เครื่องจักรกลการเกษตรสำหรับการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

วัลเล่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2016) ทำการเปรียบเทียบการปลูกผักกาดหอมใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบติดตามดวงอาทิตย์และติดตั้งแบบคงที่ พบว่า ระบบการติดตั้งแบบติดตามดวงอาทิตย์ได้รับแสงเพียงพอต่อความต้องการของพืช จึงทำให้น้ำหนักแห้งของผักกาดหอมสามารถเทียบเคียงกับการปลูกแบบทั่วไปได้ มารู และคนอื่น ๆ (Marrou et al., 2013) ได้ประเมินอัตราการเติบโตของพืชที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกพืช โดยแบ่งวิธีการทดลองเป็น 3 วิธี ได้แก่ การปลูกพืชในสภาพที่ได้รับแสงปกติ การปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความถี่ร้อยละ 50 ของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติ (Half Density) และการปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผงแบบปกติ (Full Density) ทำการทดลอง 3 ฤดู โดยใช้พืช 3 ชนิด ได้แก่ ผักกาดหอม แดงกวา และข้าวสาลี ผลการศึกษา พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของพืชที่ทำการปลูกทดลองในสภาพแสงปกติ และการติดตั้งแผงที่มีความถี่ร้อยละ 50 ไม่มีความแตกต่างกัน ข้อมูลด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า สภาพพื้นที่ที่ได้รับแสงปกติกับสภาพใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของดินใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่าสภาพที่ได้รับแสงปกติ ดังนั้น เกษตรกรจึงอาจเปลี่ยนการทำเกษตรแบบเดิมไปสู่การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชในอนาคตได้

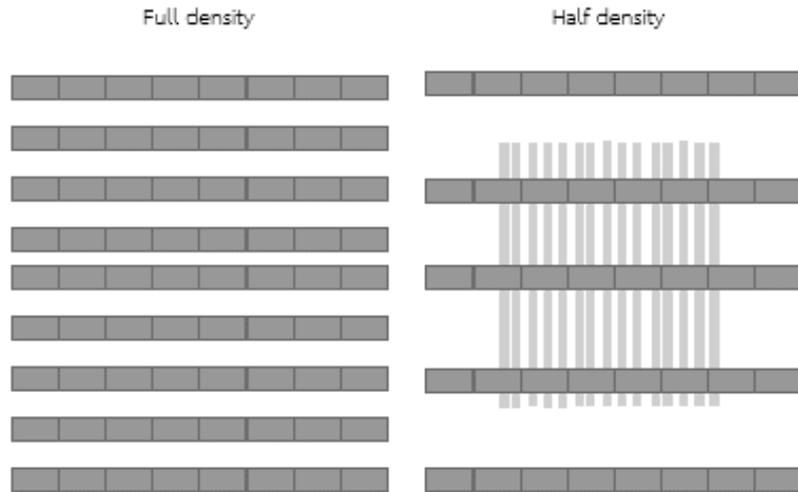
อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การเพาะปลูกพืชมีประสิทธิภาพ ควรเลือกพืชที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ มารู และคนอื่น ๆ (Marrou et al., 2013) การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกพืช โดยการปลูกพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผงความถี่ร้อยละ 50 และร้อยละ 100 ผลผลิตรวมของผักกาดหอมที่ปลูกภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับที่ปลูกภายใต้แสงแดดปกติ นอกจากนั้นยังพบว่า จำนวนใบของพืชลดลงแต่พื้นที่ใบเพิ่มขึ้น

การประเมินการออกแบบและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชจะทำการประเมินด้านระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับพื้นดิน นอกจากนี้ยังวิเคราะห์การวางแผน และตำแหน่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงเรือนปลูกพืช อีแวนส์ และคนอื่น ๆ (Evans et al., 2022) การติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาโรงเรือนปลูกพืช ซึ่งเป็นรูปแบบของการผลิตที่นำไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อควบคุมความชื้นของแสงแดด อุณหภูมิ และความชื้นในโรงเรือนปลูกพืช ซึ่งในการศึกษาของ โคลันโทนี่ (Colantoni et al., 2018) ที่ศึกษาผลกระทบของการกระจายรังสีแสงอาทิตย์ในโรงเรือนปลูกพืชต่อการเจริญเติบโตของไอบีเรียสและพิทูเนีย โดยมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ 20 ของพื้นที่บนหลังคาของโรงเรือน ผลการศึกษา พบว่า อัตราการเติบโตของพืชทั้งสองชนิดที่ปลูกในโรงเรือนและแปลงควบคุมไม่มีความแตกต่างทางสถิติ เมื่อเทียบกับโรงเรือนแบบไม่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ แม้ว่าความชื้นรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลง

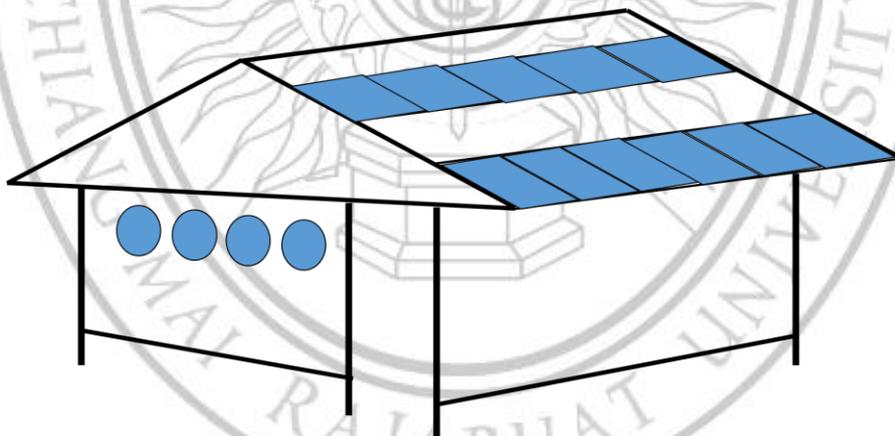
นอกจากนี้ อโรกา – เดลกาโด (Aroca – Delgado et al., 2019) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของร่มเงาจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบยึดหยุ่นที่ติดตั้งบนหลังคา โดยศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ผลผลิต และคุณภาพของมะเขือเทศ เปรียบเทียบการปลูกพีชระหว่างโรงเรือนที่ปกคลุมด้วย ลัทธิสัณฐานวิทยา ประกอบด้วย ความสูงต้น จำนวนใบ จำนวนปล้อง ความยาวปล้อง เส้นผ่านศูนย์กลางต้น จำนวนผล ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนผลผลิตที่อายุ 193 วัน พบว่า มะเขือเทศที่ปลูกในโรงเรือนที่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแปลงควบคุมให้ผลผลิต ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และคุณภาพของผลมะเขือเทศด้านของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Soluble Solid : TSS) ซึ่งเป็นผลรวมของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์ พบว่า มะเขือเทศที่ปลูกในโรงเรือนที่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่า TSS มากกว่าแปลงควบคุม 0.3 บริกซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เอซซาอี และคนอื่น ๆ (Ezzaeri et al., 2018) ที่ได้ศึกษาผลกระทบของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ 10 ของพื้นที่หลังคาโรงเรือนต่อสภาพอากาศและผลผลิตของมะเขือเทศที่ปลูกในโรงเรือน พบว่า การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางต้น และจำนวนผลต่อต้น ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ส่วนผลผลิต พบว่าการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกในโรงเรือนที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแปลงควบคุม ให้ผลผลิตเฉลี่ย 260 และ 245 กิโลกรัม ตามลำดับ

คอสซู (Cossu et al., 2014) ได้ทำการศึกษาการกระจายรังสีของดวงอาทิตย์ ความแปรปรวนของอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงเรือน โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ 50 ของพื้นที่บนหลังคาโรงเรือน ขนาด 68 กิโลวัตต์สูงสุด (kWp) พบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงเรือน ทำให้โรงเรือนมีรังสีดวงอาทิตย์ลดลงร้อยละ 64 ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์บริเวณผนังโรงเรือนจะสูงและค่อย ๆ ลดลงเมื่อถึงจุดศูนย์กลาง ยกเว้น ในฤดูหนาวที่มีความคล้ายคลึงกันทุกแถวของพีช การศึกษาการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์มีประโยชน์สำหรับการเลือกพีชที่เหมาะสมที่สุดและสำหรับการออกแบบโรงเรือนที่มีการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์และการผลิตพีช และทริปานากโนสโตปูลอส และคนอื่น ๆ (Trypanagnostopoulos et al., 2017) ได้ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูก พร้อมติดตามการเจริญเติบโตของพีช และการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า การเจริญเติบโตของพีชผักที่ปลูกในโรงเรือนที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เทียบเท่ากับพีชผักที่ปลูกในโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตให้กำลังไฟฟ้าประมาณ 50.83 กิโลวัตต์ – ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh/m²) นอกจากนี้ยังพบว่า การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงเรือนเพาะปลูกแบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าการติดตั้งแบบคงที่ และส่งผลทำให้

ได้กระแสไฟฟ้าที่เพียงพอต่อความต้องการเพื่อใช้สำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมภายใน
โรงเรียนเรือนปลูกพืช ดังภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.17 : ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบเพื่อการผลิตพืช
ที่มา : คุ่มพนาลัยสถิต (Kumpanalaisatit, 2022)



ภาพที่ 2.18 : การติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาโรงเรียนผลิตพืช
ที่มา : คุ่มพนาลัยสถิต (Kumpanalaisatit, 2022)

ตารางที่ 2.1 การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงและพื้นที่ระหว่างแผงเพื่อการเกษตรของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบถาวร

ปี	รูปแบบการเกษตร	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
		การติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2015	ใต้แผง	ถาวร	หญ้า หนวดแมว	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) = ร้อยละ 15.74 และ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) = 2,068 USD แสดงให้เห็นว่าการปลูกชาชาภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ	ออธมาน และคนอื่น ๆ (Othman et al., 2015)
2016	ระหว่างแผง	ถาวร	ว่านหางจระเข้	ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ	การปลูกว่านหางจระเข้ร่วมกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ช่วยให้ชุมชนสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้ การใช้น้ำเสียจากการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการปลูกว่านหางจระเข้ยังเป็นการใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด	ราวี และคนอื่น ๆ (Ravi et al., 2016)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ปี	รูปแบบการเกษตร	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
		การติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2017	ระหว่างแผง	ถาวร	องุ่น	ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า	มูลค่าทางเศรษฐกิจของโรงเรือนที่ติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นมากกว่า 15 เท่าเมื่อเทียบกับการทำโรงเรือนทั่วไป	มาลู และคนอื่น ๆ (Malu et al., 2017)
2017	ใต้แผง	บนผิวน้ำ	ปลา	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนผิวน้ำ	การเลี้ยงปลาร่วมกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนผิวน้ำสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตของปลาและประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 30 ซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของอุณหภูมิใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากน้ำระเหยออกจากสระน้ำ	พริงเกิล (Pringle et al., 2017)
2020	ใต้แผงและระหว่างแผง	ถาวร	แกะ	การผลิตไฟฟ้า, การปล่อยก๊าซ CO ₂	ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เพาะเลี้ยงแกะสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 5.2 กิโลวัตต์ชั่วโมงและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ได้ 2.8 ตัน/ปี ซึ่งแสดง	ไมอา (Maia, et al., 2020)

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ปี	รูปแบบ การเกษตร	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการ ทดลอง	อ้างอิง
		การ ติดตั้ง แผง	ชนิดของ พืช/สัตว์	ตัวแปร		
					ให้เห็นถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจในระยะยาว แม้จะไม่มีการขายแกะภายในหนึ่งปี แต่สามารถลดต้นทุนของเกษตรกร	

ตารางที่ 2.2 การศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2010	-	-	การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการเกษตร	พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ในการเกษตรได้หลายวิธี ช่วยลดมลพิษทางอากาศ ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มการพึ่งพาตนเอง นอกจากนี้ยังสามารถใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในพื้นที่เกษตรกรรม การแปรรูปผลผลิตโรงเรือน หรืออาคารปศุสัตว์	เป็ง และคนอื่น ๆ (Peng et al., 2017)
2012	ถาวร	ผักสลัด	การศึกษาเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อการปลูกพืช	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิม โดยติดตั้งแผงให้หันไปทางทิศใต้ ซึ่งทำให้เกิดเงาตลอดทั้งวัน ดังนั้น จึงไม่เหมาะที่จะปลูกพืช เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ควรติดตั้งแผงให้หันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้หรือทิศตะวันตกเฉียงใต้	เบ็ค และคนอื่น ๆ (Beck et al., 2012)
2012	โรงเรือน	หัวหอม	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ 12 ของพื้นที่บนหลังคาโรงเรือน	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สลับกันแบบพื้นปลา ร้อยละ 12 ของพื้นที่บนหลังคาโรงเรือน จะช่วยให้รังสีดวงอาทิตย์ส่องถึงพื้นที่ได้อย่างสม่ำเสมอ ดังนั้น น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของหัวหอมจึงสูงกว่าโรงเรือนที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบแถวเดียว	คาโดวากิ และคนอื่น ๆ (Kadowaki et al., 2012)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2013	ถาวร	ผักกาดหอม แตงกวา และ ข้าวสาลี	การติดตั้งแผงให้มีความ หนาแน่นร้อยละ 100 การติดตั้งแผงให้มีความ หนาแน่นร้อยละ 50 การปลูกพืชในสภาพ แสงปกติ	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความหนาแน่นร้อยละ 50 ของระบบทั่วไป ส่งผลให้อัตราการเติบโตของพืชเท่ากับแปลงปลูกพืชที่มีแสงปกติ เนื่องจากต้นไม้ได้แสงได้รับแสงเพียงพอ จึงไม่กระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต	มารู และคนอื่น ๆ (Marrou, et al., 2013a)
2013	Fixed	ผักกาดหอม	การติดตั้งแผงให้มีความ หนาแน่นร้อยละ 100 การติดตั้งแผงให้มีความ หนาแน่นร้อยละ 50 การปลูกพืชในสภาพ แสงปกติ	ผลผลิตรวมของผักกาดหอมเท่ากับการปลูกที่ในพื้นที่ที่ได้รับแสงปกติ เนื่องจากมีปริมาณแสงเพียงพอ จึงทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชและผลผลิตไม่แตกต่างกัน	มารู และคนอื่น ๆ (Marrou, et al., 2013b)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2013	ถาวร	โคเนื้อ	การจำลอง	ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าที่เหมาะสมของฟาร์มโคเนื้อมีการผลิต 50 กิโลวัตต์ เนื่องจากมีต้นทุนสุทธิปัจจุบันที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ ระบบยังใช้พลังงานแสงอาทิตย์และไฟฟ้าในอัตราร้อยละ 58 และ 42 ตามลำดับ	มัมเมอร์ และคนอื่น ๆ (Maammeur et al, 2013)
2014	โรงเรือน	มะเขือเทศ	ติดตั้งแผงเซลล์ ร้อยละ 50 ของพื้นที่หลังคาโรงเรือน	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ 50 ของหลังคาโรงเรือนช่วยลดครึ่งสี่ดวงอาทิตย์ได้ร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับ โรงเรือนที่ไม่มีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และส่งผลให้ผลผลิตพืชลดลง	คอสซู และคนอื่น ๆ (Cossu et al., 2014)
2016	-	-	การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรือนปลูกพืช	พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ในโรงเรือนเพื่อการทำ ความเย็น ความร้อน แสงสว่าง และการชลประทาน ดังนั้น การควบคุมพลังงานหมุนเวียนสำหรับการผลิตอาหารในโรงเรือนทางการเกษตร จึงเป็นความท้าทายที่สำคัญที่สุดของมนุษยชาติในปัจจุบัน และจำเป็นต้องมีการทดลองและการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้เพื่อสนับสนุนโรงเรือนทางการเกษตรให้มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์	ฮัสซานิเยน และคนอื่น ๆ (Hassanien et al., 2016)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2016	ถาวร และติดตามดวงอาทิตย์	ผักกาดหอม	การติดตั้งแผงให้มี ความหนาแน่น ร้อยละ 100 การติดตั้งแผงให้มี ความหนาแน่น ร้อยละ 50 การปลูกพืชใน สภาพแสงปกติ การติดตั้งแผงให้มี ความหนาแน่น ร้อยละ 50 พร้อมระบบติดตาม ดวงอาทิตย์	นำหนักแห้งของพืชที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ น้อยกว่าพืชที่ได้รับแสงปกติ 1 กรัม โดยมีค่าประสิทธิภาพ การใช้ประโยชน์ที่ดิน (LER) เท่ากับ 1.67 แสดงให้เห็นว่าการใช้ที่ดินสามารถเพิ่มมูลค่าได้ร้อยละ 67	วัลเด่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2016)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2017	โรงเรือน	-	ชนิดของโรงเรือนปลูกพืช	โรงเรือนที่มีการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มผลตอบแทนต่อปีได้ร้อยละ 9 – 20 เมื่อเทียบกับโรงเรือนทั่วไป และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 4 – 8 ปี เนื่องจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำไฟฟ้าใช้ในโรงเรือนและสามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร	ลี และคนอื่น ๆ (Li et al., 2017)
2017	ถาวร	-	ความเข้มแสงในพื้นที่ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์	การเลือกพืชสำหรับเพาะปลูกระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเลือกตามความต้องการแสงและความสูงของต้นที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อกำหนดด้านความเข้มแสง	ซานตรา และคนอื่น ๆ (Santra et al., 2017)
2017	-	-	-	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช มีศักยภาพในการลดความขัดแย้งในการใช้ที่ดิน เพิ่มผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจให้กับเกษตรกร และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการวิจัยทางทฤษฎี	ซุ (Xue, 2017)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
				และภาคปฏิบัติเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์	
2018	โรงเรือน	ดอกไอบีริส และ พิทูเนีย	ติดตั้งแผงเซลล์ ร้อยละ 20 ของพื้นที่หลังคาโรงเรือน และระบบติดตามดวงอาทิตย์	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่บนหลังคาโรงเรือน ร้อยละ 20 ของพื้นที่ จะช่วยลดความชื้นของรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับการเพาะปลูก แต่แสงก็ยังเพียงพอสำหรับพืช จึงทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นและดอกของดอกไอบีริส และพิทูเนียเจริญเติบโตในอัตราที่เท่ากัน	โคลันโทนี และคนอื่น ๆ (Colantoni et al., 2018)
2018	โรงเรือน	มะเขือเทศ	ติดตั้งแผงเซลล์ ร้อยละ 10 ของพื้นที่หลังคาโรงเรือน	การเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นและผลผลิตต่อต้นเท่ากัน ผลผลิตภายใต้โรงเรือนที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	เอซซาอี และคนอื่น ๆ (Ezzaeri et al., 2018)
2018	โรงเรือน	มะเขือเทศ	ติดตั้งแผงเซลล์บนหลังคาโรงเรือน	โรงเรือนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยลงร้อยละ 37	ลีออน และอิชิฮาระ (Leon & Ishihara, 2018)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2018	โรงเรือน	มะเขือเทศ	ติดตั้งแผงเซลล์ ร้อยละ 10 ของพื้นที่หลังคา โรงเรือน	การติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 10 ของพื้นที่หลังคาโรงเรือน ทำให้มีแสงเพียงพอ จึงส่งผลทำให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและผลผลิตมะเขือเทศที่ปลูกในโรงเรือนและแปลงควบคุมไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ นอกจากนี้ การเจริญเติบโตเทียบเท่ากับโรงเรือนที่ไม่มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	อโรกา – เดลกาโด และคนอื่น ๆ (Aroca – Delgado et al., 2018)
2019	-	-	-	ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตร่วมกับร่วมกับการปลูกข้าว ข้าวโพด ถั่วเหลือง งา พืชผัก มันสำปะหลัง ปศุสัตว์ เพาะเลี้ยงปลา และกุ้ง และไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถขายให้กับเมืองใกล้เคียงได้ ระบบดังกล่าวช่วยลดความขัดแย้งในการใช้ที่ดิน เพิ่มรายได้ของเกษตรกร และลดการปล่อย CO ₂ ได้ถึง 8 – 13 ตัน/ปี	โบรห์ม และคานห์ (Brohm & Khanh, 2019)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2019	โรงเรือน	-	รังสีดวงอาทิตย์	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงเรือน ทำให้ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ลดลง อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตของพืชไม่ได้รับผลกระทบ เนื่องจากความเข้มแสงที่สูงที่สุดไม่ได้ช่วยให้พืชมีการสังเคราะห์ด้วยแสงที่ดีที่สุด	ยาโนะ และคอสซู (Yano & Cossu, 2019)
2019	โรงเรือน	-	แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกึ่งโปร่งแสง ทำให้แสงส่องถึงพื้นได้มากขึ้น ดังนั้น แผงประเภทนี้จึงเป็นตัวเลือกที่เป็นไปได้สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการผลิตพืช	เปเรตซ์ และคนอื่น ๆ (Peretz et al., 2019)
2019	ถาวร	ข้าวโพด	การติดตั้งแผงให้หนาแน่นต่างกัน	การปลูกข้าวโพดใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งแผงให้หนาแน่นร้อยละ 40 ของระบบทั่วไป ส่งผลทำให้ผลผลิตข้าวโพดสูงกว่าร้อยละ 5.6	เซกิยามะ และนางาชิมะ (Sekiyama & Nagashima, 2019)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2019	ถาวร	-	ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์	ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชมีอิทธิพลต่อคนในท้องถิ่นที่สนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความมั่นคงด้านพลังงานและอาหาร	ไอรี และคนอื่น ๆ (Irie et al., 2019)
2019	ติดตามดวง		การศึกษาเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพมากกว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหันไปทางทิศใต้ นอกจากนี้ยังผลิตไฟฟ้าในปริมาณสูงสุดโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการผลิตของพืช	เพอร์นา และคนอื่น ๆ (Perna et al., 2019)
2019	ถาวร	-	-	การทำการเกษตรกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นนวัตกรรมที่สามารถสร้างความเชื่อมโยงระหว่างน้ำ-พลังงาน-อาหาร โดยสนับสนุนให้เกษตรกรใช้ไฟฟ้าน้อยลง และจำหน่ายไฟฟ้าส่วนเกินเพื่อเสริมรายได้	อัล – ไชดี และลาห์ฮัม และคนอื่น ๆ (Al – Saidi & Lahham, 2019)
2019	ถาวร	-	ทิศการติดตั้งแผงและผลผลิตพืช	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความหนาแน่นลดลงทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าไม่แตกต่างจากระบบปกติ นอกจากนี้ยังส่งผลทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น	ริอาช และคนอื่น ๆ (Riaz et al., 2021)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2019	ถาวร	-	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชสามารถเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ร้อยละ 30	มาวานี และคนอื่น ๆ (Mavani et al., 2019)
2020	ถาวร และการติดตามดวงอาทิตย์	ผักกาดหอม	การติดตามดวงอาทิตย์	การออกแบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของพืช คือ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อยละ 50 ของพื้นที่ที่ได้รับแสงของพืช เนื่องจากต้นไม้ได้รับแสงสว่างเพียงพอ และมูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้น	ดอส ซานโตส (Dos Santos, 2020)
2020	ถาวร	มะเขือเทศ	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิม และการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	ผลตอบแทนของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตมะเขือเทศเพิ่มขึ้นร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิม	ชินเดเล่ และคนอื่น ๆ (Schindele et al., 2020)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2022	Fixed	-	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเดิม และการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบดั้งเดิมปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases : GHG) มากกว่าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร ใช้น้ำน้อยลงร้อยละ 14 – 29	อ็อต และคนอื่น ๆ (Ott et al., 2022)
2020	ถาวร	อุณหภูมิ	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตอุณหภูมิ ไม่มีผลกระทบต่อการใช้ปุ๋ยหรือปริมาณธาตุอาหารของอุณหภูมิ	โช และคนอื่น ๆ (Cho et al., 2020)
2021	ถาวร	ผักกาดหอม	การใช้แสงในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร	การใช้แสงช่วยในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตผักกาดหอม ทำให้ผลผลิตและคุณภาพผลผลิตใกล้เคียงกับผักกาดหอมที่ปลูกในสภาพแสงปกติ รวมทั้งมีค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สูง (ค่าเฉลี่ย 1.64)	เจิ้ง และคนอื่น ๆ (Zheng et al., 2021)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

ปี	การทดลอง			ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	อ้างอิง
	รูปแบบการติดตั้งแผง	ชนิดของพืช/สัตว์	ตัวแปร		
2022	ติดตั้งแบบถาวร และโรงเรือน	-	ชนิดแสงเซลล์แสงอาทิตย์	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทคริสตัลไลน์ซิลิกอนนิยมใช้ในระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการเกษตรเนื่องจากต้นทุนต่ำ เสถียรภาพสูง และประสิทธิภาพสูง	กอร์เจียน และคนอื่น ๆ (Gorjian et al., 2022)
2022	ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ป่าลุ่มน้ำมัน	ระบบติดตามดวงอาทิตย์	การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีช่องว่างระหว่างที่เหมาะสม ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่บังแสงของพืช และทำให้มูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 28.9 เป็นร้อยละ 47.2	เดอ ลา ตอร์เร และคนอื่น ๆ (de la Torre et al., 2022)
2022	ถาวร	ขมิ้น	ประสิทธิภาพของระบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรที่มีการออกแบที่แตกต่างกัน	ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรขนาดกำลังติดตั้ง 6 กิโลวัตต์ (kWp) ส่งผลให้มีรายได้เฉลี่ยต่อปี 2308.9 ดอลลาร์สหรัฐ (USD) มูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LER) เท่ากับ 1.42 และระยะเวลาคืนทุน 7.6 ปี	คีรีและ โมฮันตี และคนอื่น ๆ (Giri & Mohanty, 2022)

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการเกษตร

การลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เพิ่มขึ้น รอย และ โภช (Roy & Ghosh, 2017) ซึ่งมีวิธีการที่หลากหลาย เช่น เคลือบด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยอลูมิเนียมออกไซด์และแทนทาลัมเพนทอกไซด์ ราชวิกรัม และลีโอพรราช (Rajvikram & Leophonraj, 2018) ลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำแข็ง เป็ง และคนอื่นๆ (Peng et al., 2017) และลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยน้ำดีผาง และสุพรรณ (Deephang & Suphan, 2018) วิธีการดังกล่าวมีศักยภาพในการลดอุณหภูมิแผงลงได้ 2.9 – 5 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ร้อยละ 14 – 47 แต่วิธีการดังกล่าวไม่สามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ ซึ่งระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช ควรเป็นระบบที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยใช้ความชื้นในการเกษตร การระเหยจากกิจกรรมทางการเกษตร และการคายน้ำของพืช เต็ง และคนอื่นๆ (Teng et al., 2022) ได้ทำการจำลองสภาพอากาศโดยใช้การจำลองแบบ ENVI – met และระบุช่วงเวลาระหว่าง 08.00 – 18.00 น. พบว่า อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแปลงที่มีปลูกพืชต่ำกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการปลูก โดยวันที่มีแดดและวันที่มีเมฆมากสามารถลดอุณหภูมิ 2.83 องศาเซลเซียส และ 0.71 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และในการทดลองในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kW) ในวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชียของ คัมพานาลัยสลิต และคนอื่นๆ (Kumpanalaisatit et al., 2022) พบว่า การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิแผงได้ 0.18 องศาเซลเซียส ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.09

ผลผลิตพืชที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

ผลผลิตพืชที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชต่ำกว่าระบบที่มีแสงปกตริ้อยละ 3.98 – 91.30 เนื่องจากพืชได้รับผลกระทบจากร่มเงา ส่งผลต่อปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์โดยตรง ทำให้ผลผลิตพืชลดลง เซกียามา และนางาชิมะ (Sekiyama & Nagashima, 2019; ทาฮีร์ และ บัตต์ (Tahir & Butt, 2022; มูน และ กู (Moon & Ku, 2022) ดังนั้น การลดจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ทำให้ปริมาณความเข้มของแสงสำหรับพืชเพิ่มขึ้น แต่การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลง เจียง และคนอื่นๆ (Jiang et al., 2022) และ ชอย และคนอื่นๆ (Choi et al., 2021) พบว่า ผลผลิตพืชผลยังต่ำกว่าการปลูกในสภาพที่มีแสงปกติ ซึ่งการติดตั้ง

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ สามารถใช้แก้ปัญหานี้ได้ Kirimura และคนอื่น ๆ (Kirimura et al., 2022) พบว่า แม้ว่าจะใช้ระบบติดตามแผงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มแสงสว่างได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ก็ทำให้ผลผลิตต่ำกว่าสภาพแสงปกติ ส่วนอัตราการเติบโตของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ระบบติดตั้งแบบคงที่ และระบบควบคุมไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าผลผลิตของพืชที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชและการเกษตรทั่วไปจะต่างกัน แต่การศึกษาของ มูน และกู (Moon & Ku, 2022) พบว่า คุณภาพของผลผลิตไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งในทางตรงกันข้าม ทริปานากโนสโตปูลอส (Trypanagnostopoulos et al., 2017) แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเรือนปลูกพืช ทำให้ผลผลิตของพืชสูงกว่าการปลูกแบบแสงปกติประมาณร้อยละ 6.88 เนื่องจากการบังแดดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้มีสภาพอากาศที่เย็นกว่าการปลูกแบบแสงปกติ

ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

การใช้ที่ดินสำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือการผลิตพืชอย่างใดหนึ่ง ทำให้ผู้ประกอบการหรือเกษตรกรและรายได้ทางเดียว ดังนั้น จึงจำเป็นต้องการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า ซึ่งวิธีการนี้อาจลดความขัดแย้งในการผลิตระหว่างภาคพลังงานและภาคเกษตรกรรมในอนาคต ตามการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช โดย คีรีและโมฮันตี (Giri & Mohanty, 2022); เดอ ลา ตอร์เร และคนอื่น ๆ (de la Torre et al., 2022); มาวานี และคนอื่น ๆ (Mavani et al., 2019); วัลเล่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2016); ดูปราซ และคนอื่น ๆ (Dupraz et al., 2011) พบว่า ค่าประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินอยู่ในช่วง 1.29 – 1.73 แสดงให้เห็นว่าต้องการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชสามารถเพิ่มมูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ร้อยละ 29 ซึ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวปฏิบัติ 2 แนวทาง ได้แก่ การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่มีแผนการทำการเกษตร และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการวางแผนเพื่อผลิตไฟฟ้าร่วมกับการเกษตร การปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทำได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และในโรงเรือนเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนั้นสามารถเลี้ยงสัตว์ปล่อยให้สัตว์เดินและกินหญ้ารอบ ๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น แกะ แพะ และวัว รวมทั้งยังสามารถเลี้ยงสัตว์ปีกในโรงเรือนที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีการขุดบ่อเพื่อเลี้ยงปลา การศึกษาเกี่ยวกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินในพื้นที่เกษตรกรรมที่ไม่มีการวางแผนล่วงหน้าด้านการเกษตรยังมีค่อนข้างน้อย

ดังนั้น การวิจัยในอนาคตจึงมุ่งเน้นไปที่ระบบเกษตรการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรที่ติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวร เพื่อให้สามารถผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้เต็มประสิทธิภาพ และสามารถสร้างรายได้เพิ่มจากผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์ที่ดินให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดปัญหาการแย่งชิงพื้นที่ภาคการเกษตร รวมทั้งปัญหาการบุกรุกป่าไม้เพิ่มมากขึ้นที่จะส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหารและทรัพยากรป่าไม้ของประเทศในอนาคต

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ตั้งแต่การงอกของเมล็ด ผ่านขบวนการและระยะการเจริญต่าง ๆ จนกระทั่งพืชนั้นตายไป มีปัจจัยที่ควบคุมการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช 2 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านพันธุกรรมและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

1. ปัจจัยด้านพันธุกรรม

ลักษณะที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วยหน่วยพันธุกรรมที่เรียกว่า ยีนส์ (Gene) ซึ่งประกอบด้วย Deoxyribonucleic Acid (DNA) และ Ribonucleic Acid (RNA) ยีนส์เป็นตัวการสำคัญในการกำหนดให้สิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการ โดยกระตุ้นให้มีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต หรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ลักษณะทางพันธุกรรมเป็นลักษณะที่ถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกได้ และการแสดงออกซึ่งต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมด้วย ปัจจัยพันธุกรรมสำหรับการปลูกพืช คือ พันธุ์พืช (สังคม เศษะวงศ์เสถียร, 2559)

2. ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยแบ่งเป็นปัจจัยที่จำเป็น ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความชื้น ลม และธาตุอาหาร เป็นต้น ส่วนปัจจัยที่ไม่จำเป็นหรือปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทางลบ ได้แก่ โรคและแมลงต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 แสง

แสงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยตรง พืชที่ได้รับแสงมากทำให้เกิดกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงมาก ทำให้อัตราการเจริญเติบโตมากขึ้น (ณัฐกิจ บัวโต และบัณฑิต ชุนสิทธิ, 2559) แต่หากพืชได้รับปริมาณแสงมากเกินไปทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงัก เนื่องจากคลอโรพิลล์ถูกทำลายอย่างรวดเร็ว จนทำให้เอนไซม์ไม่ทำงานหรือทำงานได้ไม่ดี (นรากร ศรีเลิศ และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์, 2554) นอกจากนั้นแสงยังมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของเมล็ด การออกดอก

เป็นต้น (ชนากร น้ำหอมจันทร์, 2562) ดังนั้น การปลูกพืชภายใต้แสงที่มีอย่างจำกัด จึงจำเป็นต้องมีการจำลองการปลูกพืช (Crop Simulation) ก่อนการทดลองปลูกจริง

พืชแต่ละชนิดมีความต้องการรังสีดวงอาทิตย์เพื่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจจำแนกชนิดพืชตามความต้องการปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ได้เป็น 2 ชนิด คือ พืชที่ต้องการรังสีดวงอาทิตย์มาก (Sun Plants) และพืชที่ต้องการรังสีดวงอาทิตย์น้อยกว่าหรือต้องการร่มเงามากกว่า (Shade Plants) สำหรับอิทธิพลโดยทั่วไปของรังสีดวงอาทิตย์ที่มีต่อกระบวนการต่าง ๆ ที่สำคัญของพืช คือ กระบวนการพลังงานแสง (Photo – energy Processes) กระบวนการนี้เป็นการสร้างสารประกอบคาร์โบไฮเดรต โดยการเปลี่ยนพลังงานแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (Visible Light) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.4 – 0.7 ไมครอน ให้เป็นพลังงานเคมี โดยมีน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ ซึ่งกระบวนการนี้เป็นที่รู้จักกันทั่วไปที่เรียกว่า กระบวนการปรุงอาหารหรือการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (Photosynthesis) (สังคม เศษวงค์เสถียร, 2559)

พืชสามารถจำแนกตามการตอบสนองต่อความเข้มแสงได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1) พืชในร่ม เป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ดีในที่ร่มหรือแสงรำไร พืชกลุ่มนี้ถ้านำไปปลูกในพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงสูง ใบจะไหม้และต้นชะงักการเจริญเติบโต จึงมักนิยมปลูกไว้ในร่มเพื่อประดับอาคารสถานที่ หรือใช้คลุมโคนต้นไม้ใหญ่ (ปาณิตา อ่อนแสง, 2555) เช่น ตระกูลเฟิร์น สาวน้อยประแป้ง บอนสี เป็นต้น

2) พืชกลางแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มของแสงลงแล้ว เช่น ผักกาดหอม พริก เผือก เป็นต้น พืชกลุ่มนี้นิยมปลูกในที่ร่มที่มีแสงแดดรำไร

3) พืชกลางแจ้ง ต้นไม้ที่ปลูกในพื้นที่โล่งไม่มีร่มเงาปกคลุม ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี (จักรพันธ์ อักกพันธ์านนท์, 2529) เช่น ข้าว ข้าวโพด กุหลาบ ดาวเรือง เป็นต้น มีการเจริญเติบโตได้ดี ในที่กลางแจ้งซึ่งเป็นพืชที่ปลูกอยู่ทั่วไป

สำหรับพืชผักเศรษฐกิจ และพืชผักสวนครัวส่วนใหญ่เป็นพืชกลางแจ้ง เช่น มะเขือยาว แตงกวา กระเจี๊ยบเขียว เป็นต้น แต่บางชนิดสามารถเจริญเติบโตในสภาพที่มีแสงน้อยหรือแสงแดดรำไรได้ เช่น ผักกาดหอม ต้นหอม ผักชี พริก ขิง ข่า ไม้ดอกไม้ประดับ เป็นต้น ดังตารางที่ 2.3

พิชญ์สินี เพชรไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ (2560) ได้ศึกษาผลของความเข้มแสง และระยะเวลาที่ได้รับแสงที่มีต่อการเจริญเติบโต และคุณภาพของผักกาดหอมบัตเตอร์เฮด และเรดโอ๊ค พบว่า การปลูกผักกาดหอมบัตเตอร์เฮดใต้แสงจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ 8 หลอด เปิดนาน 16 ชั่วโมง ให้น้ำหนักสดส่วนยอด น้ำหนักแห้งส่วนยอด และปริมาณวิตามินซีสูงที่สุด

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่า การปลูกผักกาดหอมเรดโอ๊คได้แสงจากหลอดแอลอีดีให้ค่าน้ำหนักสดส่วนยอด และน้ำหนักแห้งส่วนยอดสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ให้ปริมาณวิตามินซีไม่แตกต่างทางสถิติ การปลูกได้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 8 หลอด เปิดนาน 12 และ 16 ชั่วโมง และผักกาดหอมเรดโอ๊คที่ปลูกได้แสงไฟทั้งหมดมีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

เดชพิรัชมงคล, อุบลเกิด และอยู่สุขยิ่งสถาพร (Detpiratmongkol, Ubolkerd, & Yoosukyingsataporn, 2013) ได้ศึกษาการตอบสนองของการเจริญเติบโต และผลผลิตของหนุ้าปักกิ่งต่อระดับการพรางแสงแตกต่างกัน ซึ่งมีการพรางแสงที่ร้อยละ 0, 50, 60 และ 80 ผลจากการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโต และผลผลิตของหนุ้าปักกิ่งมีค่ามากที่สุด เมื่อไม่มีการพรางแสง และมีค่าต่ำสุดเมื่อมีการพรางแสงให้กับหนุ้าปักกิ่งร้อยละ 80

ตารางที่ 2.3 ความต้องการแสงของพืช

ลำดับที่	ชนิดพืช	ความต้องการแสง ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)	อ้างอิง
1	ผักกาดหอม (Lettuce)	100 – 250	เพนนีซี (Pennisi et al., 2020)
2	ขิง (Ginger)	60 – 180	โจว กวน เว่ย และจาง (Zhou, Guan, Wei, & Zhang, 2008)
3	ข่า (Galangal)	95	กุมาร์ กุมาร์ และฟิชเชอร์ (Kumar, Kumar & Fisher, 2005)
4	หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus)	206	คุมาโนะ และอารากิ (Kumano & Araki, 2019)
5	มันเทศ (Sweet potato)	150	เหอ และฉิน (He & Qin, 2020)
6	ปวยเล้ง (Spinach)	100	เจียว และคนอื่น ๆ (Jiao et al., 2022)
7	มะเขือเทศ (Tomato)	220	คอมเพารินิ และคนอื่น ๆ (Comparini et al., 2018)
8	ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (Bok choy)	50-200	เต็ง และคนอื่น ๆ (Deng et al., 2020)
9	ผักกาดขาวปลี (Chinese Cabbage)	200	ซอน และคนอื่น ๆ (Son et al., 2018)

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

ลำดับที่	ชนิดพืช	ความต้องการแสง ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)	อ้างอิง
10	ถั่วลันเตา (Peas)	50 – 140	กง และเจิ้ง (Kong & Zheng, 2019)
11	เรดโอ๊ค (Red oak)	110 – 140	ฤทธิราม และธีระอัมพร (Rittiram & Tira – Umphon, 2019)
12	ผักเคล (Kale)	70	หลิว และคนอื่น ๆ (Liu et al., 2022)
13	Aglaonema	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
14	Dracaena	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
15	Dragon Tree	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
16	Ferns (Asplenium)	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
17	Hoya	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
18	Peace Lily (Spathiphyllum)	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
19	Peperomia	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)
20	ZZ Plant (Propagation)	20 – 40	โฟโตน (Photone, 2022)

2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของอากาศและดินเป็นผลอันเนื่องมาจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ กล่าวคือ ถ้าโลกได้รับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่มาก พื้นผิวโลกจะมีอุณหภูมิสูง ในขณะที่ผิวดินถ้าได้รับรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลงพื้นผิวโลกก็จะมีอุณหภูมิต่ำลง ดังนั้น กระบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ของพืช ตลอดจนการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ก็จะเปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิของอากาศและดินในแต่ละวัน ซึ่งมีความสำคัญต่อพืชดังนี้

2.2.1 อุณหภูมิอากาศ

การเจริญเติบโตของพืชต้องหยุดชะงักหรือสิ้นสุดลง เมื่อพืชได้รับอุณหภูมิอากาศสูง หรือต่ำเกินไป และเมื่อพืชอยู่ในระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม การเจริญเติบโตของพืชสามารถดำเนินไปอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิอากาศที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชนี้ เรียกว่า Cardinal Temperatures ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ 3 ระดับ คือ อุณหภูมิต่ำสุด (Tmin) อุณหภูมิที่เหมาะสม และอุณหภูมิสูงสุด (Tmax)

อุณหภูมิต่ำสุดเป็นอุณหภูมิที่พืชชนิดนั้นเจริญเติบโตได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นอุณหภูมิที่ทำให้พืชชนิดนั้นเติบโตได้สูงสุด และอุณหภูมิสูงสุดเป็นอุณหภูมิที่พืชชนิดนั้นสามารถดำรงชีพอยู่ได้ ดังนั้น พืชต่างชนิดกันก็จะมี Cardinal Temperature และมีการสร้างสมน้ำหนักรวมของพืชแตกต่างกันด้วย การสร้างสมน้ำหนักรวมของพืชแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสะสมรายวัน (Degree Day) ในช่วงการดำรงชีวิตของพืช และอาจใช้อุณหภูมิสะสมรายวัน เป็นดัชนีเพื่อการเก็บเกี่ยวพืชได้อีกด้วย อุณหภูมิสะสมรายวันของแต่ละวันของพืชนั้น เป็นผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยประจำวันกับอุณหภูมิต่ำสุดที่พืชชนิดนั้นดำรงชีวิตอยู่ได้ (Minimum Threshold or Base Temperature : Tbase) (จำเริญ ยืนยงสวัสดิ์, วิจิตต์ วรรณชิต, ประวิตร โสภโณคร และวิษณุสมทรัพย์, 2543)

2.2.2 อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินมีอิทธิพลต่อการงอกของเมล็ด กิจกรรมของราก การดูดน้ำธาตุอาหาร การสลายพืงของอินทรีย์สารหรืออนินทรีย์สาร ตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตในดินที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิดินนอกจากขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์แล้ว ยังพบว่าพืชหรือสิ่งอื่น ๆ ที่ปกคลุมผิวพื้นดินก็มีผลต่อระดับอุณหภูมิดินในระดับชั้นต่าง ๆ ด้วยเช่นกัน (จำเริญ ยืนยงสวัสดิ์, วิจิตต์ วรรณชิต, ประวิตร โสภโณคร และวิษณุสมทรัพย์, 2543)

อุณหภูมิของดินและของอากาศมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิเป็นตัวควบคุมกระบวนการเมตาบอลิซึมในพืช เช่น กระบวนการผลิตแป้ง กระบวนการให้พลังงานแก่พืช กระบวนการสร้างสารประกอบ และกระบวนการอื่น ๆ ในพืชแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชเกิดขึ้นได้ดีนั้น เมื่อได้รับอุณหภูมิที่พอเหมาะซึ่งโดยปกติอยู่ระหว่าง 15 – 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป กระบวนการต่าง ๆ จะเกิดได้ช้า ซึ่งมีผลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงด้วย (วิศรา ปานพรม และวิสาคร วงษ์พิมพ์, 2556)

2.3 ลม

ลมมีอิทธิพลต่อพืชในกระบวนการต่าง ๆ คือ การหายใจ การดูดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อการสังเคราะห์ด้วยแสง และการคายน้ำของพืช ซึ่งการเคลื่อนที่ของลมเข้าสู่หรือออกจากแปลงพืชไอน้ำ แก๊สต่าง ๆ และอุณหภูมิที่มีต่อกระบวนการดังกล่าวข้างต้นสามารถดำเนินไปได้รวดเร็ว การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกในบริเวณลมสงบกับบริเวณที่มีลมพัดผ่านที่ความเร็วลมประมาณ 1 – 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง พบว่า พืชที่ปลูกในบริเวณลมสงบมีการเจริญเติบโตช้ากว่า ทั้งนี้ เพราะว่าการเคลื่อนที่ของแก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และ

ปริมาณไอน้ำ มีน้อยกว่าในบริเวณที่มีลมพัด แต่ถ้าหากว่าลมมีความเร็วมากกว่า 5 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมงแล้ว การเจริญเติบโตของพืชทั้งในส่วนของลำต้น และรากพืชจะลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นการ สร้างน้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้น และรากที่มีความสัมพันธ์กับลมในระดับความเร็วต่างกัน (จำเริญ ยืนยงสวัสด์, วิจิตต์ วรรณชิต, ประวิตร โสภโณคร และวิษณุ สมทรัพย์, 2543) นอกจากนี้ ลมส่งผลทำให้การคายน้ำเร็วขึ้น และทำหน้าที่ในการถ่ายละอองเกสรและการแพร่พันธุ์ของพืชด้วย

2.4 ดิน

ดินมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งองค์ประกอบ เหล่านี้มีความสำคัญต่อการให้ธาตุอาหารผ่านทางรากพืช ส่วนที่เป็นของแข็งนับเป็นธาตุอาหาร ที่สำคัญของพืช ได้แก่ K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn และ Co ส่วนที่เป็นของเหลวเคลื่อนย้ายธาตุ อาหารในดินไปสู่รากพืช ส่วนก๊าซที่สำคัญในดิน คือ O_2 ซึ่งมีความสำคัญต่อรากพืช และกิจกรรม ของแบคทีเรีย เชื้อรา และสัตว์ในดิน องค์ประกอบใน 3 รูปแบบนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ดังนั้นควรพิจารณาคูสมบัติของดินที่มีความสำคัญต่อความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหาร ดังนี้

2.4.1 ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture)

ดินที่มีความละเอียดมีความพรุนมากกว่าดินที่มีความหยาบ ทำให้ สามารถยึดน้ำได้ดีกว่า การยึดน้ำของดินเกิดขึ้นด้วยแรง 2 ชนิด คือ แรงยึดที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาค ดินกับโมเลกุลของน้ำ และแรงยึดระหว่างโมเลกุลของน้ำ แรงทั้ง 2 ชนิดนี้ทำให้รอบ ๆ อนุภาคของ ดินยึดน้ำไว้ได้ และยังคงกุมการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องว่างของดินอีกด้วย เมื่อแรงยึดเพิ่มขึ้น ทำให้แรงยึดของน้ำลดลงและทำให้น้ำไหลซึมผ่านลงไปชั้นล่าง (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2559)

2.4.2 โครงสร้างของดิน (Soil Structure)

โครงสร้างของดินที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชต้องมี ช่องว่างในดิน (Pore Space) ถึงระดับประมาณร้อยละ 40 – 50 ของปริมาตรดิน เพราะช่องว่างเหล่านี้ จะทำให้ดินร่วนซุย สามารถอุ้มน้ำได้มาก และมีอากาศเพียงพอต่อการใช้ประโยชน์ของรากพืช (สังคม เตชะวงศ์เสถียร, 2559)

2.4.3 ค่าความเป็นกรดเบสของดิน

ระดับความเป็นกรดเบสของดินเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเป็น ประโยชน์ของธาตุอาหารพืช ดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด หรือด่างจัดทำให้ความเป็นประโยชน์ของ ธาตุอาหารพืชบางตัวลดลงมาก ดังนั้น ดินที่เหมาะสมควรมีระดับ pH ที่อยู่ใกล้ความเป็นกลาง (จำเริญ ยืนยงสวัสด์, วิจิตต์ วรรณชิต, ประวิตร โสภโณคร และวิษณุ สมทรัพย์, 2543)

ศักดิ์สิทธิ์ บุญคำ และปริยานุช จุลกะ (2557) ได้ศึกษาผลของค่าความ เป็นกรดเบส (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโต

ของผักกาดฮ่องเต้ พบว่า ความสูง และปริมาณไนเตรทของผักกาดฮ่องเต้ที่ปลูกในสารละลายที่มีค่า pH 5.5 มีค่ามากที่สุด ส่วนการทดสอบผลของค่า EC พบว่า สารละลายที่มีค่า EC 2.40 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ มีผลทำให้ความกว้างของทรงพุ่มของผักกาดฮ่องเต้มีค่ามากที่สุด คือ 32.8 เซนติเมตร และการปลูกผักกาดฮ่องเต้ในสารละลายที่มีค่า EC 3.00 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ มีผลทำให้ผักกาดฮ่องเต้มีน้ำหนักแห้ง ต้นและรากมากที่สุดที่ 88.2 กรัม และ 0.62 กรัม ตามลำดับ

การประเมินสมรรถนะของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินสมรรถนะของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการติดตามผลกระทบของระบบการผลิตพืชที่มีต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการติดตามการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์และการติดตามประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

1. การติดตามการเจริญเติบโตของพืช

การติดตามการเจริญเติบโตของพืชสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวัดความสูง การนับจำนวนใบ ขนาดของใบ การวัดเส้นรอบวง การนับวงปี การวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง การวัดมวล และการวัดมวลแห้ง การวัดมวลหรือน้ำหนักสดของพืชเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด แต่ผลที่ได้ อาจไม่ใช่การเพิ่มของชีวมวลที่แท้จริงทั้งหมด เพราะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดจากเซลล์เก็บสะสมน้ำไว้ในปริมาณมากจนเซลล์เพิ่มขนาด น้ำหนักสดพืชที่ได้จากการชั่งเป็นปริมาณที่ผันแปรได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำภายในพืช เช่น น้ำหนักสดของใบ ช่วงเช้าพืชคายน้ำน้อยกว่าช่วงบ่ายส่งผลให้น้ำหนักสดของใบพืชช่วงเช้ามักมากกว่าช่วงบ่าย ดังนั้น ในการวัดการเจริญเติบโต จึงใช้น้ำหนักแห้งของพืชแทน โดยการนำเอาพืชมาอบที่อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำที่อยู่ในพืชให้เหลือน้ำหนักแห้ง (สุรจิต ภูภักดี, 2556)

เยาพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม (2552) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์แบบสารละลายไม่หมุนเวียนที่เดิมออกซิเจน โดยใช้สารละลายที่แตกต่างกัน 4 สูตร ได้แก่ สูตร Lettuce, DTWC1, Resh Tropical Dry Summer และ Enshi จากผลการทดลอง พบว่า ผักกาดหอมพันธุ์เรดโอ๊คที่ปลูกในสารละลายสูตร Resh Tropical Dry Summer และ Enshi มีความสูงมากกว่า และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับต้นที่ปลูกในสารละลายสูตร Lettuce และ DTWC1 ซึ่งต้นที่ปลูกในสารละลาย Resh Tropical Dry Summer และ Enshi มีความสูง 14.00 และ 13.35 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ความกว้างทรงพุ่มจำนวนใบ น้ำหนักสดและแห้งของต้นและรากไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 4 สูตร

ซึ่งมีความกว้างทรงพุ่มอยู่ระหว่าง 14.54 – 15.76 เซนติเมตร มีจำนวนใบอยู่ระหว่าง 16.93 – 18 ใบ มีน้ำหนักสดต้นอยู่ระหว่าง 69.90 – 69.98 กรัม และมีน้ำหนักแห้งต้นอยู่ระหว่าง 3.33 – 3.47 กรัม

คงเอก ศิริงาม, ปรานิต จิระสุทัศน์ และวิภาภรณ์ แสงมี (2558) ได้ศึกษาการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใบพันธุ์กรีน โอ๊คที่ตอบสนองต่อวิธีการปลูกที่แตกต่างกัน โดยทำการบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใบพันธุ์กรีน โอ๊ค ได้แก่ จำนวนใบ ความสูง ความกว้าง ทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักแห้งส่วนต้น และน้ำหนักแห้งส่วนราก จากการศึกษาพบว่า วิธีการปลูก มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมใบพันธุ์กรีน โอ๊ค โดยผักกาดหอมที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารสูตร พระนคร 1 มีจำนวนใบ ความสูง ความกว้าง ทรงพุ่ม เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น น้ำหนักสดส่วนต้น น้ำหนักสดส่วนราก น้ำหนักแห้งส่วนต้น และน้ำหนักแห้งส่วนรากมากที่สุด เท่ากับ 22 ใบ 14.62 เซนติเมตร 29.10 เซนติเมตร 16.90 มิลลิเมตร 86.33 มิลลิกรัม 11.39 มิลลิกรัม 3.60 มิลลิกรัม และ 0.46 มิลลิกรัม ตามลำดับ

คงเอก ศิริงาม และนราศักดิ์ บุญมี (ม.ป.ป.) ศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์คอส จากการศึกษาพบว่า สารละลายธาตุอาหารที่แตกต่างกัน มีผลทำให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์คอสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยผักกาดหอมพันธุ์คอสที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหาร สูตรพระนคร 1 ที่อายุ 28 วันหลังย้ายปลูก มีการเจริญเติบโตมากที่สุด ซึ่งจำนวนใบของผักกาดหอมพันธุ์คอส เท่ากับ 22.89 ใบ มีความสูง 26.01 เซนติเมตร มีความกว้างทรงพุ่ม เท่ากับ 34.55 เซนติเมตร น้ำหนักสดส่วนต้นและส่วนราก เท่ากับ 99.33 และ 11.56 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักแห้งส่วนต้นและส่วนราก 3.75 และ 0.50 กรัม ตามลำดับ

2. การติดตามประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเป็นการแสดงค่าตัวเลขที่เกิดจากคำนวณประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณด้านล่างของแผง ความชื้นสัมพัทธ์ และข้อมูลด้านไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า

เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอัชรินทร์ อินทนิเวศน์ (2561) ได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 กิโลวัตต์ (kW) โดยเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้า เป็นระยะเวลา 62 วัน เพื่อวิเคราะห์หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ผลผลิตของพลังงานไฟฟ้า ค่าพลังงานที่สูญเสียภายในระบบ สมรรถนะของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และ

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการวิเคราะห์พบว่า ระบบนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยต่อวันตลอดการเก็บข้อมูลเท่ากับ 900 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) โดยในวันที่ท้องฟ้าโปร่งผลิตไฟฟ้าได้ 1,071 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) และวันที่ฟ้าครึ้มและฝนตก ระบบผลิตไฟฟ้าได้ 488 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) นอกจากนั้นยังพบว่า สมรรถนะของระบบในวันที่ฟ้าครึ้มและฝนตกมีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 85.25 แต่ในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง สมรรถนะของระบบลดลงเหลือเพียงร้อยละ 78 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ระบบมีการสูญเสียพลังงานในหนึ่งวันที่สูง จึงเป็นผลทำให้ระบบมีสมรรถนะที่ลดลงเมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น

นภัทร วัฒนเทพินทร (2551) ศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเข้าระบบ ขนาด 5 กิโลวัตต์ (kWp) ในรอบ 3 ปี (พ.ศ. 2547 – 2549) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์อ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power System Task 2 (IEA PVPS Task 2) ผลการศึกษา พบว่า ระบบมีสมรรถนะร้อยละ 73 แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพร้อยละ 6.15 และร้อยละ 81.45 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพรวมทั้งระบบ (Over All) พบว่า ระบบนี้มีประสิทธิภาพโดยรวมเท่ากับร้อยละ 5.01

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพีชภายใต้แผงเซลล์

ระบบการผลิตพีชภายใต้แผงเซลล์ได้รับการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจลงทุน และการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return : IRR) (วสุพร คิวงาม, 2558)

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพีชภายใต้แผงเซลล์ มีดังนี้

1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุน
2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน เพื่อชี้ให้เห็นว่าการลงทุนนั้นจะให้ผลประโยชน์คุ้มค่าหรือไม่
3. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม

4. อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

พีระวุฒิ ชินวรงค์สี และคนอื่น ๆ (2558) ได้ศึกษาความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคา ผลการศึกษาพบว่า เทคโนโลยีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly – Si มีความเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดสำหรับใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในปัจจุบัน นอกจากนี้ พวงทอง วัชรานุกูล, วราภรณ์ ลิงห์แก้วสืบ และสาชนที ทรัพย์มี (2561) ยังได้ศึกษาดำเนินทุนและผลตอบแทนจากการลงทุนผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์ผลตอบแทนความคุ้มค่าของโครงการระยะเวลา 25 ปี ด้วยอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 7 พบว่า โครงการดังกล่าวมีระยะเวลากินทุน 7 ปี 2 เดือน 21 วัน มูลค่าปัจจุบันของโครงการเท่ากับ 25,331,849.46 บาท อัตราผลตอบแทนโครงการลงทุนเท่ากับ ร้อยละ 13.24 แสดงให้เห็นว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ดังให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าต่อการลงทุน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสาเหตุหนึ่งของการแข่งขันพื้นที่ภาคการเกษตร และการบุกรุกป่าไม้ซึ่งส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหาร และทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ การวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะการผลิตพีซีได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าบนพื้นดินในเขตร้อน โดยใช้พื้นที่ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่เป็นสถานที่ทดลอง เริ่มจากศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมโดยใช้พื้นที่ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kW) จากนั้นดำเนินการออกแบบ ทดลอง วิเคราะห์ และประเมินผลกระบวนการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จากรูปแบบที่เหมาะสม เมื่อได้ข้อสรุปจากการดำเนินการจึงดำเนินการพัฒนาแนวทางการใช้การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 702 กิโลวัตต์ (kW) ขั้นตอนสุดท้ายการวิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพีซีภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงาน สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดลอง ประกอบด้วย การปลูกพริก การปลูกหญ้าบ่อน้ำ และชุดเปรียบเทียบกับไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยดำเนินการระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับกำลังการผลิตขนาด 25 กิโลวัตต์ (kW) ภายในวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (ศูนย์แมริม)

การทดลองดำเนินการโดยออกแบบรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3.1 ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของบ่อน้ำ

การใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปของบ่อน้ำ ดำเนินการโดยการสร้างบ่อน้ำพลาสติกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดความกว้าง ความยาว และความสูง $2.4 \times 15 \times 0.4$ เมตร แล้วเติมน้ำให้มีความสูง 30 เซนติเมตร

2. การใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของการปลูกพืช

การใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบของการปลูกพืช การดำเนินการนี้ใช้พืชศึกษา จำนวน 2 ชนิด คือ พริกและหญ้า

2.1 พริก

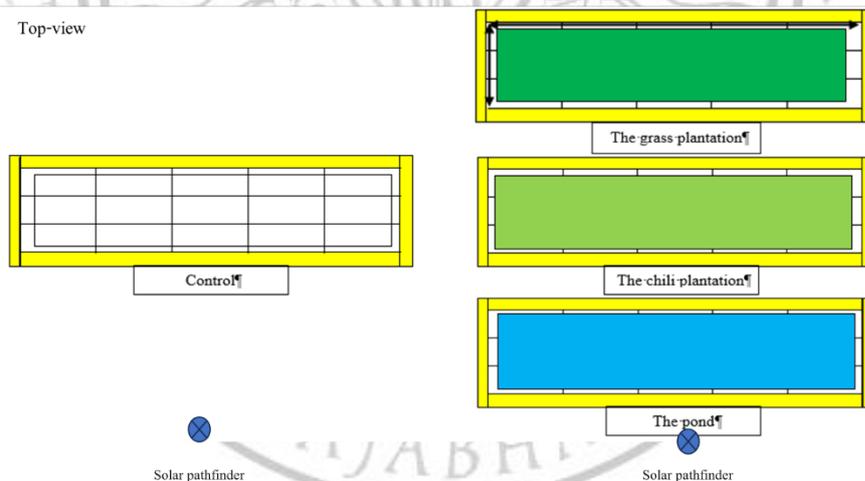
การปลูกพริกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มจากการจัดทำแปลงปลูกพริก ขนาดความกว้าง ความยาว 1.2×15 เมตร จากนั้นทำการปลูกพริก จำนวน 60 ต้น ให้น้ำวันละ 2 ครั้ง ให้ปุ๋ยอินทรีย์ ต้นละ 2.25 กิโลกรัม และกำจัดศัตรูพืชโดยวิธีกลและใช้สารชีวภัณฑ์

2.2 หญ้า

การดำเนินการเริ่มจากการเตรียมแปลงปลูกหญ้าโดยนำดินผสมกับปุ๋ยอินทรีย์ และทำการปลูกหญ้า จากนั้นให้น้ำวันละ 2 ครั้ง

3. ชุดควบคุม

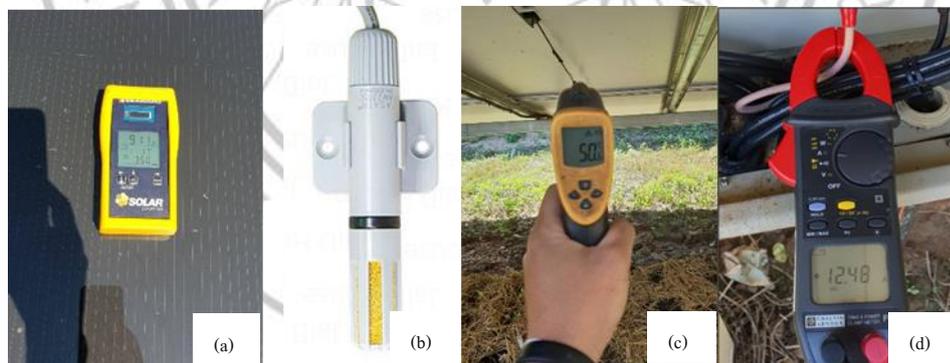
ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้รับการศึกษาการใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้เป็นชุดควบคุมสำหรับการศึกษานี้





ภาพที่ 3.1 : การออกแบบรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การติดตามและประเมินผลโดยทำการวัดรังสีดวงอาทิตย์ด้วยเครื่อง Solar Irradiance Meter ยี่ห้อ SEAWARD รุ่น SS200R (a) วัดอุณหภูมิอากาศด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิยี่ห้อ ASAIR รุ่น AM2305 ความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิ ± 0.5 องศาเซลเซียส (b) และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย VIOT IRT12A Infrared Digital Thermometer ความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิ ± 1.0 องศาเซลเซียส (c) และทำการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า เพื่อคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากสตรังที่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ และเปรียบเทียบกับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยเครื่องดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น F05 (d)



ภาพที่ 3.2 : เครื่องมือวัดสภาพแวดล้อมและการผลิตไฟฟ้า
สำหรับรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การศึกษาการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ดำเนินการที่ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับกำลังการผลิต 25 กิโลวัตต์ (kW) ภายในวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (ศูนย์แมริม) ระบบดังกล่าว ออกแบบและติดตั้งเพื่อผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประเภทเชื่อมต่อกับสายส่งการไฟฟ้า โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส กำลังติดตั้งรวม 25 กิโลวัตต์ (kW) ผลิตไฟฟ้าให้กับชุมชนสีเขียวของสถานที่ดังกล่าว ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 : ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับกำลังการผลิต 25 กิโลวัตต์ (kW) ภายในวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (ศูนย์แมริม)

2. การผลิตพืช

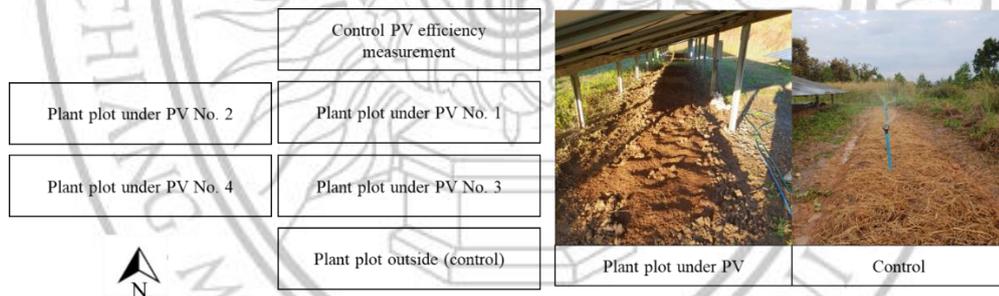
2.1 การออกแบบการทดลองและการเตรียมดินสำหรับการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบการทดลอง แบ่งเป็น การปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 4 แปลง การปลูกพืชในสภาพแสงปกติ จำนวน 1 แปลง และระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีการปลูกพืช 1 ระบบ ดังภาพที่ 3.4 ส่วนการเตรียมดินสำหรับการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

เริ่มจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และค่า pH ของดิน โดยทำการเก็บตัวอย่างโดยเดินสุ่มแบบสลับฟันปลา แล้วใช้จอบ เสียม หรือพลั่ว ขุดหลุมเป็นรูป V ให้ลึกในแนวตั้งประมาณ 15 เซนติเมตร หรือในระดับชั้น ไถพรวน สำหรับพืชล้มลุก และไม้ยืนต้นเก็บจากผิวดินลึก 30 เซนติเมตร แล้วชะเอาดินด้านหนึ่ง เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 – 3 เซนติเมตร จากปากหลุมถึงก้นหลุม ดินที่ได้นี้เป็นดินจาก 1 จุด โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินจาก 5 แปลง แปลงละ 5 จุด รวมทั้งหมด 25 จุด จากนั้นนำดินทุกจุดใส่รวมกันในถังพลาสติกหรือภาชนะที่เตรียมไว้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2555) และนำไปวิเคราะห์ดินด้วยชุดตรวจวิเคราะห์ดิน (Rapitest Soil Test Kit, USA) จากนั้นเตรียมดินโดยพลิกหน้าดิน และตากไว้ 7 วัน เพื่อทำลายเชื้อโรค และแมลงที่อยู่ใต้ดิน รวมทั้งเมล็ดวัชพืชต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อพืชปลูกในอนาคต และทำการปรับปรุงดินโดยใช้ปุ๋ยคอกจากมูลไก่ในปริมาณ 100 กิโลกรัมต่อ 1 แปลง คลุกเคล้าให้เข้ากัน รดน้ำให้ชุ่ม และหมักไว้อย่างน้อย 2 เดือน (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2551)

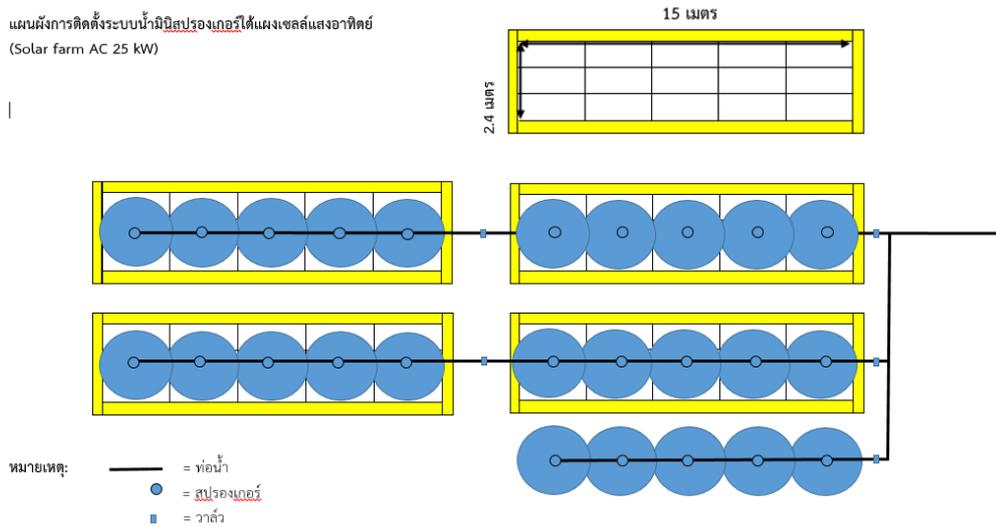
2.2 การติดตั้งระบบน้ำ

การออกแบบและวางระบบการให้น้ำ ระบบน้ำแบบสปริงเกอร์เป็นระบบน้ำติดตั้งที่นำมาใช้สำหรับการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ของการวิจัยในครั้งนี้ ระบบน้ำได้รับการติดตั้งท่อ พีวีซี ขนาด ½ นิ้ว ตามแนวยาวของแปลงปลูกพืช พร้อมติดตั้งสปริงเกอร์ทุก 3 เมตร บนแปลงปลูกพืช จำนวน 6 แปลง แปลงละ 5 จุด รวมทั้งหมด 30 จุด ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 : แผนผังการผลิตพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

แผนผังการติดตั้งระบบน้ำมินิสปริงเกอร์ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
(Solar farm AC 25 kW)



ภาพที่ 3.5: การให้น้ำของระบบการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.3 การคัดเลือกพืช

สภาพพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีความเหมาะสมต่อการผลิตพืชทั่วไป อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาพดังกล่าวสามารถปลูกพืชที่ต้องการแสงน้อยได้ ดังนั้น จากข้อมูลความต้องการแสงของพืช พบว่า ผักกาดกวางตุ้งฮ่องเต้เป็นพืชที่มีความเหมาะสมทั้งด้านการใช้แสง เนื่องจากต้องการแสงรำไรเพียง 3 – 4 ชั่วโมงต่อวัน มารี เอียนนีออตติ (Marie Iannotti, 2020) หรือปริมาณแสงที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในช่วง $50 - 200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ เต็ง และคนอื่นๆ (Deng et al., 2020) มูลค่าทางเศรษฐกิจ และการปลูก การดูแลรักษาที่ค่อนข้างง่าย นอกจากนี้ ผักกาดกวางตุ้งฮ่องเต้ยังสามารถปลูกในสภาพที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ -3 ถึง 35 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ตั้งแต่ 5.5 – 7 หลิง และหลิว (Liu & Liu, 2019) ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้ จึงเลือกผักกาดกวางตุ้งฮ่องเต้

3. การเก็บข้อมูลและการประเมินผล

3.1 การเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

การติดตามการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ โดยเก็บข้อมูลด้านความสูง ต้นจากดินถึงปลายของใบหรือยอดที่สูงที่สุด ความกว้างใบและความยาวใบโดยวัดใบที่อยู่ช่วงกลาง และวัดส่วนกว้างและยาวที่สุด และจำนวนใบ โดยเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตในช่วงอายุ 7, 14, 21, 28, 35 และ 42 วัน หลังจากย้ายปลูกต้นกล้า ผลผลิตของพืชได้รับการติดตามน้ำหนักสด และหนักแห้งของพืช จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลผลิต

พืชแต่ละแปลงแบบ Least Significant Difference (LSD) (คงเอก ศิริงาม, กุณิศรา ชีระภา และณัฐวดี ไหลหาโคตร (2557) ; คงเอก ศิริงาม, ปราณีต จิระสุทัศน์ และวิภากรณ์ แสงวงมี (2558)

$$\text{Biomass percentage} = \frac{\text{dry weight}}{\text{fresh weight}} \times 100$$

3.2 การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดำเนินการโดยวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 08.00 – 17.00 น. วัดอุณหภูมิแผง อุณหภูมิอากาศ กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า รวมทั้งการวัดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้เครื่องมือวัด ดังภาพที่ 3.2 เพื่อทำการคำนวณการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เอกเพินยง และอันยาซี (Ekpenyong & Anyasi 2013)

$$\text{Power generation (kW)} = \frac{\text{voltage (V)} \times \text{current (I)}}{1000}$$

การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

1. การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 การออกแบบและติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่จำลองแบบมาจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบถาวร โดยติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 480 วัตต์ (W) ติดตั้งบนโครงสร้างที่เอียงทำมุม 18 องศา กับพื้นโลก พร้อมกับติดตั้งภาระทางไฟฟ้าขนาด 45 วัตต์ (W) เปิดใช้งาน 10 ชั่วโมงต่อวัน

1.2 การเตรียมแปลงปลูกพืช

การเตรียมแปลงปลูกพืชสำหรับการประเมินผลผลิตของพืชที่ปลูกภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากการถางหญ้าพลิกหน้าดินและตากไว้ 7 วัน เพื่อทำลายเชื้อโรคและแมลงที่อยู่ใต้ดินรวมทั้งเมล็ดวัชพืชต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการเตรียมแปลงให้มี ขนาด 1 × 7.5 เมตร ปรับปรุงดินโดยใช้ดินปลูกสำเร็จรูปในปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 แปลง คลุกเคล้าให้เข้ากัน รดน้ำให้ชุ่ม เพื่อปลูกพืช

1.3 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูล ประกอบด้วย ความเข้มของแสงภายใต้เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องวัดสเปกตรัมและปริมาณแสง PAR-PPFD สำหรับการปลูกพืชด้วย Light Scout

Quantum Light Sensor ความคลาดเคลื่อนร้อยละ ± 5 คำนึง (Dunning, 2020) ดังภาพที่ 3.6 โดยทำการติดตั้งเครื่องมือวัดให้มีความสูงจากพื้น 30 – 50 เซนติเมตร ตามความสูงของพืช ข้อมูลถูกเก็บบันทึกทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 1 – 2 วัน เพื่อนำข้อมูลไปประกอบการคัดเลือกพืช



ภาพที่ 3.6 : เครื่องวัดสเปกตรัมและปริมาณแสง PAR-PPFD สำหรับการปลูกพืช

2. การคัดเลือกพืช

การคัดเลือกพืชดำเนินการโดยศึกษาปริมาณความต้องการแสงของพืชเพื่อคัดเลือกพืชที่มีความต้องการแสงสอดคล้องความปริมาณความเข้มแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นนำพืชนั้นมาวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis : Between Group (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552) ซึ่งเป็นการนำข้อมูลพันธุ์พืช และการจัดการเกี่ยวกับการผลิตของพืชมาจัดกลุ่มลำดับความสำคัญและคัดเลือกพืชที่มีคะแนนรวมอันดับต้น ๆ เพื่อนำไปทดลอง โดยใช้เกณฑ์ ดังนี้

2.1 ราคาผลผลิตของพืช (บาทต่อกิโลกรัม) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้มาจากการจัดกลุ่มราคาผลผลิตของพืช ดังนี้

คะแนน 1 = ราคาผลผลิตต่ำมาก

คะแนน 2 = ราคาผลผลิตต่ำ

คะแนน 3 = ราคาผลผลิตปานกลาง

คะแนน 4 = ราคาผลผลิตสูง

คะแนน 5 = ราคาผลผลิตสูงมาก

2.1 อายุการเก็บเกี่ยวของพืช (วัน) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้มาจากการจัดกลุ่มอายุการเก็บเกี่ยวของพืช ดังนี้

- คะแนน 1 = อายุการเก็บเกี่ยวยาวนานมาก
- คะแนน 2 = อายุการเก็บเกี่ยวยาว
- คะแนน 3 = อายุการเก็บเกี่ยวปานกลาง
- คะแนน 4 = อายุการเก็บเกี่ยวสั้น
- คะแนน 5 = อายุการเก็บเกี่ยวสั้นมาก

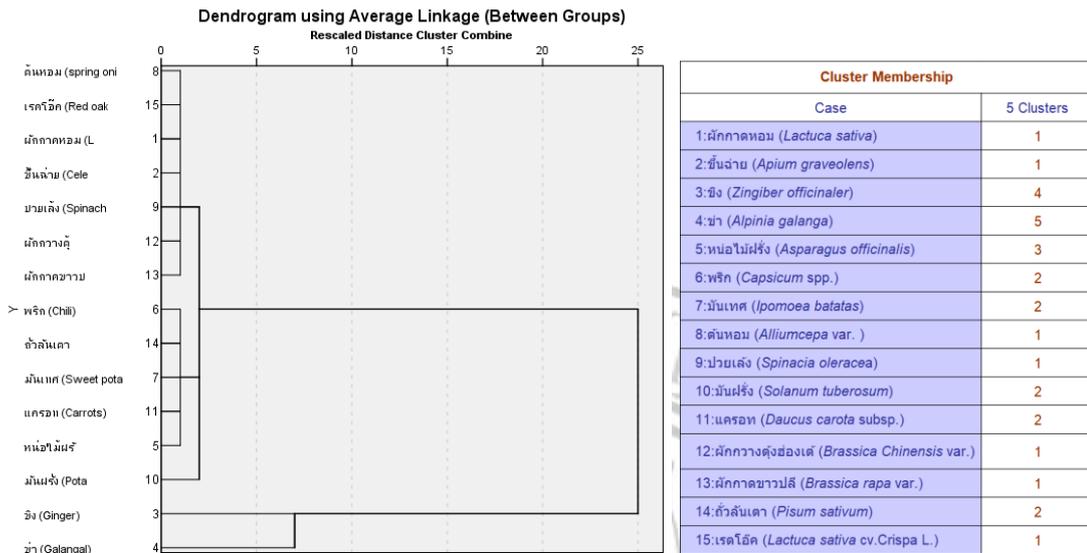
2.3 ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้มาจากการจัดกลุ่มปริมาณผลผลิตต่อไร่ ดังนี้

- คะแนน 1 = ปริมาณผลผลิตต่ำมาก
- คะแนน 2 = ปริมาณผลผลิตต่ำ
- คะแนน 3 = ปริมาณผลผลิตปานกลาง
- คะแนน 4 = ปริมาณผลผลิตสูง
- คะแนน 5 = ปริมาณผลผลิตสูงมาก

2.4 ต้นทุนการผลิต (บาทต่อไร่) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้มาจากการจัดกลุ่มต้นทุนการผลิต ต่อไร่ ดังนี้

- คะแนน 1 = ต้นทุนการผลิตสูงมาก
- คะแนน 2 = ต้นทุนการผลิตสูง
- คะแนน 3 = ต้นทุนการผลิตปานกลาง
- คะแนน 4 = ต้นทุนการผลิตต่ำ
- คะแนน 5 = ต้นทุนการผลิตต่ำมาก

การให้คะแนนเพื่อการคัดเลือกพืชจะนำคะแนนที่ได้จากการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม (Hierarchical Cluster Analysis : Between Group) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ แล้วนำผลรวมคะแนนแต่ละลักษณะ เพื่อคัดเลือกพืชที่ให้คะแนนรวมที่สูงนำไปทำการทดลอง ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 : ตัวอย่างการวิเคราะห์การจัดกลุ่มพืชจากข้อมูลอายุการเก็บเกี่ยว

3. การออกแบบและติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการออกแบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าเป็นระบบขนาดเล็กที่จำลองแบบมาจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบถาวร โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภท Poly Crystalline ขนาด 120 วัตต์ (W) จำนวน 4 แผง กำลังติดตั้งรวม 0.48 กิโลวัตต์ (kWp) ทำการติดตั้งจำนวน 2 ระบบ แบ่งเป็นระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แผง จำนวน 1 ระบบ และระบบไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า จำนวน 1 ระบบ ซึ่งทำการติดตั้งบนโครงสร้างที่เอียงทำมุม 18 องศา พร้อมกับติดตั้งพัดลมในแปลงปลูกพืช และเพื่อเป็นภาระทางไฟฟ้า (Load) สำหรับการทดสอบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วย การวัดความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ PV Reference Cell (ดังภาพที่ 3.8ก) เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Thermocouple type k ที่มีความคลาดเคลื่อน ± 1.5 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 3.8ข) โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น FX1000 (ดังภาพที่ 3.8ค) และเก็บข้อมูลด้านไฟฟ้าด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Modbus RTU Data Logger) ยี่ห้อ LEOS รุ่น DL-NET-1 ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.8 : เครื่องมือวัดอุณหภูมิและรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 3.9 : เครื่องบันทึกข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

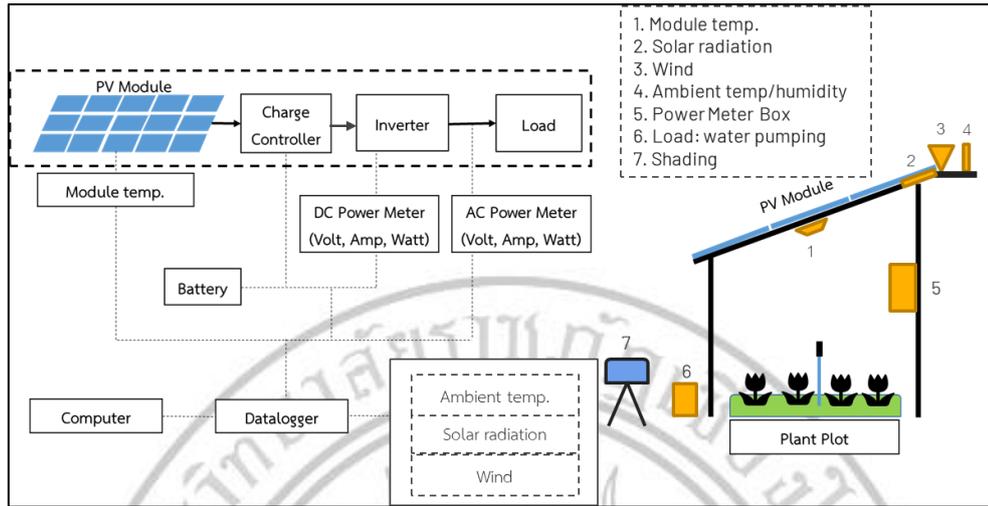
การคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้าและขนาดแบตเตอรี่ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบถาวร โดยใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นพดลขนาด 45 วัตต์ 220 โวลต์ ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนของสภาพพื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันสำหรับแปลงปลุกพืช โดยเปิดใช้งานทั้งหมด 10 ชั่วโมง (ระหว่างเวลา 07.00 – 17.00 น.) (สุรเชษฐ ย่านาวรี, 2559) (ดังภาพที่ 3.10) ดังสมการ

$$\text{Load (kWh)} = P_{\text{Load}} \times N \times \text{Time (hr)}$$

$$\text{Solar Cell} = \frac{\text{Load (kWh)}}{\text{Max Power}_{\text{PV}} (\text{Wp})}$$

$$\text{Charge Controller} = \text{Load (kWh)/V}$$

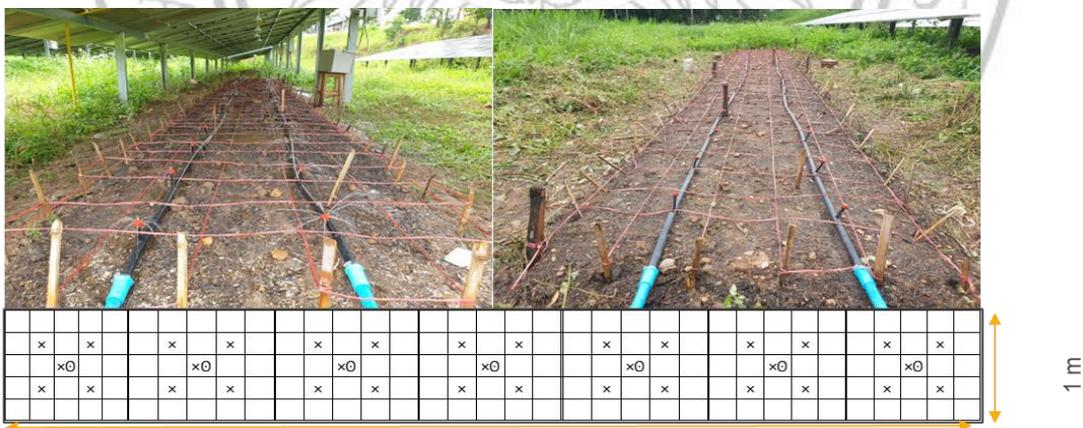
$$\text{Battery} = \frac{\text{Load (W)} \times \text{Time (hr)}}{\text{Batt}_V \times F_{\text{Batt}} \times F_{\text{Inv}}}$$



ภาพที่ 3.10 : การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4. การปลูกและการดูแลรักษาพืช

ดำเนินการปลูกพืชในแปลงขนาด 1 × 7 เมตร โดยระยะปลูก 20 × 20 เซนติเมตร จำนวนต้นรวมทั้งหมด 175 ต้นต่อแปลง ดังภาพที่ 3.11 ทำการใส่ปุ๋ยเมื่อพืชมีอายุ 7 และ 21 วัน หลังการย้ายปลูก ป้องกัน โรคแมลงศัตรูพืช โดยใช้เชื้อราไตรโคเดอร์มา ซึ่งเป็นสารชีวภัณฑ์สำหรับการป้องกันกำจัดโรคในดิน และเชื้อราบีเวอร์เรียป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืช และให้น้ำด้วยระบบมินิสปริงเกอร์ วันละ 2 ครั้ง ครั้ง 30 นาที



ภาพที่ 3.11 : การออกแบบแปลงปลูกพืชในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการเกษตร โดยด้านซ้ายเป็นแปลงทดลองปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และด้านขวาเป็นแปลงควบคุมที่ปลูกในสภาพแสงปกติ

5. การติดตามผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

5.1 การติดตามและประเมินผลผลิตของพืช

การติดตามและประเมินผลผลิตของพืช เป็นการติดตามการเจริญเติบโต ประกอบด้วย ความสูง จำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบ และทำการประเมินผลผลิต ทั้งน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง ดังหัวข้อการศึกษาการผลิตพืชใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนั้น ยังเก็บข้อมูลความเข้มของแสงภายใต้เซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยเครื่องวัดสเปกตรัมและปริมาณแสง PAR-PPFD สำหรับการปลูกพืช เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ด้วยสถานีอากาศขนาดเล็ก โดยเก็บบันทึกข้อมูลทุก 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 45 วัน หรือ ตามอายุการเก็บเกี่ยวของพืชที่ทำการทดลอง

5.2 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission : IEC 61724 (เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอัครินทร์ อินทนิเวศน์, 2561) ซึ่งมีพารามิเตอร์สำคัญสำหรับการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ส่วน ดังนี้

1) สภาพแวดล้อม

1.1) ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์

ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ได้รับการตรวจวัดด้วยเครื่อง Solar reference cell รุ่น RC01 ข้อมูลที่ได้จาก Solar Reference Cell มีการบันทึกข้อมูลโดยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Recorder) ทุก 5 นาที ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 45 วัน หรือตามอายุการเก็บเกี่ยวของพืชที่ทำการทดลอง ดริสเซ่ และไซมาน (Driesse & Zaaiman, 2015)

1.2) อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมของสภาพใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

ได้รับการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์รุ่น AM2315 I2C และความเร็วลมได้รับการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลมแบบ 3 ถ้วยอลูมิเนียมอัลลอยด์ ข้อมูลที่ได้ถูกเก็บบันทึกทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นเวลา 45 วัน หรือตามอายุการเก็บเกี่ยวของพืชที่ทำการทดลอง

1.3) อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการตรวจวัดด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Thermocouple Type K ที่มีความคลาดเคลื่อน ± 1.5 องศาเซลเซียส (ดังภาพที่ 3.8ข) ข้อมูลที่ได้ถูกจัดเก็บบันทึกข้อมูลในเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Recorder) โดยเก็บบันทึกข้อมูลของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการออกแบบและติดตั้งใหม่ (ศศิวิมล ทรงไทร และคนอื่น ๆ, 2559)

2) ไฟฟ้า

2.1) ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการออกแบบและติดตั้งใหม่ ไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับได้รับการเก็บบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้า (Ampere : A) แรงดันไฟฟ้า (Voltage : V) และกำลังไฟฟ้า (Watt : W) ที่ได้จากแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์และจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ศศิวิมล ทรงไทร และคนอื่น ๆ, 2559) ข้อมูลที่ได้นำไปใช้ประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (กาญจนศิษฐ์ เวชการ, 2560; พีระวุฒิ ชินวรรังสี และคนอื่น ๆ, 2558) ดังสมการ

$$Y_A = \frac{E_{pv(DC)}}{P_{o(installed)}}$$

$$Y_f = \frac{E_{pv(AC)}}{P_{o(installed)}}$$

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}}$$

$$L_C = Y_r - Y_f$$

$$L_S = Y_A - Y_f$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100$$

$$\eta_A = E_a / H_i A_A$$

$$\eta_{tot} = E_a / H_i A_A$$

$$E_{pv(DC)} = V_{DC} \times I_{DC} \times \text{Time}$$

$$E_{grid(AC)} = V_{AC} \times I_{AC} \times \text{Time}$$

5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตพืชกับการผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตพืชกับการผลิตไฟฟ้าเป็นการวิเคราะห์เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตของพืชแต่ละฤดูกาลกับปริมาณการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าการผลิตพืชได้แก่แสงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลง ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้รับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistic V.8)

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุน และผลประโยชน์ (Cost Benefit Analysis) เป็นการพิจารณาว่าผลประโยชน์ของโครงการต่อต้นทุนของโครงการ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความคุ้มค่าของโครงการ เพื่อช่วยในการตัดสินใจใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งใช้การประเมินต้นทุน (Costs) ทั้งต้นทุนทางตรง และต้นทุนทางอ้อม และประเมินผลประโยชน์ (Benefits) ทั้งทางตรง และผลประโยชน์ทางอ้อม แล้วนำมาวิเคราะห์โดยอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน โดยกำหนดให้ต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย ต้นทุนทั้งหมดจากการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และต้นทุนทั้งหมดจากการผลิตพืช ซึ่งต้นทุนทั้งหมดจากการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ โครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สายไฟฟ้า และค่าติดตั้งระบบ ต้นทุนทั้งหมดจากการผลิตพืช ได้แก่ ค่าเมล็ดพันธุ์หรือกล้าพันธุ์ ค่าเตรียมดิน ค่าปลูกและดูแลรักษา ค่าปุ๋ย และค่าเก็บเกี่ยวผลผลิต ส่วนผลตอบแทนประกอบด้วย มูลค่าของไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และมูลค่าของพืชที่ผลิตได้

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกำหนดระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ตามอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัตราคิดลดเท่ากับร้อยละ 7 และแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Generation) การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพืช (Plant Production) และการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิต โดยใช้ข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช ดังตารางที่ 3.1

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ มีดังนี้ (วสุพร ตีวงาม, 2558)

1. ระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) แสดงถึง จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีมีค่ารวมเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก ดังสมการ

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Cost of project}}{\text{Annual cash flow}}$$

เมื่อ Cost Of Project แทน เงินทุนเริ่มแรก
Annual Cash Flow แทน ผลตอบแทนสุทธิต่อปี

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) เป็นผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์และมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ผลการคำนวณชี้ให้เห็นถึงผลประโยชน์คุ้มค่าของการลงทุน ดังสมการ

$$\text{NPV} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

เมื่อ NPV แทน มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ
 B_t แทน ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t
 C_t แทน ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t
 t แทน ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n
 n แทน อายุโครงการมีค่าตั้งแต่ (Project life)
 r แทน อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน

3. อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) เป็นอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวมกับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ดังสมการ

$$BCR = \sum_{t=1}^n \frac{B_t (1+r)^{-t}}{C_t (1+r)^{-t}}$$

เมื่อ	B_t	แทน	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C_t	แทน	ต้นทุนของโครงการในปีที่ t
	r	แทน	อัตราคิดลด (Discount Rate)
	n	แทน	อายุของโครงการ
	t	แทน	ปีของโครงการ

4. อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน

อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) แสดงถึงอัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุน ซึ่งเป็นอัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ดังสมการ

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

เมื่อ	B_t	แทน	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	C_t	แทน	ต้นทุนของโครงการในปีที่ t
	n	แทน	อายุของโครงการ
	t	แทน	ปีของโครงการ

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

	PV	Crop	Agri-voltaic
ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7,200		7,200
ค่าแบตเตอรี่ (5 ปี)	3000		3000
ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (10 ปี)	2,000		2,000
ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ (10 ปี)	1,000		1,000
ค่าโครงสร้าง ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ	15,000		15,000
ค่าระบบน้ำ		500	500
ค่าดินปลูก (1 ปี)		2500	1250
ค่าปุ๋ย + ศัตรูพืช (1 ปี)		195	145
ค่าต้นกล้า (1 ปี)		1200	600
มูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (1 ปี)*		3,276	1,277
มูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (1 ปี)**	4,707		4,799

หมายเหตุ * มูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ผลิตได้ในระยะเวลา 1 ปี
โดยคิดจากการผลิตผักปีละ 6 ครั้ง

** มูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ในระยะเวลา 1 ปี

การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการพัฒนาแนวทางในการนำผลการทดลองการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ที่เป็นระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ โดยงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำผลการทดลองไปใช้กับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย ซึ่งมีวิธีการดำเนินงาน ดังนี้

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของดินสำหรับการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามวิธีการเก็บข้อมูลด้านสภาพอากาศด้านความเข้มแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อคัดเลือกพืชที่เหมาะสม

2. การคัดเลือกพืชโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis (Between Group) มาประกอบการคัดเลือกพืช ซึ่งเกณฑ์การคัดเลือก

ประกอบด้วย ราคาผลผลิตของพืช (บาทต่อกิโลกรัม) อายุการเก็บเกี่ยวของพืช (วัน) ปริมาณผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่) และต้นทุนการผลิต (บาทต่อไร่)

3. การประมาณการผลผลิตและประมาณการประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์

3.1 การประมาณการผลผลิตของพืช ทำการประเมินโดยอ้างอิงข้อมูลผลผลิตของพืชที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kWp) เนื่องจากความเข้มแสงได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ใกล้เคียงกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kWp)

3.2 การประมาณการประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ ทำการประเมินจากข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ในปี 2564 จำนวน 12 เดือน พร้อมทั้งประเมินมูลค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

3.2 การประมาณการมูลค่าทางเศรษฐกิจ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกผักกางต้งฮ่องเต้ เป็นนำข้อมูลต้นทุนการผลิตประกอบด้วย ค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (รวมอุปกรณ์ทั้งหมด) ค่าบำรุงรักษาระบบรายปี ค่าติดตั้งระบบน้ำ ค่าดินปลูก ค่ามูลไก่ผสมแกลบ ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช ค่าต้นกล้าและผลตอบแทน คือ มูลค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และมูลค่าผลผลิตผักกางต้งฮ่องเต้ โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR)

3.3 การประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio : LER) โดยประเมินจากมูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับมูลค่าการผลิตพืชในพื้นที่เดียวกัน หากผลการประเมินพบว่า ค่า LER มากกว่า 1 แสดงว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้ผลต่อแทนต่อพื้นที่มากกว่าการผลิตไฟฟ้า และการผลิตพืชอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังสมการ หยาง และคนอื่น ๆ (Yang et al., 2015)

$$\text{Land Equivalent Ratio (LER)} = (Y1/M1) + (Y2/M2)$$

Y1 และ Y2 คือ ผลผลิตต่อพื้นที่ของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และผลผลิตพืชที่มีการผลิตร่วมกัน

M1 และ M2 คือ ผลผลิตต่อพื้นที่ของไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และผลผลิตพืชที่มีการผลิตแยกกัน

4. การจัดทำแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการสรุปผลการประมาณการผลิต และประมาณการประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ เพื่อชี้ให้เห็นว่าการดำเนินการมีความเป็นไปได้หรือไม่ และเป็นแนวทางในขยายผลต่อไป โดยงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำผลการทดลองไปใช้กับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 : ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย

การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงานสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

ข้อมูลจากการทดลองและข้อมูลจากงานวิจัยต่าง ๆ ได้รับการวิเคราะห์ พร้อมทั้งอภิปราย เพื่อให้เห็นผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงาน สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมที่เกิดขึ้น เมื่อมีการส่งเสริมการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

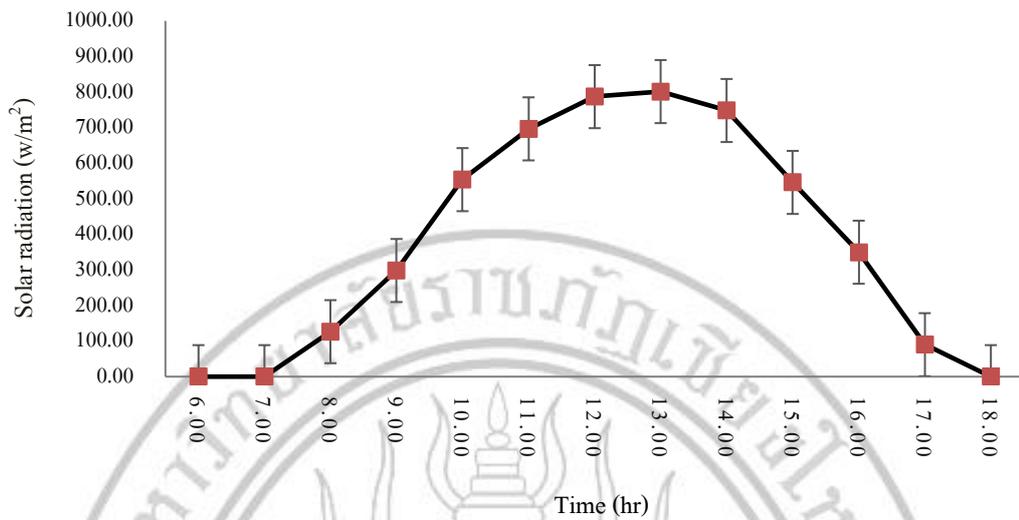
การศึกษาแนวทางการความเป็นไปได้ในการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการศึกษารูปแบบที่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ การผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการผลิตพืช การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงาน ลี้ดแอคкумуляเตอร์ เซลล์สุริยะ และสังคม

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาผลกระทบของรูปแบบการใช้ประโยชน์ต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยดำเนินการระหว่างวันที่ 1 – 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 ในพื้นที่ระบบผลิตไฟฟ้ากระแสสลับกำลังการผลิต 25 กิโลวัตต์ (kW) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย รูปแบบที่ใช้ในการศึกษาการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วย การปลูกพืช การสร้างบ่อน้ำ และการปลูกหญ้า การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ได้แสง พร้อมเก็บข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิแสงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เพื่อเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ และระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

1. ความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์

ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ได้รับการวัด ตั้งแต่เวลา 06.00 – 18.00 น. จำนวน 7 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มสูงที่สุด ที่ 801 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) ในช่วงเวลา 13.00 น. และมีค่าเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 499 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) ดังภาพที่ 4.1

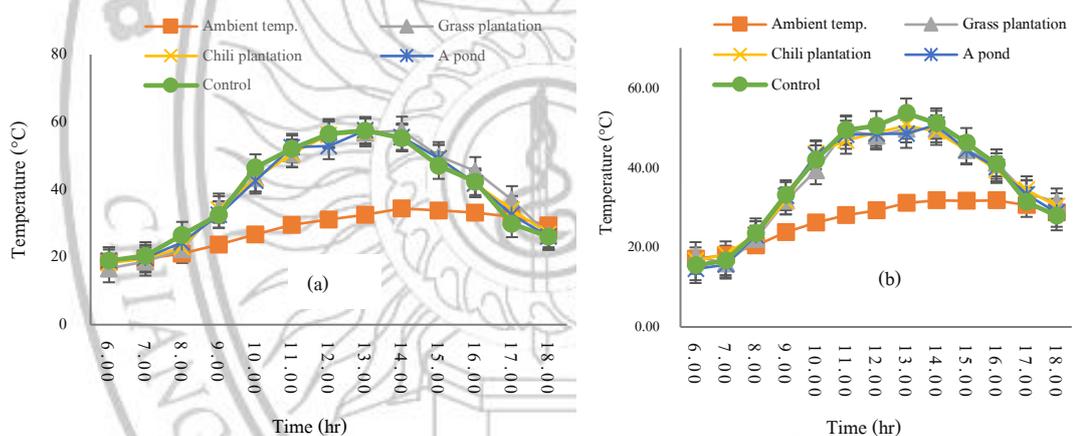


ภาพที่ 4.1 : ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4.2 เป็นข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัด ดังภาพที่ 3.2c ส่วนอุณหภูมิแวดล้อมเป็นอุณหภูมิอากาศภายนอกที่เป็นข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายชั่วโมงของอำเภอแมริม จังหวัดเชียงใหม่ อันเดอร์กราวด์ (Underground, 2019) ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิแวดล้อมก่อนการทดลอง ดังภาพที่ 4.2a (ดำเนินการเก็บในวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2562) และระหว่างการทดลองดังภาพที่ 4.2b เท่ากับ 28.23 และ 26.79 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและระหว่างการทดลอง เท่ากับ 42.62 และ 39.65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการติดตามการอุณหภูมิแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แปรผันตามตามอุณหภูมิแวดล้อม และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างการทดลอง พบว่า รูปแบบการใช้ประโยชน์ ทั้งการปลูกพริก การสร้างบ่อน้ำ และการปลูกหญ้าอาจจะส่งผลทำให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่าระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผง โดยการปลูกพริก การสร้างบ่อน้ำ การปลูกหญ้า และระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงมีอุณหภูมิเฉลี่ย เท่ากับ 39.48, 39.72, 39.26 และ 40.13 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากข้อมูลแสดงให้เห็นได้ว่า การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผง โดยการปลูกพริก การสร้างบ่อน้ำ และการปลูกหญ้า ส่งผลทำให้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 0.65, 0.41 และ 0.87 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด พบว่า เครื่องวัดอุณหภูมิ มีความคลาดเคลื่อนอุณหภูมิ ± 1.0 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงไม่สามารถยืนยันได้ว่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงในรูปแบบต่าง ๆ ส่งผลทำให้อุณหภูมิแผงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ กาญจนศิริ (2560)

ที่รายงานว่า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 36.1 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบลอยน้ำที่ความลึกของน้ำ 3 – 6, 8 – 9, 10 – 11, 12 และ 15.16 m เท่ากับ 35.9, 35.9, 35.8, 35.5 และ 35.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีความแตกต่างกัน 0.2, 0.2, 0.3, 0.6 และ 0.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังอภิปรายผลการทดลองว่า อุณหภูมิของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินสูงกว่าระบบที่ติดตั้งบนผิวน้ำ โดยอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผิวน้ำจะลดลงต่ำที่สุดที่ความลึกของน้ำมากที่สุด ซึ่งหากเปรียบเทียบข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของงานวิจัยดังกล่าวกับผลการทดลองในการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าผลต่างของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของการทดลองทั้งการใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนผิวน้ำไม่ได้ส่งผลทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามตามอุณหภูมิแวดล้อม

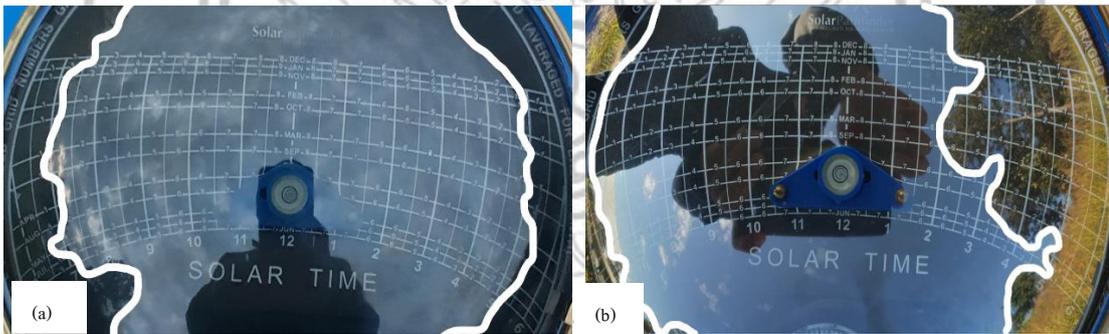


ภาพที่ 4.2 : การวัดอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ก่อนการทดลอง (a) ระหว่างการทดลอง (b)

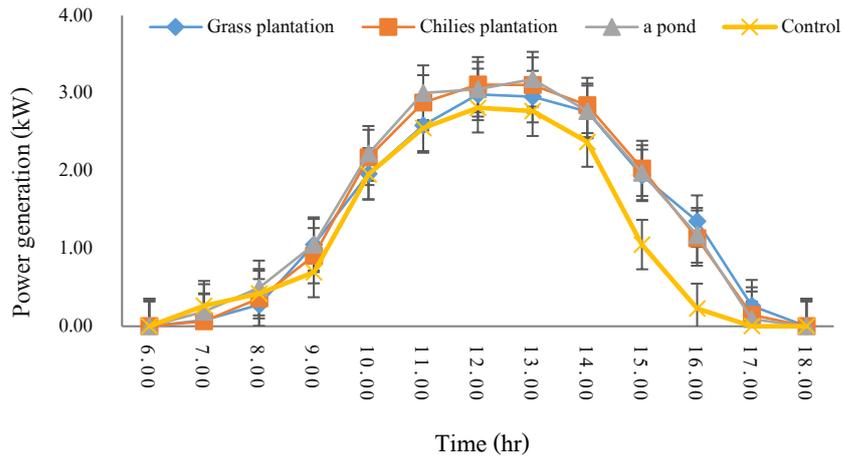
3. การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน พบว่า การผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบการสร้างบ่อน้ำให้มีปริมาณสูงที่สุด ที่ 1.6 กิโลวัตต์ (kW) รองลงมา คือ การปลูกพริกและการปลูกหญ้า มีการผลิตไฟฟ้า ปริมาณ 1.56 และ 1.52 กิโลวัตต์ (kW) ตามลำดับ

ส่วนระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงสามารถผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด เท่ากับ 1.26 กิโลวัตต์ (kW) ดังภาพที่ 4.4 จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ ส่งผลทำให้มีการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แม้อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงในรูปแบบต่าง ๆ ไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้มีความแตกต่างของการผลิตไฟฟ้าด้วยข้อมูลวัดการบดบังจากเครื่อง Solar Pathfinder ดังภาพที่ 4.3 ของพื้นที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์ แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดร้อยละ 96 ส่วนระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ (ระบบควบคุม) ได้รับแสงแดดเพียงร้อยละ 78 จึงส่งผลทำให้ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์มีการผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบที่ไม่มีการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น ถ้าระบบไฟฟ้าทั้ง 2 ระบบได้รับแสงแดดเท่ากันคาดว่าจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับ สัตยานารายานา และคนอื่น ๆ (Sathyanarayana et al., 2015) ที่ได้รายงานว่าพื้นที่ที่มีเงาบดบังจะส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 4.3 : การวัดการบดบังที่เกิดจากเงาของพื้นที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสง (a)) (ไม่ใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสง (b))



ภาพที่ 4.4 : การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

อย่างไรก็ตาม การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสรุปได้ว่า การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการทำบ่อน้ำ และการปลูกพริก มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากการทำบ่อน้ำ สามารถต่อยอดหรือใช้บ่อน้ำให้เกิดประโยชน์โดยการเลี้ยงกบ เลี้ยงปลา หรือเลี้ยงเห่นแดง เพื่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจ และสามารถเพิ่มรายได้ให้ผู้นำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้ แต่มีการลงทุนในการสร้างค่อนข้างสูง ส่วนการปลูกพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ แต่จะต้องพิจารณาถึงสายพันธุ์ของพริกที่มีความสูงที่เหมาะสมต่อความสูงของโครงสร้างระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจากการทดลองปลูกพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น สามารถสร้างผลผลิตได้ และมีการลงทุนที่ต่ำกว่า ดังนั้น การปลูกพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลสำเร็จสูง อย่างไรก็ตามการปลูกพริกอื่น ๆ ต้องคำนึงถึงพริกที่มีความต้องการความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อย

การทดสอบผลิตพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

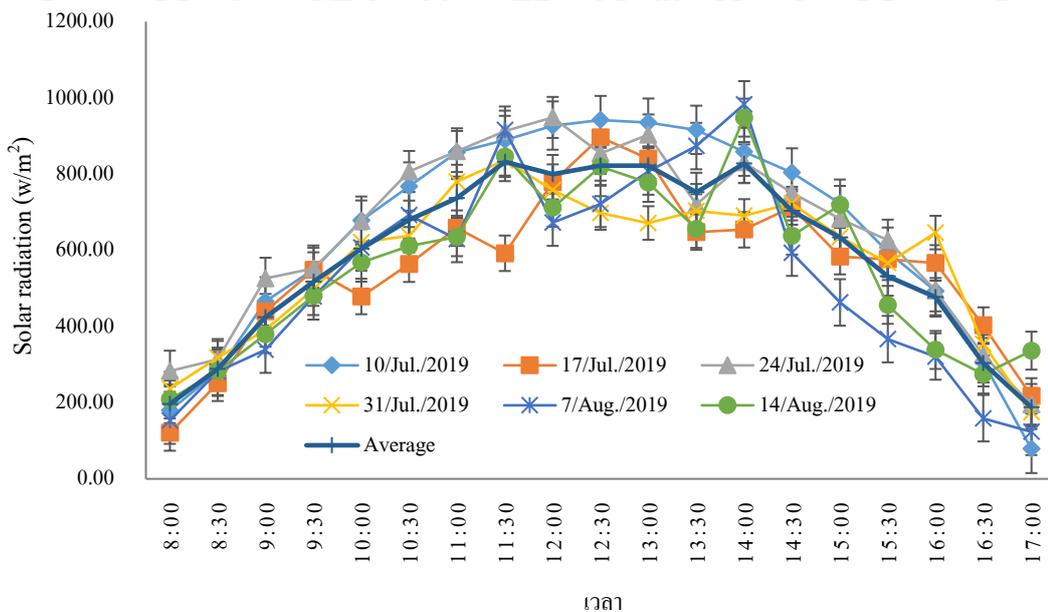
การทดสอบผลิตพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการศึกษาการผลิตพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ได้คัดเลือกจากมีความต้องการแสงสอดคล้องกับปริมาณแสงที่วัดได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจ รวมทั้งการปลูกการดูแลรักษา เพื่อประเมินผลกระทบของการผลิตพริกต่อการผลิตไฟฟ้า และประเมินการเจริญเติบโต และผลผลิตของพริกที่ปลูกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

1. การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ต้องดำเนินการวัดสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ รวมทั้งการวัดพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการทดลองดำเนินการ ตั้งแต่วันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2562

1.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

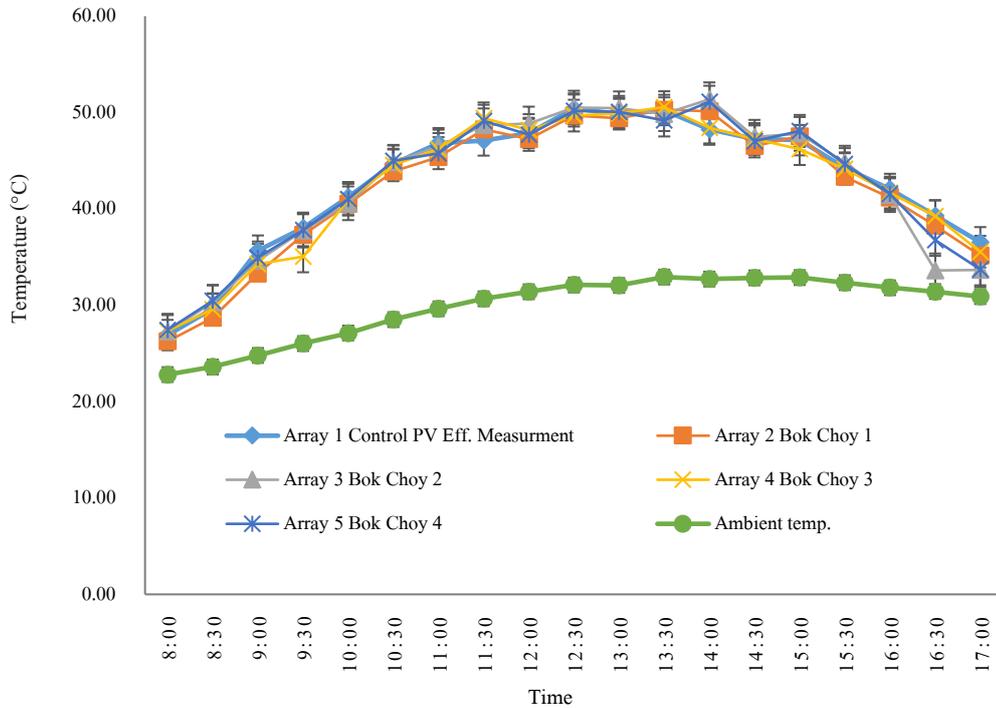
การทดสอบผลิตพีซีดีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ครั้งนี้เป็นการดำเนินงานในช่วงฤดูฝน จึงทำให้ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4.5 ในบางช่วงเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีก้อนเมฆบดบังและฝนตก มีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 569 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) และรังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มสูงสุดในช่วงเวลา 11.30 – 14.00 น. ซึ่งมีความเข้มสูงสุดถึง 987 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) จากข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อเทียบกับการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จะเห็นได้ว่า การทดลองในช่วงเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม มีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวัน และค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดสูงกว่าการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สูงกว่าจะส่งผลทำให้การผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.5 : การวัดรังสีดวงอาทิตย์

1.2 อุณหภูมิ

การวัดอุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 5 อาร์เรย์ (Array) โดยแบ่งเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มี การปลูกพืชได้แผง จำนวน 1 อาร์เรย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืช จำนวน 4 อาร์เรย์ ดังภาพที่ 3.4 พบว่า อุณหภูมิแวดล้อม ดังภาพที่ 4.6 มีค่าเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 29.65 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ ต่อวัน เท่ากับ 41.90, 42.40, 42.26 และ 42.43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แผงมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 42.25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มี การปลูกพืชได้แผงมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 42.43 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และไม่มี การปลูกพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิต่ำกว่าชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มี การปลูกพืชเพียง 0.18 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิ ของ 2 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการศึกษารูปแบบ การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ด้วยข้อมูลค่าความ คลาดเคลื่อนของเครื่องวัดอุณหภูมิ จึงไม่สามารถยืนยันได้ว่าการปลูกผักกางคั้งย่องเต้ ส่งผลทำให้ อุณหภูมิแผงลดลง ดังภาพที่ 4.6 แต่อย่างไรก็ตาม ข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว สอดคล้องกับปริมาณผลผลิตของพืช ดังตารางที่ 4.3 ดังนั้น หากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกอาร์เรย์ อยู่ในสภาพพื้นที่โล่ง ไม่ได้รับผลกระทบจากเนินเขาและต้นไม้ที่มีแนวโน้มที่จะทำให้อุณหภูมิของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีโอกาสลดลงและส่งผลทำให้ผลผลิตพืชเพิ่มขึ้น

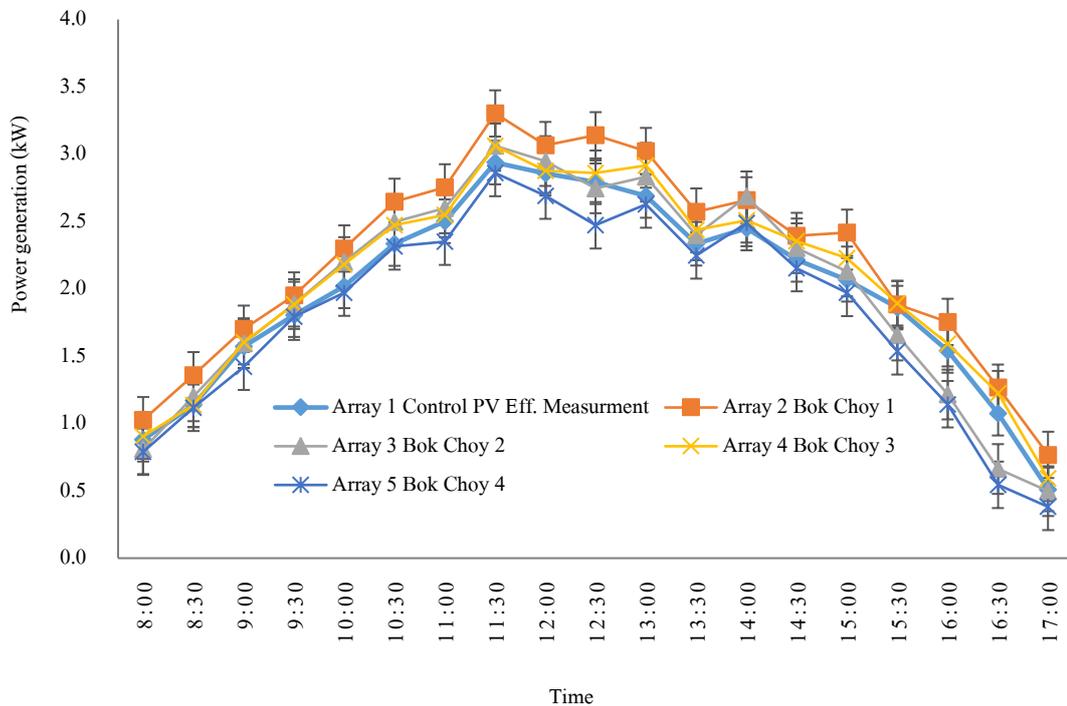


ภาพที่ 4.6 : การวัดอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แสงและไม่มีการปลูกพืชได้แสง

1.3 การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์และไม่มีการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพที่ 4.7 พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 1 และชุดที่ 3 สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด เท่ากับ 2.28 และ 2.12 กิโลวัตต์ (kW) ตามลำดับ ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการปลูกพืช สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 2.06 กิโลวัตต์ (kW) ซึ่งมีค่าเท่ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืช ชุดที่ 2 ที่ผลิตไฟฟ้าได้ 2.06 กิโลวัตต์ (kW) ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืช ชุดที่ 4 ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด เท่ากับ 1.87 กิโลวัตต์ (kW) เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่เวลา 15.00 น. พื้นที่ทดลองมีเงาจากต้นไม้บัง (ดังภาพที่ 4.3b) ทำให้ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวได้รับแสงเพียงร้อยละ 88 และส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าชุดอื่น ๆ นอกจากนั้นจะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่า ชุดที่ 1 และชุดที่ 3 เนื่องจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวถูกติดตั้งใกล้กับเนินเขาทางทิศเหนือและต้นไม้ทางทิศตะวันตก ซึ่งการบังนี้ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้น้อยกว่าชุดที่ 1 และชุดที่ 3 และเมื่อเทียบกับ

การผลิตไฟฟ้าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์จะเห็นได้ว่าการทดลองในเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม สามารถผลิตไฟฟ้าต่อวันได้มากกว่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันและค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดสูงกว่าการทดลองในช่วงเดือนกุมภาพันธ์



ภาพที่ 4.7 : การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชได้แฉงและไม่มีการปลูกพืชได้แฉง

2. สภาพดิน การเจริญเติบโต และผลผลิตของผักกางดุ้งฮ่องเต้

2.1 สภาพดิน

สมบัติของดินที่ได้รับการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 4.1 องค์ประกอบของธาตุอาหาร มีปริมาณเฉลี่ยของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม อยู่ที่ 0, 9 และ 360 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยความเป็นกรดต่าง (pH) อยู่ที่ 6.5 จากข้อมูลดังกล่าวเห็นได้ว่าปริมาณเฉลี่ยไนโตรเจนของตัวอย่างดินอยู่ในระดับ 0 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จึงได้ทำการปรับปรุงดินและทำการวิเคราะห์ดินหลังจากการปรับปรุงอีกครั้ง ซึ่งจากการปรับปรุงดิน พบว่า ปริมาณไนโตรเจนของทุกแปลงเพิ่มขึ้นเป็น 10 ส่วนในล้านส่วน (ppm)

แต่ปริมาณไนโตรเจนยังไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้น ในการทดลองจึงต้องใส่ปุ๋ยอินทรีย์มาตรฐานกรมวิชาการเกษตร ในอัตราไร่ละ 25 กิโลกรัม (kg)

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ดินก่อนการปลูกพืช

ตัวอย่างดิน	pH	ไนโตรเจน (ppm)	ฟอสฟอรัส (ppm)	โพแทสเซียม (ppm)
ตัวอย่างที่ 1	6.5	0	20	400
ตัวอย่างที่ 2	7.0	0	10	400
ตัวอย่างที่ 3	7.0	0	5	400
ตัวอย่างที่ 4	5.5	0	5	400
ตัวอย่างที่ 5	6.5	0	5	200
เฉลี่ย	6.5	0	9	360

2.2 การเจริญเติบโต

การดำเนินการประเมินการเจริญเติบโตของพืช โดยเลือกผักกวางตุ้งห้องเตี้ยสำหรับการทดลอง ปริมาณแสงที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงอยู่ในช่วง 50 – 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) เต็ง และคนอื่นๆ (Deng et al, 2020) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งผลจากการวิเคราะห์การจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis : Between Group (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2552) ดังภาพที่ 3.7 พบว่าผักกวางตุ้งห้องเตี้ยจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 แสดงให้เห็นว่าผักกวางตุ้งห้องเตี้ยมีราคาผลผลิตของพืชอายุการเก็บเกี่ยวของพืช ปริมาณผลผลิต และต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมต่อการลงทุนมากที่สุด นอกจากนี้ ผักกวางตุ้งห้องเตี้ยยังสามารถปลูกในสภาพที่มีอุณหภูมิตั้งแต่ - 3 ถึง 35 ค่าความเป็นกรด - ด่าง ตั้งแต่ 5.5 – 7 หลิว และหลิว (Liu & Liu, 2019) ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้ จึงเลือกผักกวางตุ้งห้องเตี้ย โดยทำการเก็บข้อมูลความสูงต้น จำนวนใบ และขนาดของใบ ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.8 พร้อมประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการวัดสภาพแวดล้อม

2.2.1 ความสูง

พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงที่ส่องผ่านไปยังพื้นดินอยู่ที่ 20 – 74 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างน้อย แต่อย่างไรก็ตามปริมาณแสงนี้ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของผักกวางตุ้งห้องเตี้ย เห็นได้ว่าแปลงทดลองที่เป็นชุดเปรียบเทียบกับมีความสูงหลังอายุ 14 วัน สูงกว่าแปลงปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ไม่มีความ

แตกต่างกันทางสถิติ โดยแปลงทดลองที่เป็นชุดควบคุม แต่ส่งผลต่อขนาดลำต้น พบว่า ลำต้นของ ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาด 0.7 เซนติเมตร (cm) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า แปลงควบคุมที่ปลูกผักฮ่องเต้ในสภาพแสงปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เหงียน และคนอื่น ๆ (Nguyen et al., 2019) ที่รายงานว่า การผักโขมในสภาพที่มีความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงน้อย ส่งผลทำให้ความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง

2.2.2 จำนวนใบ

จำนวนใบของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ น้อยกว่าแปลงควบคุมที่มีแสงปกติ เนื่องจากพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงน้อยกว่าความต้องการของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ร้อยละ 65 จึงส่งผลต่อจำนวนใบของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ เหงียน และคนอื่น ๆ (Nguyen et al., 2019) ที่รายงานว่าจำนวนใบของผักโขมจะน้อยลงเมื่อปลูกในสภาพที่มีความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงน้อย

2.2.3 ขนาดความกว้าง และความยาวใบ

ขนาดความกว้างใบและความยาวของผักกวางตุ้งฮ่องเต้อายุ 35 วัน ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดความกว้างใบและความยาวใบเล็กกว่าแปลงควบคุม เนื่องจากผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงที่ไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ เพชรไทย และคนอื่น ๆ (Petchthai et al., 2017) ที่พบว่า ผักกาดหอมที่ปลูกในพื้นที่ที่ได้รับแสงน้อยมีขนาดความกว้างทรงพุ่มน้อย

2.2.4 ผลผลิต

ผลผลิตของกวางตุ้งที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 4.3 พบว่า น้ำหนักสดต้น น้ำหนักสดราก น้ำหนักต้น และน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 40.95, 4.57, 2.95 และ 1.12 กรัม (g) ตามลำดับ น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงควบคุมมีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยแปลงควบคุมมีน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งสูงกว่าแปลงทดลองที่อยู่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแปลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ เว่ยกัว และคนอื่น ๆ (Weiguo et al., 2012) ที่ทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงที่แตกต่างกันต่อคุณภาพและมวลชีวภาพในผักกาดหอม และรายงานว่าความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงสูงส่งผลทำให้น้ำหนักสดของผักกาดหอมดีกว่าการปลูกในสภาพที่มีความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงต่ำ เนื่องจากความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงหรือความหนาแน่นของแสงโฟตอน มีผลโดยตรงต่ออัตราการสังเคราะห์ด้วยแสง

ตารางที่ 4.2 การเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้

วันที่	การเจริญเติบโต	แปลงที่				แปลงควบคุม	F test	CV (%)
		1	2	3	4			
7	ความสูงต้น (cm)	14.3a	13.1ab	12.4b	13.7ab	13.31b	*	6.8
	จำนวนใบ	6	5	5	6	5	ns	11.7
	ความกว้างใบ (cm)	3.9a	3.5ab	3.3ab	3.7a	2.9b	*	15.2
	ความยาวใบ (cm)	10.4a	9.3ab	8.7bc	9.0ab	7.2C	**	12.8
14	ความสูงต้น (cm)	16.7	16.1	15.4	16.2	16.8	ns	8.1
	จำนวนใบ	8	7	8	8	9	ns	8.1
	ความกว้างใบ (cm)	4.4	3.9	4.3	4.7	5.0	ns	17.4
	ความยาวใบ (cm)	12.1a	10.0b	11.3a	12.0a	11.5a	**	8.0
21	ความสูงต้น (cm)	18.7a	17.8ab	16.1b	17.4ab	19.3a	*	7.9
	จำนวนใบ	9ab	8b	10a	9ab	10a	*	12.1
	ความกว้างใบ (cm)	4.6b	4.1b	4.8b	4.8b	5.8a	*	15.2
	ความยาวใบ (cm)	13.2a	10.3b	11.7ab	12.7a	13.0a	**	9.2

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

วันที่	การเจริญเติบโต	แปลงที่				แปลงควบคุม	F test	CV (%)
		1	2	3	4			
28	ความสูงต้น (cm)	20.6	20.2	17.1	20.1	21.4	ns	13.6
	จำนวนใบ	11b	10b	12ab	11ab	14a	*	13.6
	ความกว้างใบ (cm)	5.3b	4.4b	5.3b	5.4b	7.2a	**	19.1
	ความยาวใบ (cm)	13.8ab	11.9b	12.1b	14.3ab	15.9a	*	14.1
35	ความสูงต้น (cm)	21.5	21.7	20.8	21.6	23.5	ns	10.7
	จำนวนใบ	15b	11c	14bc	13bc	19a	**	15.7
	ความกว้างใบ (cm)	5.6b	4.8b	5.9ab	6.8ab	8.0a	*	24.1
	ความยาวใบ (cm)	13.9b	12.3b	13.7b	14.5b	17.9a	**	14.5



Bok choy plot under solar panels

Control plot

ภาพที่ 4.8 : ต้นผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่อายุเก็บเกี่ยว 35 วัน

ตารางที่ 4.3 ผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้

แปลงที่	น้ำหนัสด		น้ำหนักแห้ง		น้ำหนักรวม		ผลผลิต (kg)
	ยอด (g)	ราก (g)	ยอด (g)	ราก (g)	ยอด (g)	ราก (g)	
1	51.8b	5.6b	1.9b	0.4	57.3b	2.2b	2.31
2	26.7b	2.8b	5.6b	3.3	29.5b	8.8ab	1.05
3	49.0b	6.1b	2.4b	0.4	55.1b	2.9b	1.50
4	36.3b	3.8b	1.9b	0.4	40.1b	2.4b	1.16
แปลงควบคุม	233.9a	23.3a	16.7a	2.82	257.2a	19.5a	17.31
F test	**	**	**	ns	**	*	
CV (%)	8.1	8.6	8.1	8.6	12.7	12.7	

3. ประสิทธิภาพของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรส่งผลทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 1 มีการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์สูงกว่าชุดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.4 โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 1 ผลิตไฟฟ้าได้สูงที่สุดเท่ากับ 2.28 กิโลวัตต์ (kW) ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชุดที่ 3 เท่ากับ 2.12 กิโลวัตต์ (kW) สูงกว่าระบบเปรียบเทียบที่ไม่มีการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่า การผลิต

ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการผลิตพืช ดังตารางที่ 4.5 สำหรับ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบที่ปลูกพืชไม่ได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการผลิตไฟฟ้ามีความแตกต่างเพียงร้อยละ 0.09 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาจากข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับการผลิตพืช แสดงให้เห็นว่าหากมีการ คัดเลือกพืชที่เหมาะสมต่อการสภาพแวดล้อมได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถให้ผลผลิตสูง มีโอกาสที่จะช่วยให้การผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพของระบบการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการเกษตร

แผงเซลล์แสงอาทิตย์	การผลิตไฟฟ้าพลังงาน	ผลผลิตพืช
	แสงอาทิตย์ กิโลวัตต์ (kW)	(กิโลกรัม) (kg)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดควบคุม	2.06ab	-
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 1	2.28a	2.31
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 2	2.06ab	1.05
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 3	2.12ab	1.50
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 4	1.87c	1.16
แปลงควบคุม	-	17.31
F test	**	-
CV (%)	5.04	-

ตารางที่ 4.5 ความความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับการผลิตพืช

ตัวแปร	การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	การผลิตพืช
การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	1.000	0.850*
การผลิตพืช	0.850*	1.000

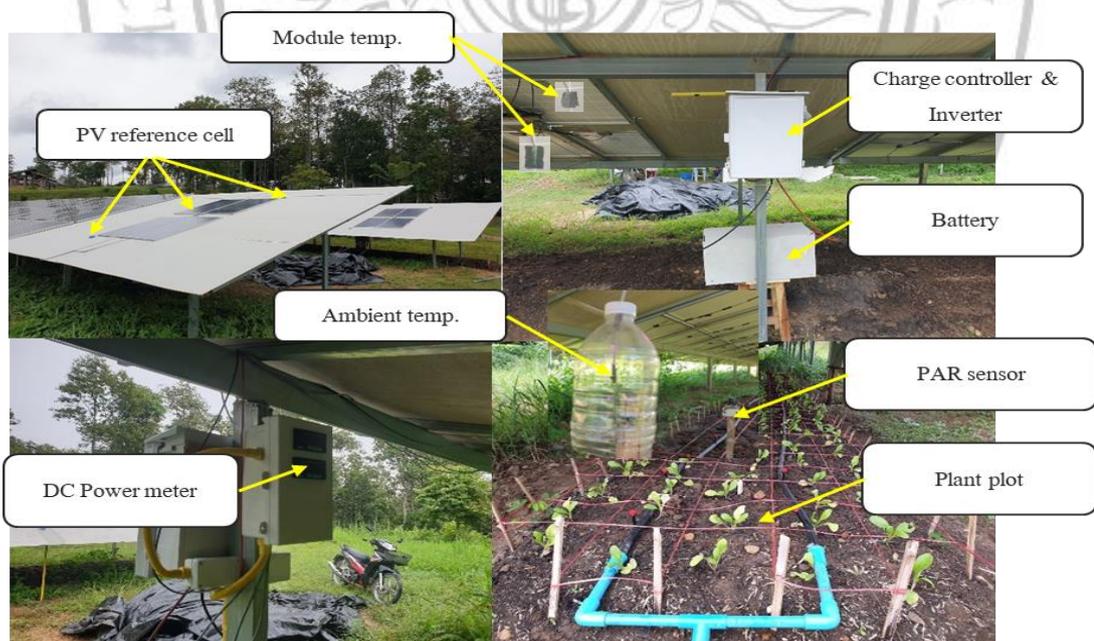
หมายเหตุ * = $p < 0.05$

การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

จากการทดลองการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และการทดสอบผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านมา พบปัญหาด้านเงาที่บดบังชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ทางทิศตะวันตก จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของระบบได้ ดังนั้นจึงทำการการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชรายละเอียด ดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบนี้ออกแบบภายใต้ภาระทางไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้ารวม 450 วัตต์ (W) โดยการคำนวณกำลังการผลิตไฟฟ้า และขนาดแบตเตอรี่ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กำหนดภาระทางไฟฟ้าเป็นพัลลภขนาด 45 วัตต์ (W) 220 โวลต์ เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนของสภาพพื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเวลากลางวันสำหรับแปลงปลูกพืช โดยเปิดใช้งานทั้งหมด 10 ชั่วโมง (เวลา 07.00 – 17.00 น.) ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 120 วัตต์ (W) 18 โวลต์ (V) 6.8 แอมป์ (A) จำนวน 4 แผ่น นำมาต่อขนานกันให้ได้กำลังไฟฟ้า 480 วัตต์ (W) เครื่องควบคุมการประจุขนาด 40 แอมป์ (A) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 500 วัตต์ (W) และแบตเตอรี่ขนาด 100 แอมแปร์ – ชั่วโมง (Ah) พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า รังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิแผงเซลล์ ดังภาพที่ 4.9



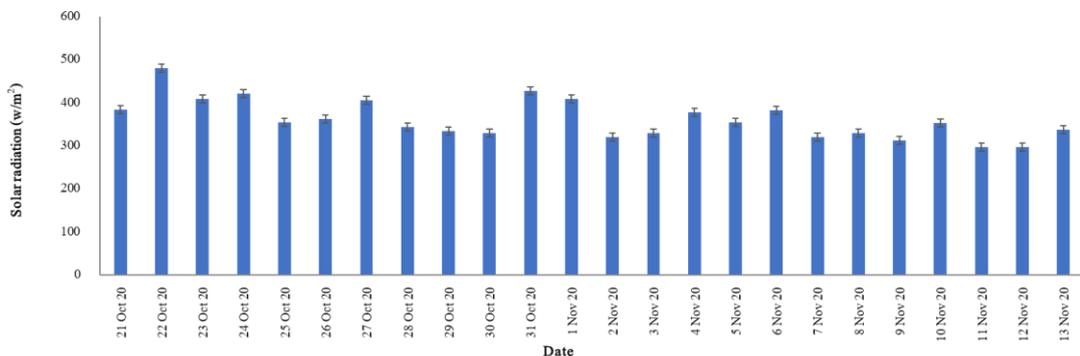
ภาพที่ 4.9: ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชขนาด 480 วัตต์ (W)

2. สภาพแวดล้อมและการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวมถึงข้อมูลกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้มีการรวบรวมและนำข้อมูลไปคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเป็นข้อมูลประกอบการเปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับและระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงร่วมกับการผลิตพืช

2.1 ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

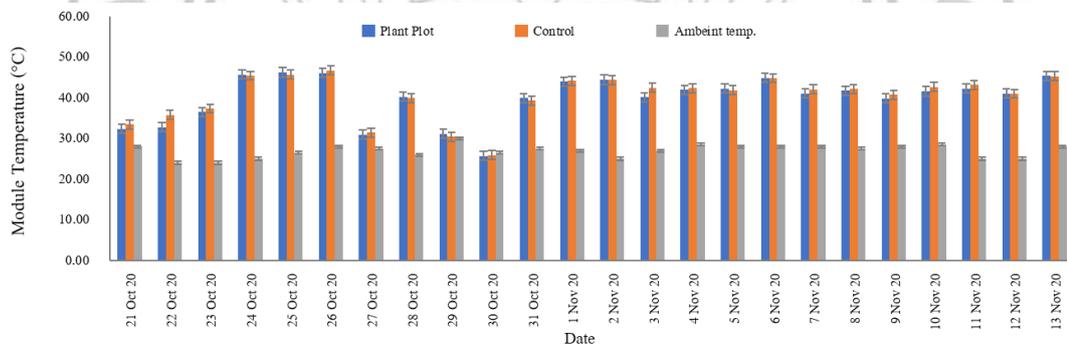
ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงที่ทำการปลูกพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ดังภาพที่ 4.10 พบว่า วันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2563 มีค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สูงที่สุด เท่ากับ 480 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) วันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563 มีค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำที่สุด เท่ากับ 297 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) และมีค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เท่ากับ 362 วัตต์ต่อตารางเมตร (w/m^2) ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของช่วงเวลาดังกล่าว มีความแปรผันตามสภาพอากาศ เนื่องจากช่วงเวลาทำการทดลองเป็นช่วงปลายฤดูฝน จึงทำให้มีฝนตกเป็นบางวันส่งผลทำให้ค่ารังสีดวงอาทิตย์ของแต่ละวันมีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 4.10 : ค่ารังสีดวงอาทิตย์รายวัน ช่วงวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2563 ถึงวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2563

2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมมีความสัมพันธ์กัน ดังภาพที่ 4.11 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าที่มีการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าสูงสุด เท่ากับ 46.19, 46.68 และ 30.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 25.69, 25.91 และ 24.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ เท่ากับ 39.90, 40.32 และ 26.9 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการปลูกพืชกับแผงเซลล์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการปลูกพืช ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของเซ็นเซอร์ (± 1.5 องศาเซลเซียส) แต่อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้น หากพลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการผลิตพืชสูงกว่าระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม) แสดงว่าอุณหภูมิที่มีความแตกต่างกัน 0.42 องศาเซลเซียส เกิดจากการทำกิจกรรมใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

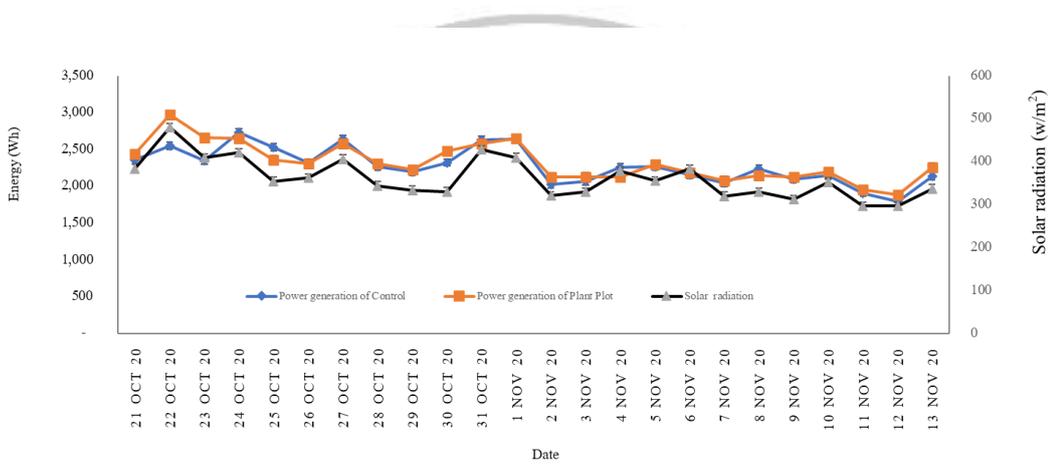


ภาพที่ 4.11 : อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ

2.3 การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช ขนาด 480 วัตต์สูงสุด (Wp) ดังภาพที่ 4.12 สามารถผลิตไฟฟ้ารวม 55.75 และ 54.67 กิโลวัตต์ – ชั่วโมง (kWh) ตามลำดับ ซึ่งมีการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยวันละ 2.32 และ 2.27 กิโลวัตต์ – ชั่วโมง (kWh) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้ประโยชน์พื้นที่ใต้แผง และการทดลองการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านมา โดยระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ไม่ทำการเกษตร เฉลี่ยวันละ 45 วัตต์ – ชั่วโมง (Wh) ดังนั้น การผลิตไฟฟ้าที่สูงกว่าของระบบไฟฟ้าพลังงาน

แสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตผักวางตุ้งฮ่องเต้ดังกล่าว สามารถยืนยันได้ว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความแตกต่างกัน 0.42 องศาเซลเซียส เกิดจากการทำกิจกรรมการปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่น่าสนใจและหากนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะทำให้ทราบถึงแนวทางในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรในอนาคต



ภาพที่ 4.12 : กำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3. การเจริญเติบโตและผลผลิตของผักวางตุ้งฮ่องเต้

3.1 ความสูง

ความสูงของพืชที่ปลูกในแปลงควบคุม ดังภาพที่ 4.13 เริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 4 และสูงขึ้นเล็กน้อยในสัปดาห์ที่ 5 ส่วนความสูงของพืชผักที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสัปดาห์ที่ 5 สูงกว่าการปลูกในแปลงควบคุม 3.6 เซนติเมตร (cm) ความสูงของพืชผักที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่สูงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปัจจัยด้านความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงที่ไม่เพียงพอ

3.2 จำนวนใบ

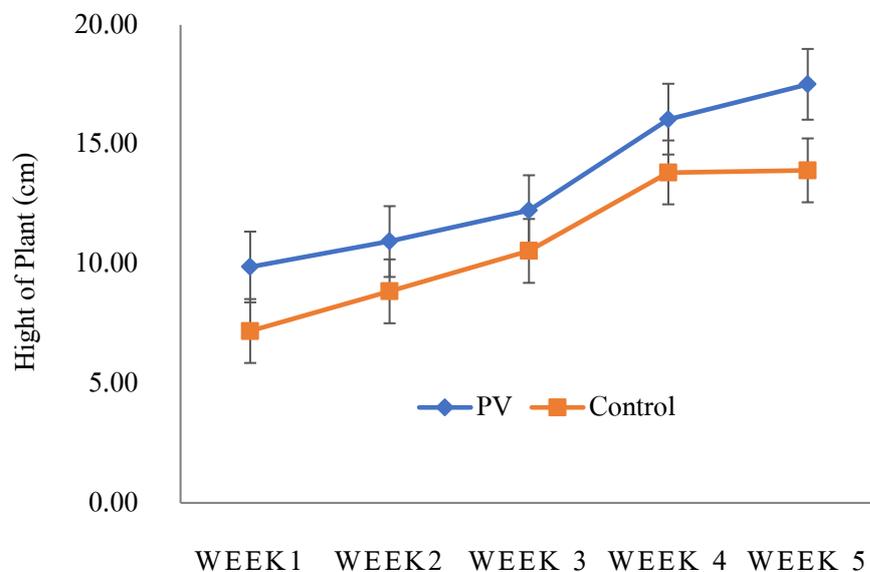
จำนวนใบของพืชที่ปลูกในแปลงควบคุมและพืชผักที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4.14 ในสัปดาห์ที่ 5 มีจำนวนใบ 8 ใบเท่ากัน ซึ่งพบว่า การปลูกพืชในแปลงควบคุมและพืชผักที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ

3.3 ความกว้างและความยาวใบ

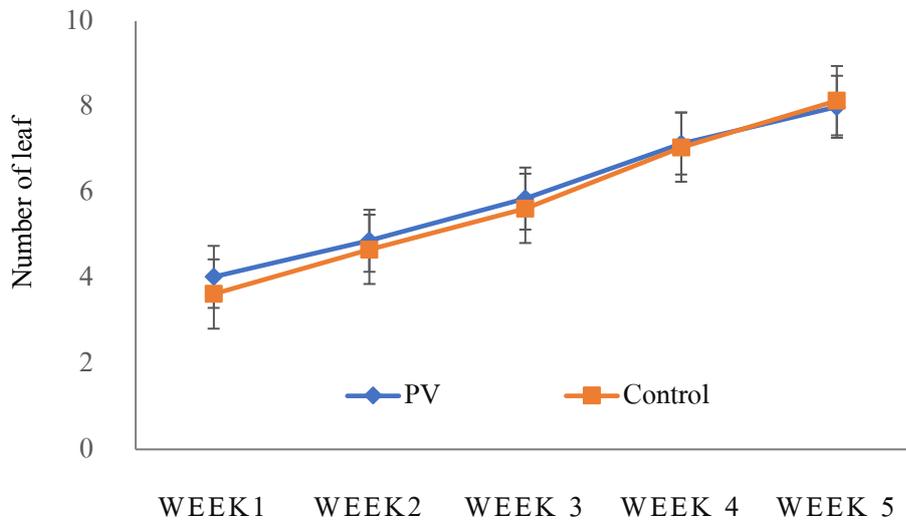
ความกว้างและความยาวใบของพืชที่ปลูกในแปลงควบคุมและพืชผักที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 4.15 และ 4.16 โดยมีความกว้างสัปดาห์ที่ 5 เท่ากับ 4.62 และ 4.53

cm ตามลำดับ และมีความยาวใบ เท่ากับ 11.44 และ 11.12 เซนติเมตร (cm) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้
ว่าความกว้างและความยาวใบของพืชที่ปลูกในแปลงควบคุมมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าการปลูกปลูกได้แสง
เซลล์เพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าการปลูกในสภาพที่แตกต่างกันดังกล่าวไม่ได้ ส่งผลทำให้
การเจริญเติบโตด้านขนาดใบของผักกวางตุ้งฮ่องเต้มีความแตกต่างกัน

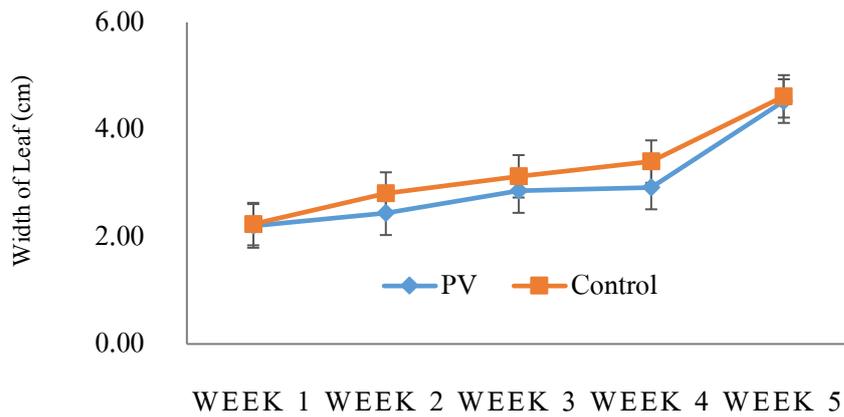
การเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ ทั้งด้านความสูง จำนวนใบ ความกว้างใบ และ
ความยาวใบที่ปลูกในแปลงควบคุมและพืชผักที่ปลูกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และแปลงควบคุมต่ำ
กว่าการทดลองการผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ผ่านมา ทั้งนี้ เนื่องจากผลผลิตได้รับความเสียหาย
ที่อายุประมาณ 14 วันจากแมลงศัตรูพืช ดังภาพที่ 4.17 ส่งผลทำให้การเจริญเติบโตและผลผลิต
ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การเจริญเติบโตด้านความสูงยังแสดงให้เห็นว่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์
ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ส่วนการเจริญเติบโต
ด้านจำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ
จริญญา ฤทธิรัมย์ และอารักษ์ ชีรอำพน (2562) ที่ทำการศึกษาผลของระดับความเข้มรังสีที่สังเคราะห์
ด้วยแสงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอม โดยพบว่า การเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ
และขนาดใบที่ทำการศึกษาในความเข้มรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงที่ระดับ 120 และ 1,200 ไมโครโมล
ต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) ไม่มีความแตกต่างกัน



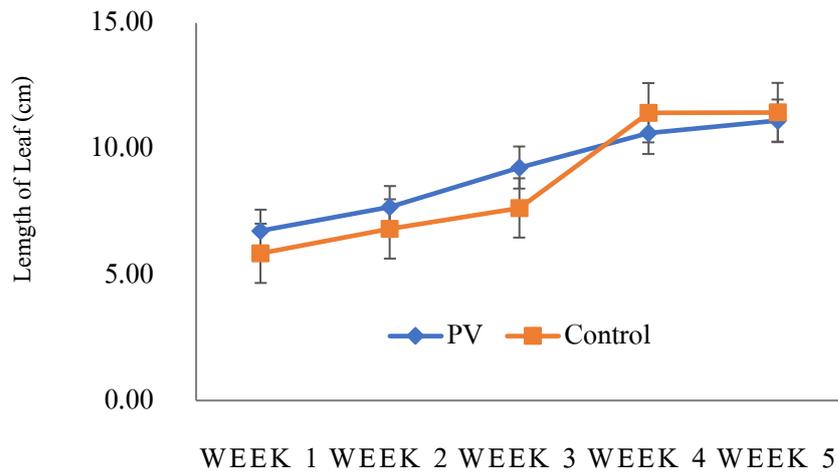
ภาพที่ 4.13 : การเจริญเติบโตด้านความสูง



ภาพที่ 4.14 : การเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ



ภาพที่ 4.15 : การเจริญเติบโตด้านความกว้างของใบ



ภาพที่ 4.16 : การเจริญเติบโตด้านความยาวของใบ



ภาพที่ 4.17 : ลักษณะต้นของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในแปลงควบคุม (ซ้าย) และใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ขวา)

4. ผลผลิต

การปลูกในแปลงควบคุมสามารถให้น้ำหนักสดส่วนต้นที่มากกว่าการปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักสดต่อต้น เท่ากับ 6.94 และ 8.92 กรัม (g) จึงส่งผลทำให้การปลูกในแปลงควบคุมมีศักยภาพการให้ผลผลิตต่อแปลง เท่ากับ 10.92 กิโลกรัม (kg) และแปลงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีศักยภาพการให้ผลผลิต 8.51 กิโลกรัม (kg) ส่วนน้ำหนักสดส่วนรากพบว่า แปลงปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงควบคุมต่อต้น เท่ากับ 1.04 และ 0.89 กรัม (g) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 4.6) ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าน้ำหนักสดส่วนต้นของแปลงควบคุมสูงกว่า

การปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2.41 กิโลกรัม (kg) หรือคิดเป็นร้อยละ 22 ของผลผลิตแปลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ จริญญา ฤทธิรัมย์ และอารักษ์ ชีระอำพน (2562) ที่พบว่าน้ำหนักสด ส่วนต้นของผักกาดหอมที่ปลูกในสภาพที่มีความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง 1,200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) ให้ผลผลิตสูงกว่าความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสง ที่ระดับ 110 และ 120 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) แต่ไม่แตกต่างกับความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงที่ระดับ 140 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) ดังนั้น หากจะ ดำเนินการผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ผลผลิตใกล้เคียงกับ จะต้องติดตั้งหลอดไฟสำหรับการปลูกพืชที่มีความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงที่ระดับ 140 – 200 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) หรือดำเนินการปลูกพืชชนิดอื่น ดังตารางที่ 2.3 ที่มีความต้องการใช้รังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงต่ำกว่าผักกวางตุ้งฮ่องเต้ และสอดคล้องกับความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวร โดยไม่มีการออกแบบเพื่อผลิตไฟฟ้าร่วมกับการเกษตร

ตารางที่ 4.6 ผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงควบคุมที่มีความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงปกติ

ผลผลิต	น้ำหนักสดต้น		น้ำหนักสดราก	
	ใต้แผง	แปลงควบคุม	ใต้แผง	แปลงควบคุม
น้ำหนักสด กรัม (g/plant)	6.94	8.92	1.04	0.89
ผลผลิตรวมต่อแปลง กิโลกรัม (kg)	8.51	10.92		

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรของระบบไฟฟ้าพลังงานที่ติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวร สามารถผลิตไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม) เนื่องจากระบบไฟฟ้างดักแล้วถูกออกแบบเพื่อการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และเมื่อมีการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจส่งผลให้ผลิตอุณหภูมิแผงลดลง แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น ซึ่งราชวิกรม และลีโอพอนราช (Rajvikram & Leoponraj, 2018) ยืนยันว่า ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 14 เมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงประมาณ 5 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ นอกจากนั้น เป็ง, เฮอร์ฟัทมานิช และหลิว (Peng, Herfatmanesh & Liu, 2017) ยังให้ข้อสรุปว่าเทคนิคการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสอดคล้องผลการทดลองของ อนุชา ตีผาง และพรหมชัย สุพรรณ (2561) ที่กล่าวว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถผลิตได้มากกว่าแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งอยู่กับที่และไม่มีระบบระบายความร้อนประมาณ 16.9 วัตต์ (W) หรือประมาณร้อยละ 28.36 ส่วนศักยภาพการผลิตฟักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรน้อยกว่าแปลงควบคุมร้อยละ 20 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าการผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้ผลผลิตลดลง อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงความเหมาะสมในการในพื้นที่ร่วมกัน โดยการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio : LER) จะทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีค่า LER สูงถึง 1.8 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 80 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ วัลเล่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2017) และดูปราซ และคนอื่น ๆ (Dupraz et al., 2011) ที่ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพบว่ามีค่า 1.67 และ 1.73 ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในการทดสอบผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์พบว่ามีค่า LER เท่ากับ 1.13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงแม้การให้ผลผลิตของพืชที่ปลูกได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่ำ แต่การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชยังมีความคุ้มค่ามากกว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ดังนั้น การเลือกพืชที่เหมาะสมต่อสภาพได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการเลือกพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงจะส่งทำให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สูงขึ้น ส่วนผลของการผลิตฟักกวางตุ้งฮ่องเต้ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าการผลิตฟักกวางตุ้งฮ่องเต้ดังกล่าว ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง อย่างไรก็ตาม หากมีการคัดเลือกพืชที่เหมาะสมหรือมีการจัดการระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชที่สามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จะยังส่งผลทำให้การผลิตมีความคุ้มค่าเพิ่มมากขึ้น

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้แบ่งการวิเคราะห์เป็น 3 กรณี ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพืช และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการ

ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – cost Ratio : BCR) จากข้อมูลต้นทุนและผลตอบแทน ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งต้นทุนของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าแบตเตอรี่ ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ และค่าโครงสร้าง ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ ส่วนต้นทุนการผลิตพืช ประกอบด้วย ค่าติดตั้งระบบน้ำ ค่าวัสดุปลูก ค่าปุ๋ย ค่าสารกำจัดศัตรูพืช และค่าต้นกล้า

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนการผลิต	ผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์	การผลิตพืช	ผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมกับ การผลิตพืช
ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7,200		7,200
ค่าแบตเตอรี่ (5 ปี)	3000		3000
ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (10 ปี)	2,000		2,000
ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ (10 ปี)	1,000		1,000
ค่าโครงสร้าง ค่าอุปกรณ์ และค่าติดตั้งระบบ	15,000		15,000
ค่าระบบน้ำ		500	500
ค่าดินปลูก (1 ปี)		2500	1250
ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช (1 ปี)		195	145
ค่าต้นกล้า (1 ปี)		1200	600
ต้นทุนรวม	28,000	4,395	30,695
ผลตอบแทน			
มูลค่าผลผลิตผักวางตู้ห้องเต๊ (1 ปี) *		3,276	1,277
มูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ (1 ปี) **	4,707		4,799
ผลตอบแทนรวม	4,707	3,276	6,076

- หมายเหตุ * มูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ (Crop = 131 kg × 25 บาท และ Agri-voltaic = 51 kg × 25 บาท)
- ** มูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ PV = 2.278 kWh × 5.66 บาท และ Agri-voltaic = 2.323 kWh × 5.66 บาท

ผลการความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จึงสามารถสรุปได้ว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีระยะเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 7.33 ปี, 15,384 บาท, ร้อยละ 13.60 และ 1.45 ตามลำดับ ส่วนการผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ มีค่าวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เท่ากับ 6.21 ปี, 14,363 บาท, ร้อยละ 40.30 และ 1.71 ตามลำดับ และระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช มีค่าวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เท่ากับ 5.97 ปี, 24,363 บาท, ร้อยละ 16.31 และ 1.60 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.8 ซึ่งจากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชมีระยะเวลาคืนทุนน้อยที่สุด บ่งบอกว่าการลงทุนดังกล่าวจะได้เงินทุนเร็วกว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวหรือการผลิตพืชเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่เป็นผลรวมของกระแสเงินสดของแต่ละปีมารวมกันยังเป็นข้อมูลสนับสนุนว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชมีความคุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงที่สุด แต่อัตราผลตอบแทนตอนแทนภายใน และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนของการผลิตพืชที่สูงกว่าระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมการผลิตพืช

ตารางที่ 4.8 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	ผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์	การผลิตพืช	ผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมกับการ การผลิตพืช
ระยะเวลาคืนทุน	7.33	6.21	5.97
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	15,384	14,363	24,198
อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน	ร้อยละ 13.60	ร้อยละ 40.30	ร้อยละ 16.31
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน	1.45	1.71	1.60

การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการพัฒนาแนวทางในการนำผลการทดลองการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ที่เป็นระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ โดยงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำผลการทดลองไปใช้กับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย ซึ่งดำเนินการศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของดินสำหรับการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ การคัดเลือกพืช การประมาณการผลิตของพืช การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ และการประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจและการประเมินมูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลการศึกษา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติของดินสำหรับการผลิตพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามวิธีการเก็บข้อมูลด้านสภาพอากาศด้านความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อคัดเลือกพืชที่เหมาะสม

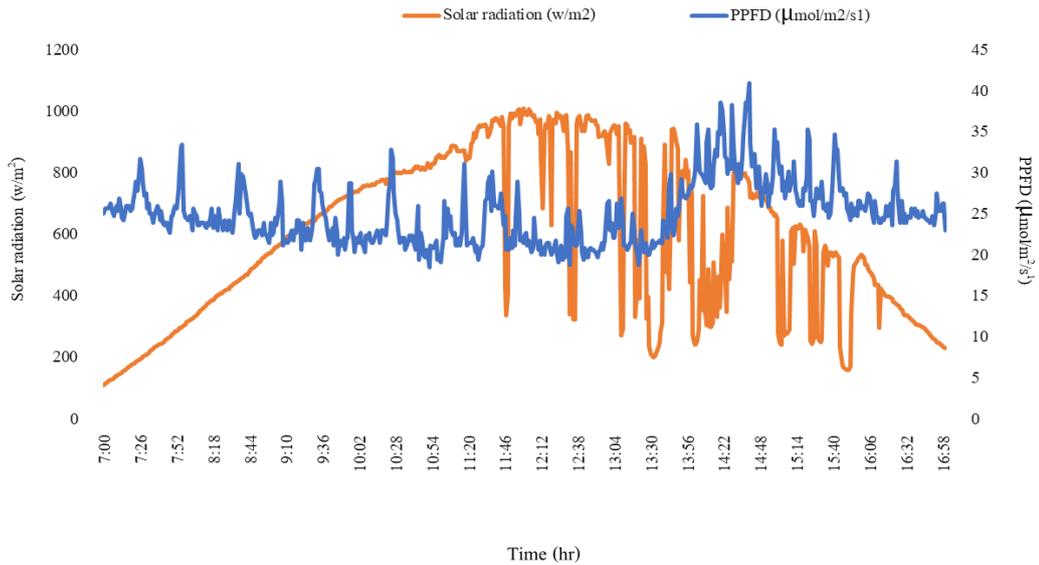
จากการประเมินพื้นที่ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย พบว่า มีพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด 10,000 ตารางเมตร (m^2) ซึ่งประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 45 แถว แบ่งเป็นขนาดความยาว 14 ตารางเมตร (m^2) จำนวน 3 แถว ความยาว 22 ตารางเมตร (m^2) จำนวน 5 แถว ความยาว 29 ตารางเมตร (m^2) จำนวน 8 แถว และความยาว 34 ตารางเมตร (m^2) จำนวน 29 แถว จึงได้ทำการกำหนดแปลงปลูกพืชตามจำนวนแถวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจากการประเมินลักษณะทางกายภาพของดินพบว่า โครงสร้างดินเป็นดินที่มีกรวดและหิน ซึ่งยากต่อการปรับปรุงเพื่อการปลูกพืช ดังนั้น การวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องคำนวณการปรับปรุงดินโดยการนำดินและวัสดุปรับปรุงดินจากภายนอก ซึ่งการประเมินพื้นที่ที่สามารถปลูกพืชได้ทั้งหมด จำนวน 45 แปลง พื้นที่รวม 1,370 ตารางเมตร (m^2) ต้องใช้ดินทั้งหมด 205.5 ตารางเมตร (m^2) ราคา 51,375 บาท และวัสดุปรับปรุงดิน จำนวน 45 กระสอบ กระสอบละ 30 บาท คิดเป็น 1,350 บาท ค่าใช้จ่ายการปรับปรุงดินรวมทั้งสิ้น 52,725 บาท ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ปริมาณการใช้ดินเพื่อการปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประเภทแปลง	จำนวนแปลง	พื้นที่ปลูกพืช (m ²)	ปริมาณดิน (m ³)	ราคาดิน (บาท)
ความยาว 14 ม.	3	42	6.3	1,575.00
ความยาว 22 ม.	5	110	16.5	4,125.00
ความยาว 29 ม.	8	232	34.8	8,700.00
ความยาว 34 ม.	29	986	147.9	36,975.00
รวมทั้งหมด	45	1370	205.5	51,375.00

2. การคัดเลือกพืช

จากการวัดความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า มีค่าความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงเฉลี่ยต่อวัน เท่ากับ 25.08 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) ดังภาพที่ 4.18 ซึ่งข้อมูลความเข้มแสงดังกล่าวใกล้เคียงกับการวัดความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงใต้แผงของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kWp) (20.03 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$)) ดังนั้น การวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 700 กิโลวัตต์ (kWp) จึงใช้พืชชนิดเดียวกันกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kWp) คือ ผักกวางตุ้งฮ่องเต้ และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับรังสีดวงอาทิตย์ พบว่า ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กับค่าความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สัมพันธ์กัน เนื่องจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบถาวรไม่ถูกออกแบบให้แสงส่องถึงพื้น ทำให้ตำแหน่งของเซนเซอร์วัดความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงไม่ได้รับแสงโดยตรง จึงส่งผลให้ค่าความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงในช่วงเวลา 09.00 – 14.00 น. ต่ำกว่าช่วงเวลา 07.00 – 09.00 น. และช่วงเวลา 14.00 – 17.00 น. โดยมีค่าความเข้มของรังสีที่สังเคราะห์ด้วยแสงเฉลี่ย เท่ากับ 22.99, 25.34 และ 28.38 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^1$) ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการที่เวลา 09.00 น. และเวลา 14.00 น. ดวงอาทิตย์จะส่องลงมาและกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวเฉียง ทำให้แสงกระจายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าในช่วงเวลา 09.00 – 14.00 น.



ภาพที่ 4.18 : ความเข้มแสงรังสีดวงอาทิตย์และความเข้มแสงได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp)

3. การประมาณการผลิตและประมาณการประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์

3.1 การประมาณการผลิตของพืช

ผลผลิตของพืชทำการประเมินโดยอ้างอิงข้อมูลผลผลิตของพืชที่ปลูกใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 25 กิโลวัตต์ (kWp) ซึ่งให้ผลผลิตเฉลี่ยตารางเมตรละ 1.22 กิโลกรัม (kg) ดังนั้น การผลิตในพื้นที่ 1,370 ตารางเมตร (m²) จึงเท่ากับ 1,671.4 กิโลกรัม (kg)

3.2 การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์

การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ ประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2564 จำนวน 12 เดือน ดังตารางที่ 4.10 ซึ่งจากการประเมิน พบว่า ปี พ.ศ. 2564 มีการผลิตไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) รวมทั้งสิ้น 800,409 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) มีการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในเดือนพฤษภาคม และต่ำสุดในเดือนกันยายน ค่าเฉลี่ยการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อเดือน เท่ากับ 66,701 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งอัตราขายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 5.66 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558) ดังนั้น ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) จึงสามารถสร้างรายได้ปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 4,530,313 บาท

ตารางที่ 4.10 การประเมินการผลิตไฟฟ้าพลังงานอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp)

เดือน	พลังงานไฟฟ้าต่อปี กิโลวัตต์ - ชั่วโมง (kWh)	พลังงานไฟฟ้าต่อวัน กิโลวัตต์ - วัน (kWh/day)
Jan - 21	77,307	2,494
Feb - 21	77,372	2,763
Mar - 21	81,486	2,628
Apr - 21	76,932	2,564
May - 21	87,959	2,837
Jun - 21	62,510	2,083
Jul - 21	56,630	1,826
Aug - 21	52,209	1,684
Sep - 21	49,824	1,660
Oct - 21	55,281	1,783
Nov - 21	66,374	2,213
Dec - 21	56,527	1,823
รวม	800,409	26,358

3.3 การประเมินมูลค่าทางเศรษฐกิจ และการประเมินมูลค่าการใช้ประโยชน์ที่ดิน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ร่วมกับการปลูกผักกางต้งฮ่องเต้ เป็นนำข้อมูลต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย (ค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (รวมอุปกรณ์ทั้งหมด) ค่าบำรุงรักษาระบบ รายปี ค่าติดตั้งระบบน้ำ ค่าดินปลูก ค่ามูลไก่ผสมแกลบ ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช ค่าต้นกล้า และผลตอบแทน คือ มูลค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และมูลค่าผลผลิต ผักกางต้งฮ่องเต้ โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit - cost Ratio : BCR) โดยต้นทุนการติดตั้งระบบ ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ปีที่ 1 เท่ากับ 39,838,500 บาท และต้นทุนการผลิตพืชปีที่ 1 เท่ากับ 82,850 บาท ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนและผลตอบแทนของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช
ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp)

ต้นทุนการผลิต	ต้นทุน (บาท)
1. ต้นทุนการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ปีที่ 1)	39,838,500
2. ต้นทุนการผลิตพืช (ปีที่ 1)	82,850
ค่าติดตั้งระบบน้ำ (ท่อ PE + ท่อ PCV + หัวจ่ายน้ำ และข้อต่อต่าง ๆ)	12,000
ค่าดินปลูก	51,375
ค่ามูลไก่ผสมแกลบ	1,350
ค่าปุ๋ย + ศัตรูพืช (ต่อปี)	1,000
ค่าค้ำกล้า (ต่อปี)	17,125
ต้นทุนในการลงทุนปีที่ 1 รวมทั้งสิ้น	39,921,350
ผลตอบแทน	
ราคาจำหน่ายไฟฟ้า (บาทต่อปี)	4,530,315
ราคาขายผัก (บาทต่อปี)	250,710
ผลตอบแทนรวม (ต่อปี)	4,781,025

จากการวิเคราะห์ด้านความเป็นไปได้และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าการปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มีความเป็นไปได้ถึงแม้พื้นที่จะมีข้อจำกัดด้านความเข้มแสง และดินมีลักษณะเป็นกรวดแข็ง ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช แต่สามารถนำดินดำและวัสดุจากภายนอกมาปรับโครงสร้างดินให้มีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชในพื้นที่ดังกล่าวมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 8.9 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 7,609,661 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน เท่ากับร้อยละ 9.38 และมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน เท่ากับ 1.18 เท่า และเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) โดยไม่มีการผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า มีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 9.4 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 5,036,486 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน เท่ากับ ร้อยละ 8.60 และมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน เท่ากับ 1.12 เท่า ดังตารางที่ 4.11 ซึ่งผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่า

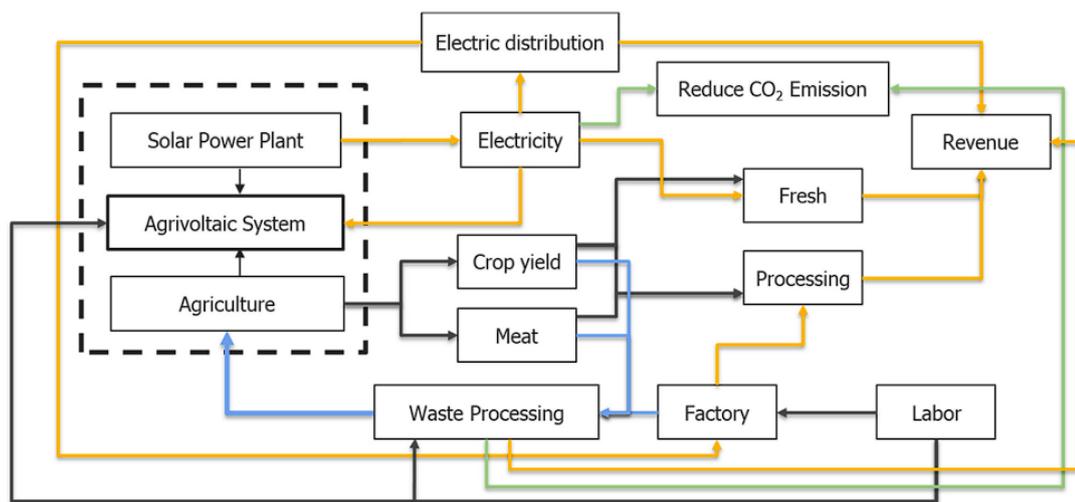
ทางเศรษฐศาสตร์ชี้ให้เห็นว่า ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และหากเปรียบเทียบกับ การทดลองขนาดในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 0.48 กิโลวัตต์ (kWp) พบว่า การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) จะให้ผลตอบแทนที่สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ เจตริน อาจปรุ และฉัฐพล มาเจริญ (2556) ที่ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 1,000 กิโลวัตต์ (kWp) พบว่า ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงถึง 15,312,861 บาท ส่วนการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช พบว่า มีระยะเวลาคืนทุน 6.6 – 7.6 ปี จุง แซลมอน และเกส (Jung, Salmon & Gese, 2021; เจียง และคนอื่น ๆ (Jing et al., 2022) ; กิริ และมาฮันตี (Giri & Mohanty, 2022) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงความเหมาะสมในการในพื้นที่ร่วมกัน โดยการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio : LER) จะทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีค่า LER สูงถึง 1.67 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 67 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินดังกล่าวสอดคล้องกับ วัลเล่ และคนอื่น ๆ (Valle et al., 2017) และดูปราซ และคนอื่น ๆ (Dupraz et al., 2011) ที่ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพบว่า มีค่า 1.67 และ 1.73 ตามลำดับ ทำให้ทราบถึงความคุ้มค่าและความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร

ตารางที่ 4.12 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) และระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ร่วมกับการผลิตพืช

รายการ	ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการผลิตพืช	ผลิตไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์
ระยะเวลาคืนทุน	8.90	9.40
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	7,609,661	5,036,486
อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน	ร้อยละ 9.38	ร้อยละ 8.60
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน	1.18	1.12

การวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงาน สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้านพลังงาน อาหาร สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรแสดงให้เห็นถึงความสำคัญ ในการพัฒนาภาคการเกษตรและพลังงาน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างสองภาคส่วนสามารถบรรลุ เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนที่จะเกิดขึ้นได้ ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 : ความสัมพันธ์ระหว่างด้านพลังงาน อาหาร สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม ของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร ที่มา : คุ่มพนาลัยสถิต (Kumpanalaisatit et al., 2022)

1. ผลกระทบทางพลังงาน

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีความเป็นไปได้ในการตอบสนอง ความต้องการพลังงานของโลก นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่สามารถทดแทน การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ช่วยเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานและพึ่งพาตนเองของประเทศ ได้ อย่างไรก็ตาม ความขัดแย้งเรื่องการใช้ที่ดินระหว่างภาคพลังงานและภาคการเกษตรมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงมีการเสนอระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรหลาย ประเภท เนื่องจากระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรมีศักยภาพในการเพิ่ม ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ คุ่มพนาลัยสถิต (Kumpanalaisatit et al., 2022) ส่วนการดำเนินการวิจัยตั้งแต่การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เพิ่มขึ้นแต่การดำเนินการดังกล่าว ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้า ดังนั้น ประเทศไทยควรส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ของที่ดิน

2. ผลกระทบด้านอาหาร

จากการศึกษาข้อมูลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีหลายประเทศมีนโยบายเร่งรัดการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานทดแทนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการขยายโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามนโยบายของแต่ละประเทศ ทำให้ความต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การบุกรุกพื้นที่เกษตรกรรม ปัญหาการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ก่อให้เกิดความขัดแย้งในพื้นที่เกษตรกรรมอาจนำไปสู่ความไม่มั่นคงทางอาหารในหลายพื้นที่ ทรมอสต์คอร์ด์และคนอื่น ๆ (Trommsdorff et al., 2021b ; เคตเซอร์ (Ketzer, 2020) ; ดิเนช และเพียร์ซ (Dinesh and Pearce, 2016) ดังนั้น การใช้พื้นที่เพื่อการเกษตรกรรมอย่างจำกัดของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรจึงสามารถช่วยให้เกิดความมั่นคงทางอาหารได้ นอกจากนี้ยังสามารถให้ผลประโยชน์ร่วมกันระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์และการผลิตทางการเกษตร การพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จึงทำควบคู่กับการเกษตรเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางอาหาร ตัวอย่างเช่น การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงเรือนสามารถผลิตผักกาดหอมได้มากกว่าความต้องการบริโภคในเมืองเซินเจิ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเกิดความมั่นคงทางอาหารสามารถสร้างรายได้โดยการส่งเสริมการเพิ่มจำนวนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการผลิตร่วมกับการเกษตร อย่างไรก็ตาม ควรมีการปรับความเข้าใจระหว่างเกษตรกรและโรงไฟฟ้า เพื่อนำไปสู่การดำเนินงานที่ประสบความสำเร็จ ซึ่งหากนาระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชมาส่งเสริมในประเทศไทยจะสามารถสร้างความมั่นคงทางด้านอาหารได้ เนื่องจากมีพืชหลากหลายสายพันธุ์ในประเทศไทยที่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ในสภาพแสงน้อย โดยการทดลองในงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าผักกวางตุ้งฮ่องเต้สามารถให้ผลผลิตในสภาพได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยไม่ส่งผลทำให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ลดลง

3. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีส่วนสำคัญต่อภาวะโลกร้อน การเกษตรมีส่วนประมาณร้อยละ 10 – 14 ของการเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่จากภาคพลังงานและการผลิตปศุสัตว์ โกวาซา และคนอื่น ๆ (Gołasa et al., 2021)

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีความสามารถในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคการเกษตร จากการประมาณการก่อนหน้านี้ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน ขนาด 1,500 หรือ 1.5 กิโลวัตต์ (kW) สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,549 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ไชยวานิช (Chaiwanich, 2018) โดยการบูรณาการแหล่งพลังงานหมุนเวียนเข้ากับการเกษตร การพัฒนาพลังงานหมุนเวียนสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางการเกษตร โกวาซา และคนอื่น ๆ (GoIasa et al., 2021) แนวคิดนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วโดย ไมอา และคนอื่น ๆ (Maia et al., 2020) ; โช และคนอื่น ๆ (Cho et al., 2020) ; ไลเทิล และคนอื่น ๆ (Lytle et al., 2020) ซึ่งระบุว่าระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าชุดควบคุม นอกจากนี้ ซอย และคนอื่น ๆ (Choi et al., 2021) แสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรส่งผลให้มีการชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่า เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าดีเซลหรือระบบไฟฟ้าสายส่งทั่วไปจากการศึกษาของ สเตดแมน และฮิกกินส์ (Stedman & Higgins, 2022) พบว่า ระบบผลิตพลังงานร่วมกับการเกษตรสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสามารถใช้เป็นพลังงานให้กับรถยนต์ไฟฟ้าได้ โดยการติดตั้งระบบตามทางหลวงชนบทสายหลักของรัฐ โอเรกอน ร้อยละ 86 แสดงให้เห็นว่าระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร สามารถนำไปใช้กับสถานีชาร์จรถไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกได้ สถานีชาร์จไฟฟ้าในชนบทจากระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ยานพาหนะได้ 3.1 ล้าน MTCO_2 /ปี หรือร้อยละ 21 นอกจากนี้ การใช้ของเสียในจากกระบวนการผลิตและการแปรรูปที่ใช้วัตถุดิบจากระบบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรช่วยลดของเสียที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียที่ผลิตได้ ดังนั้น หากประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 6,000 เมกะวัตต์ (MW) ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan 2015 : AEDP2015) จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 1,397.22 TCO_2 /ปี

4. ผลกระทบทางเศรษฐกิจ

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรทำให้ผู้ผลิตมีรายได้ 2 ทาง คือ รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า และรายได้จากการจำหน่ายผลิตผลทางการเกษตรหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปสินค้าเกษตร เฮอร์นัน และเด อาร์รูด้า (Hernán & de Arruda, 2021) โดย ทอมป์สัน และคนอื่น ๆ (Thompson et al., 2020) อธิบายว่า การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตโหระพาและปวยเล้ง มีมูลค่าการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 18 และ 113 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตโหระพาและปวยเล้งส่งผลทำให้ได้รับ

ผลตอบแทนสูงกว่าร้อยละ 30 – 35 รอย และ โภช (Roy & Ghosh, 2017) และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ระหว่าง 5 – 8 ปี เฮอร์นัน และเด อาร์ดูดา (Hernán & de Arruda, 2021) ; กิรี และมาฮันตี (Giri & Mohanty, 2022) ; เจียง และคนอื่น ๆ (Jing et al., 2022a, 2022b) นอกจากการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการผลิตพืชแล้วยังสามารถผลิตไฟฟ้าร่วมกับการเลี้ยงสัตว์ได้อีกด้วย ซึ่ง ไลเทิล และคนอื่น ๆ (Lytle et al., 2020) ได้เสนอแนวคิดในการออกแบบ Agrivoltaics System โดยการเลี้ยงกระต่ายและทำการวิเคราะห์เชิงเทคนิค รวมทั้งวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ เพื่อแสดงถึงความเป็นไปได้ของแนวคิดการออกแบบ Agrivoltaics System ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า การออกการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเลี้ยงกระต่ายเป็นรูปแบบที่สามารถทำให้มีรายได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.5 – 24 เนื่องจากกระต่ายมีมูลค่าต่อน้ำหนักสูง นอกจากนั้นยังพบว่า การเลี้ยงกระต่ายมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการเลี้ยงโคอย่างมีนัยสำคัญ ผลกระทบทางเศรษฐกิจของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรมีผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลักเหล่านี้สามารถให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการสร้างรายได้และยกระดับมาตรฐานชีวิตที่สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศ อากอสตินี และคนอื่น ๆ (Agostini et al., 2021) ตามงานวิจัยของ พรอคเตอร์ และคนอื่น ๆ (Proctor et al., 2021) พบว่า ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรทำให้เกิดการจ้างงานระยะมากกว่า 20 ปี อัตราการจ้างงาน จำนวน 117,000 อัตรา ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยร้อยละ 40 ของงานเหล่านั้นอยู่ในรูปของการดำเนินงานต่อเนื่องและการบำรุงรักษาระบบ

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต้นน้ำ ประกอบด้วย ผู้ประกอบการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เกษตรกรที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ทำการเกษตร และบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรให้ผลตอบแทนแก่ผู้ประกอบการและเกษตรกร ฮาฟริช และคนอื่น ๆ (Havrysh et al., 2022) ; แซ และคนอื่น ๆ (Chae et al., 2022) ; บันดารี และคนอื่น ๆ (Bhandari et al., 2021) ; เจิ้ง และคนอื่น ๆ (Zheng et al., 2021) ; ไอรี และคนอื่น ๆ (Irie et al., 2019) และยังคงค่าใช้จ่ายด้านค่าไฟฟ้าไฟฟ้า โดยการไฟฟ้าที่ผลิตในพื้นที่เกษตรกรรมสามารถช่วยเกษตรกรประหยัดค่าใช้จ่ายด้านค่าพลังงาน บันดารี และคนอื่น ๆ (Bhandari et al., 2021) การปรับเปลี่ยนผลิตจากการการเกษตรหรือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวไปสู่ระบบไฟฟ้าเพื่อเกษตรกรรมหรือการพัฒนาาระบบไฟฟ้าเพื่อเกษตรกรรมแบบใหม่ จะสร้างรายได้ให้กับผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ และผู้จัดจำหน่าย รวมถึงผู้ประกอบการด้านการเกษตร บันดารี และคนอื่น ๆ (Bhandari et al., 2021) กำไรจากการผลิตจำหน่าย และติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ยังช่วยสนับสนุนแรงงานฝีมือในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในท้องถิ่น นอกจากนี้ เมื่อระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงาน

แสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรได้รับการพัฒนาและประเมินการกักเก็บคาร์บอนแล้ว ผู้ประกอบการสามารถทำกำไรได้โดยการขายคาร์บอนเครดิตให้กับธุรกิจอื่น ๆ ที่ต้องการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลางน้ำ ได้แก่ วิชาหกิจชุมชน โรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และธุรกิจที่เกี่ยวข้อง โดยการซื้อไฟฟ้าโดยตรงจากระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรจะสร้างกระแสเงินสดในระบบเศรษฐกิจมากขึ้น บัณฑิต และคนอื่น ๆ (Bhandari et al., 2021) อย่างไรก็ตาม ทรอมส์ดอร์ฟ และคนอื่น ๆ (Trommsdorff et al., 2021a) เสนอว่า การขายไฟฟ้าราคาต่ำกว่าราคาผู้บริโภ�เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจ และหากผู้ประกอบการมีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรและ โรงงานแปรรูปอาหารเป็นของตนเอง ต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบและพลังงานสามารถลดลงได้โดยใช้ผลผลิตพืชและไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระบบในสถานประกอบการของตนเอง

ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียปลายน้ำ ได้แก่ สมาชิกในชุมชน ผู้บริโภ� ร้านอาหาร ศูนย์กระจายสินค้า การไฟฟ้า และภาคการขนส่ง จะได้ผลกระทบจากระบบโดยการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร โดยสร้างรายได้ให้กับชุมชน ทรอมส์ดอร์ฟ และคนอื่น ๆ (Trommsdorff et al., 2021b ; เคตเซอร์ (Ketzer, 2020) เพื่อการผลิตทางการเกษตรมากขึ้น สมาชิกในชุมชนอาจถูกจ้างงานในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมากขึ้น ผลผลิตสดและแปรรูปจากระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรสามารถส่งตรงถึงลูกค้า ร้านอาหาร และศูนย์กระจายสินค้า บัณฑิต และคนอื่น ๆ (Bhandari et al., 2021) การหมุนเวียนของกระแสเงินสดก็เกิดจากการซื้อขาย นอกจากนี้ การจัดส่งสินค้าไปยังสถานที่ต่าง ๆ ยังสร้างรายได้และงานให้กับภาคการขนส่งอีกด้วย ผู้ประกอบการสามารถหารายได้จากการขายไฟฟ้าให้กับหน่วยงานการไฟฟ้า บัณฑิต และคนอื่น ๆ (Bhandari et al., 2021) หากมีการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้า ระบบดังกล่าวจะสามารถช่วยเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าในการลดต้นทุนในการขยายสายส่ง และเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าวอีกด้วย ซึ่งจากข้อมูลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการทดสอบผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชที่พบว่า การดำเนินการดังกล่าว ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 13 – 80 ดังนั้น การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชจึงเป็นการใช้พื้นที่ให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจมากกว่าการผลิตพืชหรือการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

5. ผลกระทบต่อสังคม

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรเกิดผลกระทบที่ดีต่อสังคม และมีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียตั้งแต่ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ โดยผู้ประกอบการสามารถพัฒนาแปลง

เกษตรหรือโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร แรนเดล บ็อกส์ และคนอื่น ๆ (Randle Boggis et al., 2021) ; ไอรี และคนอื่น ๆ (Irie et al., 2019) อีกทั้ง พนักงานในระบบจะได้รับการฝึกอบรมจนมีทักษะที่จำเป็น ผู้ประกอบการจึงมั่นใจได้ว่าพนักงานมีความสามารถในงานของตน ทรอมส์ดอร์ฟ และคนอื่น ๆ (Trommsdorff et al., 2021b) การดำเนินการนี้จะช่วยพัฒนาฝีมือแรงงานให้สอดคล้องกับความต้องการของชุมชนในอนาคต ความสามารถและความเชี่ยวชาญของพนักงานจะส่งผลทำให้พนักงานดังกล่าวเป็นเจ้าของธุรกิจไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรในอนาคต ซึ่งสร้างโอกาสทางอาชีพมากมายในชุมชน ผลผลิตของระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรจะให้ความมั่นคงและพอเพียงในด้านอาหารและพลังงานสำหรับพื้นที่ที่ประสบกับความไม่มั่นคงทางอาหารหรือการขาดแคลนพลังงาน อากอสตินี และคนอื่น ๆ (Agostini et al., 2021) ; แรนเดล – บ็อกกิส และคนอื่น ๆ (Randle – Boggis et al., 2021) ; เคตเซอร์ (Ketzer, 2020) ; มาลู และคนอื่น ๆ (Malu et al., 2017) หากระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรถูกนำมาใช้ในชนบทของอินเดีย ในอนาคต ระบบดังกล่าวจะทำให้ชุมชนมีไฟฟ้าใช้ คุณภาพชีวิตของประชาชนดีขึ้น เกิดความมั่นคงทางอาหารและพลังงาน ตลอดจนการพึ่งตนเองได้ ไอรี และคนอื่น ๆ (Irie et al., 2019) นอกจากนี้ การทำการทางการเกษตรของชุมชนหรือผู้ประกอบการเปลี่ยนไปสู่เศรษฐกิจที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งหากมีการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยจะก่อให้เกิดการจ้างแรงงานเกษตรกรในการผลิตพืชได้แก่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดกลุ่มเกษตรกรรวมตัวกันเพื่อเช่าพื้นที่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการผลิตพืชเพื่อจำหน่าย การดำเนินการในลักษณะดังกล่าวจะก่อให้เกิดความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดกลุ่มที่เข้มแข็ง และเป็นชุมชนที่สามารถพึ่งตนเองได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาแนวทางการความเป็นไปได้ในการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ การผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงานสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม สรุปดังหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

การศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการทำบ่อน้ำ และการปลูกพริก มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และต่อยอดเพื่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจได้ แต่เมื่อพิจารณาการลงทุนการปลูกพริกได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นมีการลงทุนที่ต่ำกว่า ดังนั้น การปลูกพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นประเด็นที่สนใจและมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดผลสำเร็จสูง อย่างไรก็ตามการปลูกพืชอื่น ๆ ต้องคำนึงถึงพืชที่มีความต้องการความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงน้อย

การทดลองผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชไม่ส่งผลทำให้การผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยการผลิตไฟฟ้ามีความแตกต่างเพียงร้อยละ 0.09 อุณหภูมิลดลงเฉลี่ย 0.18 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาจากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับการผลิตพืช แสดงให้เห็นว่าหากมีการคัดเลือกพืชที่เหมาะสมต่อการสภาพแวดล้อมได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถให้ผลผลิตสูงมีโอกาที่จะช่วยให้การผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น รวมถึงประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio : LER) ที่ชี้ให้เห็นว่าการดำเนินการดังกล่าวมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 13

การออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรของระบบไฟฟ้าพลังงานที่ติดตั้งบนพื้นดินแบบถาวร สามารถผลิตไฟฟ้ามากกว่าหรือเท่ากับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (ชุดควบคุม) เนื่องจากระบบไฟฟ้าดังกล่าวถูกออกแบบ เพื่อการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และเมื่อมีการผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจส่งผลให้ผลิตอุณหภูมิแผงลดลง แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยวันละ 45 วัตต์ต่อชั่วโมง (Wh) หรือร้อยละ 2.15 ส่วนศักยภาพผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ที่ปลูกในระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรน้อยกว่าแปลงควบคุมร้อยละ 20 อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงความเหมาะสมในการในพื้นที่ร่วมกัน โดยการประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio : LER) จะทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีค่า LER สูงถึง 1.8 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวมีประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 80 รวมถึงผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่แสดงให้เห็นว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความคุ้มค่ามากกว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือการผลิตพืชเพียงอย่างเดียว ดังนั้น การเลือกพืชที่เหมาะสมต่อสภาพได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการเลือกพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง จะส่งผลทำให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เกิดประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินที่สูงขึ้น ส่วนผลของการผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าการผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ดังกล่าว ส่งผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม หากมีการคัดเลือกพืชที่เหมาะสมหรือมีการจัดการระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชที่สามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้จะยิ่งส่งผลทำให้การผลิตมีความคุ้มค่าเพิ่มมากขึ้น

แนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ด้านความเป็นไปได้และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แสดงให้เห็นว่าการปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ของวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มีความเป็นไปได้ ถึงแม้พื้นที่จะมีข้อจำกัดด้านความเข้มแสง และดินมีลักษณะเป็นกรวดแข็ง ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืช แต่สามารถนำดินดำและวัสดุจากภายนอกมาปรับโครงสร้างดินได้แสดงให้เห็นความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์จะเห็นได้ว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืชในพื้นที่ดังกล่าวมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 8.9 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 7,609,661 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน เท่ากับ ร้อยละ 9.38 และมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน เท่ากับ 1.18 และหากระบบ

ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 702 กิโลวัตต์ (kWp) ไม่มีการผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะส่งผลทำให้เกิดความคุ้มค่าต่อการลงทุนต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช โดยมีระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 9.4 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 5,036,486 บาท อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน เท่ากับร้อยละ 8.60 และมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน เท่ากับ 1.12 เท่า นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Equivalent Ratio : LER) ยังทำให้ทราบว่า การใช้ประโยชน์ร่วมกันของพื้นที่ดังกล่าวมีค่า LER สูงถึง 1.67 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ร้อยละ 67 ดังนั้น การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงความคุ้มค่า และเป็นไปได้ มีความเหมาะสมที่จะได้รับการส่งเสริมให้มีการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร

ผลกระทบของระบบการผลิตพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต่อพลังงานสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม

จากการประเมินผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร ทั้งการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไม่มีการวางแผนทำการเกษตรล่วงหน้า และแบบวางแผนทำการเกษตรล่วงหน้า รวมทั้งการวิเคราะห์การผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ และการเลี้ยงสัตว์ร่วมกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งการผลิตร่วมกันระหว่างภาคพลังงานและการเกษตรดังกล่าว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และเป็นการส่งเสริมการไหลพลังงานหมุนเวียน นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดความมั่นคงด้านพลังงานและอาหาร ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เพิ่มการจ้างงานในชุมชน สร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการและเกษตรกร ลดการแข่งขันด้านการใช้ที่ดินเพื่อการเกษตร ลดการบุกรุกพื้นที่ป่า และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตร ถึงแม้จะส่งผลที่ดีทั้งด้านพลังงาน อาหาร สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม แต่การศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรแบบติดตั้งบนพื้นดินที่ไม่มีการวางแผนล่วงหน้าด้านการเกษตรยังมีน้อย ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมให้มากขึ้น เพื่อให้การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรเกิดประโยชน์อย่างสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรเก็บข้อมูลสภาพอากาศอย่างละเอียด เพื่อให้การผลิตพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ผลผลิตที่ดี มีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ
2. การดำเนินการศึกษาการปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรดำเนินการอย่างต่อเนื่อง อย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้เห็นผลผลิตพืชและปริมาณการผลิตไฟฟ้าในแต่ละเดือน ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีในการขยายสู่พื้นที่อื่น ๆ ต่อไป
3. การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำงานการปลูกพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดระยะเวลาที่ต้องใช้ในการศึกษาผลกระทบของพื้นที่เพาะปลูกภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ต่อการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
4. การคัดเลือกพืชที่เหมาะสมสำหรับการปลูกภายใต้เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งถาวร พร้อมกับพารามิเตอร์การเจริญเติบโตของพืช โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคณิตศาสตร์
5. การติดตามการกักกรองของ โครงสร้างของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากความชื้นจากการทำกิจกรรมการปลูกพืชได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์
6. การส่งเสริมการดำเนินนโยบายเกษตรกรรมร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม เพื่อลดการแย่งชิงที่ดินเพื่อเกษตรกรรมและการบุกรุกพื้นที่ป่า และสนับสนุนประชาชนในท้องถิ่นให้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

บรรณานุกรม

- กฤษนนท์ สวนจันทร์. (2560). การออกแบบโครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งตามดวงอาทิตย์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- กาญจนศิษฐ์ เวชการ. (2560). การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำพิกัด 50 kWp. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2555). เอกสารคำแนะนำ “การเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์สำหรับการปลูกพืช”. กรุงเทพฯ : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ดินทางกายภาพ. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2551). “ผักสวนครัว สาบสายใยรักแห่งครอบครัว”. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (ม.ป.ป.). โครงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อําเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. สืบค้นจาก https://www.bangchak.co.th/site/Download/SunnyEbookDownload_2sunny-report2012-final.pdf
- โกศล อังกูรัตน์. (2556). โซลาร์เซลล์ทำงานอย่างไร. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). สืบค้นจาก https://www.tint.or.th/sites/default/files/knowledge_file/STKC%235%20by%20Gomol%233.pdf
- คงเอก ศิริงาม, ปราณิต จิระสุทัศน์ และวิภากรณ์ แสงวงมี. (2558). ผลของวิธีการปลูกต่อการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมใบพันธุ์กรีนโอ๊ค. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร, 10(1), 82 – 94.
- คงเอก ศิริงาม และนราศักดิ์ บุญมี. (ม.ป.ป.). ผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตและปริมาณรงควัตถุของผักกาดหอมพันธุ์คอส. กรุงเทพฯ : สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.

- ผริดา คุณิพงษ์ และสหัสชัย คงทน. (2542). การใช้แบบจำลองการปลูกพืชในการประเมินผลผลิตของข้าวโพดบนชุดดินปากช่อง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 37 (น. 78 – 84). สาขาวิชาพืชศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พีระวุฒิ ชินวรรังสี, ศศิวิมล ทรงไตร, ญัฐกานต์ อุดมเดชาฉัตติ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, อัสวิน หงษ์สิงห์ทอง, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์, จริญญา ศรีธาราธิคุณ และกอบศักดิ์ ศรีประภา. (2558). การประเมินสมรรถนะ และความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 32(2), 19 – 24.
- พิชดา จิรวรรณวงศ์. (2556). การศึกษาด้านทุนในการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในบ้านที่อยู่อาศัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต).
- พิชญ์สินี เพชรไทย และธรรมศักดิ์ ทองเกตุ. (2560). ผลของความเข้มแสงและระยะเวลารับแสงต่อการเจริญเติบโตและคุณภาพของผักกาดหอม. *วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์*, 4(3), 54 – 59.
- วิศรา ปานพรม และวิศกร วงษ์พิมพ์. (2556). ผลของระดับอุณหภูมิในบรรยากาศที่แตกต่างกันที่มีต่อปริมาณธาตุอาหารในดินและปริมาณผลผลิตของถั่วเหลือง (*Glycine max (L.) Merrill*). (โครงการวิจัยปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร).
- วสุพร ดีวงม. (2558). การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการติดตั้งโซลาร์รูฟอย่างเสรีสำหรับบ้านที่อยู่อาศัย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- วิเชียร เกิดสุข. (2545). การประยุกต์ใช้แบบจำลองการปลูกพืชและสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการจัดเขตนิเวศข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในเขตพื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ จังหวัดนครราชสีมา. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี).
- ศศิวิมล ทรงไตร, รพีระวุฒิ ชินวรรังสี, อัสวิน หงษ์สิงห์ทอง, ญัฐกานต์ อุดมเดชาฉัตติ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์ และ กอบศักดิ์ ศรีประภา. (2559). การประเมินสมรรถนะและความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบระบบติดตามดวงอาทิตย์และปรับมุมรับแสงคงที่ในประเทศไทย. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 33(1), 48 – 53.

- ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. (2552). การใช้ Stella ในการจำลองระบบเกษตร. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติครั้งที่ 5 “พลังงานทดแทนและความมั่นคงทางอาหารเพื่อมนุษยชาติ” (น. 346 – 355). คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศักดิ์สิทธิ์ บุญคำ และปริยานุช จุลกะ. (2557). ผลของค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของสารละลายธาตุอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกาดฮ่องเต้ที่ปลูกในระบบ Nutrient Film Technique (NFT). ว. วิทย. กษ. 45(2), 9 – 12.
- สมชาย บุญประดับ และศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา. (2544). การประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวโพดและการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าวโพด. รายงานโครงการวิจัย ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช : ข้าวโพดในภาคเหนือ. เชียงใหม่ : ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สังคม เตชะวงศ์เสถียร (2559). เอกสารประกอบการสอน เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช. ขอนแก่น : สาขาพืชสวน ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สืบค้นจาก [https://ag.kku.ac.h/suntec/134101/134101%20Factors%20affecting%20G-D%20\(note\).pdf](https://ag.kku.ac.h/suntec/134101/134101%20Factors%20affecting%20G-D%20(note).pdf)
- สุภาณี ชนะวีรารณ และสายันท์ สดุดิ. (2544). การใช้เครื่องมือ SPAD-502 เพื่อประเมินคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบของลองกองและเงาะ. ว. สงขลานครินทร์ วทท. 24(1), 9 – 14.
- สุรจิต ภูภักดี. (2556). เอกสารประกอบการสอน เรื่อง การเจริญเติบโตของพืช. อุบลราชธานี : ภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- สุรเชษฐ ย่านวาร์. (2559). หลักการออกแบบและติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เบื้องต้นสำหรับบ้านเรือน. สืบค้นจาก <https://ienergyguru.com/2016/06/ติดตั้งโซลาร์เซลล์/>
- อนุชา ดีผาง และพรหมชัย สุพรรณ. (2561). การเพิ่มประสิทธิภาพแผงโซลาร์เซลล์โดยวิธีปรับมุมแผงติดตามดวงอาทิตย์ เป็นช่วงเวลาร่วมกับการระบายความร้อนแผงด้วยน้ำ. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ราชธานีวิชาการ ครั้งที่ 3 (น. 1165 – 1171). มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- อังสนา พจน์ศิริ. (2559). การศึกษาด้านทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในอาคาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา).
- อรชร พูลศิริ. (2554). การประเมินค่าสัมประสิทธิ์ทางพันธุกรรมของข้าวฟ่างหวานพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืช. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น).

- เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2561). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 3 (น. 95). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เยาวพา จิระเกียรติกุล และนิสา แซ่ลิ้ม. (2552). การเจริญเติบโตของฝักกาดหอมพันธุ์ Red Oak ที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยสารละลายสูตรต่าง ๆ. *Thai Science and Technology Journal*, 17(2), 81 – 88.
- Achawangkul, Y., & Blueprint, T. I. E. (2015). Alternative energy development plan (AEDP) 2015. *Proceedings of Thailand Integrated Energy Blueprint* (p. 9). Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy.
- Gibson, A. (2019). *40+ Best shade tolerant vegetables*. Retrieved from <https://themicrogardener.com/40-best-shade-tolerant-vegetables-grow-in-shade/>
- Aroca–Delgado, R., Pérez–Alonso, J., Callejón–Ferre, Á. J., & Velázquez–Martí, B. (2018). Compatibility between crops and solar panels: An overview from shading systems. *Sustainability*, 10(3), 743.
- Al–Saidi, M., & Lahham, N. (2019). Solar energy farming as a development innovation for vulnerable water basins. *Dev. Pract.*, 29, 619–634.
- Beck, M., Bopp, G., Goetzberger, A., Oberfell, T., Reise, C., & Schindele, S. (2012). Combining PV and food crops to agrophotovoltaic–optimization of orientation and harvest. *Proceedings of the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference* (pp. 1 – 5). Frankfurt, Germany.
- Bruggink, G. T. (1992). A comparative analysis of the influence of light on growth of young tomato and carnation plants. *Scientia Horticulturae*, 51(1 – 2), 71 – 81.
- Brohm, R., & Khanh, N., (2019). *Dual – use approaches for solar energy and food production international experience and potentials for Viet Nam*. Retrieved from http://rainer-brohm.de/wpcontent/uploads/2019/02/Dual-use-approaches-for-solar-energy-and-foodproduction-international-experience_en.pdf.
- Chimres, N., & Wongwiset, S. (2016). Critical review of the current status of solar energy in Thailand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 198 – 207.

- Comparini, D., Nguyen, H. T., Ueda, K., Moritaka, K., Kihara, T., & Kawano, T. (2018). Effect of different light spectra on the pigmentation of stored elephant garlic. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*, 2598 – 2606.
DOI: 10.1002/jsfa.8752
- Colantoni, A., Monarca, D., Marucci, A., Cecchini, M., Zambon, I., Di Battista, F., & Beruto, M. (2018). Solar radiation distribution inside a greenhouse prototypal with photovoltaic mobile plant and effects on flower growth. *Sustainability*, *10*, 855.
- Cossu, M., Murgia, L., Ledda, L., Deligios, P. A., Sirigu, A., Chessa, F., & Pazzona, A. (2014). Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Appl. Energy*, *133*, 89 – 100.
- Cho, J., Park, S. M., Park, A. R., Lee, O. C., Nam, G., & Ra, I. H. (2020). Application of photovoltaic systems for agriculture: a study on the relationship between power generation and farming for the improvement of photovoltaic applications in agriculture. *Energies*, *13*, 4815.
- Choi, C. S., Ravi, S., Siregar, I. Z., Dwiyantri, F. G., Macknick, J., Elchinger, M., & Davatzes, N. C. (2021). Combined land use of solar infrastructure and agriculture for socioeconomic and environmental co-benefits in the tropics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* *151*, 111610.
- Dos Santos, C. N. L. (2020). Agrivoltaic system: a possible synergy between agriculture and solar energy. Received from <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1427912/FULLTEXT01.pdf>.
- Detpiratmongkol, S., Ubolkerd, T., & Yoosukyingsataporn, S. (2013). Effect of shading on growth and yield of Beijing grass. *Proceedings of the 51st Kasetsart University Annual Conference*. (p. 134). Kasetsart University.
- Deng, C., Wang, Y., Cota-Ruiz, K., Reyes, A., Sun, Y., Peralta-Videa, J., & Gardea-Torresdey, J. (2020). Bok choy (*Brassica rapa*) grown in copper oxide nanoparticles – amended soils exhibits toxicity in a phenotype – dependent manner: Translocation, biodistribution and nutritional disturbance. *Journal of Hazardous Materials*, *398*, 122978.

- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., & Ferard, Y. (2011). Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725 – 2732.
- Driesse, A., & Zaïman, W. (2015). Characterization of global irradiance sensors for use with PV Systems. *Proceedings of 2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)* (pp. 1 – 5). IEEE.
- de la Torre, F. C., Varo, M., López – Luque, R., Ramírez – Faz, J., & Fernández – Ahumada, L. M. (2022). Design and analysis of a tracking/backtracking strategy for PV plants with horizontal trackers after their conversion to agrivoltaic plants. *Renew. Energy*, 187, 537 – 550.
- Endecon Engineering. (2001). A guide to photovoltaic (PV) system design and installation. Retrieved from https://ww2.energy.ca.gov/reports/2001-09-04_500-01-020.PDF
- Evans, M. E., Langley, J. A., Shapiro, F. R., & Jones, G. F. (2022). A validated model, scalability, and plant growth results for an agrivoltaic greenhouse. *Sustainability*, 14(10), 6154.
- Europe, S. P. (2018). *Global market outlook for solar power 2018–2022*. Brussels, Belgium : Solar Power Europe.
- Ezzaeri, K., Fatnassi, H., Bouharroud, R., Gourdo, L., Bazgaou, A., Wifaya, A., & Bouirden, L. (2018). The effect of photovoltaic panels on the microclimate and on the tomato production under photovoltaic Canadian greenhouses. *Sol. Energy*, 173, 1126–1134.
- Ekpenyong, E. E., & Anyasi, F. I. (2013). Effect of shading on photovoltaic cell. *IOSR J. Electr. Electron. Eng*, 8, 2278.
- FWT Penning de Vries. (1989). Simulation of eco–physiological processes of growth in several annual crops. *Int. Rice Res. Inst.*, 29(1), pp 1 – 10.
- Gamarra, C., & Ronk, J. J. (2019). Floating Solar: An Emerging Opportunity at the Energy–Water Nexus. *Texas Water Journal*, 10(1), 32 – 45.
- Goetzberger, A., & Zastrow, A. (1982). On the coexistence of solar – energy conversion and plant cultivation. *International Journal of Solar Energy*, 1(1), 55 – 69.

- Giri, N. C., & Mohanty, R. C. (2022). Design of agrivoltaic system to optimize land use for clean energy – food production: A socio – economic and environmental assessment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 24(8), 2595 – 2606.
- Gorjian, S., Bousi, E., Özdemir, Ö. E., Trommsdorff, M., Kumar, N. M., Anand, A., Kant, K., Giri, N. C., & Mohanty, R. C. (2022). Design of agrivoltaic system to optimize land use for clean energy – food production: a socio-economic and environmental assessment. *Clean Techn. Environ. Policy*, 1–12.
- Liu, H., & Liu, G. (2019). Bok choy, An Asian leafy green vegetable emerging in Florida. Retrieved from <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/hs1337>
- He, J., & Qin, L. (2020). Growth and photosynthetic characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves grown under natural sunlight with supplemental LED lighting in a tropical greenhouse. *Journal of plant physiology*, 252, 153239.
- Hassanien, R. H. E., Li, M., & Lin, W. D. (2016). Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54, 989 – 1001.
- Irie, N., Kawahara, N., & Esteves, A. M. (2019). Sector – wide social impact scoping of agrivoltaic systems: a case study in Japan. *Renew. Energy* 139, 1463 – 1476.
- Jäger – Waldau, A. (2018). Snapshot of photovoltaics – February 2018. *EPJ Photovoltaics*, 9, 6.
- Jiao, X., Yu, X., Ding, J., Du, Q., Zhang, J., Song, X., ... & Li, J. (2022). Effects of rising VPD on the nutrient uptake, water status and photosynthetic system of tomato plants at different nitrogen applications under low temperature. *Scientia Horticulturae*, 304, 111335.
- Jung, D., Salmon, A., & Gese, P. (2021). Agrivoltaics for farmers with shadow and electricity demand: results of a pre – feasibility study under net billing in central Chile. *Proceedings of AIP conference proceedings*, 2361(1), pp. 1 – 7.
- Jing, R., He, Y., He, J., Liu, Y., & Yang, S. (2022). Global sensitivity based prioritizing the parametric uncertainties in economic analysis when co – locating photovoltaic with agriculture and aquaculture in China. *Renewable Energy*, 194, 1048 – 1059.
- Jiang, S., Tang, D., Zhao, L., Liang, C., Cui, N., Gong, D., Wang, Y., Feng, Y., Hu, X., & Peng, Y. (2022). Effects of different photovoltaic shading levels on kiwifruit growth, yield and water productivity under “agrivoltaic” system in Southwest China. *Agric. Water Manag.*, 269, 107675.

- Jo, H., Asekova, S., Bayat, M. A., Ali, L., Song, J. T., Ha, Y. S., Hong, D. H., & Lee, J. D. (2022). Comparison of yield and yield components of several crops grown under agro – photovoltaic system in Korea. *Agriculture*, 12(5), 619.
- Kadowaki, M., Yano, A., Ishizu, F., Tanaka, T., & Noda, S. (201). Effects of greenhouse photovoltaic array shading on Welsh onion growth. *Biosyst. Eng.*, 111, 290 – 297.
- Katsikogiannis, O. A., Ziar, H., & Isabella, O. (2022). Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: a synergistic design approach. *Appl. Energy*, 309, 118475.
- Kirimura, M., Takeshita, S., Matsuo, M., Zushi, K., Gejima, Y., Honsho, C., Nagaoka, A., & Nishioka, K. (2022). Effects of agrivoltaics (photovoltaic power generation facilities on farmland) on growing condition and yield of komatsuna, mizuna, kabu, and spinach. *Environ. Control Biol.*, 60(2), 117 – 127.
- Kumar, B. M., Kumar, S. S., & Fisher, R. F. (2005). Galangal growth and productivity related to light transmission in single-strata, multistrata and ‘no – over – canopy’ systems. *Journal of New Seeds*, 7(2), 111 – 126.
- Kumano, T., & Araki, H. (2019, June). The relationship between color profiles of asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears and light intensity in Fusekomi forcing culture. *Proceedings of International Symposium on Advanced Technologies and Management for Innovative Greenhouses: GreenSys2019 1296* (pp. 637 – 644). International Society for Horticultural Science.
- Kong, Y., & Zheng, Y. (2019). Response of growth, yield, and quality of edible – podded snow peas to supplemental LED lighting during winter greenhouse production. *Canadian Journal of Plant Science*, 99(5), 676 – 687.
- Liu, K., Gao, M., Jiang, H., Ou, S., Li, X., He, R., & Liu, H. (2022). Light intensity and photoperiod affect growth and nutritional quality of Brassica microgreens. *Molecules*, 27(3), 883.
- Othman, N. F., Su, A. M., & Ya’acob, M. E. (2018). Promising Potentials of Agrivoltaic Systems for the Development of Malaysia Green Economy. *Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 146(1), p. 012002.

- Li, C., Wang, H., Miao, H., & Ye, B. (2017). The economic and social performance of integrated photovoltaic and agricultural greenhouses systems: case study in China. *Appl. Energy*, 190, 204 – 212.
- Leon, A., & Ishihara, K. N. (2018). Assessment of new functional units for agrivoltaic systems. *J. Environ. Manag.*, 226, 493 – 498.
- Mecha Tronix Horticulture Lighting. (n.d.). *Typical PPF and DLI values per crop*. Retrieved from horti-growlight.com
- Malu, P. R., Sharma, U. S., & Pearce, J. M. (2017). Agrivoltaic potential on grape farms in India. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 104 – 110.
- Maia, A. S. C., de Andrade, C. E., Fonsêca, V. D. F. C., Milan, H. F. M., & Gebremedhin, K. G. (2020). Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *J. Clean. Prod.* 258, 120551.
- Marrou, H., Guillioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., & Wéry, J. (2013a). Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agric. For. Meteorol.*, 177, 117 – 132.
- Marrou, H., Wéry, J., Dufour, L., & Dupraz, C. (2013b). Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *Eur. J. Agron.* 44, 54 – 66.
- Moon, H. W., & Ku, K. M., 2022. Impact of an agriphotovoltaic system on metabolites and the sensorial quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata) and its high temperature – extracted juice. *Foods*, 11(4), 498.
- Annotti, M. (2020). *Shade tolerant vegetables for the garden*. Retrieved from <https://www.thespruce.com/shade-tolerant-vegetables-1403388>.
- Mavani, D. D., Chauhan, P. M., & Joshi, V. (2019). Beauty of agrivoltaic system regarding double utilization of same piece of land for generation of electricity & food production. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 10, 118–148.
- Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., & Heath, G. (2013). *Land – use requirements for solar power plants in the United States (No. NREL/TP-6A20-56290)*. U.S.A.: National Renewable Energy Lab. (NREL).

- Ott, E. M., Kabus, C. A., Baxter, B. D., Hannon, B., & Celik, I. (2022). Environmental analysis of agrivoltaic systems. *Compr Renew Energy*, 9(1), 127 – 139.
- Othman, N. F., A. S. Mat Su, & M. E. Ya'Acob. (2018). Promising potentials of agrivoltaic systems for the development of Malaysia green economy. *Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 146 (p. 012002). IOP Publishing Ltd.
- Othman, N. F., Ya'acob, M. E., Abdul – Rahim, A. S., Othman, M. S., Radzi, M. A. M., Hizam, H., & Jaafar, H. Z. E. (2015). Embracing new agriculture commodity through integration of Java tea as high value herbal crops in solar PV farms. *J. Clean. Prod.* 91, 71 – 77.
- Peng, Z., Herfatmanesh, M. R., & Liu, Y. (2017). Cooled solar PV panels for output energy efficiency optimisation. *Energy Conversion and Management*, 150, 949 – 955.
- Photone Growlightmeter. (2022). Light requirements for plants: find your plant's PPFD and DLI. Retrieved from <https://growlightmeter.com/light-requirements-for-plants/>
- Pennisi, G., Pistillo, A., Orsini, F., Cellini, A., Spinelli, F., Nicola, S., & Marcelis, L. F. (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Scientia Horticulturae*, 272, 109508.
- Pringle, A. M., Handler, R. M., & Pearce, J. M. (2017). Aquavoltaics: synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80, 572 – 584.
- Peretz, M. F., Geoola, F., Yehia, I., Ozer, S., Levi, A., Magadley, E., & Teitel, M. (2019). Testing organic photovoltaic modules for application as greenhouse cover or shading element. *Biosyst. Eng.*, 184, 24 – 36.
- Perna, A., Grubbs, E. K., Agrawal, R., Bermel, P. (2019). Design considerations for agrophotovoltaic systems: maintaining PV area with increased crop yield. *Proceedings of IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference* (pp. 0668 – 0672). IEEE.
- Ravi, S., Macknick, J., Lobell, D., Field, C., Ganesan, K., Jain, R., & Stoltenberg, B. (2016). Colocation opportunities for large solar infrastructures and agriculture in drylands. *Appl. Energy*, 165, 383 – 392.

- Riaz, M. H., Younas, R., Imran, H., Alam, M. A., Butt, N. Z. (2021). Module technology for agrivoltaics: vertical bifacial vs. tilted monofacial farms. *IEEE J. Photovolt.*, 11(2), 469 – 477.
- Roy, S., & Ghosh, B. (2017). Land utilization performance of ground mounted photovoltaic power plants: a case study. *Renew. Energy*, 114, 1238 – 1246.
- Rajvikram, M., & Leoponraj, S. (2018). A method to attain power optimality and efficiency in solar panel. *Beni – Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(4), 705 – 708.
- Rittiram, J., & Tira – Umphon, A. (2019). Effects of light intensity on growth and yield of lettuce in plant factory system. *Kaen Kaset= Khon Kaen Agriculture Journal*, 47(6), 1243 – 1250.
- Santra, P., Pande, P. C., Kumar, S., Mishra, D., & Singh, R. K. (2017). Agri – voltaics or solar farming: the concept of integrating solar PV based electricity generation and crop production in a single land use system. *Int. J. Renew. Energy Res.*, 7, 694 – 699.
- Sathyanarayana, P., Ballal, R., Sagar, P. L., & Kumar, G. (2015). Effect of shading on the performance of solar PV panel. *Energy and Power*, 5(1A), 1 – 4.
- Son, I. C., Moon, K. H., Song, E. Y., Wi, S. H., Seo, H. H., Moon, Y. E., ... & Oh, S. (2018). Growth and physiological responses of Chinese cabbage to different light intensity until leafy head formation. *Horticultural Science and Technology*, 36(2), 151 – 160.
- Schindele, S., Trommsdorff, M., Schlaak, A., Obergfell, T., Bopp, G., Reise, C., & Goetzberger, A. (2020). Implementation of agrophotovoltaics: techno – economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. *Appl. Energy*, 265, 114737.
- Sekiyama, T., & Nagashima, A. (2019). Solar sharing for both food and clean energy production: performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop. *Environments*, 6, 65.
- Toledo, C., & Scognamiglio, A. (2021). Agrivoltaic systems design and assessment: A critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision (three – dimensional agrivoltaic patterns). *Sustainability*, 13(12), 6871.

- Trypanagnostopoulos, G., Kavga, A., Souliotis, M., & Tripanagnostopoulos, Y. (2017). Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics. *Renew. Energy*, *111*, 24 – 731.
- Tahir, Z., & Butt, N. Z. (2022). Implications of spatial – temporal shading in agrivoltaics under fixed tilt & tracking bifacial photovoltaic panels. *Renew. Energy* *190*, 167–176.
- Teng, J. W. C., Soh, C. B., Devihosur, S. C., Tay, R. H. S., & Jusuf, S. K. (2022). Effects of agrivoltaic systems on the surrounding rooftop microclimate. *Sustainability*, *14*(12), 7089.
- Vanderlinden, C. (2011). *Best vegetables to grow in the shade*. Retrieved from <https://www.motherearthnews.com/organic-gardening/vegetables/vegetables-to-grow-in-shade-zm0z11zsto>.
- Valle, B., Simonneau, T., Sourd, F., Pechier, P., Hamard, P., Frisson, T., & Christophe, A. (2017). Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. *Applied Energy*, *206*, 1495 – 1507.
- Wolff, X. Y., & Coltman, R. R. (1990). Productivity under shade in Hawaii of five crops grown as vegetables in the tropics. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *115*(1), 175 – 180.
- Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture – new opportunity for photovoltaic applications in China. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, *73*, 1 – 9.
- Yano, A., & Cossu, M. (2019). Energy sustainable greenhouse crop cultivation using photovoltaic technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, *109*, 116 – 137.
- Zhou, M., Guan, Q., Wei, Y., & Zhang, Z. (2008). Effects of sucrose concentration and light intensity on growth and photosynthesis of ginger plantlets in vitro. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, *14*, 356 – 361.
- Zheng, J., Meng, S., Zhang, X., Zhao, H., Ning, X., Chen, F., Omer, A. A., Ingenhoff, J., & Liu, W. (2021). Increasing the comprehensive economic benefits of farmland with even lighting agrivoltaic systems. *PLOS One* *16*, 0254482.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเก็บข้อมูลกิจกรรมการศึกษารูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

ภาคผนวก ก.1 การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (การปลุกหญ้า)

การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (การปลุกหญ้า)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	16.68	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	18.66	271.00	0.56	0.15	0.0
8.00	126.00	22.40	271.60	1.77	0.48	5.5
9.00	329.67	34.70	273.00	3.83	1.05	4.6
10.00	550.33	43.52	273.00	6.54	1.79	4.7
11.00	682.33	50.72	272.60	7.89	2.15	4.5
12.00	775.00	56.78	273.10	8.95	2.44	4.6
13.00	816.67	56.90	273.20	9.16	2.50	4.4
14.00	773.67	57.48	273.10	8.80	2.40	4.5
15.00	601.33	49.96	272.30	6.74	1.84	4.4
16.00	374.67	45.52	271.30	3.92	1.06	4.1
17.00	142.33	36.92	270.60	1.37	0.37	3.8
18.00	0.00	26.52	270.60	0.50	0.14	0.0
เฉลี่ย	431.00	43.06	272.12	5.00	1.36	3.75

ภาคผนวก ก.2 การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (การปลูกพริก)

การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (การปลูกพริก)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	18.30	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	19.44	271.50	0.56	0.15	0.0
8.00	122.67	22.94	272.40	1.64	0.45	5.3
9.00	344.33	34.12	272.30	2.66	0.72	3.0
10.00	568.67	43.32	273.00	6.76	1.85	4.7
11.00	689.33	50.70	273.30	8.68	2.37	5.0
12.00	788.67	56.20	273.40	9.45	2.58	4.7
13.00	819.67	57.18	273.20	9.81	2.68	4.7
14.00	777.33	55.42	272.60	9.31	2.54	4.7
15.00	597.33	49.36	271.50	6.99	1.90	4.6
16.00	368.00	41.70	270.60	4.06	1.10	4.3
17.00	150.00	34.16	270.60	1.17	0.32	3.0
18.00	0.00	26.88	270.20	0.00	0.00	0.0
เฉลี่ย	435.50	42.48	272.05	5.09	1.39	3.67

ภาคผนวก ก.3 การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (ป้อนน้ำ)

การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (ป้อนน้ำ)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	19.06	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	19.74	275.00	0.77	0.21	0.0
8.00	125.33	24.40	271.00	1.80	0.49	5.6
9.00	369.33	32.58	272.60	3.84	0.77	3.0
10.00	577.00	42.72	273.00	6.59	1.80	4.5
11.00	697.67	52.64	273.80	8.72	2.39	4.9
12.00	785.00	52.92	273.80	9.81	2.69	4.9
13.00	828.67	57.56	273.50	9.95	2.72	4.7
14.00	782.67	55.66	272.70	9.47	2.58	4.8
15.00	580.67	49.34	271.70	6.94	1.89	4.7
16.00	357.00	41.84	271.70	4.13	1.12	4.5
17.00	145.00	32.60	270.70	1.27	0.34	3.4
18.00	0.00	26.04	270.70	0.98	0.27	0.0
เฉลี่ย	437.36	42.26	272.52	5.36	1.44	3.76

ภาคผนวก ก.4 การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (ควบคุม)

การเก็บข้อมูลก่อนการทดลอง (ควบคุม)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	18.94	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	20.50	275.00	0.80	0.22	0.0
8.00	142.00	26.52	274.00	1.85	0.51	5.2
9.00	378.67	32.62	271.00	3.99	1.08	4.1
10.00	573.00	46.54	273.00	5.99	1.64	4.1
11.00	707.00	52.1	274.10	7.45	2.04	4.2
12.00	787.00	56.56	274.40	8.45	2.32	4.3
13.00	802.33	57.54	274.80	8.51	2.34	4.2
14.00	755.33	55.26	274.20	7.93	2.17	4.2
15.00	534.00	47.12	272.90	5.39	1.47	4.0
16.00	338.00	42.34	271.60	2.27	0.62	2.6
17.00	0.00	29.86	271.00	0.42	0.11	0.0
18.00	0.00	26.16	270.00	0.00	0.00	0.0
เฉลี่ย	418.11	42.67	273.00	4.42	1.21	3.06

ภาคผนวก ก.5 การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (การปลูกหญ้า)

การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (การปลูกหญ้า)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	17.92	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	15.84	270.70	0.30	0.08	0.0
8.00	134.33	22.02	270.50	1.02	0.28	3.0
9.00	321.00	31.62	271.20	3.87	1.05	4.7
10.00	657.33	39.2	272.40	7.20	1.96	4.3
11.00	858.33	49.44	273.10	9.47	2.59	4.3
12.00	986.67	47.88	273.80	10.90	2.98	4.4
13.00	981.67	49.68	273.70	10.80	2.96	4.3
14.00	925.67	49.72	273.60	10.11	2.77	4.3
15.00	699.33	44.38	272.50	7.13	1.94	4.0
16.00	521.67	41.16	271.80	4.98	1.35	3.7
17.00	145.67	33.5	270.50	0.98	0.27	2.6
18.00	0.00	31.36	270.90	0.00	0.00	0.0
เฉลี่ย	519.31	39.48	272.06	5.56	1.52	3.31

ภาคผนวก ก.6 การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (การปลูกพริก)

การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (การปลูกพริก)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	16.64	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	18.16	270.90	0.25	0.07	0.0
8.00	145.33	23.22	270.70	1.33	0.36	3.6
9.00	269.33	31.54	271.20	3.35	0.91	4.9
10.00	666.67	43.52	272.70	7.97	2.17	4.7
11.00	856.33	46.76	273.70	10.51	2.88	4.8
12.00	996.33	48.76	274.70	11.32	3.11	4.5
13.00	986.67	50.54	274.30	11.32	3.11	4.5
14.00	918.00	48.98	273.80	10.38	2.84	4.5
15.00	667.00	44.3	272.80	7.45	2.03	4.4
16.00	437.67	39.42	271.60	4.18	1.14	3.7
17.00	145.00	34.5	270.50	0.54	0.15	1.5
18.00	0.00	30.24	270.50	0.00	0.00	0.0
เฉลี่ย	507.36	39.72	272.28	5.72	1.56	3.42

ภาคผนวก ก.7 การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (ป้อน้ำ)

การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (ป้อน้ำ)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	14.54	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	15.64	270.30	0.70	0.19	0.0
8.00	167.33	23	270.70	1.82	0.49	4.2
9.00	372.00	32.82	271.30	3.87	1.05	4.1
10.00	691.67	43.08	273.00	8.15	2.22	4.6
11.00	901.67	48.22	274.20	10.96	3.01	4.8
12.00	1001.33	48.42	274.40	11.12	3.05	4.4
13.00	985.33	48.44	274.60	11.58	3.18	4.7
14.00	905.00	50.72	273.90	10.12	2.77	4.4
15.00	635.67	44.28	273.90	7.22	1.98	4.5
16.00	414.00	40.06	271.70	4.31	1.17	4.1
17.00	61.00	33.24	271.00	0.35	0.09	2.2
18.00	0.00	28.64	270.80	0.00	0.00	0.0
เฉลี่ย	511.25	39.26	272.48	5.85	1.60	3.51

ภาคผนวก ก.8 การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (ควบคุม)

การเก็บข้อมูลหลังการทดลอง (ควบคุม)						
Time	solar radiation	temperature	V	I	p	PV panel eff.
6.00	0.00	15.42	0.00	0.00	0.00	0.0
7.00	0.00	16.7	270.50	0.98	0.27	0.0
8.00	172.00	23.54	270.90	1.55	0.42	3.5
9.00	243.67	33.12	271.50	2.55	0.69	4.1
10.00	685.33	41.88	273.70	7.14	1.95	4.1
11.00	878.00	49.36	275.00	9.28	2.55	4.2
12.00	966.33	50.46	275.20	10.22	2.81	4.2
13.00	974.67	53.62	275.40	10.05	2.77	4.1
14.00	870.67	51.16	274.80	8.63	2.37	3.9
15.00	565.67	46.22	273.20	3.85	1.05	2.7
16.00	327.00	40.86	271.20	0.85	0.23	1.0
17.00	0.00	31.3	271.00	0.00	0.00	0.0
18.00	0.00	27.94	270.80	0.00	0.00	0.0
เฉลี่ย	473.61	40.13	272.77	4.59	1.26	2.66

ภาคผนวก ข

การเก็บข้อมูลกิจกรรมการผลิตพืชได้แสงเซลล์แสงอาทิตย์

ภาคผนวก ข.1 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศ (°C)

	8:00 AM	8:30 AM	9:00 AM	9:30 AM	10:00 AM	10:30 AM	11:00 AM	11:30 AM	12:00 PM	12:30 PM	1:00 PM	1:30 PM	2:00 PM	2:30 PM	3:00 PM	3:30 PM	4:00 PM	4:30 PM	5:00 PM	
Array 1 Control PV																				
Eff. Measurment	26.91	29.65	35.67	38.04	41.21	44.66	46.81	47.10	47.88	50.41	49.84	50.26	48.23	47.24	47.13	44.29	42.07	39.29	36.53	
Array 2 Bok Choy 1	26.25	28.70	33.27	37.32	40.49	43.87	45.35	48.26	47.26	49.66	49.41	50.31	50.15	46.54	47.53	43.34	41.18	38.25	35.17	
Array 3 Bok Choy 2	27.29	30.31	34.62	37.75	40.58	44.83	46.47	48.68	48.86	50.51	50.44	49.83	51.38	47.49	47.79	44.80	41.43	33.62	33.65	
Array 4 Bok Choy 3	27.34	29.57	34.28	35.07	40.96	44.52	46.23	49.40	48.19	49.68	49.89	50.56	48.44	47.26	46.20	44.14	41.70	39.27	35.56	
Array 5 Bok Choy 4	27.45	30.45	34.95	37.79	41.02	44.98	45.78	49.15	47.68	50.21	50.06	49.18	51.12	47.00	48.09	44.64	41.55	36.78	33.73	
Ambient temp.	22.81	23.60	24.79	26.02	27.12	28.51	29.63	30.67	31.40	32.10	32.06	32.93	32.72	32.85	32.87	32.35	31.82	31.43	30.90	

ภาคผนวก ข.2 การเก็บข้อมูลรังสีสีดวงอาทิตย์ (w/m^2)

	8.00	8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00
ครั้งที่ 1	140.30	362.10	491.30	571.40	487.10	584.10	674.80	705.90	874.40	874.40	843.00	645.10	393.40	473.30	699.80	630.90	537.00	359.50	181.10
ครั้งที่ 2	216.40	256.50	527.60	549.30	695.00	801.50	858.40	900.00	932.60	839.80	883.40	720.50	812.10	737.60	673.30	601.70	479.00	308.70	169.10
ครั้งที่ 3	164.40	208.70	334.50	451.10	579.30	590.30	731.90	680.80	617.80	674.20	626.80	661.50	650.50	679.80	591.00	523.10	594.70	306.20	148.50
ครั้งที่ 4	230.20	342.80	367.10	488.70	596.90	708.40	642.80	930.20	681.40	725.00	810.40	867.10	987.30	600.90	478.60	388.70	355.80	168.50	97.80
ครั้งที่ 5	231.80	318.60	400.20	512.70	610.10	646.60	663.90	864.30	733.50	838.60	786.20	665.00	958.20	663.20	757.90	493.00	383.10	308.10	319.50
ครั้งที่ 6	156.40	270.60	407.80	535.80	661.60	744.40	831.60	886.20	941.00	963.80	965.40	927.60	885.40	816.20	708.40	601.60	452.60	318.40	182.00
ครั้งที่ 7	197.80	282.40	451.60	560.20	660.00	763.20	851.00	934.80	961.20	976.60	980.20	957.40	907.40	822.20	705.40	603.60	475.00	333.40	200.20
เฉลี่ย	194.06	293.74	420.22	511.73	590.77	662.47	712.08	822.69	774.34	791.30	793.71	715.44	778.13	645.13	630.61	521.85	466.38	291.93	195.37

ภาคผนวก ข.3 การเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้า (kW)

	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	
	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	AM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	PM	
Array 1 Control PV																				
Eff. Measurment	0.9	1.1	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.9	2.9	2.8	2.7	2.3	2.4	2.2	2.1	1.9	1.5	1.1	0.5	
Array 2 Bok Choy 1	1.0	1.4	1.7	2.0	2.3	2.6	2.8	3.3	3.1	3.1	3.0	2.6	2.7	2.4	2.4	1.9	1.8	1.3	0.8	
Array 3 Bok Choy 2	0.8	1.2	1.6	1.9	2.2	2.5	2.6	3.1	2.9	2.7	2.8	2.4	2.7	2.3	2.1	1.7	1.2	0.7	0.5	
Array 4 Bok Choy 3	0.9	1.1	1.6	1.9	2.2	2.5	2.5	3.1	2.9	2.9	2.9	2.4	2.5	2.4	2.2	1.9	1.6	1.2	0.6	
Array 5 Bok Choy 4	0.8	1.1	1.4	1.8	2.0	2.3	2.4	2.9	2.7	2.5	2.6	2.2	2.5	2.2	2.0	1.5	1.1	0.5	0.4	

ภาคผนวก ข.4 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของพืช

DAYS	ความสูง (ซม.)					จำนวนใบ				
	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35
PLOT 1 Bok Choy 1	15	17.1	19.2	21.3	21.4	6.8	7.6	8.4	12	19.6
PLOT 2 Bok Choy 2	13	14.8	16.5	19.8	21.6	6.4	7.2	8	12	14
PLOT 3 Bok Choy 3	12.5	13.3	14.1	15.6	18.4	6.2	6.9	7.6	9.8	10.4
PLOT 4 Bok Choy 4	14.6	15.4	16.2	20.3	20.3	6.4	6.9	7.4	10.2	12.6
PLOT 5 Control	14.1	16.5	18.8	23.7	24.5	5.6	7	8.4	15.8	23

DAYS	ความยาวใบ (ซม.)					ความกว้างใบ (ซม.)				
	7	14	21	28	35	7	14	21	28	35
PLOT 1 Bok Choy 1	3.72	4.07	4.42	5.5	5.52	10.3	11.8	13.3	13.8	13.7
PLOT 2 Bok Choy 2	3.18	3.49	3.8	4.5	4.9	8.54	8.82	9.1	12.4	13
PLOT 3 Bok Choy 3	3.1	3.49	3.88	4.4	5.2	7.94	8.67	9.4	10.2	11.6
PLOT 4 Bok Choy 4	3.66	3.68	3.7	4.9	7.4	8.3	9.2	10.1	12.8	13.2
PLOT 5 Control	2.86	4.49	6.12	9	9.4	7.4	10.1	12.8	18.2	19.6

ภาคผนวก ข.5 การเก็บข้อมูลผลผลิตของพืช

	น้ำหนักสด (g)					รวม	เฉลี่ย (g)	ผลผลิตรวม (kg)
Plot 1								
น้ำหนักสดต้น	58.3	14.5	7.6	15.9	16.2	112.5	22.5	
น้ำหนักสดราก	4.3	2.7	1.3	2.1	1.8	12.2	2.44	2.31
น้ำหนักสดรวม	62.6	17.2	8.9	18	18	124.7	24.94	
Plot 2								
น้ำหนักสดต้น	35.2	7.1	16.8	11	14.4	84.5	16.9	
น้ำหนักสดราก	1.9	1.1	1.7	1.1	1.4	7.2	1.44	1.05
น้ำหนักสดรวม	37.1	8.2	18.5	12.1	15.8	91.7	18.34	
Plot 3								
น้ำหนักสดต้น	51.5	5.3	17.5	3.4	7	84.7	16.94	
น้ำหนักสดราก	3.7	2.5	2.8	1.9	1.5	12.4	2.48	1.50
น้ำหนักสดรวม	55.2	7.8	20.3	5.3	8.5	97.1	19.42	
Plot 4								
น้ำหนักสดต้น	11.5	10.5	20.6	21.4	14.1	78.1	15.62	
น้ำหนักสดราก	1.7	1.7	1	2.8	0.4	7.6	1.52	
น้ำหนักสดรวม	13.2	12.2	21.6	24.2	14.5	85.7	17.14	1.16
Plot 5								
น้ำหนักสดต้น	54.3	151.5	185.4	302.1	287.8	981.1	196.22	
น้ำหนักสดราก	5.5	10.2	11	18.6	15.9	61.2	12.24	17.30
น้ำหนักสดรวม	59.8	161.7	196.4	320.7	303.7	1042.3	208.46	

ภาคผนวก ค

การเก็บข้อมูลกิจกรรมการออกแบบและทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
ร่วมกับการผลิตพืช

ภาคผนวก ค.1 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านความสูง (ซม.)

Exp.	W1	W2	W3	W4	W5
PV1	7.80	10.00	13.80	17.50	19.6
Control1	6.40	6.90	7.60	9.9	10
PV2	10.00	11.60	13.20	15.60	17.6
Control2	6.90	8.05	9.20	12.6	12
PV3	10.10	10.95	11.80	15.90	19.2
Control3	6.30	8.95	11.60	14.1	15.2
PV4	10.80	10.60	10.40	16.80	16.6
Control4	7.56	9.38	11.20	14.5	13.5
PV5	10.02	11.91	13.80	15.30	17.8
Control5	7.58	10.69	13.80	15.8	15.3
PV6	10.80	11.40	12.00	16.60	16.2
Control6	7.60	8.60	9.60	14.9	15
PV7	9.58	10.09	10.60	14.7	15.6
Control7	8.00	9.40	10.80	15	16.4

ภาคผนวก ค.2 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านจำนวนใบ

Exp.	W1	W2	W3	W4	W5
PV1	4	4.6	6.2	8.8	9.2
Control1	3.4	4.8	5.6	5.8	7.8
PV2	4.2	4.4	4.6	6.8	7.8
Control2	3.8	4.6	5.4	6.6	7.8
PV3	4.6	5.5	6.4	7.8	8.4
Control3	3.2	4.4	5.6	8	9.2
PV4	3.8	4.7	5.6	6.6	7
Control4	4	4.9	5.8	7.8	7.8
PV5	3.8	5.2	6.6	7	8.8
Control5	3.8	4.8	5.8	8.2	8.6
PV6	4.4	5	5.6	6.4	6.8
Control6	3.6	4.5	5.4	6.4	7.4
PV7	3.4	4.7	6	6.6	8
Control7	3.6	4.7	5.8	6.6	8.4

ภาคผนวก ค.3 การเก็บข้อมูลการเจริญเติบโตด้านความกว้างใบและจำนวนใบ

Exp.	ความกว้างใบ (ซม.)					ความยาวใบ (ซม.)				
	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5	Week 1	Week 2	Week 3	Week 4	Week 5
PV1	2.38	2.62	4.10	4.7	3.5	6.08	6.92	12.20	14.84	8.4
Control1	2.24	2.38	2.70	3.7	5.1	4.76	5.86	6.02	8.06	15.4
PV2	2.12	2.51	2.90	2.9	4.2	7.14	7.82	8.50	13.7	9.9
Control2	2.22	2.86	3.50	4.3	3.32	5.86	6.83	7.80	10.14	11.6
PV3	2.36	2.67	2.98	2.96	5.08	6.84	8.92	11.00	10.9	12.3
Control3	2.48	3.19	3.90	5.1	3.1	5.70	6.65	7.60	12.94	12.1
PV4	2.00	2.39	2.78	2.74	4.66	6.92	8.04	9.16	9.34	11.7
Control4	2.34	2.97	3.60	4.3	2.66	6.62	7.71	8.80	12.3	10.7
PV5	2.20	2.36	2.52	2.28	5	6.52	7.96	9.40	8.6	12.2
Control5	2.18	3.04	3.90	5.4	2.6	6.34	7.82	9.30	12.4	10.1
PV6	2.08	2.31	2.54	2.54	4.4	6.54	7.14	7.74	9.6	11.6
Control6	2.00	2.51	3.02	4.74	2.58	5.60	6.70	7.80	12.7	10.5
PV7	2.28	2.22	2.16	2.32	4.88	7.18	6.99	6.80	7.44	11.76
Control7	2.20	2.70	3.20	4.8	2.54	6.06	6.15	6.24	11.5	9.7

ภาคผนวก ก.4 การเก็บข้อมูลผลผลิต

	น้ำหนักสด (กรัมต่อต้น)							รวม (กรัม)	ศักยภาพการให้ผลผลิต (กก./แปลง)
	1	2	3	4	5	6	7		
PV Shoot	6.71	18.40	8.10	5.90	2.70	3.10	3.70	48.61	8.51
PV Root	0.80	1.42	2.04	0.44	0.30	0.60	1.66	7.26	
Control Shoot	2.12	4.90	13.40	9.60	13.80	10.50	8.10	62.42	10.92
Control Root	0.40	0.56	1.22	1.02	1.10	0.86	1.10	6.26	

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกิจกรรมการออกแบบและทดสอบระบบการผลิต ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตพืช

1. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นนำข้อมูลต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าแบตเตอรี่ (5 ปี) ค่าเครื่องแปลง กระแสไฟฟ้า (10) ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ (10 ปี) ค่าโครงสร้าง ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ และผลตอบแทน คือ มูลค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) และ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) โดยแสดงวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1) กระแสเงินสดจ่าย

$$\begin{aligned} \text{ปีที่เริ่มต้น} &= -(\text{ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์} + \text{ค่าแบตเตอรี่} + \text{ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า} + \\ &\text{ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่} + \text{ค่าโครงสร้าง} + \text{ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ}) \\ &= -(7,200 + 3000 + 2,000 + 1,000 + 15,000) \\ &= -28,200 \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่าแบตเตอรี่ใช้งาน 5 ปี เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และเครื่องประจุแบตเตอรี่
ใช้งาน 10 ปี

$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 5} &= -(\text{ค่าแบตเตอรี่}) \\ &= -3000 \end{aligned}$$

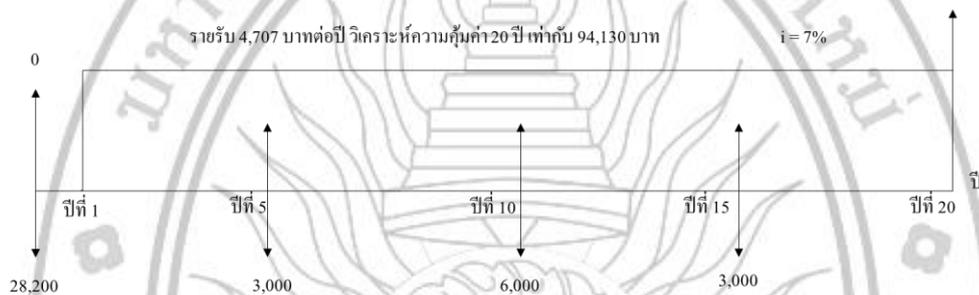
$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 10} &= -(\text{ค่าแบตเตอรี่} + \text{ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า} + \text{ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่}) \\ &= -(3,000 + 2,000 + 1,000) \\ &= -6,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 15} &= -(\text{ค่าแบตเตอรี่}) \\ &= -3000 \end{aligned}$$

2) กระแสเงินสดรับ

คำนวณได้จากการมูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้วันละ 2,278 วัตต์-ชั่วโมง หรือปีละ 831.54 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งอัตราขายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 5.66 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558) ดังนั้น ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงสามารถสร้างรายได้ปีละ 4,707 บาท

จากข้อมูลข้างต้น สามารถเขียน Cash Flow Diagram ได้ดังนี้



3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$NPV = \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} - \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบปัจจุบัน}$

$$\begin{aligned} \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= \text{มูลค่าการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์} \\ &= 49,861 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รายจ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= \text{ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์} + \text{ค่าแบตเตอรี่} + \text{ค่าเครื่องแปลง} \\ &\quad \text{กระแสไฟฟ้า} + \text{ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่} + \text{ค่า} \\ &\quad \text{โครงสร้าง} + \text{ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ} \\ &= 34,476 \end{aligned}$$

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 15,384$$

4) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน

อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยของโครงการลงทุน ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิมีค่าเท่ากับเงินลงทุน

$$IRR = 13.60\%$$

5) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

$$\begin{aligned} B/C &= \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบปัจจุบัน} \\ &= 49,861 / 34,476 \\ B/C &= 1.45 \end{aligned}$$

6) ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{รายได้สุทธิต่อปีเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 34,476 / 4,707 \\ &= 7.33 \end{aligned}$$

2. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตผักกางต้งฮ่องเต้

วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตผักกางต้งฮ่องเต้ เป็นการนำข้อมูลต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย ค่าติดตั้งระบบน้ำ ค่าดินปลูก + มูลไก่ผสมแกลบ (ต่อปี) ค่าปุ๋ย + ศัตรูพืช (ต่อปี) ค่าคั่นกล้า (ต่อปี) และมูลค่าผลผลิต โดยการวิเคราะห์ห้ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR) และ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) โดยแสดงวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1) กระแสเงินสดจ่าย

$$\begin{aligned} \text{ปีที่เริ่มต้น} &= - (\text{ค่าติดตั้งระบบน้ำ} + \text{ค่าดินปลูกและมูลไก่ผสมแกลบ} + \text{ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช} + \text{ค่าคั่นกล้า}) \\ &= - (500 + 2,500 + 195 + 1,200) \\ &= - 4,395 \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่าจ่ายน้ำต้องเปลี่ยนทุก ๆ 3 ปี ค่ามูลไก่ผสมแกลบ + ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช และค่าคั่นกล้าต้องซื้อทุกปี

$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 1 - 20} &= - (\text{ค่ามูลไก่ผสมแกลบ} + \text{ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช} \text{ และค่าคั่นกล้า}) \\ &= - ((100 \times 20) + (195 \times 20) + (1,200 \times 20)) \\ &= - 29,900 \end{aligned}$$

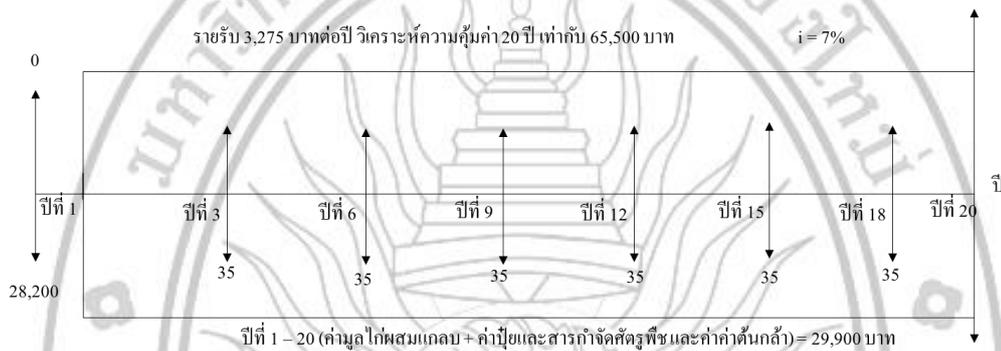
ปีที่ 3 6 9 12 15 และ 18

$$\begin{aligned} \text{ค่าจ่ายน้ำ} &= 35 \times 20 \\ &= 210 \end{aligned}$$

2) กระแสเงินสดรับ

คำนวณได้จากการมูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ โดยการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ในพื้นที่ 3 × 7 เมตร หรือ 21 ตารางเมตร จะได้ผลผลิต 21.84 กิโลกรัมต่อครั้ง ซึ่งปลูกสูงสุดปีละ 6 ครั้ง ได้ผลผลิตปีละ 131 กิโลกรัม จำหน่ายกิโลกรัมละ 25 บาท ดังนั้น การปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้จึงสามารถสร้างรายได้ปีละ 3,275 บาท

จากข้อมูลข้างต้น สามารถเขียน Cash Flow Diagram ได้ดังนี้



3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

NPV = รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน - ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบปัจจุบัน

$$\begin{aligned} \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= \text{มูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้} \\ &= 34,706 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รายจ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= (\text{ค่าติดตั้งระบบน้ำ} + \text{ค่าดินปลูกและมูลไก่ผสมกลม} \\ &\quad + \text{ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช} + \text{ค่าต้นกล้า}) \\ &= 20,343 \end{aligned}$$

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 14,363$$

4) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน

อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยของโครงการลงทุน ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิมีค่าเท่ากับเงินลงทุน

$$\text{IRR} = 40.30\%$$

5) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

$$\begin{aligned} B/C &= \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 34,706 / 20,343 \\ B/C &= 1.71 \end{aligned}$$

6) ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{รายได้สุทธิต่อปีเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 20,343 / 3,276 \\ &= 6.21 \end{aligned}$$

3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการปลูกผักกางต้งฮ่องเต้

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการปลูกผักกางต้งฮ่องเต้ เป็นนำข้อมูลต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าแบตเตอรี่ (5 ปี) ค่าเครื่องแปลง กระแสไฟฟ้า (10) ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่ (10 ปี) ค่าโครงสร้าง ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ ค่าติดตั้งระบบน้ำ ค่าดินปลูก + มูลไก่ผสมแกลบ (ต่อปี) ค่าปุ๋ย + ศัตรูพืช (ต่อปี) ค่าต้นกล้า (ต่อปี) และผลตอบแทน คือ มูลค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และมูลค่าผลผลิตผักกางต้งฮ่องเต้ โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR) และ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) โดยแสดงวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1) กระแสเงินสดจ่าย

$$\begin{aligned} \text{ปีที่เริ่มต้น} &= -((\text{ค่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์} + \text{ค่าแบตเตอรี่} + \text{ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า} + \\ &\text{ค่าเครื่องประจุแบตเตอรี่} + \text{ค่าโครงสร้าง} + \text{ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบ} + \text{ค่าติดตั้งระบบน้ำ} + \text{ค่าดิน} \\ &\text{ปลูกและมูลไก่ผสมแกลบ} + \text{ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช} + \text{ค่าต้นกล้า}) \\ &= - (7,200 + 3,000 + 2,000 + 1,000 + 15,000 + 500 + 1250 + 145 + 600) \\ &= - 30,095 \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่าจ่ายน้ำต้องเปลี่ยนทุก ๆ 3 ปี ค่ามูลไก่ผสมแกลบ + ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช และค่าต้นกล้าต้องซื้อทุกปี

ปีที่ 5 = - (ค่าเบตเตอรี่)
 = - 3000

ปีที่ 10 = - (ค่าเบตเตอรี่ + ค่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า + ค่าเครื่องประจุเบตเตอรี่)
 = - (3,000 + 2,000 + 1,000)
 = - 6,000

ปีที่ 15 = - (ค่าเบตเตอรี่)
 = - 3000

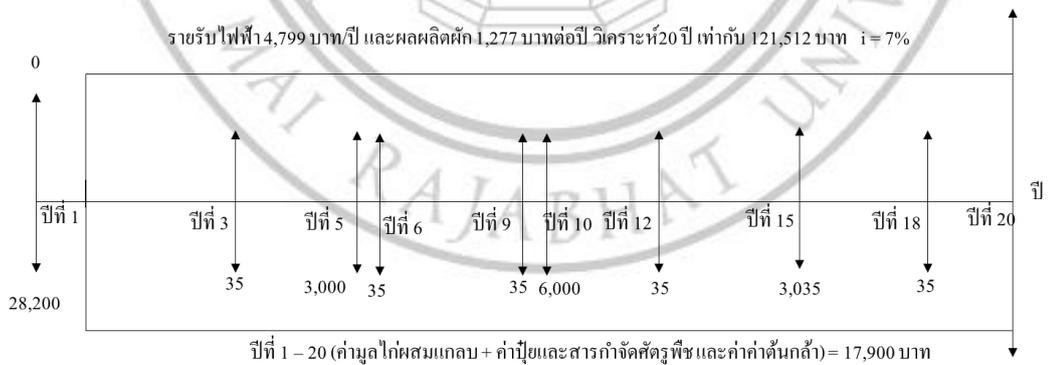
ปีที่ 1 - 20 = - (ค่ามูลไก่ผสมเกลบ + ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช และค่าค่าต้นกล้า)
 = - ((100×20)+(195×20)+(1,200×20))
 = - 29,900

ปีที่ 3 6 9 12 15 และ 18 ค่าจ่ายน้ำ = 35×20
 = 210

2) กระแสเงินสดรับ

คำนวณได้จากการมูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ โดยการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ในพื้นที่ 1 × 7 เมตร หรือ 7 ตารางเมตร จะได้ผลผลิต 8.51 กิโลกรัมต่อครั้ง ซึ่งปลูกสูงสุดปีละ 6 ครั้ง ได้ผลผลิตปีละ 51 กิโลกรัม จำหน่ายกิโลกรัมละ 25 บาท ดังนั้น การปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้จึงสามารถสร้างรายได้ปีละ 1,275 บาท

จากข้อมูลข้างต้น สามารถเขียน Cash Flow Diagram ได้ดังนี้



3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$NPV = \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} - \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน}$$

$$\begin{aligned} \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= \text{มูลค่าผลผลิตผักวางตู้ห่อตั้งฮ่งเต้} + \text{มูลค่าการผลิตไฟฟ้า} \\ &= 64,365 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รายจ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= (\text{ค่าใช้จ่ายระบบกสิกรรมผลิตไฟฟ้า} + \text{ค่าใช้จ่ายระบบการผลิตพืช}) \\ &= 40,167 \end{aligned}$$

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 24,198$$

4) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน

อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยของโครงการลงทุน ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิมีค่าเท่ากับเงินลงทุน

$$IRR = 16.31\%$$

5) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

$$\begin{aligned} B/C &= \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 64,365 / 40,167 \end{aligned}$$

$$B/C = 1.60$$

6) ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{รายได้สุทธิต่อปีเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 40,167 / 6,076 \\ &= 5.9 \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์การปลูกพืช
ภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 702 kWp ร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการปลูกผักกวางตุ้งฮ่องเต้ เป็นนำข้อมูลต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย (ค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (รวมอุปกรณ์ทั้งหมด) + ค่าบำรุงรักษาระบบรายปี + ค่าติดตั้งระบบน้ำ + ค่าดินปลูก + ค่า มูลไก่ผสมแกลบ + ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช + ค่าต้นกล้า และผลตอบแทน คือ มูลค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และมูลค่าผลผลิตผักกวางตุ้งฮ่องเต้ โดยการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR) และ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit – Cost Ratio : BCR) โดยแสดงวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1) กระแสเงินสดจ่าย

$$\begin{aligned} \text{ปีที่เริ่มต้น} &= - (\text{ค่าติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (รวมอุปกรณ์ทั้งหมด)} + \text{ค่า} \\ &\text{บำรุงรักษาระบบรายปี} + \text{ค่าติดตั้งระบบน้ำ} + \text{ค่าดินปลูก} + \text{ค่า มูลไก่ผสมแกลบ} + \text{ค่าปุ๋ยและสาร} \\ &\text{กำจัดศัตรูพืช} + \text{ค่าต้นกล้า}) \\ &= - (39,838,500 + 12,000 + 51,375 + 1,350 + 1,000 + 17,125) \\ &= - 39,921,350 \end{aligned}$$

กำหนดให้ค่าจ่ายน้ำต้องเปลี่ยนทุก ๆ 2 ปี ค่าบำรุงรักษาระบบรายปี (ปีที่ 2-20) ค่ามูลไก่ผสมแกลบ + ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช และค่าค่าต้นกล้าต้องซื้อทุกปี

$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 2 - 10} &= - \text{ค่าบำรุงรักษาระบบรายปี} \\ &= - (5,700,000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 1 - 20} &= - (\text{ค่ามูลไก่ผสมแกลบ} + \text{ค่าปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช และค่าค่าต้นกล้า}) \\ &= - ((1,350 \times 20) + (1,000 \times 20) + (17,125 \times 20)) \\ &= - 370,025 \end{aligned}$$

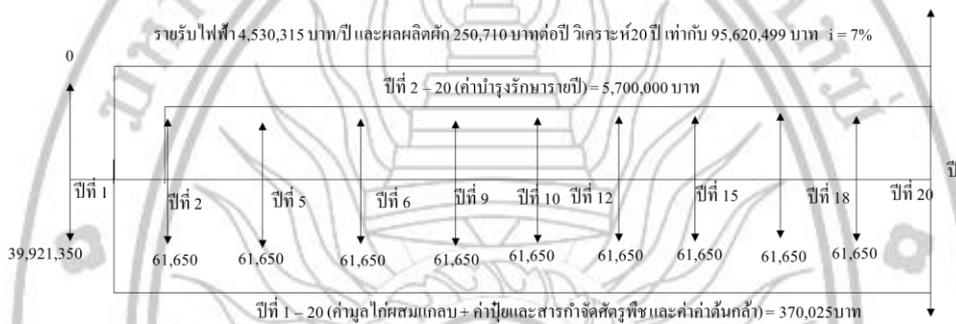
$$\begin{aligned} \text{ปีที่ 2 4 6 8 10 12 14 16 18 และ 20 ค่าจ่ายน้ำ} &= - 6850 \times 10 \\ &= - 61,650 \end{aligned}$$

2) กระแสเงินสดรับ

คำนวณได้จากการมูลค่าผลผลิตผักกางต้งฮ่องเต้ โดยการปลูกผักกางต้งฮ่องเต้ในพื้นที่ 1,370 ตารางเมตร จะได้ผลผลิต 1671.4 กิโลกรัมต่อครั้ง ซึ่งปลูกสูงสุดปีละ 6 ครั้ง จำหน่ายกิโลกรัมละ 25 บาท ดังนั้น การปลูกผักกางต้งฮ่องเต้จึงสามารถสร้างรายได้ปีละ 250,710 บาท

คำนวณได้จากการมูลค่าไฟฟ้า โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้ ปีละ 800,409 kWh จำหน่าย 5.66 บาท/kWh ดังนั้น การผลิตไฟฟ้าจึงสามารถสร้างรายได้ปีละ 4,530,315 บาท

จากข้อมูลข้างต้น สามารถเขียน Cash Flow Diagram ได้ดังนี้



3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$$NPV = \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} - \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบปัจจุบัน}$$

$$\begin{aligned} \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= \text{มูลค่าผลผลิตผักกางต้งฮ่องเต้} + \text{มูลค่าการผลิตไฟฟ้า} \\ &= 50,650,246 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รายจ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} &= (\text{ค่าใช้จ่ายระบบกสารผลิตไฟฟ้า} + \text{ค่าใช้จ่ายระบบการผลิตพืช}) \\ &= 43,040,585 \end{aligned}$$

$$\text{มูลค่าปัจจุบันสุทธิ} = 7,609,661$$

4) อัตราผลตอบแทนภายในจากการลงทุน

อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยของโครงการลงทุน ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิมีค่าเท่ากับเงินลงทุน

$$IRR = 9.38\%$$

5) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

$$\begin{aligned} B/C &= \text{รายได้สุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 50,650,246 / 43,040,585 \\ B/C &= 1.18 \end{aligned}$$

6) ระยะเวลาคืนทุน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{ค่าใช้จ่ายสุทธิเทียบเท่าปัจจุบัน} / \text{รายได้สุทธิต่อปีเทียบเท่าปัจจุบัน} \\ &= 43,040,585 / 4,781,025 \\ &= 8.92 \end{aligned}$$



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	นายมานิช คุ่มพนาลัยสถิต
วัน เดือน ปีเกิด	2 มิถุนายน 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 155 ตำบลแม่ศึก อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ 50270
อีเมลล์แอดเดรส	manoch1989@rmutl.ac.th
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2558 หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง พ.ศ. 2555 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
ประสบการณ์การทำงาน	พ.ศ. 2566 – ปัจจุบัน อาจารย์ สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง พ.ศ. 2564 – 2566 นักวิจัย หน่วยวิจัยและพัฒนาด้านการบริหารเทคโนโลยี และนวัตกรรมการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง