

การประเมินพลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์สำหรับอาคารที่
ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน



ชัชชัย วรพัฒน์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประเมินพลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์สำหรับอาคารที่ติดตั้งเซลล์
แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

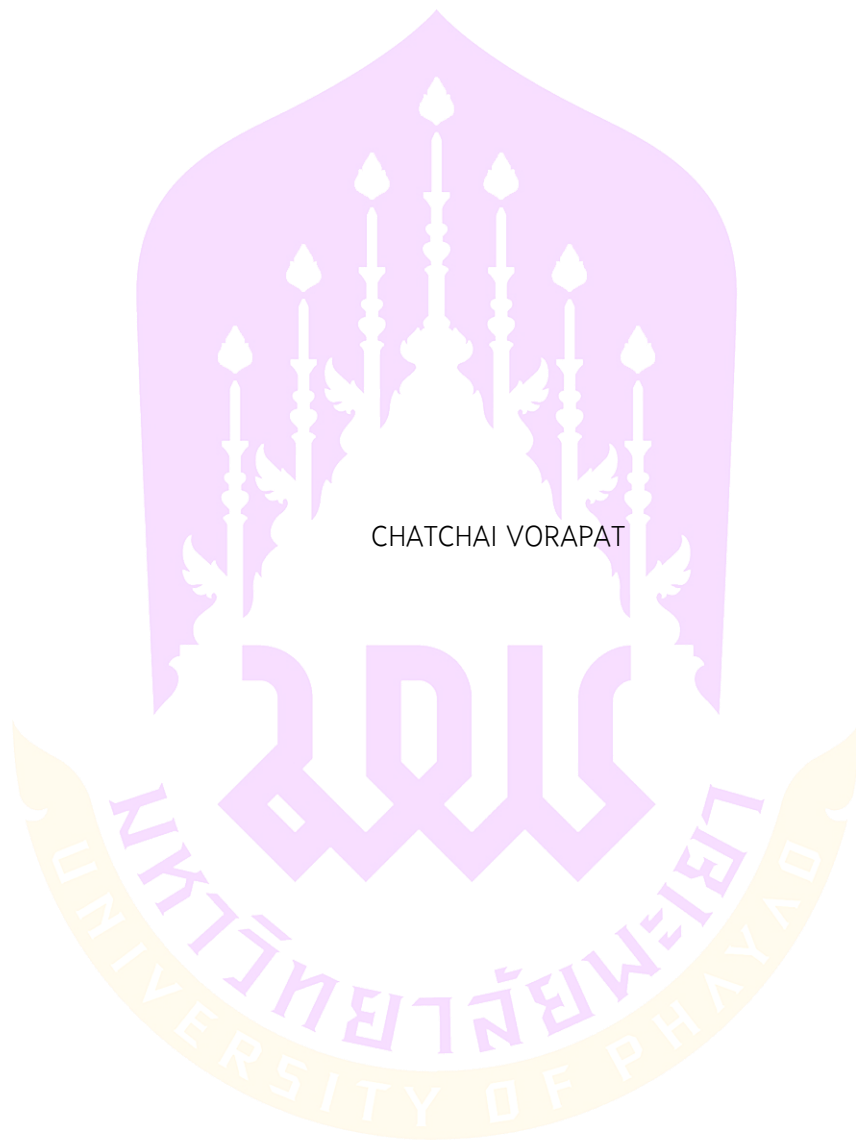
หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ENERGY GREENHOUSE GASES AND ECONOMIC EVALUATION FOR SOLAR CELLS
IMPLEMENTATION AND ENERGY MANAGEMENT BUILDING



CHATCHAI VORAPAT

A Dissertation Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Doctor of Philosophy Degree in Energy Management and Smart Grid Technology
June 2023

Copyright 2023 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินพลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐกิจสำหรับอาคารที่ติดตั้งเซลล์
แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน

ของ ชัชชัย วรพัฒน์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสามารถกริดเทคโนโลยี

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รัถย์วิเชียร)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. ฉัตรแก้ว ชัยลือชา)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร. ประเมษฐ์ สิทธิสันต์)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา
(ดร. บุญวัฒน์ วิจารย์พล)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพิชาริ ธนารักษ์)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง:	การประเมินพลังงาน ก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์สำหรับอาคารที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน
ผู้วิจัย:	ชัชชัย วรพัฒน์, วิทยานิพนธ์: ปร.ด. (การจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566
อาจารย์ที่ปรึกษา:	ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ฉัตรแก้ว ชัยลือชา ดร.ปรเมษฐ์ ลิขิตสันดี
คำสำคัญ:	เซลล์แสงอาทิตย์, ก๊าซเรือนกระจก, การจัดการพลังงาน, พลังงานสะสม, ระยะเวลาคืนทุน, พลังงานสุทธิ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และทำการสร้างสถานการณ์จำลอง 3 สถานการณ์ ประกอบด้วย 1. อาคารไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน 2. อาคารมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ไม่มีระบบการจัดการพลังงาน และ 3. อาคารมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งแต่ละสถานการณ์จำลองจะทำการประเมินผล 3 ด้าน คือ ด้านพลังงาน ด้านก๊าซเรือนกระจก และด้านเศรษฐศาสตร์ ผลจากการจำลองอาคารไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน พบว่า อาคารมีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 969,213 kWh มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 512,713 kgCO₂eq และมีค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง 3,409,735 บาท และผลจากการจำลองอาคารมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ไม่มีระบบการจัดการพลังงาน พบว่า สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 29.70% และมีพลังงานสะสม เท่ากับ 2.71 MJ ทำให้มีพลังงานสุทธิ เท่ากับ 0.89 MJ และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 29.70% มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh เท่ากับ 0.23 kgCO₂eq มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 537,297 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 7.18 ปี และผลจากการจำลองอาคารมีการติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน พบว่า สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 9.66% และมีพลังงานสะสม เท่ากับ 1.42E-04 MJ ทำให้มีพลังงานสุทธิ เท่ากับ 3.59 MJ และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 9.66% มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh เท่ากับ 1.13E-05 kgCO₂eq จากการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 275,27 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 4.30 ปี ดังนั้น ผลจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 381,518 kWh หรือเท่ากับ 39.36% สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 201,823 kgCO₂eq หรือเท่ากับ 39.36% และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 1,439,27 บาท หรือเท่ากับ 42.21% จากผลการประเมินสถานการณ์จำลองที่สร้างขึ้นสามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ ดังนั้นสามารถนำรูปแบบสถานการณ์จำลองและการประเมินไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการจัดการพลังงาน (Energy Management) ภายในอาคารของสถาบันการศึกษาได้

Title: ENERGY GREENHOUSE GASES AND ECONOMIC EVALUATION FOR SOLAR CELLS IMPLEMENTATION AND ENERGY MANAGEMENT BUILDING

Author: CHATCHAI VORAPAT, Dissertation: Ph.D. (Energy Management and Smart Grid Technology), University of Phayao, 2023

Advisor: Dr. Surat Sedpho Co–advisor Dr.Chatkaew Chailuecha Dr.Poramate Sittisun

Keywords: Photovoltaic, Greenhouse Gas, Energy Management, Cumulative Energy Demand, Payback Period, Net Present Value

ABSTRACT

The objective of this research is to assess the electricity consumption in buildings within Chiang Rai Rajabhat University and create three simulated scenarios. The scenarios consist of: 1) Building without solar panels and energy management system 2) Building with solar panels but without an energy management system 3) Building with solar panels integrated with an energy management system. Each simulation scenario will assess three aspects: energy, greenhouse gas, and economics. The results from simulating the building without the installation of solar panels and energy management systems are as follows: The building has consumed 969,213 kWh of electricity and emitted 512,713 kgCO₂eq of greenhouse gases. The cost of electricity consumption from the grid is 3,409,735 baht. The results from simulating the building with the installation of solar panels but without an energy management system are as follows: There is a reduction in electricity consumption from the grid by 29.70%. The accumulated energy is 2.71 MJ, resulting in a net energy of 0.89 MJ. The emission of greenhouse gases is reduced by 29.70%. The amount of greenhouse gases emitted from various activities per 1 kWh of electricity production is 0.23 kgCO₂eq. The net present value is 537,297 baht, and the payback period is 7.18 years. The results from simulating the building with an energy management system are as follows: There is a reduction in electricity consumption from the grid by 9.66%. The accumulated energy is 1.42E-04 MJ, resulting in a net energy of 3.59 MJ. The emission of greenhouse gases is reduced by 9.66%. The amount of greenhouse gases emitted from various activities per 1 kWh of electricity reduction is 1.13E-05 kgCO₂eq. From the economic assessment, the net present value is 275,270 baht, and the payback period is 4.30 years. Therefore, the results from installing solar panels along with an energy management system show that it is possible to reduce electricity consumption from the grid by 381,518 kWh, or 39.36%. It can also reduce greenhouse gas emissions by 201,823 kgCO₂eq, or 39.36%. Additionally, there is a reduction in expenses from electricity consumption from the grid by 1,439,270 baht, or 42.21%. The results from the simulated scenarios, which demonstrate a reduction in electricity consumption from the grid, a decrease in greenhouse gas emissions, and cost savings from electricity consumption, can be utilized as a guideline for implementing energy management practices within educational institution buildings.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์ ความเมตตากรุณา
ชี้แนะแนวทาง และความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่าน ดร.สุรัตน์ เศษ
โพธิ์ ที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ในการรับเป็นที่ปรึกษาที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการหาหัวข้อ
วิทยานิพนธ์และแนวทางการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยกำกับติดตามดูแล และให้คำแนะนำ
การเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณท่าน ดร. ฉัตรแก้ว ชัยลือชา และ
ท่านอาจารย์ ดร.ปรเมษฐ์ ลิขิตสันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำที่ปรึกษา
เกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบความเรียบร้อยและขอแนะนำในการแก้ไขการ
เขียนวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร ที่กรุณาเป็น
ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์
ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.ประพิฑารีย์ ธนารักษ์ ผู้ทรงคุณวุฒิสอบ
วิทยานิพนธ์ ที่คอยชี้แนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ให้ดียิ่งขึ้น ตลอดจน
ขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ ดร.บุญวัฒน์ วิจารณ์พล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้
ข้อเสนอแนะแนวทางในการจัดทำและปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณ ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร. นัทธีธนนท์ พงษ์พานิช ที่สนับสนุนเครื่องมือเก็บข้อมูลในการจัดทำ
วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอย
สนับสนุนการเรียนและคอยให้กำลังใจจนสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ มาได้ด้วยดี
ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้กับผู้เขียน

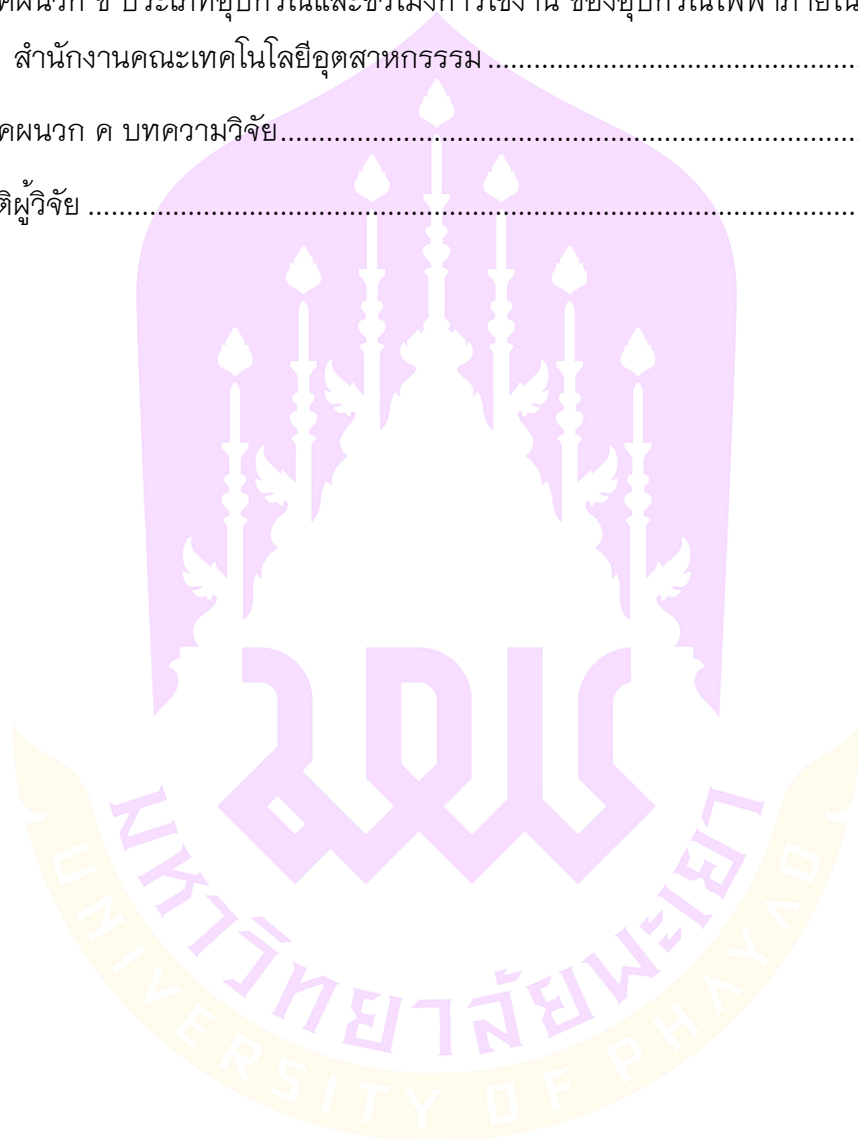
ชัชชัย วรพัฒน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
ข้อมูลทั่วไปและข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	7
เซลล์แสงอาทิตย์.....	9
การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	15
Internet of Things	17
หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)	18
การพยากรณ์.....	20
ประเมินศักยภาพพื้นที่บนหลังคา.....	21

ประเมินกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	21
ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์	22
การประเมินพลังงานสะสม	22
การประเมินพลังงานสุทธิ	23
การประเมินก๊าซเรือนกระจก.....	24
การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ	25
การประเมินระยะเวลาคืนทุน.....	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	31
สำรวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	32
เลือกอาคารต้นแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัด	
การพลังงาน	32
สร้างสถานการณ์จำลองของอาคารต้นแบบ	32
การวิเคราะห์และอภิปรายผล	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	42
ผลการสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	42
ผลการเลือกอาคารต้นแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัด	
การพลังงาน	46
สร้างสถานการณ์จำลองของอาคารต้นแบบ	48
ระบบการจัดการพลังงาน.....	80
ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์	94
สรุปผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 สถานการณ์.....	97
บทที่ 5 บทสรุป.....	99
สรุปผลการวิจัย	99

บรรณานุกรม	101
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก บัญชีรายการ และ LCI วัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์	106
ภาคผนวก ข ประเภทอุปกรณ์และชั่วโมงการใช้งาน ของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร สำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	107
ภาคผนวก ค บทความวิจัย	111
ประวัติผู้วิจัย	122



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิ	24
ตาราง 2 วิธีการประเมินพลังงานของอาคารต้นแบบในงานวิจัย.....	34
ตาราง 3 วิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกของอาคารต้นแบบในงานวิจัย	39
ตาราง 4 แหล่งที่มาของข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์	39
ตาราง 5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	42
ตาราง 6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าปีฐาน (2561) และศักยภาพพื้นที่หลังคา.....	47
ตาราง 7 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	49
ตาราง 8 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา TOU ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	51
ตาราง 9 ค่าไฟฟ้าตามสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา TOU ของอาคารสำนักงานคณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม.....	51
ตาราง 10 สรุปผลการประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ตลอดระยะเวลา 25 ปี.....	53
ตาราง 11 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมประจำปี 2561.....	53
ตาราง 12 สมมติฐานในการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop)	56
ตาราง 13 บัญชีรายการปริมาณวัสดุอุปกรณ์ ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 9.60 kW _p	61
ตาราง 14 ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	62
ตาราง 15 ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	63
ตาราง 16 ขั้นตอนการบำรุงรักษา.....	64

ตาราง 17 พลังงานสะสมแต่ละกิจกรรมจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	64
ตาราง 18 ผลการประเมินพลังงานสุทธิ NEV.....	65
ตาราง 19 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	68
ตาราง 20 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh	70
ตาราง 21 ผลการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh.....	71
ตาราง 22 สมมติฐานในการศึกษาความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์.....	72
ตาราง 23 ผลการประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการ 25 ปี	73
ตาราง 24 ผลการประเมินผลตอบแทนจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดระยะเวลา 25 ปี	74
ตาราง 25 ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 9.60 kW _p	76
ตาราง 26 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี	78
ตาราง 27 ผลการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการสร้างสถานการณ์จำลอง.....	84
ตาราง 28 ผลการประเมินพลังงานสะสมขั้นตอนการผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh	86
ตาราง 29 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในขั้นตอนการขนส่งคอมพิวเตอร์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh.....	87
ตาราง 30 พลังงานสะสมแต่ละขั้นตอนจากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh.....	87
ตาราง 31 ผลการประเมินพลังงานสุทธิ NEV.....	88
ตาราง 32 ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ผลิตได้จากการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT)	89

ตาราง 33 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตคอมพิวเตอร์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh.....	90
ตาราง 34 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งคอมพิวเตอร์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh	92
ตาราง 35 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละขั้นตอนจากการติดตั้งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh.....	93
ตาราง 36 ผลการประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการ 25 ปี	94
ตาราง 37 ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิตามมาตรการที่ 2	95
ตาราง 38 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์.....	106
ตาราง 39 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh.....	106
ตาราง 40 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อพื้นที่ติดตั้ง 58.2 m ² ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh	106
ตาราง 41 อุปกรณ์ประเภทเครื่องปรับอากาศ	107
ตาราง 42 อุปกรณ์ประเภทหลอดไฟฟ้า	107
ตาราง 43 อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ	108
ตาราง 44 รายการบัญชีอุปกรณ์ระบบการจัดการพลังงาน.....	108
ตาราง 45 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ.....	109
ตาราง 46 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ.....	109
ตาราง 47 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh	109
ตาราง 48 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh	109
ตาราง 49 ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารต้นแบบ	110

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า ปี พ.ศ.2561.....	2
ภาพ 2 ขั้นตอนการศึกษา	5
ภาพ 3 เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.....	7
ภาพ 4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ปี พ.ศ. 2557 ถึง 2561.....	8
ภาพ 5 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	9
ภาพ 6 กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
ภาพ 7 Mono crystalline	10
ภาพ 8 Poly Crystalline	10
ภาพ 9 Amorphous Silicon PV Module	11
ภาพ 10 Super amorphous.....	12
ภาพ 11 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์	12
ภาพ 12 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์แบบอนุกรม	13
ภาพ 13 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์แบบขนาน.....	14
ภาพ 14 สัญลักษณ์อินเวอร์เตอร์ในวงจรไฟฟ้า.....	14
ภาพ 15 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	15
ภาพ 16 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย.....	16
ภาพ 17 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	16
ภาพ 18 การสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things).....	17
ภาพ 19 กระบวนการการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตาม มาตรฐาน ISO- 14040	18
ภาพ 20 Smart Place	30
ภาพ 21 กรอบการดำเนินงานวิจัย.....	31

ภาพ 22 การจำลองสถานการณ์ และวิธีการประเมิน	33
ภาพ 23 ขั้นตอนการประเมินพลังงาน	34
ภาพ 24 ขอบเขตการประเมินพลังงานสะสมจากกิจกรรมต่าง ๆ	36
ภาพ 25 ระยะเวลาขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ในการติดตั้ง	37
ภาพ 26 ขอบเขตการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ	38
ภาพ 27 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย	46
ภาพ 28 อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	47
ภาพ 29 แนวทางการประเมินสถานการณ์ที่ 1	48
ภาพ 30 ผลการพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารตลอดระยะเวลา 25 ปี	49
ภาพ 31 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารตลอดระยะเวลา 25 ปี	50
ภาพ 32 แนวทางการประเมินจากการสร้างสถานการณ์ที่ 2	53
ภาพ 33 กราฟแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนของอาคารในปีฐาน พ.ศ. 2561	54
ภาพ 34 ติดตั้งเพาเวอร์มิเตอร์ในการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร	55
ภาพ 35 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารในวันเวลาทำการปกติ	55
ภาพ 36 ไดอะแกรมระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On Grid System)	57
ภาพ 37 ตำแหน่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหันไปทางทิศใต้	58
ภาพ 38 การติดตั้งและจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา	58
ภาพ 39 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีและจากการลดทอนของ	59
ภาพ 40 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดได้จากสถานการณ์จำลองที่ 2	60
ภาพ 41 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ในแต่ละปี	66
ภาพ 42 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากสถานการณ์	67
ภาพ 43 ผลการประเมินจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 9.60 kW _p	77
ภาพ 44 ผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ลดได้จากสถานการณ์จำลองที่ 2	79
ภาพ 45 แนวทางการประเมินสถานการณ์ที่ 3	79

ภาพ 46 สัดส่วนความต้องการไฟฟ้าแต่ละประเภทภายในอาคารคณะเทคโนโลยี.....80

ภาพ 47 ระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT)..... 81

ภาพ 48 Flowchart การควบคุมเครื่องปรับอากาศ82

ภาพ 49 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่ลดได้จากสถานการณ์จำลอง 385

ภาพ 50 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้.....90

ภาพ 51 ผลการประเมินระยะเวลาขึ้นทุน.....97

ภาพ 52 สรุปผลการเปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์จากสถานการณ์จำลอง 3 สถานการณ์98



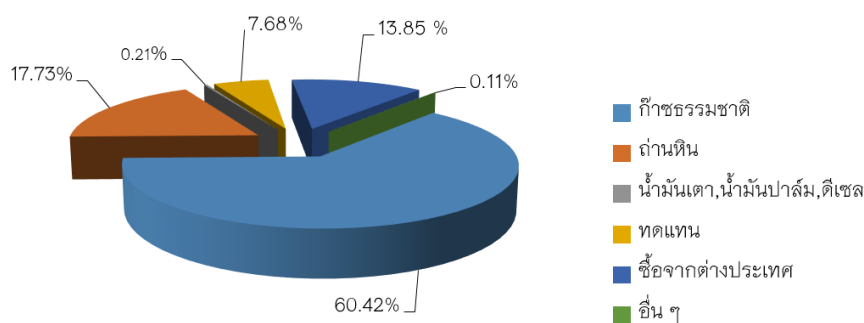
บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไฟฟ้าเป็นพลังงานประเภทหนึ่งที่น่าไปใช้หลากหลายรูปแบบ เช่น การนำไปใช้เป็น ไฟฟ้าส่องสว่าง หรือเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในโรงงานอุตสาหกรรม และถูก นำมาใช้เป็นโครงสร้างพื้นฐานของประเทศมาหลายช่วงทศวรรษ เป็นส่วนสำคัญต่อการ เจริญเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจ หากไม่มีพลังงานไฟฟ้าหรือเกิดการขัดข้องใน ระบบไฟฟ้าการดำเนินการในกิจกรรมด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินชีวิตประจำวันหรือการ ดำเนินงานในด้านอุตสาหกรรมอาจเกิดอุปสรรคหรือหยุดชะงักทำให้เกิดความเสียหายเป็นวง กว้างได้ ทุกวันนี้การเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจที่สูงขึ้นส่งผลให้ความต้องการพลังงาน ไฟฟ้าที่มีคุณภาพและมีความน่าเชื่อถือได้มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัจจุบันการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยได้ใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นหลักในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันเตา เป็นต้น ปัญหาจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะทำให้เกิดการ ปล่องก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก รวมถึงในปัจจุบันความต้องการ พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องหาแนวทางในการจัดหาพลังงานไฟฟ้า เพิ่มขึ้นให้เพียงพอต่อความต้องการ และมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง (กระทรวงพลังงาน, 2558)

การผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 มีกำลังการผลิตและ ซื้อสุทธิ 191,377.73 GWh จากการรายงานผลการดำเนินงานประจำปี พ.ศ. 2561 ของการ ไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ได้ใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือก๊าซธรรมชาติ ผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิได้ 115,640.21 GWh หรือร้อยละ 60.42 รองลงมาเป็นถ่านหิน ผลิต พลังงานไฟฟ้าสุทธิได้ 33,941.74 GWh หรือร้อยละ 17.73 โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน (พลังน้ำ ลม แสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ ชีวมวล) ผลิตพลังงานไฟฟ้าสุทธิได้ 14,689.88 GWh หรือ ร้อยละ 7.68 ซื้อจากต่างประเทศ 26,505.61 GWh หรือ ร้อยละ 13.85 น้ำมันเตา น้ำมัน ปาล์ม และดีเซล 389.54 GWh หรือร้อยละ 0.21 และผลิตจากโรงไฟฟ้าอื่น ๆ 210.75 GWh หรือร้อยละ 0.11 ของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตและซื้อทั้งหมด (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561) ดังภาพ 1



ภาพ 1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า ปี พ.ศ.2561

ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2561

จากข้อมูลการผลิตและนำเข้าพลังงานของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ. 2558 พบว่า สัดส่วนการนำเข้าพลังงานหลายประเภท โดยเฉพาะน้ำมันดิบ ถ่านหิน/ลิกไนต์ มีสัดส่วนการนำเข้าสูงถึงร้อยละ 85 และ 78 ตามลำดับ ดังนั้นรัฐบาลจึงมอบหมายให้กระทรวงพลังงานจัดทำแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 โดยการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย ภายใน ปี พ.ศ. 2579 ซึ่งพบว่าประเทศไทยยังมีศักยภาพด้านพลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ ดังนั้นกระทรวงพลังงานจึงมีเป้าหมายในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ภายใน ปี พ.ศ. 2579 อยู่ที่ 6,000 MW (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) การส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดก๊าซเรือนกระจกได้

นอกจากส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนให้มากยิ่งขึ้นแล้วการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ หรือ การจัดการพลังงานไฟฟ้าจะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ได้เช่นกัน ซึ่งที่ผ่านมานโยบายภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานก็ได้ดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง เช่น ส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงภายในโรงงานอุตสาหกรรม การเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอดแอลอีดี การส่งเสริมการจัดการไฟฟ้าภายในอาคาร เป็นต้น ซึ่งการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสามารถดำเนินการได้ในอาคารทั่วไป สามารถลดการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพในการช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงลดค่าใช้จ่ายของอาคาร หรือหน่วยงานในระยะยาว

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) ที่มีปริมาณมากที่สุดที่อยู่ในชั้นบรรยากาศเรียงตามลำดับ คือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน ที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming) โดยทำให้เกิดอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอากาศใกล้ผิวโลก หรือน้ำในมหาสมุทร อันเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ซึ่งเป็นผลมาจากการดำเนินกิจกรรมในชีวิตประจำวันของมนุษย์ที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases) ในชั้นบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้นทำให้เกิดเป็นภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ที่เป็นสาเหตุสำคัญของวิกฤตการณ์โลกร้อนที่เราเผชิญอยู่ในปัจจุบัน เช่น เกิดพายุที่รุนแรง คลื่นความร้อน น้ำมหาสมุทรเพิ่มสูงขึ้น ฝนทิ้งช่วงเป็นเวลาที่ยาวนาน ซึ่งสภาพเหตุการณ์เหล่านี้ส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลกใบนี้ และมีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการที่จะช่วยชะลอภัยธรรมชาติเหล่านี้ให้มีความรุนแรงลดลงได้ต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ด้วยเหตุนี้กระทรวงพลังงานจึงได้กำหนดแผนแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการกำหนดสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มขึ้น ซึ่งกระทรวงพลังงานได้กำหนดแผนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ 10,000 MW ภายในปี พ.ศ. 2580 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) และในการเปลี่ยนแปลงการดำเนินงานหรือกิจกรรมใด ๆ จึงจำเป็นต้องทำการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกิจกรรมนั้น ๆ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถทำได้ เช่นเดียวกับ ธนาพล ตันติสัตยกุล และคณะ ได้ทำการประเมินการลดก๊าซเรือนกระจก จากการจำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารเรียนภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ขนาด 2.14 MW พบว่าสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 1,570 tCO₂eq/ปี และ Felipe Rocha และคณะ ได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารอัจฉริยะ: ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศที่ใช้ IoT โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Smart Place ซึ่งเป็นระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เพื่อควบคุมอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ ซึ่งระบบ (IoT) จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensor) กล้องวิดีโอ อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ และความชื้น เพื่อป้องกันการเปิดเครื่องปรับอากาศไว้เมื่อไม่ได้ใช้งาน ผลการศึกษาพบว่าหลังการติดตั้งระบบ (IoT) สามารถลดการชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศลงได้ 46.80% และลดการใช้พลังงานลงได้ 61.68%

จากการศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการศึกษา การประเมิน การใช้พลังงานไฟฟ้า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและต้นทุน จากการติดตั้งระบบ เซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย โดยกำหนดรูปแบบการศึกษาในกรณีต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) อาคารที่ไม่ติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ 2) อาคารที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ไม่มีระบบการจัดการพลังงาน และ 3) อาคารที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน โดยทำการเลือกอาคารที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงานภายในอาคารมา เป็นกรณีศึกษา เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารของ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
2. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและ เศรษฐศาสตร์ ของอาคารต้นแบบที่ไม่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารต้นแบบที่ติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์แต่ไม่มีการจัดการด้วยระบบการจัดการพลังงานและอาคารต้นแบบที่ติดตั้งเซลล์ แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานของอาคาร

ขอบเขตของการวิจัย

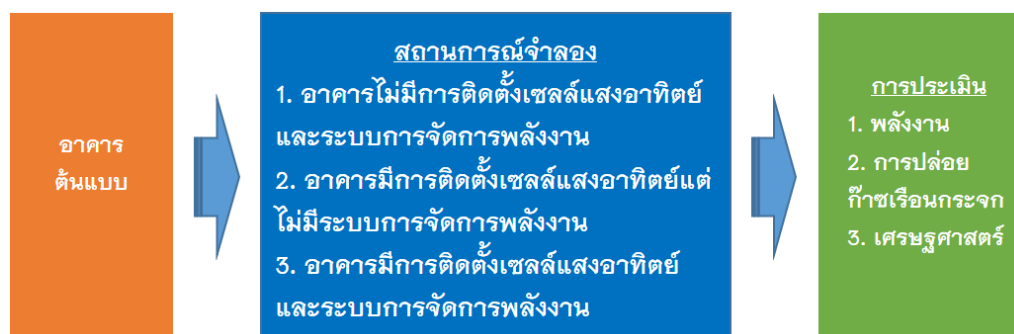
1. ขอบเขตการศึกษา

สร้างสถานการณ์จำลองอาคารต้นแบบ 3 สถานการณ์ ดังนี้

- 1.1 อาคารไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน
- 1.2 อาคารมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ไม่มีระบบการจัดการพลังงาน
- 1.3 อาคารมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน

โดยมีแนวทางการประเมินพลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์

ตามขั้นตอนการศึกษา ดังภาพ 2



ภาพ 2 ขั้นตอนการศึกษา

2. หน่วยการศึกษา (Functional Unit)

หน่วยการศึกษาที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางด้านพลังงานและก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบการจัดการพลังงาน 1 kWh

3. ระยะเวลาศึกษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ของโครงการ 25 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง 2587

4. สถานที่ศึกษา

กรณีศึกษา อาคารในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

คำสำคัญ

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์, ระบบการจัดการพลังงาน, พลังงานสะสม, พลังงานสุทธิ

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1. ทราบถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และแนวทางไปสู่การลดการใช้ไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยได้

2. ทราบถึงศักยภาพความเหมาะสมในการดำเนินการระบบการจัดการพลังงานของอาคารในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

3. ทราบข้อมูลการใช้ไฟฟ้า การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ของอาคารก่อนและหลังติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน

4. ทราบถึงศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ด้านเศรษฐศาสตร์ และการจัดการพลังงานภายในอาคาร
หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
2. องค์กรของรัฐ เอกชน ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการที่ใช้ในการประเมินผลกระทบจากการผลิตผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่กระบวนการที่ได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การบริโภค การบำรุงรักษาไปจนถึงการทำลายซาก หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการประเมินกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต เพื่อหาแนวทางปรับปรุงกระบวนการหรือการบริการเหล่านี้ให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

2. ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG) คือ กลุ่มก๊าซที่มีคุณสมบัติดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟราเรดได้ดี มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ก๊าซเรือนกระจกเกิดจากการกระทำของมนุษย์ หากมีปริมาณที่มากจะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศอย่างรุนแรง

3. พลังงานสุทธิ (Net Energy Value: NEV) คือ การวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์กับพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย หรือเป็นการคิดพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปทั้งหมด

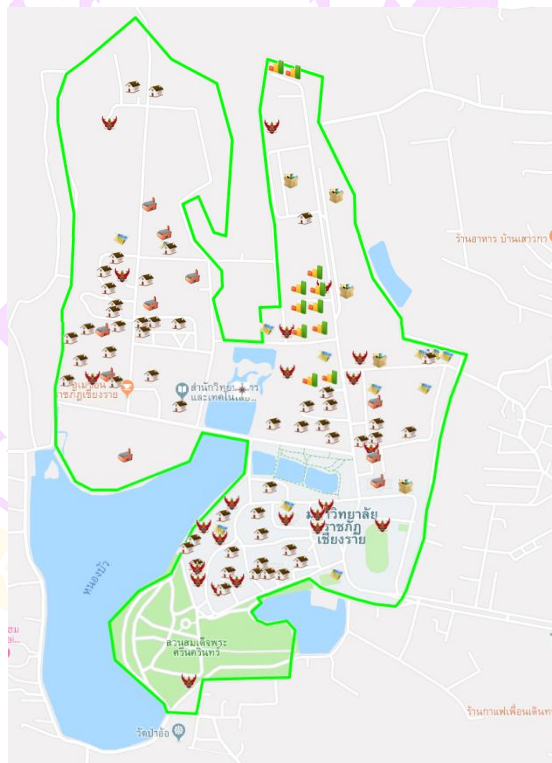
4. การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC) คือ การวิเคราะห์ต้นทุนตลอดอายุโครงการ ต้นทุนตลอดอายุของโครงการประกอบด้วย เงินลงทุน (Capital Cost) ค่าใช้จ่ายทางการเงิน (Financial Cost) ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ (Operational Cost) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Maintenance Cost) รวมถึงค่าใช้จ่ายในการกำจัดซากเมื่อหมดอายุ (Disposal Cost)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลทั่วไปและข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

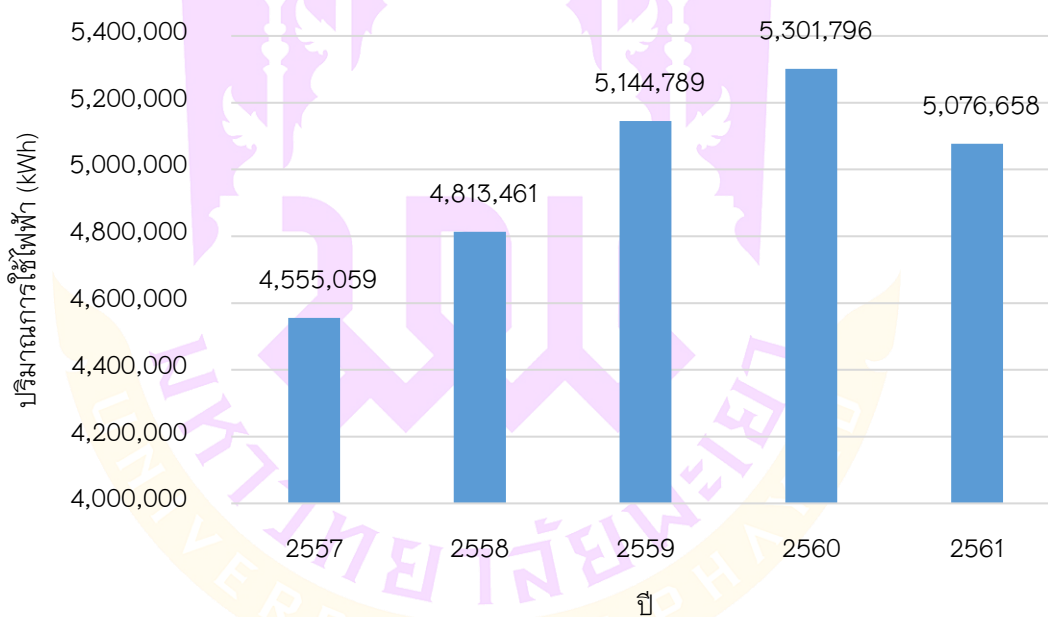
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นหน่วยงานหนึ่งของภาครัฐ ซึ่งเป็นสถาบันการศึกษา ระดับอุดมศึกษาของจังหวัดเชียงรายที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันได้มีการจัดการศึกษาทั้งระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และปริญญาเอก รวมทั้งสิ้น 96 หลักสูตร มีนักศึกษาที่กำลังศึกษาอยู่ภายในมหาวิทยาลัยประมาณ 20,000 คน ตั้งอยู่บนพื้นที่กว่า 1,400 ไร่ มีอาคารและสิ่งปลูกสร้างมากกว่า 109 อาคาร (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2560) ดังภาพ 3



ภาพ 3 เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่มา: ระบบฐานข้อมูลอาคาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2561

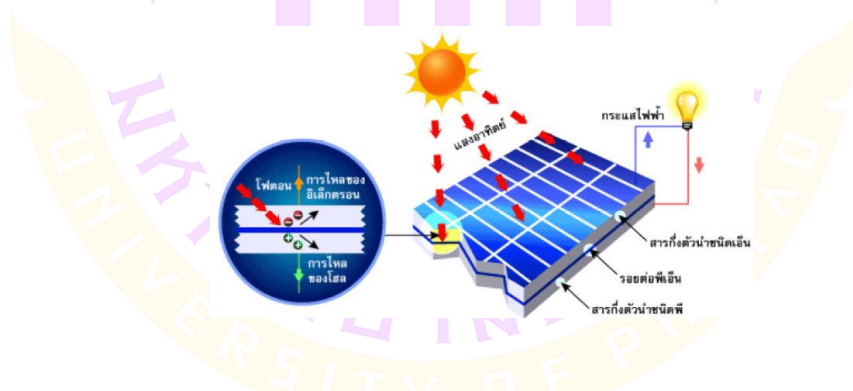
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้ทำการจัดขึ้นทะเบียนการใช้ไฟฟ้ากับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ก้อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ซึ่งจะคิดอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ช่วงแรงดัน 22 – 33 kV คิดค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Peak 4.2097 บาท/หน่วย ตั้งแต่เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และช่วง Off Peak 2.6295 บาท/หน่วย เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์ และเวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2560) จากข้อมูลบันทึกของระบบการใช้ไฟฟ้าแบบ TOU ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี พ.ศ. 2557 ถึง 2561 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีแนวโน้มความต้องการปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Demand) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังภาพ 4



ภาพ 4 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ปี พ.ศ. 2557 ถึง 2561

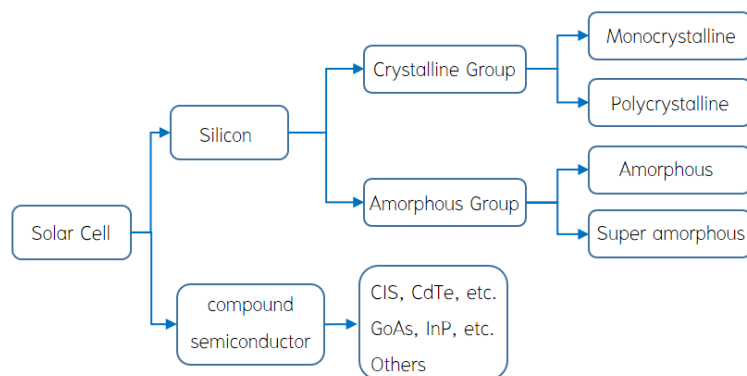
เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือเซลล์โฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic cell: PV) ทำจากซิลิคอน ซึ่งเป็นวัสดุเช่นเดียวกับ Transistors และวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) โดยผลึกซิลิคอนจะถูกทำให้ไม่บริสุทธิ์ (Dope) โดยการเติมธาตุในกลุ่ม 3 และ 5 ของตารางธาตุซึ่งจะได้ผลึกซิลิคอน (P-Type และ N-type) ตามลำดับ ที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน เมื่อนำมาต่อเชื่อมกันด้วยกรรมวิธีการแพร่สารระหว่างผลึกทำให้ระหว่างรอยต่อมีสภาวะที่เป็นกลาง (Depletion Region) ผลึกซิลิคอนจะวางซ้อนกันเป็นชั้นบาง (Layer) เมื่อมีแสงที่มีอนุภาคไปตอน (Photon) มาตกกระทบแผ่นชั้นซิลิคอน อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจะเกิดการไหลความไม่สมดุลของประจุระหว่างชั้นเซลล์ เมื่อมีการต่อเชื่อมขั้วไฟฟ้าออกไปก็จะเกิดการความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นที่ขั้วไฟฟ้านั้นเมื่อนำมาต่อเชื่อมกันเป็นวงจรไฟฟ้าก็จะเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างขั้วเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นมาได้ ดังภาพ 5 และเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (Silicon) และกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน หรือสารกึ่งตัวนำผสม เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ แคดเมียม เทลเลไนด์ และคอปเปอร์อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น ดังภาพ 6 แต่ในปัจจุบันส่วนใหญ่นิยมใช้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากกลุ่มซิลิคอน (Silicon) ดังนี้



ภาพ 5 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: <http://www.leonics.com>



ภาพ 6 กลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์

1. กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน (Silicon) สามารถแบ่งตามลักษณะของรูปผลึก (Crystal) ออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือ Mono crystalline ดังภาพ 7 และชนิดผลึกกรมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) หรือ Poly Crystalline ดังภาพ 8

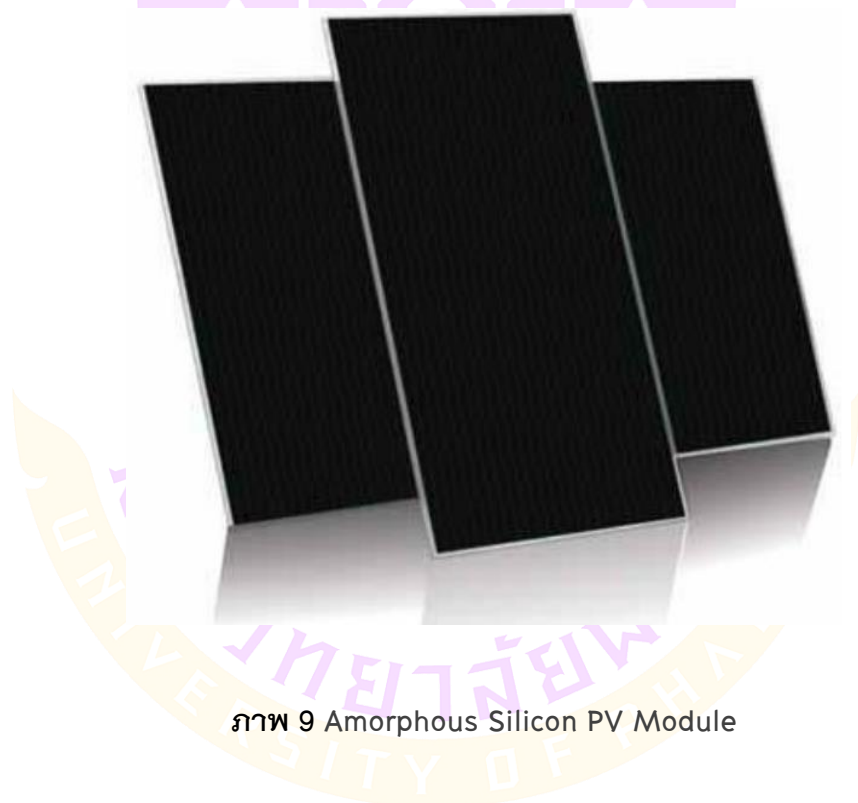


ภาพ 7 Mono crystalline



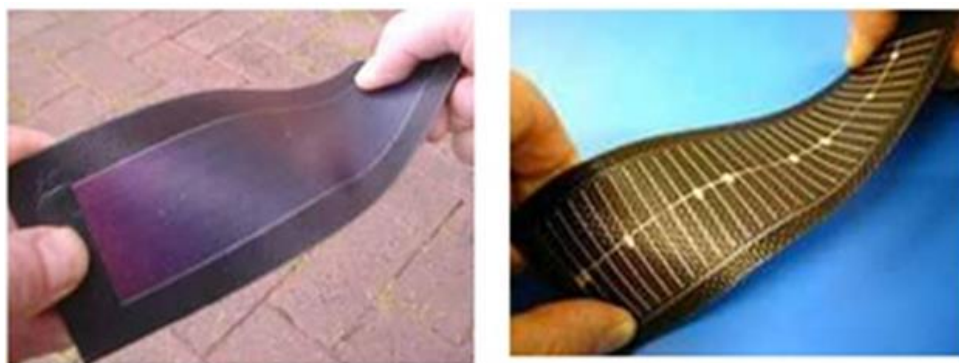
ภาพ 8 Poly Crystalline

2. กลุ่มอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) มี 2 แบบ แบบแรกเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon PV Module เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความไวแสงสูงสามารถรับแสงที่อ่อน ๆ ได้ รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่าง ๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองมีฝนตกชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี แต่มีข้อเสียคือประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มาก ดังภาพ 9 ส่วนแบบที่สองเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Super Amorphous หรืออาจเรียกว่าเป็นแบบ Amorphous Triple Junction แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีของ Amorphous และ Crystalline มาไว้ด้วยกันโดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Amorphous และสามารถใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับ Crystalline บางชนิดยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถม้วนได้ ดังภาพ 10



ภาพ 9 Amorphous Silicon PV Module

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

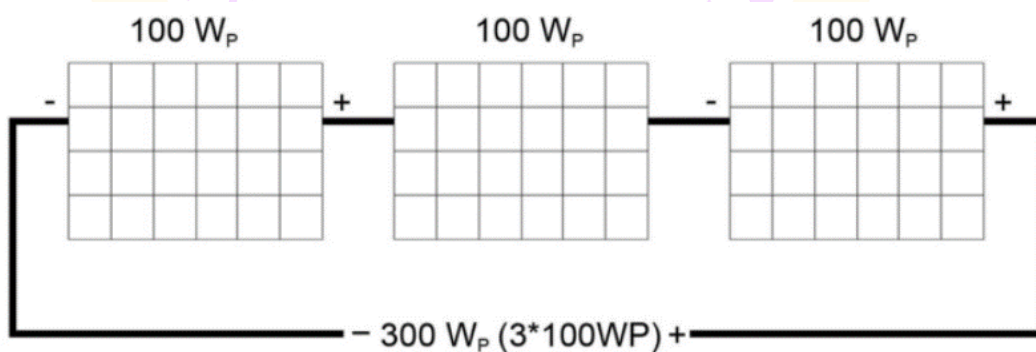


ภาพ 10 Super amorphous

ที่มา: <http://www.solarcellcity.com/th/component/content/article/89-solarcell-content/141-solar-panel-type>

การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

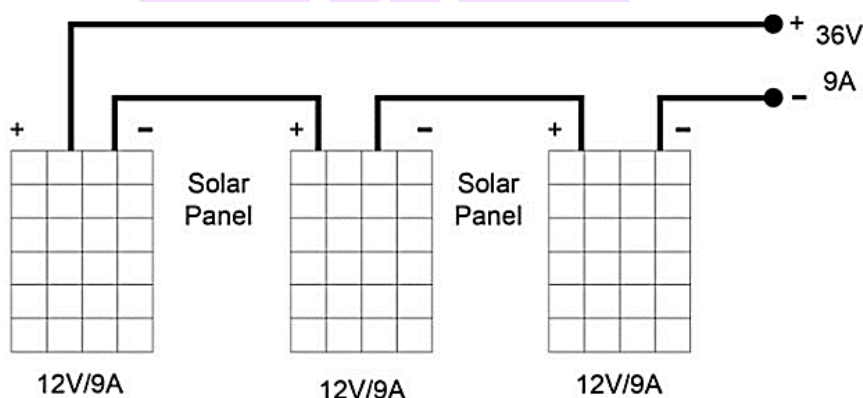
การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแรงไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขนาดเดียวกันจำนวนหลาย ๆ แผง มาต่อเข้าด้วยกันในการสร้างอาร์เรย์ (Array) เพื่อให้ได้กำลังผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามต้องการ ดังภาพ 11 ในการเชื่อมต่ออาร์เรย์ส่วนใหญ่จะทำการเชื่อมต่อ 2 วิธี ดังนี้



ภาพ 11 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์

1. การต่อแบบอนุกรม

เป็นการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพารามิเตอร์เดียวกันมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (V) ขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงสุดเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าแต่ละแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมจะทำการต่อขั้วบวก (+) ของแผงแรกเข้ากับขั้วลบ (-) ของแผงถัดไป และทำการเชื่อมต่อเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบจำนวนแผงที่ต้องการเชื่อมต่อ ดังภาพ 12

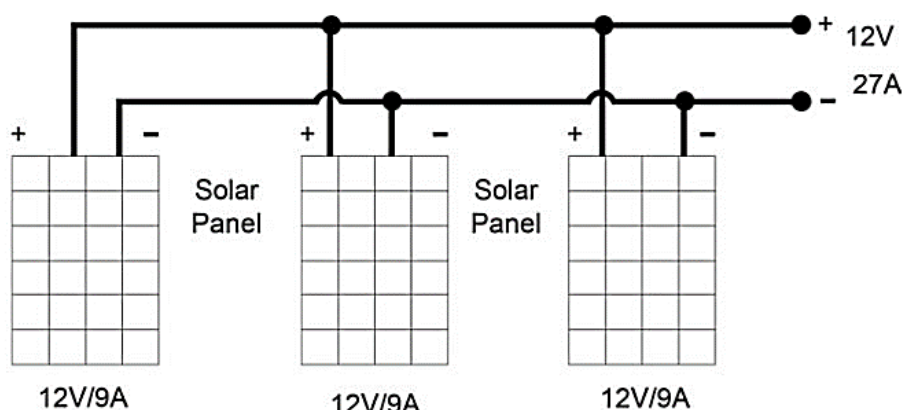


ภาพ 12 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์แบบอนุกรม

2. การต่อแบบขนาน

เป็นการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพารามิเตอร์เดียวกันมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันแบบขนาน เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า (A) ขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าสูงสุดเท่ากับผลรวมของกระแสไฟฟ้าแต่ละแผงของเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานจะทำการต่อขั้วลบ (-) ของแผงแรกเข้ากับขั้วลบ (-) ของแผงถัดไป และทำการต่อขั้วบวก (+) ของแผงแรกเข้ากับขั้วบวก (+) ของแผงถัดไปเช่นเดียวกัน ดังภาพ 13

ทำการเชื่อมต่อเช่นนี้ไปจนกว่าจะครบจำนวนแผงที่ต้องการเชื่อมต่อ

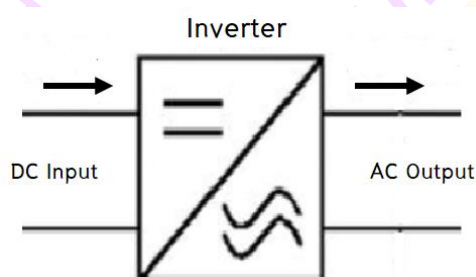


ภาพ 13 การเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์แบบขนาน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนหรือสำนักงาน เช่น ทีวี ตู้เย็น พัดลม เครื่องปรับอากาศ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทางด้านขาเข้าของอินเวอร์เตอร์จะเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC เช่น อาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ หรือแบตเตอรี่ ส่วนด้านขาออกจ่ายไฟ AC ให้กับโหลด หรืออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยปกติจะจ่ายแรงดันประมาณ 220 ถึง 240 โวลต์ ซึ่งมีสัญลักษณ์ของอินเวอร์เตอร์ ดังภาพ 14



ภาพ 14 สัญลักษณ์อินเวอร์เตอร์ในวงจรไฟฟ้า

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ดังนี้

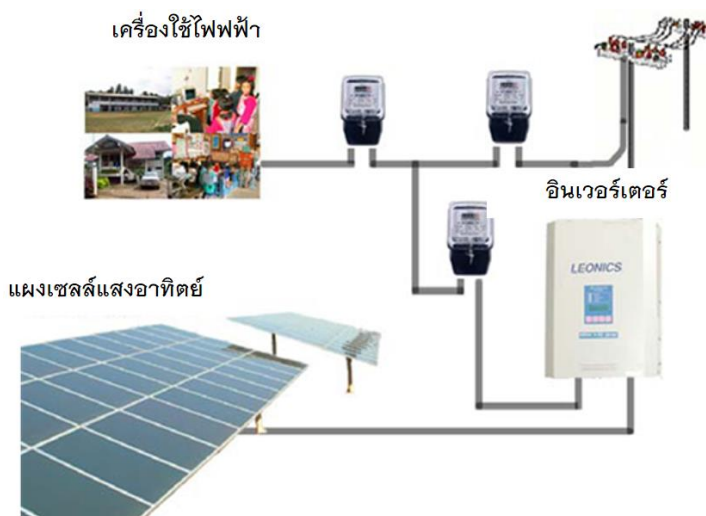
1. เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ ดังภาพ 15



ภาพ 15 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

ที่มา: <https://www.energy-techno.com>

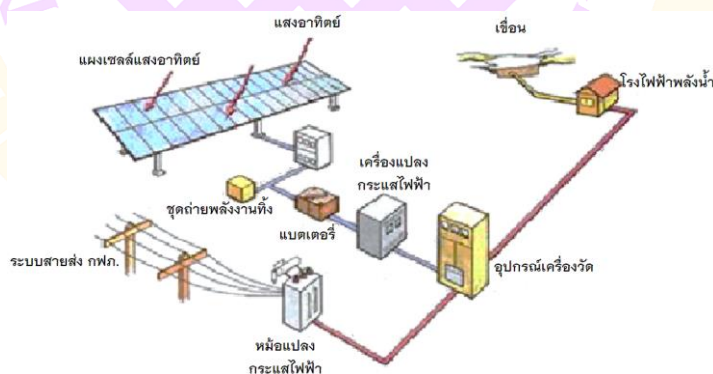
2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ดังภาพ 16



ภาพ 16 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

ที่มา: <https://www.energy-techno.com>

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสม (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ ดังภาพ 17

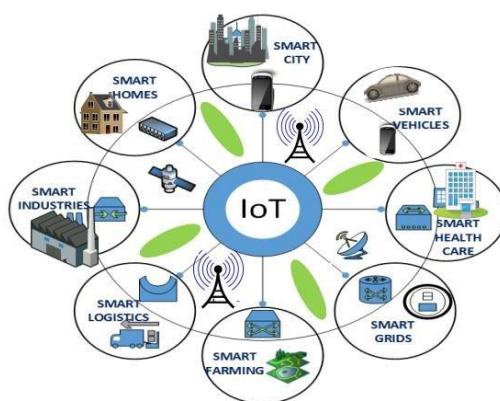


ภาพ 17 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ที่มา: <https://www.energy-techno.com>

Internet of Things

Internet of Things (IoT) คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องป้อนข้อมูล การเชื่อมโยงนี้ช่วยให้เราสามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ไปจนถึงการเชื่อมโยงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ากับการใช้งานอื่น ๆ จนเกิดเป็นบรรดา Smart ต่าง ๆ ได้แก่ Smart Device, Smart Grid, Smart Home, Smart Network, Smart Intelligent Transportation ทั้งหลายที่เราเคยได้ยินนั่นเอง ซึ่งแตกต่างจากในอดีตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเพียงสื่อกลางในการส่งและแสดงข้อมูลเท่านั้น (กรมประชาสัมพันธ์ 2566) หรืออินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ ไอโอที (IoT) หมายถึงเครือข่ายของวัตถุ อุปกรณ์ พาหนะ สิ่งปลูกสร้าง และสิ่งของอื่น ๆ ที่มีวงจรมีอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และการเชื่อมต่อกับเครือข่าย ผังตัวอยู่ และทำให้วัตถุเหล่านั้นสามารถเก็บบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งทำให้วัตถุสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมและถูกควบคุมได้จากระยะไกลผ่านโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายที่มีอยู่แล้ว ทำให้เราสามารถผสานโลกกายภาพกับระบบคอมพิวเตอร์ได้แนบแน่นมากขึ้น ผลที่ตามมาคือประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่เพิ่มมากขึ้น (วิกิพีเดีย 2566) ดังนั้นพอสรุปได้ว่า Internet of Things เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันสามารถติดต่อสื่อสารหรือเชื่อมโยงถึงกันจากระยะไกลได้ โดยผ่านระบบการสื่อสารแบบไร้สาย (Internet) เพื่อทำการอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น การบันทึกและสืบค้นข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การสั่งการหรือการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังภาพ 18

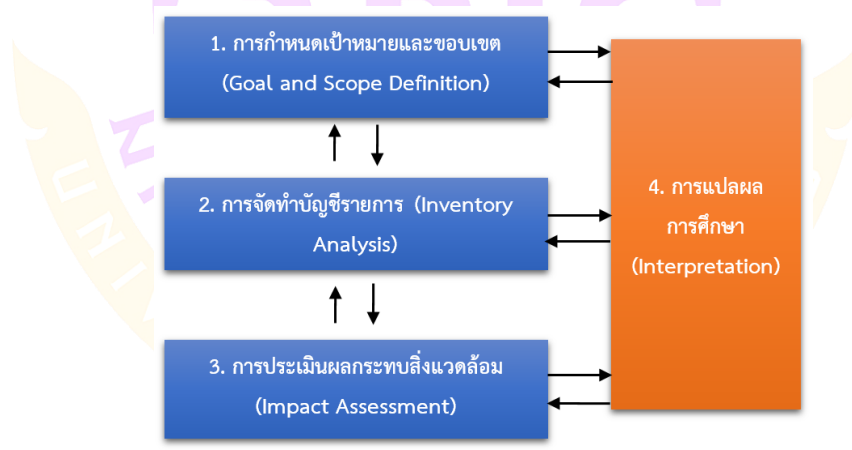


ภาพ 18 การสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things)

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นกระบวนการที่ใช้ในการประเมินผลกระทบจากการผลิตผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะพิจารณาตั้งแต่กระบวนการที่ได้มาของวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การบริโภค การบำรุงรักษา ไปจนถึงการทำลายซากหรืออาจจะกล่าวได้ว่าเป็นการประเมินกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต โดยจะเป็นการประเมินทางด้านพลังงานและมวลสาร รวมทั้งของเสียตลอดกระบวนการ เพื่อหาสาเหตุจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วนำไปหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle Assessment) ตามมาตรฐาน ISO-14040 ได้มีการกำหนดกระบวนการประเมิน LCA อยู่ 4 ขั้นตอน คือ 1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) 2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) 3. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment) 4. การแปลผลการศึกษา (Interpretation) ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีความสัมพันธ์กัน ดังภาพ 19 (วรรณมล เลิศจตุรานนท์, 2557)



ภาพ 19 กระบวนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตาม มาตรฐาน ISO- 14040

ที่มา: วรรณมล เลิศจตุรานนท์, 2557

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope Definition) เป็นขั้นตอนการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตที่จะทำการศึกษา ซึ่งผลจากการศึกษาหรือผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้นเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition) การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ เพื่อให้ผู้รับสามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะเป็นส่วนหนึ่งของวิธีทำ LCA ขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ ผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาดถ้าการใช้งานไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ต้องครอบคลุมปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ การนำผลการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ทำอะไร การเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นเมื่อมีการนำหลักการ LCA มาพิจารณาและผลิตภัณฑ์ใหม่จะได้รับการปรับปรุงในเรื่องใดบ้าง และทำให้เกิดผลอย่างไร

1.2 การกำหนดขอบเขต (Scope Definition) การกำหนดขอบเขต คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและรวมถึงสิ่งที่อำนวยความสะดวกต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกคือการกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional Unit: FU) ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหรือเป็นตัวชี้วัดระหว่างผลิตภัณฑ์ในด้านประสิทธิภาพ ความคงทน และคุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ ส่วนที่สองคือคุณภาพข้อมูล (Data quality: DQ) โดยคุณภาพของข้อมูลจะทำให้ทราบรายละเอียดต่าง ๆ ที่สำคัญ และทำให้การประเมินเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์

2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) จากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตที่ชัดเจนแล้วก็จะทำการจัดทำบัญชีรายการไว้เป็นฐานข้อมูล ซึ่งจะเป็นการจัดทำบัญชีรายการและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยจะแบ่งรายการบัญชีออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นรายการบัญชีขาเข้า เช่น วัตถุดิบ พลังงาน หรือสารเคมี เป็นต้น กลุ่มที่สองเป็นรายการบัญชีขาออก เช่น ผลิตภัณฑ์ มลภาวะสู่ดิน น้ำ และอากาศ เป็นต้น

3. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Assessment) จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการมาแบ่งประเภทและทำการประเมินเปรียบเทียบระดับความสำคัญที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำเอาข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการขาเข้าและขาออกมาแปลงเป็นตัวเลขเพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4. การแปลผลการศึกษา (Interpretation) เป็นการนำเอาเป้าหมายและขอบเขต การจัดทำบัญชีรายการ และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน โดยการแปลผลจากการศึกษามาเป็นวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทำการสรุปผล

อภิปรายผล ข้อจำกัด ข้อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การพยากรณ์

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารต้นแบบย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2561 จากนั้นทำการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของอาคารต้น 25 ปี ตามหลักการวิเคราะห์ Regression Model ดังสมการ (1)

$$Y_i = \beta_i X_i + \beta_o \quad (1)$$

โดยที่

Y_i	คือ	ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เนื่องจากค่าของ Y ขึ้นอยู่กับค่าของ X
X_i	คือ	ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
β_o	คือ	ส่วนตัดแกน Y หรือ คือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์
β_i	คือ	ความชัน (Slope) ของเส้นตรง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y

เมื่อ X เปลี่ยนไป 1 หน่วย และเรียก β_1 ว่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (Regression Coefficient)

- $\beta_1 > 0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน คือถ้า X เพิ่ม Y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้า X ลดลง Y จะลดลงด้วย

- $\beta_1 < 0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้าม คือถ้า X เพิ่มขึ้น Y ลดลง แต่ถ้า X ลดลง Y จะเพิ่มขึ้น

- β_1 มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าค่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

- $\beta_1 = 0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันแล้วนำค่าความชันของเส้นตรงไปคูณกับข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อเป็นการหาแนวโน้มของข้อมูลในอนาคต

ประเมินศักยภาพพื้นที่บนหลังคา

เป็นการประเมินศักยภาพเชิงกายภาพของหลังคาที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ กับปัจจัยด้านความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการ (2) (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต, 2558)

$$P = I \times A \quad (2)$$

โดยที่

P คือ ศักยภาพเชิงกายภาพ (kWh/day)

I คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อวันที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m²-day)

A คือ พื้นที่ของหลังคาที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (m²)

โดยค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดจากการลดทอนของมุมเงยและทิศทางของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากสมการที่ (3) (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต, 2558)

$$I = \eta_r \cdot \eta_d \cdot \eta_s \cdot I_r \quad (3)$$

โดยที่

I คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อวันที่ซึ่งเกิดการลดทอนของทิศทางการติดตั้งและมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m²-day)

η_r คือ ประสิทธิภาพมุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

η_d คือ ประสิทธิภาพทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

η_s คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ที่ได้รับแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

I_r คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตรต่อวันที่ กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m²-day)

ประเมินกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

การประเมินกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ คำนวณหา กำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานของอาคารต้นแบบ จากสมการ (4)

$$P_p = \frac{P_{Base} \times 100\%}{\eta_{Sys}} \quad (4)$$

โดยที่

P_p คือ กำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

P_{Base} คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน (kW)

η_{Sys} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์ (%)

ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

วิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน โดยทำการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปี จากสมการ (5)

$$E_{Sys} = P_p \times \eta_{Sys} \times hr \times 365 \quad (5)$$

โดยที่

E_{Sys} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/ปี)

P_p คือ กำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

η_{Sys} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เปอร์เซ็นต์ (%)

hr คือ ชั่วโมงการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ชั่วโมง/วัน)

การประเมินพลังงานสะสม

การประเมินพลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) คือ การประเมินการใช้พลังงานทั้งพลังงานทางตรง (Direct Consumption) ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ และพลังงานทางอ้อม (Indirect Consumption) ได้แก่ เป็นพลังงานสะสมที่เกิดจากระบวนการผลิตวัสดุหรืออุปกรณ์นั้น ๆ ที่ใช้ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะวิเคราะห์ออกมาต่อหน่วยการผลิต เช่น ต่อชิ้น ต่อกล่อง หรือต่อหน่วยไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการคิดค่าพลังงานสะสมในการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบการจัดการพลังงาน สามารถวิเคราะห์หาค่าพลังงานสะสมของแต่ละกระบวนการได้จากสมการ (6)

$$CED_i = \sum_j (A_{i,j} \times CED_{i,j}) \quad (6)$$

โดยที่

CED_i คือ พลังงานสะสมในขั้นตอน i (MJ)

A_j คือ ปริมาณทรัพยากร j ในขั้นตอน i (unit)

CED_j คือ พลังงานสะสมของทรัพยากร j ในขั้นตอน i (MJ/Unit)

การประเมินพลังงานสุทธิ

พลังงานสุทธิ (Net Energy Value: NEV) เป็นตัวชี้วัดทางด้านพลังงานที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบการจัดการพลังงานเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือการดำเนินการของระบบการจัดการพลังงาน โดยพลังงานที่ใช้สามารถวัดได้จากค่าพลังงานทางตรงที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือระบบการจัดการพลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น และพลังงานทางอ้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือระบบการจัดการพลังงาน เพื่อนำไปเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือระบบการจัดการพลังงานหลังจบสิ้นกระบวนการ ซึ่งค่าพลังงานสุทธิของกระบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือระบบการจัดการพลังงาน โดยจะวิเคราะห์ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ หรือไฟฟ้าที่ลดได้ 1 kWh ซึ่งค่าพลังงานเพิ่มสุทธิคำนวณได้จากสมการ (7)

$$NEV = \sum (E_{out} - E_{in}) \quad (7)$$

โดยที่

NEV	คือ	พลังงานสุทธิ (MJ)
E_{out}	คือ	พลังงานที่ได้จากกระบวนการ (MJ)
$E_{in} = CED_{CED}$	คือ	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการ (MJ)

ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิสามารถเป็นไปได้ 3 กรณี ซึ่งความหมายแต่ละกรณีจากผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานสุทธิ ดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิ

NEV	ความหมาย
มีค่าเท่ากับ 0	ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานและการใช้พลังงานเท่ากัน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับพอใช้
มีค่าเป็นบวก	ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานมากกว่าการใช้พลังงาน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี (หากมีค่า ที่สูงขึ้นจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นตามไปด้วย)
มีค่าเป็นลบ	ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานน้อยกว่าการใช้พลังงาน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับควรปรับปรุง (หากมี ค่าที่ลดลงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงเช่นกัน)

การประเมินก๊าซเรือนกระจก

การประเมินก๊าซเรือนกระจก ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งเป็นการคำนวณจากการใช้ทรัพยากรทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์กับค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยแหล่งพลังงาน คำนวณหาได้จากสมการ (8) ดังนี้

$$GHG_i = A_i \times EF_i \quad (8)$$

โดยที่

GHG_i คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kgCO₂eq)

A_i คือ จำนวนทรัพยากรที่ i (unit)

EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากร i (kgCO₂eq/unit)

การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost : LCC)

Life Cycle Costing คือ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของอาคาร หรือที่เรียกว่า Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) คือ ผลรวมค่าใช้จ่ายประมาณการทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งจะครอบคลุมถึงค่าใช้จ่ายของเงินลงทุน (Capital Cost) ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการ (Operational Cost) ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ (repair cost) และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (Maintenance Cost) สามารถคำนวณได้จากสมการ (9) ดังนี้

$$LCC = CI + CO + CR + CM \quad (9)$$

โดยที่	
LCC	คือ ต้นทุนตลอดอายุโครงการ (บาท)
CI	คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)
CO	คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (บาท)
CR	คือ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ (บาท)
CM	คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา (บาท)

การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (Present Value Benefit: PVB) และมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายของโครงการ (Present Value of Cost: PVC) จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบ เพื่อให้เห็นว่าโครงการนั้นให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ ถ้า NPV มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่ถ้า NPV มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมีค่าติดลบ แสดงว่าเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า จากสมการที่ (10) (พรสวรรค์ พิริยะศรีธธา, 2559)

$$NPV = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC \quad (10)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

B_n คือ ผลตอบแทนในปีที่ n เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ \times ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)

C_n คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ n เป็นค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ หรือ ค่าบำรุงรักษา (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยคิดลด (%)

n คือ ระยะเวลาของโครงการ ปีที่ 0, 1, 2, ..., n (ปี)

N คือ อายุของโครงการ (ปี)

TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมดตอนเริ่มต้นโครงการ (Total Investment Cost) ณ เวลาปัจจุบัน (บาท)

การประเมินระยะเวลาคืนทุน

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี ระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ในการลงทุนของโครงการ เพื่อนำค่าที่ได้มาช่วยในการพิจารณา

ระยะเวลาของผลตอบแทนคุ้มค้ำกับค้ำใช้จ่ายการลงทุน ซึ่งโดยส่วนใหญ่่มักจะเลือกโครงการให้ผลตอบแทนเร็วที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของโครงการ การหาระยะเวลาดำเนินทุนที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค้ำกับค้ำใช้จ่ายในการลงทุน ดังสมการ (11) (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต, 2558)

$$PB = Y_n + \frac{CF_c}{CF_y} \quad (11)$$

โดยที่ PB คือ ระยะเวลาดำเนินทุน (ปี)

Y_n คือ จำนวนปีก่อนดำเนินงาน (ปี)

CF_c คือ กระแสเงินสดที่เหลือ (บาท)

CF_y คือ กระแสเงินสดทั้งปี จากค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Cost Saving) ของปีที่มี
การดำเนินงาน (บาท/ปี)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต (2558) ศึกษาการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการคัดเลือกอาคารจากการกำหนดเกณฑ์พิจารณา คือ 1) พิจารณาเฉพาะอาคารที่มีทิศทางอาคารหันด้านทิศใต้ 2) พิจารณาเฉพาะอาคารที่ไม่เป็นอาคารเชิงคุณค่า หรืออาคารทางด้านสถาปัตยกรรมการก่อสร้าง 3) พิจารณาอาคารที่มีหลังคาที่เป็นลาดฟ้าเป็นอันดับแรก 4) การเข้าถึงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังของแต่ละอาคาร แล้วทำการคำนวณหาพื้นที่โดยการใช้โปรแกรม Google Earth และ Quantum GIS ในการวัดหาขนาดพื้นที่บนลาดฟ้า หาระยะห่างระหว่างแถวของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อหาจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งได้จริง ทำการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค จากประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สมรรถนะของระบบใช้ค่าเฉลี่ยที่ 85% (อ้างอิงจากข้อมูล IEA 2014) ร่วมกับจำนวนชั่วโมงที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์อย่างเต็มที่ในหนึ่งวัน และค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อปี ผลการศึกษาอาคารที่ผ่านตามเกณฑ์พิจารณา 10 อาคาร จากทั้งหมด 183 อาคาร และสามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 2,182 แผง สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 2,949.19 kWh/วัน ทางเศรษฐศาสตร์ที่ระยะเวลาโครงการ 20 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 26,744,616.98 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 15% ระยะเวลา คืนทุน 7.41 ปี

พีระวุฒิ ชินวรรังสี, และคณะ (2558) ศึกษาการประเมินสมรรถนะ และความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย ได้ทำการศึกษาศมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน จำนวน 6 ระบบ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon Single-Junction (α -Si:H), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous/ Microcrystalline Silicon Double-Junction (α -Si:H/ μ c-Si:H), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Copper Indium Gallium Selenide (CIGS), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-Crystalline Silicon (mono c-Si), เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Crystalline Silicon (poly c-Si) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Hetero-Junction with Intrinsic Thin Film (HIT) โดยแต่ละระบบมีขนาดกำลังการผลิตติดตั้งประมาณ 1 kWp พบว่า ระบบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด α -Si:H มีค่าสมรรถนะสูงที่สุดเท่ากับ 82.2% ขณะที่ระบบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด mono c-Si มีค่าสมรรถนะต่ำที่สุดเท่ากับ 68.9% นอกจากนี้ยังพบว่า เทคโนโลยีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly-Si มีความเหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดสำหรับใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในปัจจุบัน

Taehoon, Minhyun, Choongwan, Jimin & Kwangbok (2016) ทำการศึกษาการประเมินพื้นที่บริเวณดาดฟ้าสำหรับติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Rooftop Photovoltaic) บนชั้นดาดฟ้าโดยการวิเคราะห์เงาอาคาร โดยใช้การวิเคราะห์ Hillshade เพื่อช่วยส่งเสริมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร จำเป็นที่จะต้องวิเคราะห์ศักยภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาหรือดาดฟ้า อย่างไรก็ตามศักยภาพในการรับแสงอาทิตย์บนหลังคาในเขตชุมชนเมืองจะมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพื้นที่บนหลังคาที่มีอยู่เนื่องจากมีเงาอาคาร เพื่อประเมินพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าที่มีอยู่ได้อย่างถูกต้องโดยพิจารณาจากเงาอาคาร การศึกษานี้ได้เสนอวิธีการประเมินพื้นที่ว่างบนหลังคาสำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนชั้นดาดฟ้าโดยการวิเคราะห์โครงสร้างอาคารโดยใช้โปรแกรม Hillshade Analysis

ฉัตร ผลนาค และคณะ (2560) ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลังติดตั้ง 3 kW ซึ่งทำการจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst โดยอาศัยรังสีอาทิตย์จาก NASA-SEE ข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือนจากตำแหน่งที่ตั้งระบบละติจูด 7.808290°N และลองจิจูด 99.939123°E ที่ความสูงระดับน้ำทะเล 24 m แล้วทำการจำลองภายใต้เงื่อนไขการหันทิศทางของเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง (N, NE, E, SE, SW, W และ NW) และกำหนดมุมเอียงของแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ 3 ระดับ คือ 20°, 30° และ 40° จากผลการทดลองพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ และมุมเอียงที่ 20° จะได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด

สุรภิจ ทองสุก และอรรรณพล เก้าพิทักษ์กุล (2561) ทำการศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่เป็นดาดฟ้าของอาคารตัวอย่าง โดยทำการเปรียบเทียบจากการวัดจริงกับการคำนวณด้วยโปรแกรม PVsyst วิธีการศึกษาและทดลอง โดยทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จริงบนหลังคาขนาด 20 kW แบบระบบ Grid Connected System แล้วทำการเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตจริงจากเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการจำลองการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVsyst โดยการใช้ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันของประเทศไทย (จากข้อมูลสภาพอากาศของประเทศไทย) กำหนดระยะเวลาการจำลอง 1 ปี จากผลการวิจัยพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการผลิตด้วยเซลล์แสงอาทิตย์จริงระยะเวลา 1 ปี 30,479 kWh และได้จากการคำนวณ 30,868.99 kWh ส่วนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยการวิเคราะห์จากต้นทุนที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 1,121,500 บาท และค่าไฟฟ้าหน่วยละ 7 บาท พบว่าค่าไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณคืนทุนที่ระยะเวลา 5 ปี 5 เดือน อัตราผลตอบแทน 16.32% และเมื่อเปรียบเทียบกับติดตั้งจริงคืนทุนที่ระยะเวลา 5 ปี 3 เดือน อัตราผลตอบแทน 17.73%

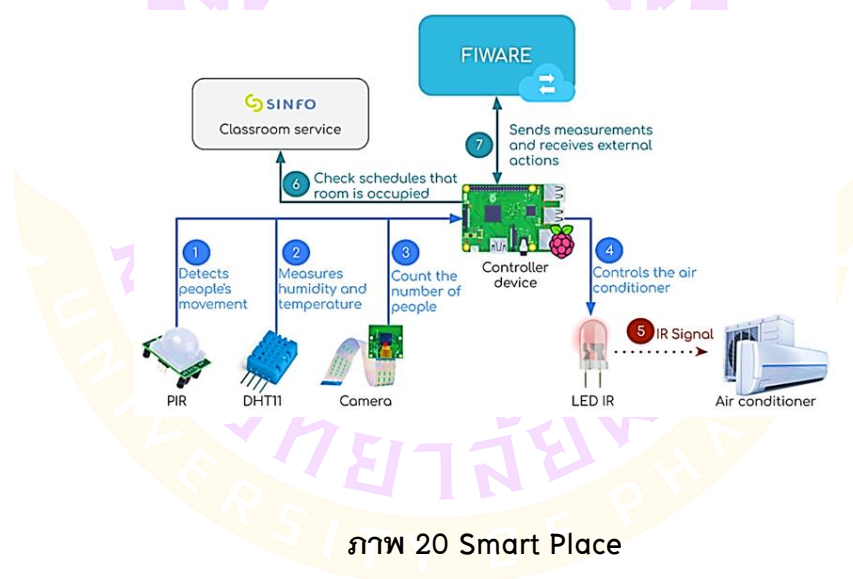
ธนาพล ตันดีสัตยกุล และคณะ (2560) ได้ทำการประเมินผลประโยชน์ทางพลังงานสิ่งแวดล้อม ในรูปของการลดก๊าซเรือนกระจก และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยทำการจำลองการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนดาดฟ้าอาคารเรียนภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จำนวน 17 อาคาร เริ่มจากทำการประเมินพื้นที่บนดาดฟ้าของอาคารโดยใช้โปรแกรม Google map จำลองการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม SketchUp Make 2016 เพื่อหาลำดับสูงสุดที่สามารถติดตั้งได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม RET screen โดยทำการสมมติฐานให้ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ 90% มุม Azimuth ที่ 0° และกำหนดมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิกัดละติจูด 14° ตามสถานที่ตั้ง จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่บนดาดฟ้าของอาคารเรียนทั้ง 17 อาคาร มีพื้นที่สามารถติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้ประมาณ 2.14 MW ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดประมาณ 2.77 GWh/ปี หรือ 5.8 % ของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ของอาคารเรียนทั้งหมด และสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ประมาณ 1,570 tCO_{2eq}/ปี มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของโครงการมีค่าระหว่าง 8.50 ถึง 8.90 % และมีระยะคืนทุนประมาณ 10 ปี

Gunn Panprayou (2017) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคาขนาด 8 kW ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และความเป็นไปได้ของการขยายระบบในอนาคต จากการศึกษาพบว่าพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 kWh/วัน ระบบผลิตพลังงานได้เฉลี่ย 978.64 kWh/เดือน ค่าพลังงานจำเพาะที่ระบบผลิตได้เท่ากับ 1,467.95 kWh/kW_{max} มีพื้นที่หลังคาสำหรับหรับการขยายระบบเป็น 0.5 เมกกะวัตต์ ถ้าอายุโครงการ 25 ปี จะผลิตไฟฟ้าได้ 16,837,549 kWh กำหนดเงื่อนไขให้เอกชนลงทุนให้ทั้งหมด 20.53 ล้านบาท สัดส่วนเงินกู้ต่อเงินลงทุน 70/30 ดอกเบี้ยคงที่ร้อยละ 6.025 ต่อปี ชำระคืนภายใน 10 ปี อัตราส่วนลดร้อยละ 6 โดยค่าไฟเฉลี่ยเท่ากับ 4 บาทต่อหน่วย หากชำระค่าไฟฟ้าให้กับผู้ผลิตไฟฟ้าในอัตรา 3.5, 3.0 และ 2.5 บาทต่อหน่วย โครงการจะมีความคุ้มทุนประมาณ 12, 17 และ 24 ปี ตามลำดับ หากใช้งานระบบจนครบ 25 ปี ผลการประหยัดที่เกิดขึ้นเท่ากับ 35.49, 31.25 และ 36.78 ล้านบาท ตามลำดับและจะสามารถลดปริมาณการปลดปล่อย คาร์บอนได้ 9,531.73 ตัน

ชูชาติ ฝาระนัด และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ซึ่งมีวิธีดำเนินการวิจัยโดยการจัดทำระบบข้อมูลด้านกายภาพของอาคาร ตรวจสอบชนิด ขนาด พิกัดติดตั้ง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในอาคาร คำนวณดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร จากนั้นกำหนดมาตรการ 3 มาตรการในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลตอบแทนในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร จากผลการวิจัยพบว่ามาตรการทั้งหมดที่นำมาใช้ในการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 118,141.24 kWh/ปี มาตรการที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดคือ มาตรการลดจำนวนชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศลง 1 ชั่วโมง/วัน สามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ 60,447.92 kWh/ปี รองลงมาคือ มาตรการล้างเครื่องปรับอากาศปีละ 1 ครั้ง สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 35,191.30 kWh/ปี ส่วนมาตรการที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคือ มาตรการลดจำนวนการใช้ไฟฟ้าบริเวณทางเดินและบันไดลง สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 4,906.37 kWh/ปี

Felipe Rocha, Lucas Cristiano Dantas, Luís Felipe Santos, Samela Ferreira, Bruna Soares, Alan Fernandes, Everton Cavalcante and Thais Batista (2021) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารอัจฉริยะ: ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศที่ใช้ IoT ซึ่ง

เป็นระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) โดยการใช้ Smart Place เป็น Hardware Devices ที่ได้พัฒนาขึ้น ดังภาพ 20 เพื่อควบคุมอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ ในระบบนี้จะใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensor) กล้องวิดีโอ อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ และความชื้น เพื่อป้องกันการเปิดเครื่องปรับอากาศไว้เมื่อไม่ได้ใช้งาน ส่วน FIWARE จะที่ช่วยในการโต้ตอบระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับและข้อมูลที่บันทึกไว้บน Web Platform การทดลองโดยการเลือกห้องเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 7 ห้อง จากนั้นทำการเปิดเครื่องปรับอากาศไว้อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ เวลา 6.50 น. ถึง 22.40 น. ในคาบเรียนเช้า บ่าย และเย็น (วันจันทร์ถึงวันศุกร์) จากนั้นทำการติดตั้ง Smart Place ไว้ในห้องเรียนและเปิดใช้งานในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าก่อนติดตั้ง Smart Place เปิดเครื่องปรับอากาศไว้ 79 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ หรือประมาณ 15 ชั่วโมงต่อวัน ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 2037.75 kWh และหลังติดตั้ง Smart Place ทำให้เวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศลดลง 42 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ หรือประมาณ 8.4 ชั่วโมงต่อวัน ใช้พลังงานไฟฟ้า 780.8 kWh ทำให้สามารถลดการชั่วโมงทำงานของเครื่องปรับอากาศลงได้ 46.80% และลดการใช้พลังงานลงได้ 61.68%

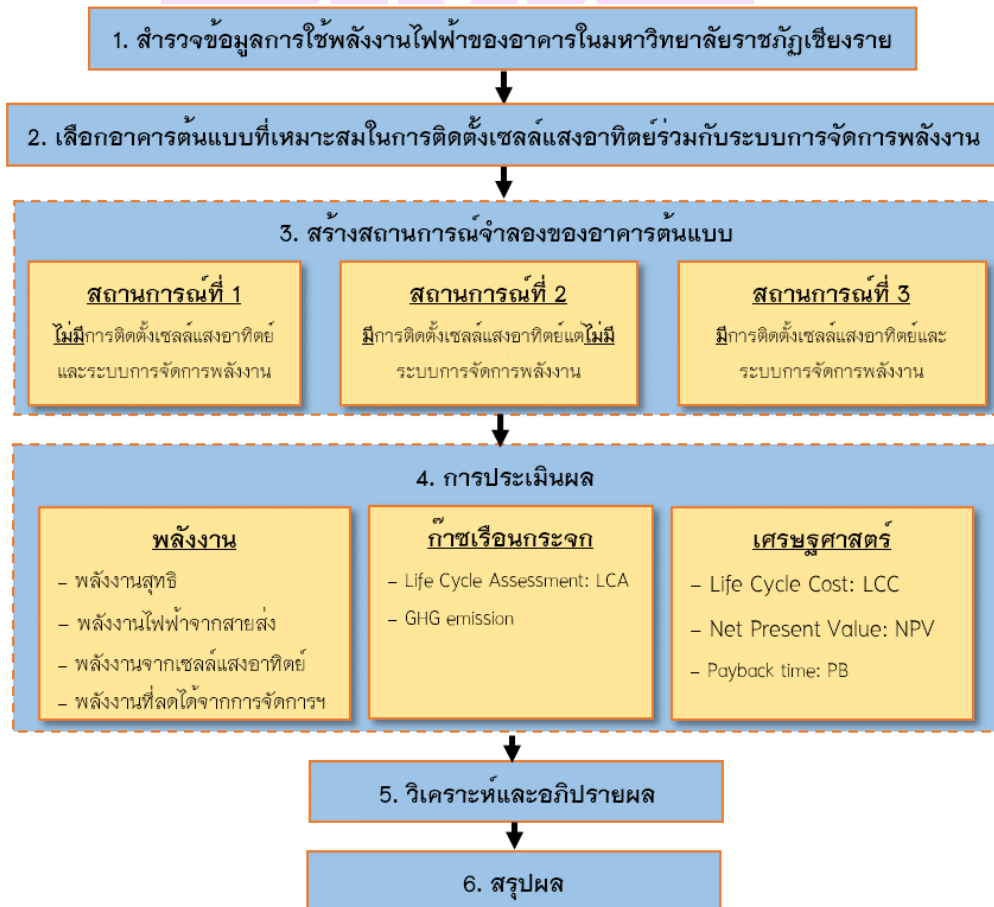


ที่มา: Felipe Rocha et al.,

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐกิจสำหรับอาคารที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน โดยมีกรอบการดำเนินงาน ดังภาพ 21 ดังนี้



ภาพ 21 กรอบการดำเนินงานวิจัย

สำรวจข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร โดยทำการเก็บและรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารที่มีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าจากสำนักงานกองอาคารสถานที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายย้อนหลัง 5 ปี พ.ศ. 2557-2561 (ปี 2561 เป็นปีฐาน)

เลือกอาคารต้นแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน

การเลือกอาคารต้นแบบเป็นการเลือกอาคารแบบเจาะจง โดยมีหลักเกณฑ์การพิจารณาในการเลือกอาคาร ดังนี้

1. อาคารที่มีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า และสามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าได้อย่างน้อย 5 ปี
2. อาคารที่ดำเนินกิจกรรมเกี่ยวกับการเรียนการสอนหรืออาคารสำนักงาน
3. อาคารที่มีหลังคาหันไปทางทิศใต้หรือลาดฟ้า
4. เป็นอาคารที่มีศักยภาพพื้นที่หลังคาสอดคล้องกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร

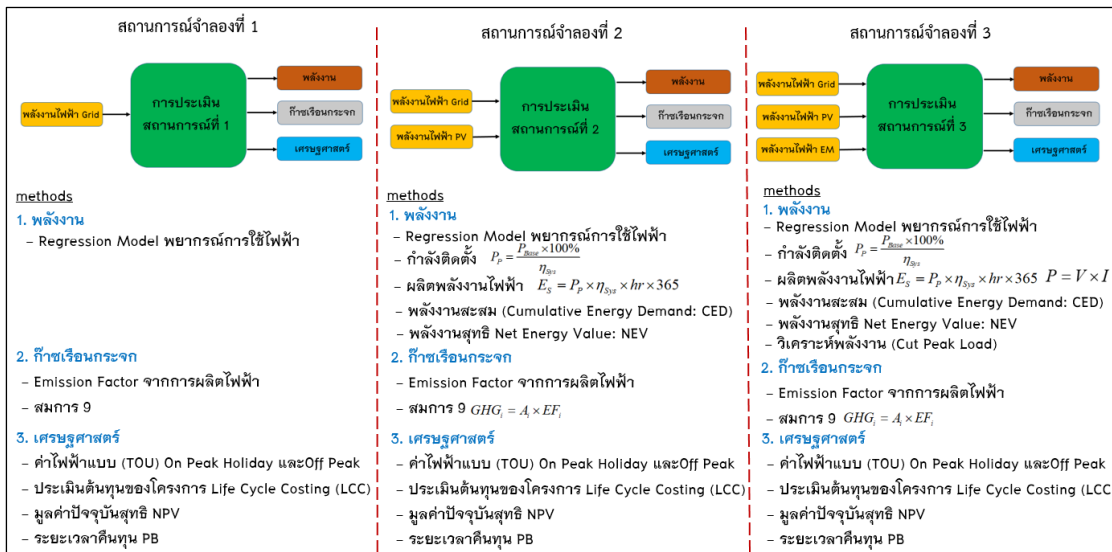
สร้างสถานการณ์จำลองของอาคารต้นแบบ

สร้างสถานการณ์จำลองและวิธีการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร 3 สถานการณ์ ดังภาพ 22 ซึ่งมีแนวทางการวิเคราะห์ของแต่ละสถานการณ์ มีดังนี้

สถานการณ์ที่ 1 เป็นสถานการณ์ที่อาคารมีการดำเนินการแบบปกติ คือ มีการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าแบบปกติและไม่มีการดำเนินการใด ๆ เพิ่มเติม

สถานการณ์ที่ 2 เพิ่มการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารต้นแบบ โดยออกแบบการติดตั้งให้เหมาะสมกับลักษณะของอาคารรวมถึงการใช้ไฟฟ้าของอาคาร

สถานการณ์ที่ 3 มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับอาคารต้นแบบรวมถึงมีระบบการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศด้วยระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT)



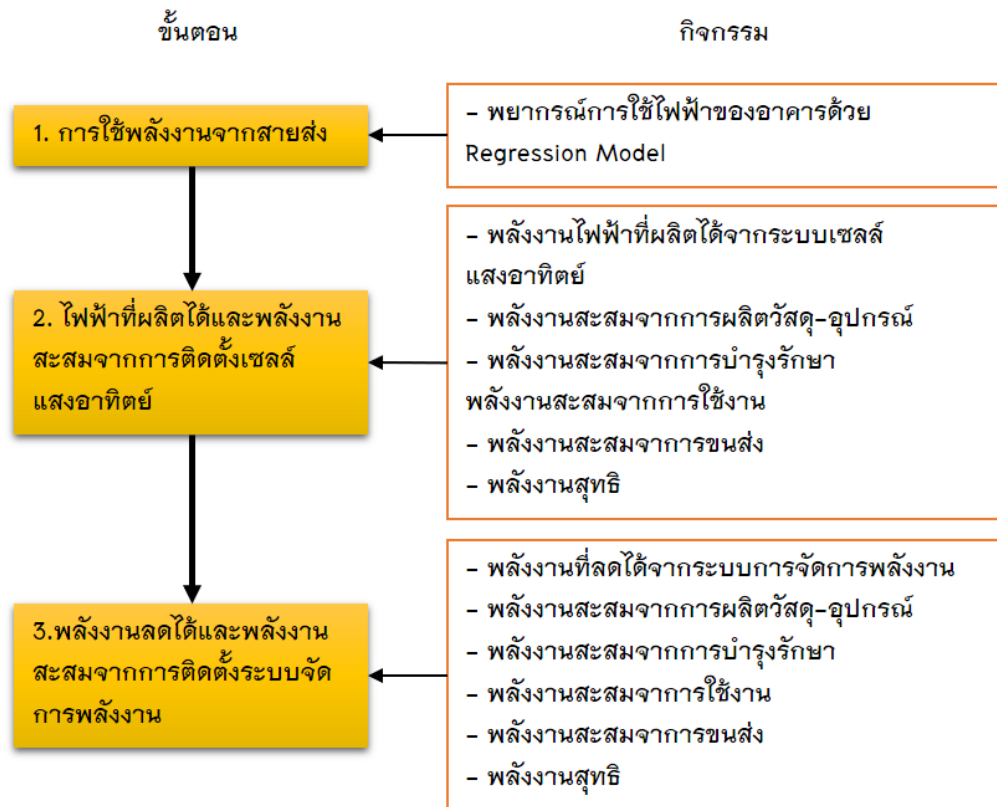
ภาพ 22 การจำลองสถานการณ์ และวิธีการประเมิน

การประเมินผล

การประเมินผลของสถานการณ์ต่าง ๆ จะทำการประเมินผล 3 ด้านด้วยกัน คือ ด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม (การปล่อยก๊าซเรือนกระจก) และด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะประเมินในกรอบเวลาของการดำเนินโครงการทั้งหมดเป็นระยะเวลา 25 ปี เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2586 (โดยใช้ข้อมูลปี 2561 เป็นปีฐาน) รายละเอียดของการประเมินในแต่ละด้านมี ดังนี้

การประเมินด้านพลังงาน

เป็นการประเมินด้านพลังงานของอาคารต้นแบบ ในทุก ๆ สถานการณ์ จะต้องมีการประเมินการใช้ไฟฟ้าที่มาจากสายส่ง ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งพลังงานที่ใช้ในการดำเนินการต่าง ๆ (สถานการณ์ที่ 2 และ 3) สำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน เช่น การใช้ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงในการติดตั้งหรือการดำเนินโครงการ รวมถึงพลังงานทางอ้อม ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ เป็นต้น โดยพลังงานที่กล่าวมาทั้งหมดจะต้องประเมินตามกรอบการดำเนินงานวิจัยที่ตั้งไว้ (25 ปี) ซึ่งขั้นตอนการประเมินพลังงาน ดังภาพ 23 และแสดงรายละเอียดดังตาราง 2



ภาพ 23 ขั้นตอนการประเมินพลังงาน

ตาราง 2 วิธีการประเมินพลังงานของอาคารต้นแบบในงานวิจัย

ตัวแปรพลังงาน	วิธีการประเมิน	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
การใช้พลังงานจากสายส่ง	ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 5 ปี ของการใช้พลังงานจากสายส่งในอาคารต้นแบบ จากนั้นพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าในอีก 25 ปีข้างหน้าด้วยวิธี Regression Model จากสมการที่ (1) ในบทที่ 2	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 5 ปี

ตาราง 2 (ต่อ)

ตัวแปรพลังงาน	วิธีการประเมิน	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์	ประมาณการจากสมการที่ (2)–(5) ในบทที่ 2 จากนั้นประมาณการณ ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ไปอีก 25 ปี	แบบอาคาร/ทิศทางหลังคา/ ค่ารังสีแสงอาทิตย์/ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์/คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์
พลังงานที่ใช้ในการดำเนินงานเพิ่มเติม (การติดตั้ง การดูแลรักษา) ของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์และระบบจัดการพลังงาน	สืบค้นข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง เช่น หนังสือ บทความวิชาการ บทความวิจัย คู่มือการติดตั้ง เป็นต้น รวมถึงข้อมูลจากฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.1.1 ด้วยวิธีการ Cumulative Energy Demand (CED) จากสมการที่ (6) ในบทที่ 2	ข้อมูลการผลิต/ติดตั้ง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบจัดการพลังงาน
การประเมินพลังงานที่ลดได้จากระบบการจัดการพลังงาน	สืบค้นข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง เช่น หนังสือ บทความวิชาการ บทความวิจัย คู่มือการติดตั้ง เป็นต้น	
พลังงานสุทธิ	อ้างอิงการคำนวณจากสมการที่ (7) ในบทที่ 2	

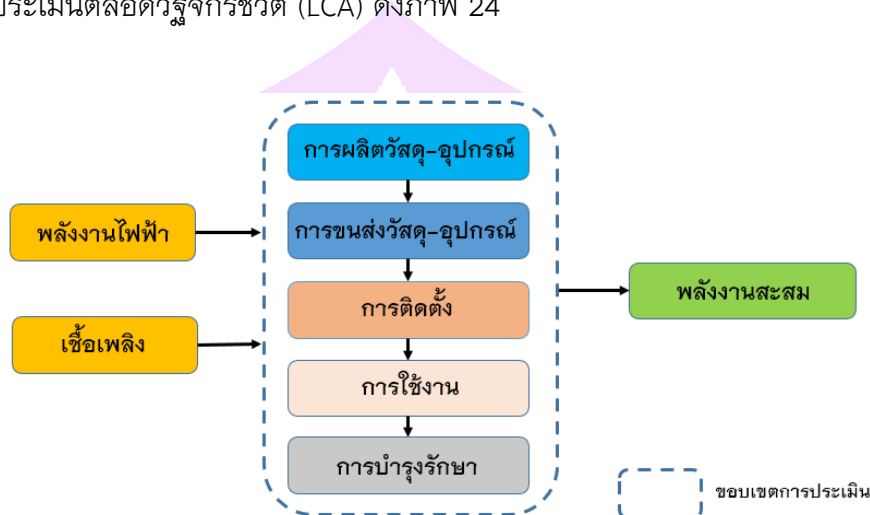
ขั้นตอนที่ 1 การประเมินการใช้พลังงานจากสายส่ง โดยการรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารต้นแบบย้อนหลัง 5 ปี เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง พ.ศ. 2586 (โดยใช้ข้อมูลปี 2561 เป็นปีฐาน) จากนั้นพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าในอีก 25 ปีข้างหน้าด้วยวิธี Regression Model จากสมการ 1

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการการคำนวณจากสมการที่ (5) จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณการผลิตไฟฟ้าต่อปี (kWh/ปี) แล้วทำการประมาณการผลิตไฟฟ้าตามการลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ไปอีก 25 ปี

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินพลังงานที่ใช้ในการดำเนินงานเพิ่มเติม เป็นการวิเคราะห์หาพลังงานสะสม (CED) จากขบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (การติดตั้ง การขนส่ง และการบำรุงรักษา) ตามหลักการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) โดยเริ่มจากกำหนดเป้าหมายและขอบเขต จัดทำบัญชีรายการ จากนั้นทำการประเมินพลังงานสะสม ดังนี้

กำหนดเป้าหมายและขอบเขต

การประเมินพลังงานสะสมจากการดำเนินงานตามกิจกรรมต่าง ๆ (การผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ การขนส่ง และการบำรุงรักษา) โดยมีเป้าหมายและขอบเขตในการศึกษาหาพลังงานสะสมจากกระบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน ตามหลักการประเมินตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) ดังภาพ 24



ภาพ 24 ขอบเขตการประเมินพลังงานสะสมจากกิจกรรมต่าง ๆ

จัดทำบัญชีรายการ

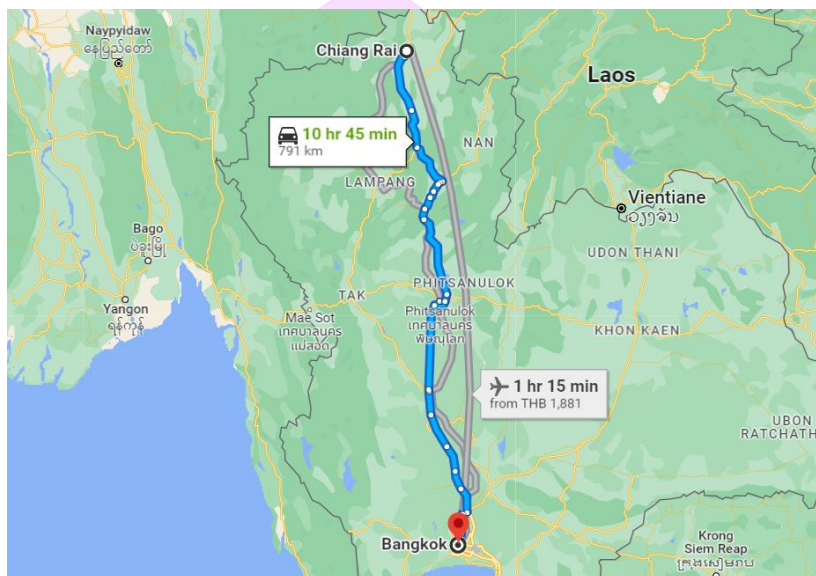
โดยการรวบรวมข้อมูลรายการวัสดุ-อุปกรณ์จากขั้นตอนการจำลองการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) และสืบค้นข้อมูลอ้างอิงจากเอกสารเผยแพร่ ตำราวารสาร และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

ประเมินพลังงานสะสม

ทำการประเมินพลังงานสะสมจากการได้มาของข้อมูลในกิจกรรมต่าง ๆ จากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ ดังนี้

1. การประเมินพลังงานสะสมจากขั้นตอนการได้มาของวัสดุและอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการติดตั้ง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Crystalline Silicon (poly c-Si) (พีระวุฒิ ชินวรรังสี และคณะ, 2558) ขนาดกำลังผลิต 320 W รุ่น SP320 และ Inverter ขนาด 10 kW_{AC} รุ่น SUN2000-10KTL-M0 (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2563) และคอมพิวเตอร์

2. การประเมินพลังงานสะสมจากขั้นตอนการขนส่งวัสดุอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบการจัดการพลังงาน และวัสดุอุปกรณ์จากการบำรุงรักษา โดยสมมติฐานการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้ากรุงเทพมหานคร มายังจังหวัดเชียงรายเป็นระยะทาง 791 km ดังภาพ 25



ภาพ 25 ระยะทางขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ในการติดตั้ง

3. การประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการประกอบและติดตั้งโครงสร้าง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และส่วนประกอบอื่น ๆ รวมถึงการประกอบและการติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน

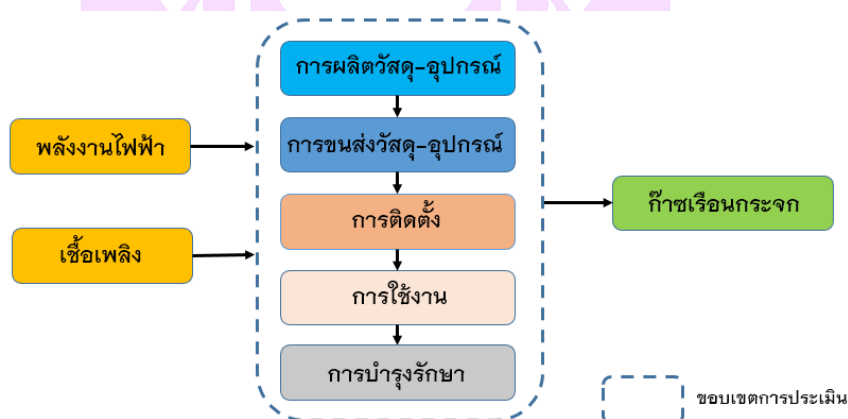
4. การประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการใช้งาน เป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานระหว่างดำเนินกิจกรรมการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรือการดำเนินกิจกรรมของระบบการจัดการพลังงาน

5. การประเมินพลังงานสะสมจากขั้นตอนการบำรุงรักษา โดยมีการเปลี่ยนวัสดุอุปกรณ์ในการบำรุงรักษา 10% ของวัสดุอุปกรณ์ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (การุณย์ ชัยวณิชย์, 2562) ตลอดระยะเวลา 25 ปี ดังนั้นในขั้นตอนการบำรุงรักษาจะมีพลังงานสะสมจากการได้มาของวัสดุอุปกรณ์ และการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้ากรุงเทพมหานครมายังจังหวัดเชียงรายเป็นระยะทาง 791 km

6. พลังงานสุทธิ (Net Energy Value: NEV) เป็นการวิเคราะห์ที่ความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน โดยการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับพลังงานจากการได้มาของวัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าพลังงานทางตรงและทางอ้อมที่ใช้ในกระบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการคำนวณแสดงออกมาให้อยู่ในรูปของหน่วยพลังงานต่อหน่วยพลังงานที่ผลิตได้ (1kWh) ซึ่งค่าพลังงานสุทธิตำนวนได้จากสมการ (7)

การประเมินก๊าซเรือนกระจก

การประเมินก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากพลังงานสะสมในการดำเนินงานของกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละสถานการณ์ของอาคารต้นแบบ ประกอบด้วย การใช้ไฟฟ้าและทรัพยากร ดังสมการที่ (8) และมีขอบเขตการประเมิน ดังภาพ 26 ซึ่งแนวทางการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรม ดังตาราง 3



ภาพ 26 ขอบเขตการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ

ตาราง 3 วิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกของอาคารต้นแบบในงานวิจัย

กิจกรรม	วิธีการประเมิน	ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
การใช้ไฟฟ้า/เชื้อเพลิง	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า/เชื้อเพลิงคูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้า/เชื้อเพลิง	ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า/เชื้อเพลิงในกิจกรรมต่าง ๆ/ ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้า/เชื้อเพลิง โดยอ้างอิงจากค่าของประเทศไทย/ เอกสารอ้างอิง/ฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.1.1
การผลิตทรัพยากรต่าง ๆ ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบการจัดการพลังงาน	ใช้ปริมาณของทรัพยากร คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากร	ข้อมูลการใช้ทรัพยากร/ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากทรัพยากร โดยอ้างอิงจากค่าของประเทศไทย/ เอกสารอ้างอิง/ฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 9.1.1.1

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากขั้นตอนหลักของการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการผลิตหลักประกอบด้วย หน่วยการผลิตย่อย (Unit Process) ต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดแหล่งที่มา ดังตาราง 4

ตาราง 4 แหล่งที่มาของข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ช่วงวัฏจักรชีวิต	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ	แหล่งอ้างอิง
Construction	- ข้อมูลปริมาณของอุปกรณ์	- ค่า EF ของอุปกรณ์	- ข้อมูลจากการออกแบบ (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2560)
	- ข้อมูลแหล่งผลิต	- ค่า EF ของการขนส่งในแต่ละรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ	- ฐานข้อมูล Ecoinvent
	- ข้อมูลระยะทางและรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ	- ค่า EF ของการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	- ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ Google Map
	- ข้อมูลการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	- ค่า EF ของการขนส่งวัสดุก่อสร้าง	- Thai national database
	- ข้อมูลการขนส่งวัสดุก่อสร้าง	- ค่า EF ของวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	- คู่มือ Solar Tron (Photovoltaic)
	- ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	- ค่า EF ของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	- คู่มือ Inverter Huawei 10kW 3 Phase (Inverter)

ตาราง 4 (ต่อ)

ช่วงวัฏจักรชีวิต	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ	แหล่งอ้างอิง
Operation & Maintenance	- ข้อมูลปริมาณของอุปกรณ์	- ค่า EF ของอุปกรณ์	- ข้อมูลจากการออกแบบ (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2560)
	- ข้อมูลแหล่งผลิต	- ค่า EF ของการขนส่งในแต่ละรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ	- ฐานข้อมูล Ecoinvent
	- ข้อมูลระยะทางและรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ	- ค่า EF ของการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	- ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์
	- ข้อมูลการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	- ค่า EF ของการขนส่งวัสดุก่อสร้าง	Google Map
	- ข้อมูลการขนส่งวัสดุก่อสร้าง	- ค่า EF ของวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	
	- ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	- ค่า EF ของวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	
	- ข้อมูลการบำรุงรักษาระบบและอุปกรณ์ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	- ค่า EF ของการบำรุงรักษาระบบและอุปกรณ์	

การประเมินเศรษฐศาสตร์

เป็นการวิเคราะห์เพื่อประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ 3 ด้าน คือ การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ดังนี้

1. ประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC) เป็นการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุนตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ การใช้งาน และการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุของโครงการ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

2. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คุ้มกับราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยตามช่วงเวลา On-Peak และ Off-Peak แล้วลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายเริ่มต้นของโครงการและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาตลอดระยะเวลาของโครงการ 25 ปี และกำหนดค่า Discount Factor ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินฝากเฉลี่ยของปีฐาน

(2561) มูลค่าปัจจุบันสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10) (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2560)

3. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) เป็นการวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนของโครงการ โดยจะเปรียบเทียบจำนวนเงินที่ใช้ในการลงทุนกับผลตอบแทนจากการลงทุน เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าโครงการที่จะดำเนินการมีความคุ้มค่าหรือไม่ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

การวิเคราะห์และอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์และอภิปรายผลด้านพลังงาน

1.1 วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งของอาคารต้นแบบ โดยใช้ข้อมูลจริงที่อ่านจากมิเตอร์ของอาคารต้นแบบในปี พ.ศ. 2561 เป็นฐาน กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน แล้วทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของทั้ง 3 สถานการณ์

1.1.1 การวิเคราะห์และอภิปรายผลด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน และการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง เริ่มจากการจัดทำบัญชีข้อมูลรายการโดยการจำแนกประเภทรายการ ปริมาณ ของวัสดุและพลังงานที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการมาวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของ kgCO_2eq แล้วทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์ ของอาคารต้นแบบจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานลดลงมาน้อยเพียงใด

1.1.2 การวิเคราะห์และอภิปรายผลด้านเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินผลด้านเศรษฐศาสตร์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลตลอดอายุของโครงการ โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของโครงการ (Life Cycle Cost: LCC) จากการจำลองทั้ง 3 สถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ระยะเวลาคืนทุน และความเป็นไปได้ที่จะตัดสินใจในการดำเนินโครงการของแต่ละสถานการณ์จำลอง

สรุปผลการวิจัย

นำเอาข้อมูลจากการวิเคราะห์และอภิปรายผลมาสรุปแต่ละโครงการมีการประหยัดพลังงานมาน้อยเพียงใด การปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลงเท่าใด และมีความเหมาะสมในการลงทุนหรือไม่อย่างไร และเสนอแนะแนวทางการจัดการพลังงานสำหรับอาคารในสถาบันการศึกษา

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลแต่ละด้านที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครบถ้วนตามกรอบการดำเนินการวิจัยที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 โดยเริ่มจากการสำรวจข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อทำการเลือกอาคารต้นแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน จากนั้นทำการจำลองสถานการณ์ 3 สถานการณ์ แล้วทำการประเมินการใช้พลังงาน การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ โดยมีผลการดำเนินงาน ดังนี้

ผลการสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 105 อาคาร พบว่ามีอาคารที่เปิดใช้งานอาคารและติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 82 อาคาร จากสำนักงานกองอาคารสถานที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ย้อนหลัง 5 ปี เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 – 2561 (ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน) ดังตาราง 5

ตาราง 5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ที่	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)				
		2557	2558	2559	2560	2561
1	Fitness Center	7,003	6,246	6,548	6,624	4,370
2	ศูนย์บริการสุขภาพ	5,319	5,068	4,364	4,816	2,916
3	หอพักมฤคทายวัน	14,419	13,832	21,310	37,851	31,635
4	หอพัก 3	14,296	12,207	11,790	13,510	16,876
5	หอพัก 4	21,892	22,543	22,582	21,656	18,466
6	หอพัก 5	11,879	10,654	13,562	14,159	10,392
7	หอพัก 6	25,586	24,974	25,470	24,116	21,061
8	หอพัก 7	21,474	22,444	24,057	21,405	15,955

ตาราง 5 (ต่อ)

ที่	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)				
		2557	2558	2559	2560	2561
9	อาคารเซรามิกส์	23,773	26,887	35,907	35,593	8,853
10	อาคารศิลป์	5,194	8,325	12,964	14,750	9,243
11	อาคารนาฏศิลป์	2,737	2,309	874	1,765	1,642
13	อาคารเทคโนโลยีการศึกษา	11,795	16,415	17,780	17,160	15,745
14	อาคารคณะวิทยาศาสตร์	77,600	73,750	63,500	69,000	62,416
15	สำนักงานกองอาคารสถานที่	11,499	15,552	16,655	16,406	11,890
16	โปรแกรมวิชาเกษตร	2,910	7,241	12,110	17,405	10,395
17	สำนักงานอธิการบดี 1	92,430	40,140	74,100	63,825	25,420
18	อาคารเรียนการแพทย์ พื้นบ้าน	58,280	26,239	72,920	72,440	57,560
19	หอนิทรรศการ	3,042	41,506	1,905	2,623	2,884
20	ศูนย์วัฒนธรรม	2,313	3,346	6,062	7,107	6,584
21	ไบโอเทค	89,500	38,779	106,385	96,700	66,460
22	สำนักสภานักศึกษา	9,638	68,702	15,918	20,559	97
23	สำนักงานฝ่ายยานพาหนะ	8,286	1,780	2,932	4,814	2,771
24	เรียนรวม 1 (อาคาร 8 ชั้น)	24,556	10,935	46,984	84,840	87,164
25	เรียนรวม 2	9,381	28,667	12,107	11,318	8,826
26	อุตสาหกรรมท่องเที่ยว	30,060	36,063	35,985	16,465	15,940
27	คณะมนุษยศาสตร์	135,214	161,181	127,982	112,244	93,926
28	โรงแรมราชภัฏอินน์	53,246	22,628	51,232	60,254	41,670
29	คณะวิทยาการจัดการ	13,050	15,042	18,400	18,720	9,845
30	คณะครุศาสตร์	112,125	42,225	41,530	38,605	28,470
31	คณะสังคมศาสตร์	42,126	98,320	55,522	53,396	35,216
32	เรียนรวม 3	88,134	84,784	101,890	97,428	70,258
33	สำนักส่งเสริมวิชาการ	47,328	34,572	11,746	9,174	8,836
34	สำนักงานอธิการบดี 2	124,878	82,806	41,730	38,832	22,612
35	โรงพยาบาลสัตว์	3,000	5,800	5,600	7,966	9,350

ตาราง 5 (ต่อ)

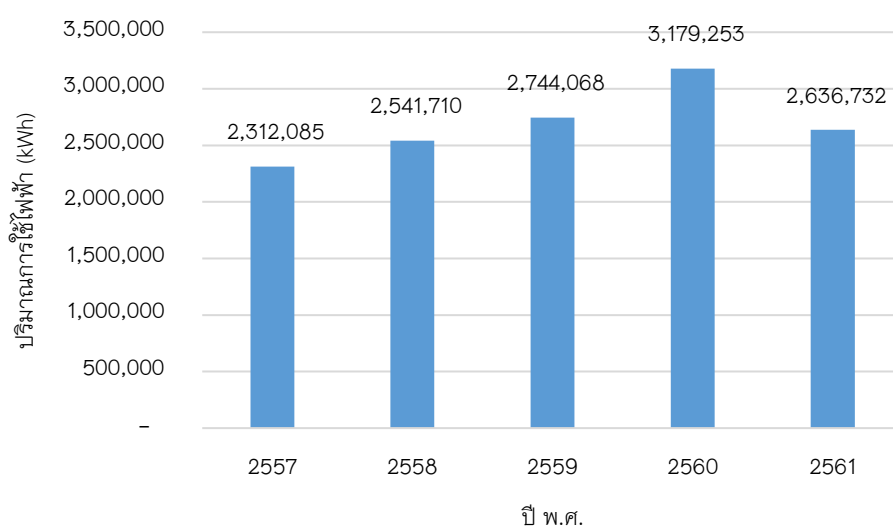
ที่	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)				
		2557	2558	2559	2560	2561
36	กองพัฒนานักศึกษา	41,110	67,328	26,718	22,220	14,802
37	หอประชุมสุพรรณิการ์	23,140	33,932	14,877	17,010	9,075
38	วิทยาลัยนานาชาติลุ่มน้ำโขง	19,109	17,074	1,636	18,448	12,500
39	พิพิธภัณฑ์ชีวิต	3,960	27,537	5,986	12,158	7,552
40	อาคารเรียนคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม	44,405	35,759	48,510	54,455	32,000
41	อุตสาหกรรมศิลป์	5,520	6,082	9,271	9,405	4,628
42	อาคารโยธา	17,779	28,889	20,030	20,441	18,635
43	สำนักงานคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรม	9,132	13,968	14,284	13,760	15,022
44	อาคารเรียนนิติศาสตร์	31,110	63,536	33,319	28,972	24,637
45	ศูนย์บ่มเพาะผู้ประกอบการ	10,668	12,504	18,897	4,667	5,934
46	นิเทศศาสตร์	20,869	20,916	23,423	23,157	13,590
47	หอประชุมกาสะลองคำ	32,850	47,104	41,532	51,464	30,570
48	ศูนย์ภาษา	38,892	24,318	52,356	47,820	42,096
49	ไอที	45,180	35,187	55,780	50,500	39,500
50	หอพักยูนิเฮียร์ 1	46,970	30,516	47,650	47,715	40,130
51	หอพักยูนิเฮียร์ 2	15,175	12,845	25,385	26,985	22,480
52	หอพักยูนิคอม 1	43,215	43,907	42,260	44,375	40,000
53	หอพักยูนิคอม 2	69,350	54,790	68,485	75,275	64,420
54	สำนักงานดนตรี ซ้อมดนตรี	9,277	34,908	8,094	13,228	8,071
55	ราชภัฏพัฒนา	7,755	17,365	17,985	21,813	14,602
56	หอคูดาว	6,886	29,930	10,049	6,387	11,447
57	ศูนย์ชาติพันธุ์	16,496	38,308	14,545	11,259	7,490
58	ศูนย์ความหลากหลาย	6,609	9,605	14,322	16,377	13,091
59	โปรแกรมคณิตศาสตร์	54,605	35,139	68,710	66,665	41,375
60	ยุพราชวิทยามงคล	302,786	172,707	415,195	454,241	432,345

ตาราง 5 (ต่อ)

ที่	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)				
		2557	2558	2559	2560	2561
61	สาธารณสุข (วิทย์ใหม่)	12,475	6,665	16,760	19,795	17,450
62	มนุษยศาสตร์ใหม่ 79	29,640	19,084	18,995	19,590	16,465
63	สำนักงานสาธิต	26,250	46,480	31,200	35,050	27,300
64	วิจัยและพัฒนา	8,940	210,679	12,100	7,015	5,285
65	หอพักนักกีฬา	26,830	10,255	23,740	25,855	19,545
66	หอประชุมพิบูลทอง	19,614	16,779	25,705	23,102	18,952
67	สำนักงานวิทยาลัย แพทย์พื้นบ้าน	11,400	16,860	15,760	25,440	24,920
68	ศึกษาพิเศษ	11,838	36,581	19,177	17,943	14,946
69	หอประชุมเอื้องมัจฉา	33,690	38,315	41,555	39,180	25,150
70	สำนักบัญชี	2,040	2,194	2,635	4,275	9,350
71	หอประชุมใหญ่	-	23,456	75,552	112,160	79,072
72	เรียนรวม 100	-	7,545	18,470	29,370	24,980
73	เรียนรวม 101	-	50,905	46,536	58,356	46,674
74	เรียนรวม 102	-	8,680	19,602	36,276	28,794
75	เรียนวิทยาลัยแพทย์ฯ ใหม่	-	12,583	40,926	39,303	40,830
76	ปฏิบัติการวิทย์สุขภาพ ใหม่	-	3,887	10,146	12,568	9,476
77	สถาปัตยกรรมใหม่	-	2,088	15,480	8,012	7,248
78	บริหารกลาง	-	-	87,264	311,208	214,800
79	สำนักท่องเที่ยวใหม่	-	-	204	10,924	12,760
80	หอปรัชญาราชกาลที่ ๙	-	-	-	48,948	165,490
81	คหกรรมใหม่	-	-	-	-	13,380
82	ครุศาสตร์ใหม่	-	-	-	-	9,568

จากตาราง 5 ผลการเก็บข้อมูลอาคารที่มีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า จำนวน 82 อาคาร พบว่ามีอาคารที่มีข้อมูลการใช้ไฟย้อนหลัง 5 ปี จำนวน 70 อาคาร ส่วนอาคารที่มีข้อมูลการใช้ไฟย้อนหลัง 1-4 ปี จำนวน 12 อาคาร เนื่องจากเป็นอาคารสร้างใหม่

จากผลการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย ปี พ.ศ. 2557-2561 พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังภาพ 27 ส่วน ในปี พ.ศ. 2561 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง เนื่องจากมีการหยุดการประกาศใช้งานอาคารต่าง ๆ ชั่วคราวจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา (COVID-19)



ภาพ 27 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ผลการเลือกอาคารต้นแบบที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน

จากผลการสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย ผู้วิจัยได้ทำการเลือกอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ดังภาพ 28 เป็นอาคารต้นแบบในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน ด้วยเหตุผลและความเหมาะสม ดังนี้

1. เป็นอาคารที่มีการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า และสามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 5 ปี
2. อาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเป็นสำนักงาน ใช้ในการสนับสนุนการศึกษา
3. อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีหลังคาหันไปทางทิศใต้

4. หลังคาอาคารมีศักยภาพพื้นที่ของหลังคาติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าของอาคารได้ ซึ่งการคำนวณหาศักยภาพพื้นที่หลังคา โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Google Earth (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดาทองโสภิต, 2558) วัดขนาดพื้นที่หลังคาที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้อาคาร แล้วทำการคำนวณหาศักยภาพพื้นที่หลังคาแบบเต็มพื้นที่จากสมการ (2) และ (3) และงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตั้งอยู่เขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เพื่อให้ผลการคำนวณหาศักยภาพพื้นที่หลังคาอาคารต้นแบบมีความถูกต้องมากที่สุด จึงใช้ค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ 1,723.6 kWh/m²-year ย้อนหลัง 5 ปี พ.ศ. 2556-2560 จากศูนย์สำรวจอุทกวิทยาที่ 5 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557) ผลการคำนวณ ดังตาราง 6



ภาพ 28 อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ตาราง 6 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าปีฐาน (2561) และศักยภาพพื้นที่หลังคา

อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)	ศักยภาพพื้นที่หลังคา (kWh/ปี)
อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	28,565	198,214

สร้างสถานการณ์จำลองของอาคารต้นแบบ

โดยทำการสร้างสถานการณ์จำลองการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 3 สถานการณ์ เพื่อประเมินและเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐกิจ ของอาคารต้นแบบที่ไม่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ อาคารต้นแบบที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แต่ไม่มีการจัดการด้วยระบบการจัดการพลังงานและอาคารต้นแบบที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานของอาคาร ตลอดระยะเวลาของโครงการ 25 ปี และกำหนดให้ ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน ซึ่งมีผลการประเมิน ดังนี้

ผลการสร้างสถานการณ์จำลองที่ 1

เป็นการจำลองการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง (Grid) ของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงได้สมมติฐานอาคารไม่มีการดำเนินกิจกรรมใด ๆ เพิ่มเติมตลอดระยะเวลา 25 ปี และกำหนดให้ ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน เพื่อทำการประเมินทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านพลังงาน ด้านก๊าซเรือนกระจก และด้านเศรษฐกิจ ดังภาพ 29



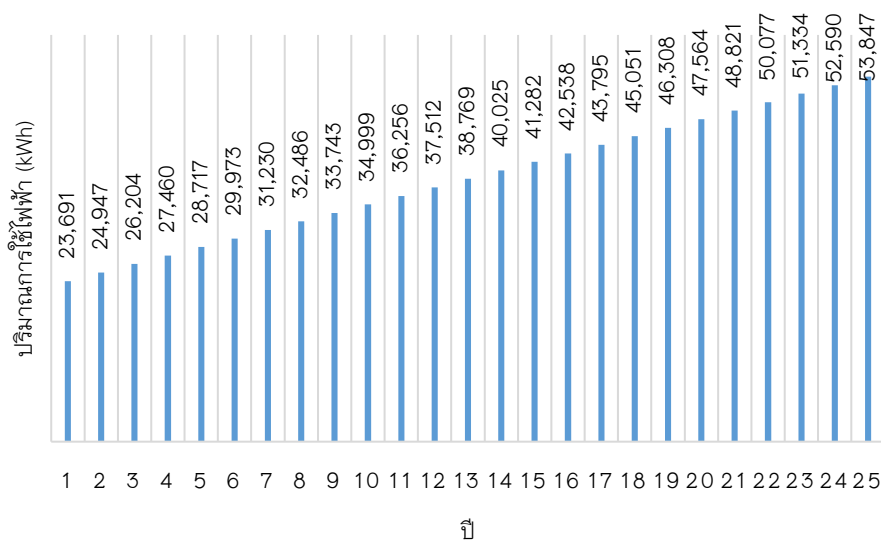
ภาพ 29 แนวทางการประเมินสถานการณ์ที่ 1

ผลการประเมินด้านพลังงาน จากการจำลองสถานการณ์ที่ 1

เป็นการพยากรณ์ค่าความต้องการปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ตลอดระยะเวลา 25 ปี โดยการนำค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ย้อนหลัง 5 ปี เริ่มตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557-2561 ดังตาราง 7 ทำการสร้างสมการพยากรณ์ Regression Model ($y = 1256.5x + 22434$) จากนั้นนำสมการที่ได้มาพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารตลอดระยะเวลา 25 ปี ดังภาพ 30

ตาราง 7 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปี พ.ศ.	2557	2558	2559	2560	2561
ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)	24,200	23,687	27,047	27,521	28,565

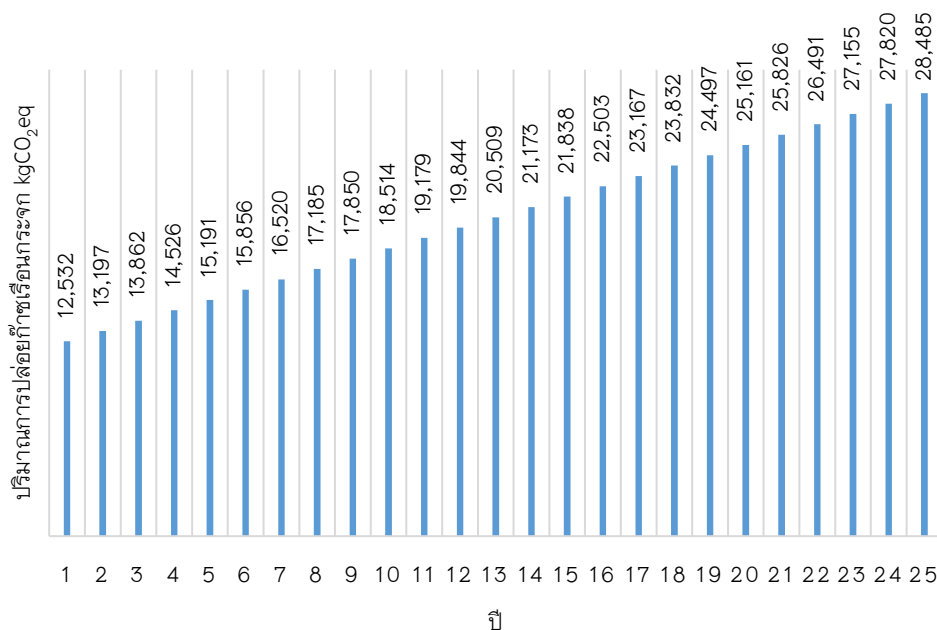


ภาพ 30 ผลการพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารตลอดระยะเวลา 25 ปี

จากภาพ 30 พบว่าอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในปีแรกมีความต้องการใช้ไฟฟ้า 23,691 kWh/ปี และมีแนวโน้มความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลา 25 ปี (ปี พ.ศ. 2562–2587) อาคารมีปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า 53,847 kWh/ปี

ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจก จากการจำลองสถานการณ์ที่ 1

เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง โดยการคำนวณจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการพยากรณ์คูณกับค่า Emission Factor ของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 0.5290 tCO₂eq/MWh หรือ 0.5290 kgCO₂eq/kWh ของประเทศไทย (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2561) จากสมการ (1) เพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดโครงการ 25 ปี ดังภาพ 31



ภาพ 31 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารตลอดระยะเวลา 25 ปี

จากภาพ 31 ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร ซึ่งในปีแรกมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 12,532 kgCO₂eq/ปี และมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงปีสุดท้ายมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 28,485 kgCO₂eq/ปี และตลอดระยะเวลา 25 ปี (ปี พ.ศ. 2562–2587) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 512,713 kgCO₂eq

ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจำลองสถานการณ์ที่ 1

เป็นการประเมินค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง โดยนำค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของปีฐาน พ.ศ. 2561 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จากระบบการคิดอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) มาคำนวณหาสัดส่วน (%) การใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU จากผลการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของปี พ.ศ. 2561 พบว่ามีปริมาณการใช้ไฟฟ้า 5,076,657 kWh เมื่อนำมาคิดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาจะได้สัดส่วนการใช้ไฟฟ้างดตาราง 8 จากนั้นนำค่าสัดส่วนการใช้ไฟฟ้ามาคูณกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละปีของอาคารที่ได้จากการพยากรณ์ในขั้นตอนการประเมินด้านพลังงานมาคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาของการใช้ไฟ (Time of Use Rate : TOU) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์ ดังนี้ ช่วง On Peak เท่ากับ 4.2097 บาท/หน่วย ช่วง Off Peak เท่ากับ 2.6295 บาท/หน่วย และ

ช่วง Holiday เท่ากับ 2.6295 บาทต่อหน่วย และกำหนดให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหนึ่งกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) เท่ากับหนึ่งหน่วยไฟฟ้า ดังตาราง 9

ตาราง 8 สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา TOU ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา พ.ศ. 2561 (kWh)	สัดส่วนการใช้ไฟฟ้า (%)	
On Peak	2,854,539	56.23
Off Peak	1,000,475	19.71
Holiday	1,221,642	24.06
รวม	5,076,657	100.00

จากตาราง 8 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนการใช้ไฟฟ้าตามรูปแบบการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบช่วงเวลา (TOU) ปี พ.ศ. 2561 (ปีฐาน) ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พบว่าลักษณะการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีสัดส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak มากที่สุด 56.23% รองลงมาเป็นช่วง Holiday ปริมาณการใช้ไฟฟ้า 24.06% และมีสัดส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด ในช่วง Off Peak 19.71%

ตาราง 9 ค่าไฟฟ้าตามสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา TOU ของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปี	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)	ปริมาณไฟฟ้าตามสัดส่วน (kWh/ปี)			ค่าไฟฟ้าตามสัดส่วน (บาท/ปี)			รวม (บาท/ปี)
		On Peak	Off Peak	Holiday	On Peak	Off Peak	Holiday	
1	23,691	13,321	4,669	5,700	56,078	12,278	14,988	83,344
2	24,947	14,028	4,917	6,002	59,052	12,929	15,783	87,765
3	26,204	14,734	5,165	6,305	62,027	13,581	16,578	92,185
4	27,460	15,441	5,412	6,607	65,001	14,232	17,373	96,606
5	28,717	16,147	5,660	6,909	67,975	14,883	18,168	101,026
6	29,973	16,854	5,908	7,212	70,950	15,534	18,963	105,446
7	31,230	17,560	6,155	7,514	73,924	16,185	19,758	109,867
8	32,486	18,267	6,403	7,816	76,898	16,837	20,553	114,287
9	33,743	18,973	6,651	8,118	79,872	17,488	21,347	118,708
10	34,999	19,680	6,898	8,421	82,847	18,139	22,142	123,128

ตาราง 9 (ต่อ)

ปี	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/ปี)	ปริมาณไฟฟ้าตามสัดส่วน (kWh/ปี)			ค่าไฟฟ้าตามสัดส่วน (บาท/ปี)			รวม (บาท/ปี)
		On Peak	Off Peak	Holiday	On Peak	Off Peak	Holiday	
11	36,256	20,386	7,146	8,723	85,821	18,790	22,937	127,549
12	37,512	21,093	7,394	9,025	88,795	19,442	23,732	131,969
13	38,769	21,800	7,641	9,328	91,769	20,093	24,527	136,389
14	40,025	22,506	7,889	9,630	94,744	20,744	25,322	140,810
15	41,282	23,213	8,137	9,932	97,718	21,395	26,117	145,230
16	42,538	23,919	8,384	10,235	100,692	22,046	26,912	149,651
17	43,795	24,626	8,632	10,537	103,667	22,698	27,707	154,071
18	45,051	25,332	8,880	10,839	106,641	23,349	28,502	158,492
19	46,308	26,039	9,127	11,142	109,615	24,000	29,297	162,912
20	47,564	26,745	9,375	11,444	112,589	24,651	30,092	167,332
21	48,821	27,452	9,623	11,746	115,564	25,302	30,887	171,753
22	50,077	28,158	9,870	12,049	118,538	25,954	31,682	176,173
23	51,334	28,865	10,118	12,351	121,512	26,605	32,477	180,594
24	52,590	29,571	10,365	12,653	124,487	27,256	33,271	185,014
25	53,847	30,278	10,613	12,955	127,461	27,907	34,066	189,434
รวม								3,409,735

จากตาราง 9 ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าจากการพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ตามอัตราค่าไฟฟ้าแบบช่วงเวลา (TOU) พบว่าการใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak มีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ไฟฟ้าในช่วง Holiday และช่วง Off Peak มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด ส่วนค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลสัตว์ และตลอดระยะเวลา 25 ปี มีค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้า 3,409,735 บาท

สรุปสถานการณ์จำลองที่ 1

จากการสร้างสถานการณ์จำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสายส่งของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยการเก็บข้อมูลการใช้ไฟของอาคารย้อนหลัง 5 ปี จากปีฐาน 2561 มาทำการสร้างสมการพยากรณ์ Regression Model เริ่มจากปี พ.ศ. 2562-2587 พบว่า ผลการประเมินทั้ง 3 ด้าน คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคาร ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐศาสตร์ ตลอดระยะเวลา 25 ปี ดังตาราง 10

ตาราง 10 สรุปผลการประเมินปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง การปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเศรษฐกิจศาสตร์ ตลอดระยะเวลา 25 ปี

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง (kWh)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ eq)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
969,213	512,713	3,409,735

ผลการสร้างสถานการณ์จำลองที่ 2

เป็นการสร้างสถานการณ์จำลองอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งและมีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา จากนั้นทำการประเมินผลการจำลองทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านพลังงาน ด้านก๊าซเรือนกระจก และด้านเศรษฐกิจศาสตร์ ดังภาพ 32 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

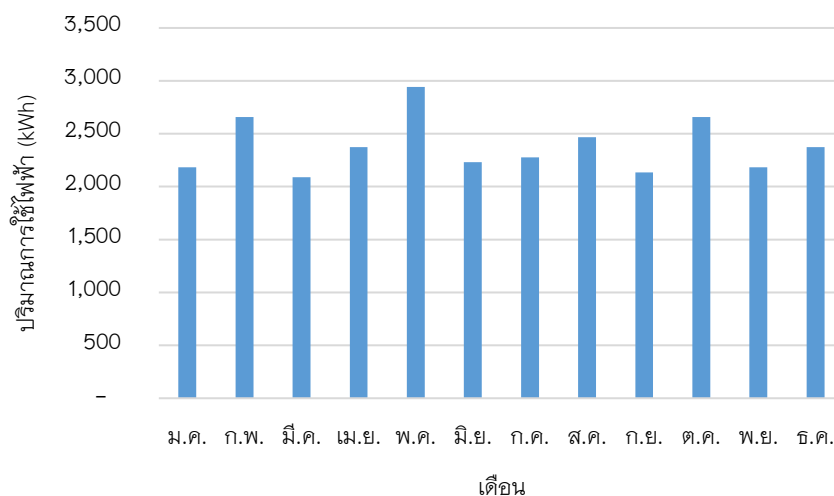


ภาพ 32 แนวทางการประเมินจากการสร้างสถานการณ์ที่ 2

1. รวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในปีฐาน (2561) จากสำนักงานกองอาคารมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ดังตาราง 11 จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารพบว่า เดือนพฤษภาคม มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด ดังภาพ 33 เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพอากาศที่ร้อน ทำให้มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากการใช้เครื่องปรับอากาศช่วยระบายความร้อนภายในอาคาร

ตาราง 11 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ประจำปี 2561

ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/เดือน)												
ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
2,183	2,657	2,088	2,373	2,942	2,230	2,278	2,467	2,135	2,657	2,183	2,373	28,565



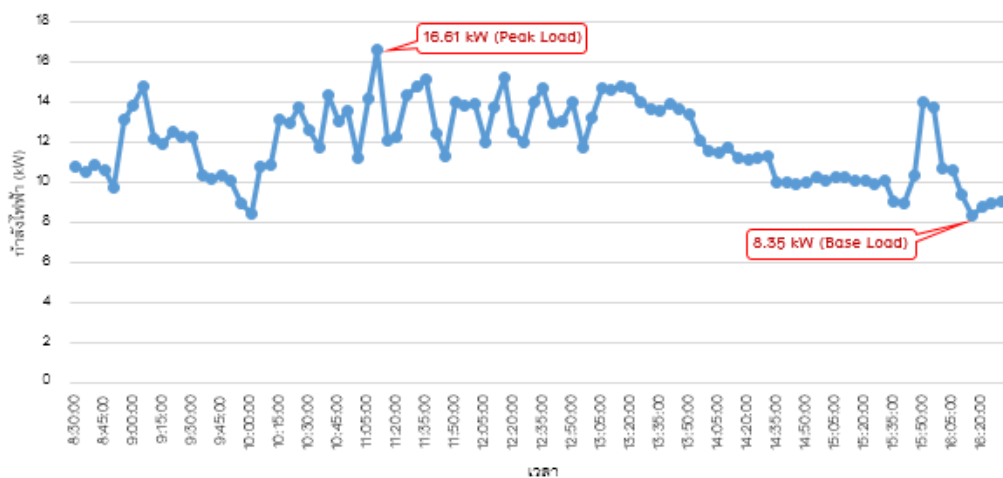
ภาพ 33 กราฟแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนของอาคารในปีฐาน พ.ศ. 2561

2. ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน เนื่องจากมีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด โดยทำการติดตั้งเพาเวอร์มิเตอร์ในการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารในช่วงวันเวลาทำการปกติ จำนวน 30 วัน เวลา 8.30-16.30 น. พ.ศ. 2562 ดังภาพ 34 ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารในช่วงเวลาทำงานปกติ และอาคารต้องไม่มีการดำเนินกิจกรรมอื่น ๆ ใดเพิ่มเติม เพื่อนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารในสภาวะปกติมาใช้ในการออกแบบกำลังติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับช่วงที่มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร ผลจากการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร พบว่าอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Peak Load) อยู่ที่ 16.61 kW และมีค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานอยู่ที่ 8.35 kW ดังภาพ 35



ภาพ 34 ติดตั้งเพาเวอร์มิเตอร์ในการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร

ความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม



ภาพ 35 ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารในวันเวลาทำการปกติ

ช่วงเวลา 8.30–16.30 น.

3. จำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับลักษณะของอาคารและการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (On Grid System) เนื่องจากเป็น

ระบบที่อาคารสามารถใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าจากสายส่งได้โดยตรง และในกรณีการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อความต้องการการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งระบบแบบเชื่อมต่อกับสายส่งสามารถดึงไฟฟ้าจากสายส่งมาใช้ให้เพียงพอต่อความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารได้ ดังนั้นการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง จึงเป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีระบบสายส่งของการไฟฟ้าเข้าถึง ซึ่งอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการดำเนินงานด้านกิจกรรมต่าง ๆ ภายในอาคารที่มีการใช้ไฟในตอนกลางวันมากที่สุดและมีระบบของสายส่งเข้าถึง และการจำลองการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง ได้กำหนดข้อสมมติฐานในการศึกษาการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตาราง 12

ตาราง 12 สมมติฐานในการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop)

ข้อมูล	สมมติฐาน
ประสิทธิภาพของระบบ	75.17% (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2560)
Peak sun hour (ชั่วโมงการทำงาน)	4.64 ชั่วโมง/วัน (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2560)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	
- อายุการใช้งาน	25 ปี (พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา, 2559)
- การลดทอนประสิทธิภาพ	0.5% ต่อปี (เริ่มจากปีที่ 2) (การุณย์ ชัยวณิชย์, 2562)

1. หาขนาดกำลังติดตั้งและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาจากค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน (Base Load) จากภาพ 38 และข้อสมมติฐานจากตาราง 12 ดังนี้

1.1 คำนวณหาขนาดกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ การคำนวณหาขนาดกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการ (4) โดยกำหนดให้ค่าความต้องการไฟฟ้าพื้นฐาน Base Load (P_{Base}) เท่ากับ 8.35 kW และประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{Sys}) เท่ากับ 75.17%

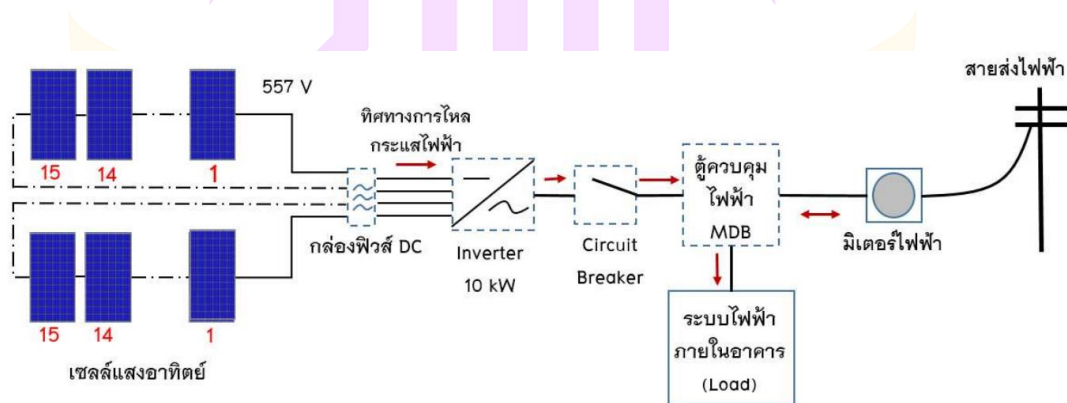
$$P_p = \frac{P_{Base} \times 100\%}{\eta_{Sys}}$$

$$P_p = \frac{8350W \times 100\%}{75.17\%}$$

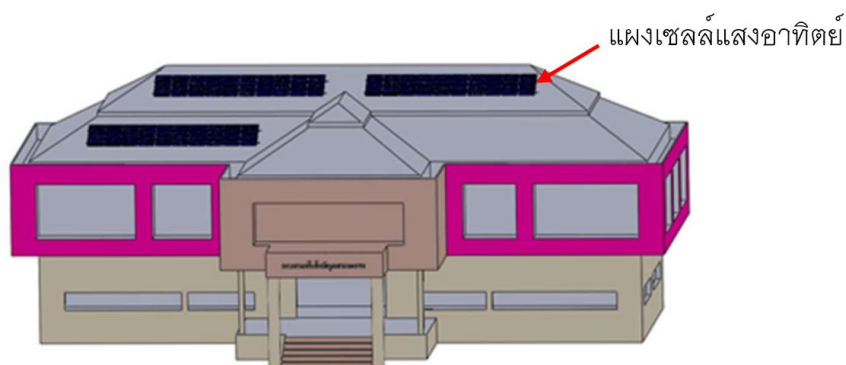
$$P_p = 11,110W$$

$$P_p = 11.11 kW$$

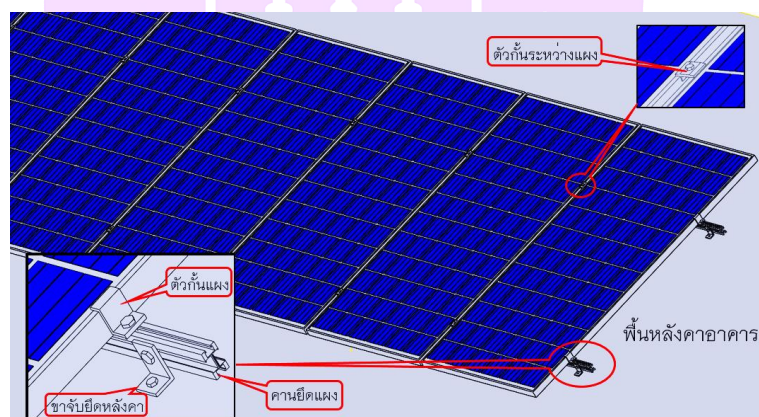
2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยพิจารณาค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานที่ 8.35 kW มาใช้ในการออกแบบกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เหมาะสมกับค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากสมการที่ (1) ผลการคำนวณพบว่าต้องทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดกำลังติดตั้งรวม 11.11 kWp แต่เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ขนาด 11.11 kW ไม่มีในรายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปี 2563 ดังนั้น จึงได้ทำการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 10 kW แบบ 3 เฟส (3 - phase) และงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Crystalline Silicon ขนาด 320 W 37.12 โวลต์ จำนวน 30 แผง ในการเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์ ขนาด 10 kW และทำการเชื่อมต่อแบบ 2 สตริง ๆ ละ 15 แผง มีแรงดัน 557 โวลต์ต่อสตริง ดังภาพ 36 ทำให้มีกำลังติดตั้งรวมเป็น 9.60 kWp จากการออกแบบและจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ตามขนาด และลักษณะพื้นที่หลังคาอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จำนวน 3 แถว ๆ ละ 10 แผง ดังภาพ 37 และภาพ 38



ภาพ 36 ไดอะแกรมระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On Grid System)



ภาพ 37 ตำแหน่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหันไปทางทิศใต้



ภาพ 38 การติดตั้งและจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

3. คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จากสมการ 6 การวิเคราะห์กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยหน่วยต่อปี โดยใช้ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเท่ากับ 75.17 เปอร์เซ็นต์ มาใช้ในการวิเคราะห์กำลังการผลิตไฟฟ้าจากการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และค่า Peak sun hour (ระยะเวลาการมีแสงอาทิตย์ที่ $1,000 \text{ W/m}^2$ ต่อวัน) เท่ากับ 4.64 ชั่วโมง/วัน ข้อมูลจากตาราง 12 ผลคำนวณพบว่ากำลังติดตั้งรวมเป็น 9.60 kW_p ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ $12,222 \text{ kWh/ปี}$

$$E_s = P_p \times \eta_{\text{sys}} \times \text{hr} \times 365$$

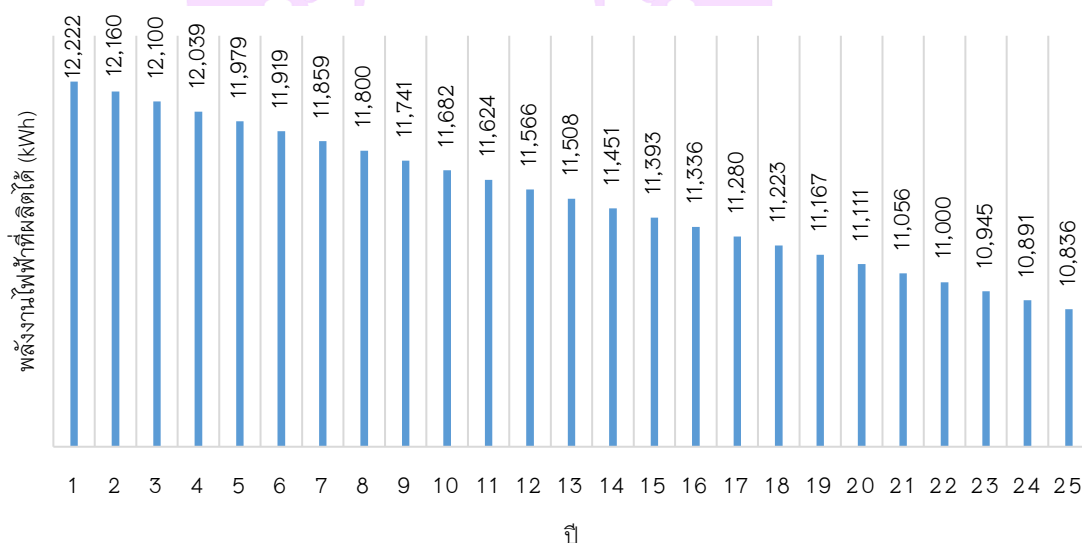
$$E_s = \frac{9.60 \text{ kW}_p \times 75.17\% \times 4.64 \times 365}{100\%}$$

$$E_s = 12,222 \text{ kWh/ปี}$$

ผลการประเมินด้านพลังงาน

เป็นการประเมินด้านพลังงานที่เกิดจากการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการแบ่งการประเมินพลังงานออกเป็น 3 ส่วน คือ พลังงานที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดระยะเวลา 25 ปี พลังงานสะสม และพลังงานสุทธิ

ส่วนที่ 1 ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปอีก 25 ปี จากการจำลองการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 9.60 kW_p ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 19,765 kWh/year โดยการคำนึงถึงค่าการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับร้อยละ 0.50 ต่อปี (เริ่มจากปีที่ 2) ดังภาพ 39



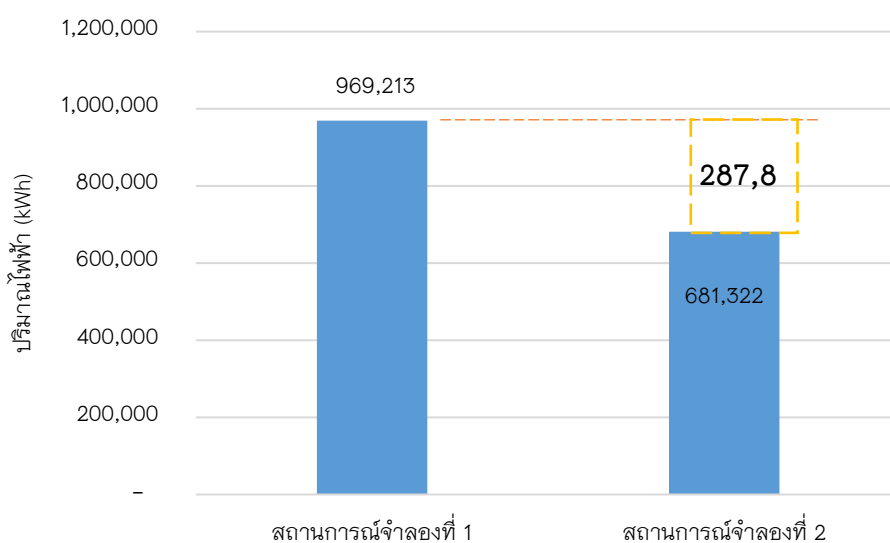
ภาพ 39 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีและจากการลดทอนของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 0.50 % ตลอดระยะเวลา 25 ปี

จากภาพ 39 พบว่าปีแรกระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,222 kWh/year และในปีถัดไปค่าประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง 0.50% ต่อปี ทำให้ในปีที่ 2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,160 kWh/year

จนถึงในปีที่ 25 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 10,836 kWh/year และตลอดระยะเวลา 25 ปี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 287,890 kWh

ผลการเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่สามารถลดได้จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากการสร้างสถานการณ์จำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์รวมกับการใช้ไฟจากสายส่งของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม พบว่าจากการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 9.60 kW_p เมื่อทำการประเมินเปรียบเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของอาคารจากสถานการณ์ที่ 1 มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดระยะเวลา 25 ปี 969,213 kWh และระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 287,890 kWh สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งได้ 29.70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สถานการณ์ที่ 2 อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งลดลงเหลือ 681,322 kWh คิดเป็น 70.30 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 40



ภาพ 40 เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดได้จากสถานการณ์จำลองที่ 2

ส่วนที่ 2 การประเมินพลังงานสะสมจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้ง 9.60 kW_p โดยการวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) แบบ Gate to Gate จากการใช้ทรัพยากร คือ การวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งพลังงานทางตรง (Direct Consumption) ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ในการขนส่งอุปกรณ์ และพลังงานทางอ้อม (Indirect Consumption) ได้แก่ พลังงานในกระบวนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์นั้น ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนด Function Unit ต่อการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 1 kWh สามารถคำนวณพลังงานสะสมจากสมการ (6) มีบัญชีรายการปริมาณวัสดุอุปกรณ์ ดังตาราง 13 และมีผลการประเมินพลังงานสะสมแต่ละขั้นตอน ดังนี้

ตาราง 13 บัญชีรายการปริมาณวัสดุอุปกรณ์ ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 9.60 kW_p

วัสดุ-อุปกรณ์	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
Solar Cell	30	แผง	จากการออกแบบ Property TSM-PE15H-320
Inverter	1	ตัว	จากการออกแบบ Property SUN2000-12KTL-M2
Stainless Steel	0.49	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems
Aluminum	0.54	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems
Copper	0.10	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems
TPE Thermoplastic	0.06	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ โดยการนำค่าปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งโครงสร้างระบบเซลล์แสงอาทิตย์และการบำรุงรักษา ที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการมาคูณกับพลังงานสะสมจากการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์แต่ละชนิด ดังตาราง 14

ตาราง 14 ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

กิจกรรม	รายการ	ค่า LCI		ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ (MJ)	แหล่งอ้างอิง
		หน่วย	ปริมาณ			
ติดตั้ง โครงสร้าง	Solar Cell	kg	2.23E-03	1023.91	2.28	SimaPro 9.1.1.1
	Inverter	kg	5.91E-05	2872.22	0.17	SimaPro 9.1.1.1
	Stainless Steel	kg	9.91E-05	1.45	1.44E-04	SimaPro 9.1.1.1
	Aluminum	kg	1.09E-04	0.37	4.09E-05	SimaPro 9.1.1.1
	Copper	kg	2.02E-05	0.50	1.01E-05	SimaPro 9.1.1.1
	TPE Thermoplastic	kg	1.21E-05	0.56	6.76E-06	SimaPro 9.1.1.1
บำรุงรักษา	Solar Cell	kg	2.23E-04	1023.91	2.28E-01	SimaPro 9.1.1.1
	Inverter	kg	5.91E-06	2872.22	1.70E-02	SimaPro 9.1.1.1
	Stainless Steel	kg	9.91E-06	1.45	1.44E-05	SimaPro 9.1.1.1
	Aluminum	kg	1.09E-05	0.37	4.03E-06	SimaPro 9.1.1.1
	Copper	kg	2.02E-06	0.50	1.01E-06	SimaPro 9.1.1.1
	TPE Thermoplastic	kg	1.21E-06	0.56	6.78E-07	SimaPro 9.1.1.1
ผลรวม					2.70	

จากตาราง 14 ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ พบว่า Solar Cell จากการติดตั้งโครงสร้างมีปริมาณพลังงานสะสมมากที่สุด 2.28 MJ รองลงมาเป็น Inverter ปริมาณพลังงานอยู่ที่ 0.17 MJ ส่วนวัสดุ-อุปกรณ์ที่มีปริมาณพลังงานสะสมน้อยที่สุดคือ TPE Thermoplastic มีปริมาณพลังงานอยู่ที่ 6.78E-07 MJ และมีพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ ทั้งหมด 2.70 MJ

ผลการประเมินพลังงานสะสมขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์พลังงานสะสมจากนำปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ ที่ใช้ในการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) และการบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) คูณกับระยะทางและพลังงานสะสมตามประเภทที่ใช้ในการขนส่ง ดังตาราง 15

ตาราง 15 ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิต
ไฟฟ้า 1 kWh

กิจกรรม	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง	พาหนะ	ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ (MJ)
		หน่วย	ปริมาณ				
ติดตั้ง โครงสร้าง	Solar Cell	ton	2.23E-06	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	6.12E-03
	Inverter	ton	5.91E-08	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	1.62E-04
	Stainless Steel	ton	9.91E-08	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	2.72E-04
	Aluminum Alloy	ton	1.09E-07	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	2.99E-04
	Copper	ton	2.02E-08	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	5.54E-05
	TPE	ton	1.21E-08	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	3.32E-05
	Thermoplastic						
บำรุงรักษา	Solar Cell	ton	2.25E-07	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	6.12E-04
	Inverter	ton	5.91E-09	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	1.62E-05
	Stainless Steel	ton	9.91E-09	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	2.72E-05
	Aluminum Alloy	ton	1.09E-08	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	2.99E-05
	Copper	ton	2.02E-09	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	5.54E-06
	TPE	ton	1.21E-09	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	3.32E-06
	Thermoplastic						
ผลรวม							7.64E-03

จากตาราง 15 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ ที่ใช้ในการติดตั้งโครงสร้าง และการบำรุงรักษา ต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 1 kWh พบว่า Solar Cell มีปริมาณพลังงานสะสมมากที่สุด 6.12E-03 MJ ส่วนรองลงมา Inverter ปริมาณพลังงานอยู่ที่ 1.62E-04 MJ และในขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์มีพลังงานสะสมทั้งหมด 7.64E-03 MJ

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แรงงานคนในการดำเนินงานประกอบและติดตั้งวัสดุ-อุปกรณ์ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ หรืออาจมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องมือที่ช่วยในการประกอบและติดตั้ง เช่น สว่านไฟฟ้า ไฟเบอร์ตัดเหล็ก เป็นต้น แต่เป็นปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยมาก ดังนั้นจึงสมมติฐานไม่มีพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการบำรุงรักษา จากข้อมูลการบำรุงรักษา (Maintenance) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้น สามารถปฏิบัติจากคู่มือการบำรุงรักษา PV Module Maintenance สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก คือ การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter) โดยมีรายละเอียดดังตาราง 16

ตาราง 16 ขั้นตอนการบำรุงรักษา

ข้อมูลการบำรุงรักษา	ขั้นตอนหลักการบำรุงรักษา
1. การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell Maintenance)	1. ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2. ตรวจสอบการเชื่อมต่อและกล่องพักสายไฟ 3. ตรวจสอบความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ฝุ่นและสิ่งกีดขวางที่ตกสะสมอยู่บนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้การส่องผ่านของแสงลดลง
2. การบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter Maintenance)	1. ตรวจสอบการเชื่อมต่อเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ 2. สังเกตการแสดงผลหน้าจอสัญญาณไฟฟ้า ตามคู่มือการใช้งานของ Inverter

จากตาราง 16 ข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานจะช่วยทำให้ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงจะช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้อีกด้วย ในขั้นตอนบำรุงรักษาหากผู้ดูแลระบบทำตามคู่มือบำรุงรักษาอย่างเคร่งครัด อุปกรณ์ทุกอย่างจะสามารถใช้งานได้ตลอดอายุโครงการทั้ง 25 ปี ในส่วนของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น สมมติให้มีการใช้แรงงานคนและมีการใช้น้ำในปริมาณไม่มาก

ผลรวมการประเมินพลังงานสะสมแต่ละกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตาราง 17

ตาราง 17 พลังงานสะสมแต่ละกิจกรรมจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอน	พลังงานสะสม CED (MJ)
ขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์	2.70
ขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์	7.64E-03
ขั้นตอนการติดตั้ง	0
ขั้นตอนการบำรุงรักษา	0
รวม	2.71

จากตาราง 17 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมจากขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 9.60 kWp พบว่าขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ มีพลังงานสะสมมากที่สุด 2.70 MJ ส่วนขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์ 7.64E-03 MJ และพลังงานสะสมทั้งหมดเท่ากับ 2.71 MJ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ส่วนขั้นตอนการติดตั้ง และขั้นตอนการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่ดำเนินงานด้วยแรงงานคน หรืออาจมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ในขั้นตอนดังกล่าว แต่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่พิจารณาในการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้ง ขั้นตอนการใช้งาน และขั้นตอนการบำรุงรักษา

ส่วนที่ 3 การประเมินพลังงานสุทธิ NEV โดยการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 1 kWh หรือเท่ากับ 3.6 MJ กับพลังงานสะสมในกระบวนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) ผลการประเมินพลังงานสุทธิ ดังตาราง 18

ตาราง 18 ผลการประเมินพลังงานสุทธิ NEV

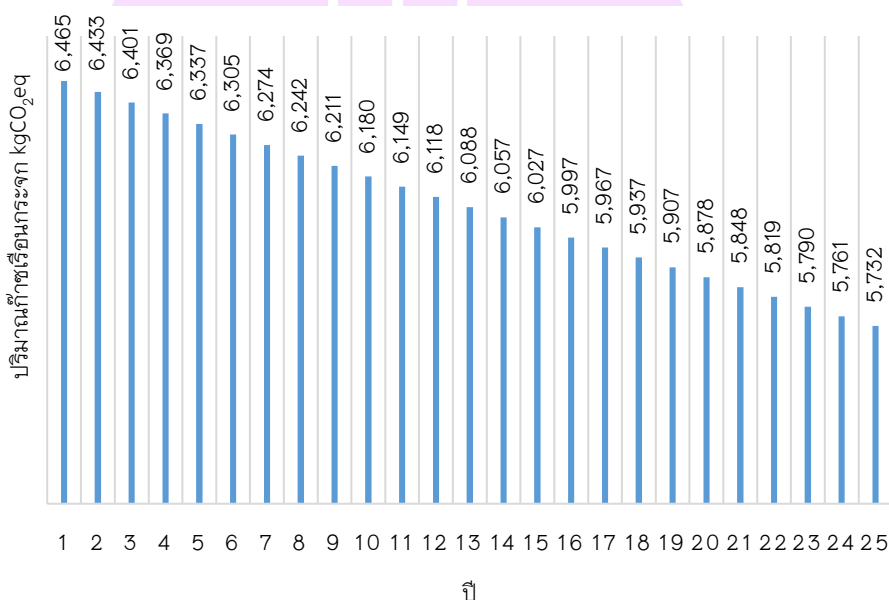
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	ผลรวมพลังงานสะสม	พลังงานสุทธิ
(MJ)	(MJ)	(MJ)
3.60	2.71	0.89

จากตาราง 18 ผลการประเมินพลังงานสุทธิ NEV ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดติดตั้ง 9.60 kWp พบว่าพลังงานสุทธิ NEV มีค่าเท่ากับ 0.89 MJ สามารถอธิบายได้ว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความสามารถในการผลิตพลังงานมากกว่าการใช้พลังงาน มีประสิทธิภาพทางพลังงาน และมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี เนื่องจากพลังงานสุทธิที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก นั้นหมายความว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความสามารถในการผลิตพลังงานมากกว่าพลังงานสะสม ทำให้มีความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน ประเมินก๊าซเรือนกระจก

เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดระยะเวลา 25 ปี โดยทำการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้จากปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ด้าน คือ 1) ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้จาก

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

ด้านที่ 1 เป็นการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการนำค่า Emission Factor ของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 0.5290 tCO₂eq/MWh หรือ 0.5290 kgCO₂eq/kWh ของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (องค์การบริการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2561) คูณกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ต่อปี ดังภาพ 41



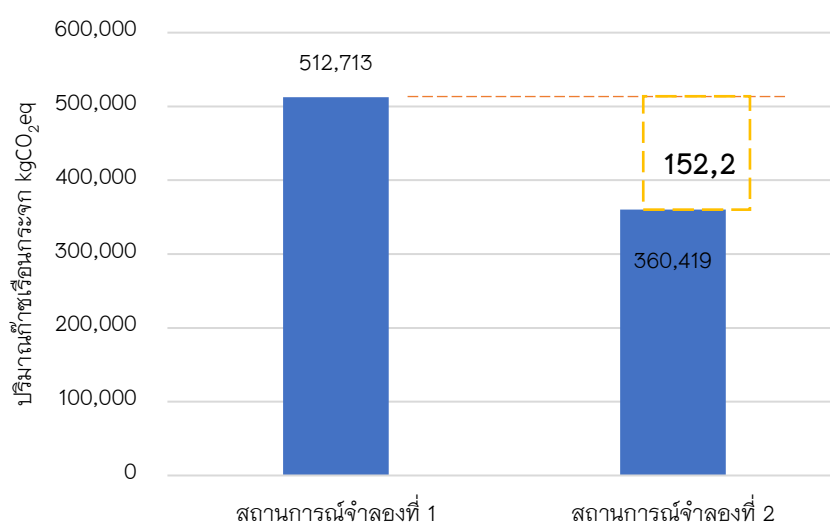
ภาพ 41 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ในแต่ละปี

จากภาพ 41 พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง ในปีแรกสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกลงได้ 6,465 kgCO₂eq และปีต่อมามีปริมาณที่ลดลงตามปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ลดลงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จนถึงปีสุดท้ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกลงได้ 5,732 kgCO₂eq และตลอดระยะเวลา 25 ปี สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกลงได้ 152,294 kgCO₂eq

ผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากการจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 9.60 kWp เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง พบว่า กระบวนการผลิตและการขนส่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือน

กระจกน้อยกว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง นั้นหมายความว่าคุ้มค่าในด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวตลอดระยะเวลา 25 ปี จาก 512,713 kgCO₂eq คงเหลือ 360,419 kgCO₂eq ทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 29.70% ดังภาพ 42



ภาพ 42 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากสถานการณืจำลองที่ 1 และ 2

ด้านที่ 2 การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) โดยการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิต การขนส่ง และการซ่อมบำรุง ส่วนขั้นตอนการติดตั้ง การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแรงงานคน จึงไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการติดตั้ง และขั้นตอนการใช้งาน การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเปลี่ยนพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จึงไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการใช้งาน และมีผลการประเมินดังนี้

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์หาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ ติดตั้งโครงสร้าง

(Construction) และการซ่อมบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) จากตาราง 14 แล้วนำค่าที่ได้คูณกับค่า Emission Factor ของวัสดุ-อุปกรณ์แต่ละชนิด ดังตาราง 19

ตาราง 19 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

กิจกรรม	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF	ผลคูณ	แหล่งที่มาของข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย	kgCO ₂ eq/หน่วย		
ติดตั้ง โครงสร้าง	Solar Cell	2.23E-03	kg	94.5	2.11E-01	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Inverter	5.91E-05	kg	4.03	2.38E-04	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Stainless Steel	9.91E-05	kg	2.73	2.70E-04	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Aluminum	1.09E-04	kg	5.14	5.61E-04	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Copper	2.02E-05	kg	2.13	4.31E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	TPE	1.21E-05	kg	7.56	9.17E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	Thermoplastic					
บำรุงรักษา	Solar Cell	2.23E-04	kg	94.5	2.11E-02	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Inverter	5.91E-06	kg	4.03	2.38E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Stainless Steel	9.91E-06	kg	2.73	2.71E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Aluminum	1.09E-05	kg	5.14	5.60E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Copper	2.02E-06	kg	2.13	4.30E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	TPE	1.21E-06	kg	7.56	9.15E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	Thermoplastic					
				รวม	0.23	

จากตาราง 19 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Construction) พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด 2.11E-01 kgCO₂eq รองลงมาเป็น Inverter มีปริมาณการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจก $2.38\text{E}-04 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ ส่วน Copper มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด $4.30\text{E}-06 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดจากการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ เท่ากับ $0.23 \text{ kgCO}_2\text{eq}$

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ ที่ใช้ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์หาค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) การซ่อมบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) คูณกับระยะทาง และค่าแฟคเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ประเภทการขนส่ง ดังตาราง 20



ตาราง 20 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่ง-อุปกรณ์ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	แบบการใช้ระยะทาง							ผลคูณ (kgCO ₂ eq)	แหล่งที่มาของข้อมูล	
	รายการ	หน่วย	ปริมาณ	ระยะทาง (km)	น.น.ระยะทาง (tkm)	พาหนะ	% เทียบกับ % เพื่อกลับไปกลับ			ค่า EF (kgCO ₂ eq/หน่วย)
ติดตั้งโครงสร้าง	Solar Cell	ton	2.23E-03	791	1.76E-03	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	Inverter	ton	5.91E-05	791	4.67E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Stainless Steel	ton	9.91E-05	20	7.84E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Aluminium Alloy	ton	1.09E-04	20	8.64E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Copper	ton	2.02E-05	20	1.60E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	TPE Thermoplastic	ton	1.21E-05	20	9.59E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Solar Cell	ton	2.23E-07	791	1.76E-04	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	Inverter	ton	5.91E-09	791	4.67E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Stainless Steel	ton	9.91E-09	20	7.84E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Aluminium Alloy	ton	1.09E-08	20	8.64E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
บำรุงรักษา	Copper	ton	2.02E-09	20	1.60E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	TPE Thermoplastic	ton	1.21E-09	20	9.59E-07	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	Thai National LCI Database/MTEC
	Total									9.93E-05

จากตาราง 20 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด $7.96E-05$ kgCO₂eq รองลงมาเป็น Aluminium Alloy มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก $3.89E-06$ kgCO₂eq ส่วน TPE Thermoplastic มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด $4.33E-07$ kgCO₂eq และการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งโครงสร้างระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ $9.02E-05$ kgCO₂eq

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้งไม่มีกิจกรรมที่ทำให้เกิดพลังงานสะสม ดังนั้นจึงไม่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการติดตั้ง

ผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการบำรุงรักษาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ไม่มีพลังงานสะสมในขั้นตอนการบำรุงรักษาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงไม่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการบำรุงรักษา

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ดังตาราง 21

ตาราง 21 ผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

กิจกรรม	การปล่อยก๊าซเรือนกระจก
	kgCO ₂ eq
ขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์	0.23
ขั้นตอนการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์	$9.93E-05$
ขั้นตอนการติดตั้ง	0
ขั้นตอนการบำรุงรักษา	0
รวม	0.23

จากตาราง 21 สรุปผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 0.23 kgCO₂eq ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (ปีฐาน 2561) เท่ากับ 0.5290 kgCO₂eq/kWh ส่วนขั้นตอนการติดตั้ง และ

ขั้นตอนการบำรุงรักษา ไม่ได้พิจารณาในขั้นตอนการวิเคราะห์พลังงานสะสม ดังนั้นจึงไม่พิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนดังกล่าว

ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการประเมินต้นทุนของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการตามหลักการประเมินแบบ Life Cycle Costing (LCC) จากสมการที่ (9) จากนั้นประเมินความคุ้มค่าโดยใช้ตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐศาสตร์ 2 ด้าน คือ 1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และ 2) ระยะเวลาคืนทุนของโครงการตลอดระยะเวลา 25 ปี จากสมการที่ (10) – (11) โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดกำลังติดตั้ง 9.60 kWp และได้กำหนดข้อสมมติฐานในการศึกษาความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตาราง 22 จากการศึกษาค่าใช้จ่ายการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ของ ธนาพล ตันดีสัตยกุล พ.ศ. 2562 พบว่ามีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 30 – 50 บาทต่อวัตต์ ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่ลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 30 บาทต่อวัตต์ ทำให้มีต้นทุนในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 288,000 บาท และมีการเปลี่ยน Inverter ตามระยะเวลารับประกันทุก ๆ 10 ปี รวมถึงค่าบำรุงรักษา 1% ของต้นทุนต่อปี ดังตาราง 23 และคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไฟจากสายส่งตามช่วงเวลาของการใช้ไฟแบบ TOU โดยวิเคราะห์อัตราค่าไฟฟ้าในช่วง On-Peak และ Off-Peak จากวันเวลาทำการและวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์ของปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดมหาวิทยาลัยเป็นผู้ลงทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงใช้อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประเภทลูกค้าย่อยขั้นดีเฉลี่ย 0.5% (MLR) ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย ณ ประจำวันที่ 4 มิถุนายน 2564

ตาราง 22 สมมติฐานในการศึกษาความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูล	สมมติฐาน
ต้นทุนทั้งระบบ	30 บาทต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง (ธนาพล ตันดีสัตยกุล และคณะ, 2560)
ค่าบำรุงรักษา	1% ของต้นทุนต่อปี (ธนาพล ตันดีสัตยกุล และคณะ, 2560)
อินเวอร์เตอร์	
- อายุการใช้งาน	10 ปี ตามระยะเวลาประกันอุปกรณ์ (พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา, 2559)

ตาราง 22 (ต่อ)

ขอมูล	สมมติฐาน
- ต้นทุน (กรณีเปลี่ยน Inverter ใหม่) อัตราค่าไฟฟ้าในระบบ TOU ประเภท 4.2.2 ขนาด 22-33 กิโลวัตต์	5.125 บาทต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง (จากใบเสนอราคา เดือน พ.ย. 2560)
- On-Peak	4.1839 บาทต่อหน่วย (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2560)
- Off-Peak	2.6037 บาทต่อหน่วย
สัดส่วนจำนวนวัน	
- On-Peak : Off-Peak	65.5% : 34.5% (คำนวณสัดส่วนจากจำนวนวันในปี 2561)
อัตราส่วนลด หรืออัตราดอกเบี้ยต่อปี	0.5% (ชัชชัย วรพัฒน์ และคณะ, 2564)

ตาราง 23 ผลการประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการ 25 ปี

กิจกรรม	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
ค่าใช้จ่ายวัสดุ-อุปกรณ์รวม ค่าติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์	- ค่าใช้จ่ายต่อกำลังติดตั้ง 30 บาท/วัตต์	288,000
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่อปี	- การดูแลรักษาระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยผู้เชี่ยวชาญของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	-
ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่อปี	- ค่าเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์พร้อมติดตั้งตามระยะประกัน 5.125 บาทต่อวัตต์ ในปี 11 และปีที่ 21	98,400
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อปี	- ค่าล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1% ของต้นทุนต่อปี เริ่มในปี 2 (ชนาพล ต้นดีสัตยกุล และคณะ)	72,000

ตาราง 23 (ต่อ)

กิจกรรม	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)
มูลค่าซาก	- เนื่องจากการประเมินโครงการตามอายุการรับประกันประสิทธิภาพของแผงเซลล์ที่วไปอยู่ที่ 25 ปี ซึ่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถใช้งานและผลิตไฟฟ้าได้เกินกว่า 25 ปี ดังนั้นจึงไม่คิดค่ารีไซเคิลและมูลค่าซาก	-

จากตาราง 23 ผลการประเมินต้นทุน พบว่าค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 288,000 บาท ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์พร้อมติดตั้งตามระยะเวลาประกันในปีที่ 11 และปีที่ 21 รวมเป็นเงิน 98,400 บาท และสุดท้ายเป็นบำรุงรักษาในการล้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 72,000 บาท ทำให้มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ 25 ปี เท่ากับ 458,400 บาท

ตาราง 24 ผลการประเมินผลตอบแทนจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดระยะเวลา 25 ปี

ปีที่	ไฟฟ้าที่ผลิตได้ kWh/ปี	ปริมาณไฟฟ้าตามสัดส่วนของวันทำการและวันหยุด		ค่าไฟฟ้าตามสัดส่วนของวันทำการและวันหยุด		ผลตอบแทนค่าไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ บาท/ปี
		On-Peak	Off-Peak	On-Peak	Off-Peak	
1	12,222	8,005.12	4,216.44	33,492.63	10,978.34	44,470.97
2	12,160	7,965.10	4,195.36	33,325.16	10,923.45	44,248.61
3	12,100	7,925.27	4,174.38	33,158.54	10,868.83	44,027.37
4	12,039	7,885.64	4,153.51	32,992.75	10,814.49	43,807.23
5	11,979	7,846.22	4,132.74	32,827.78	10,760.41	43,588.20
6	11,919	7,806.98	4,112.08	32,663.64	10,706.61	43,370.26
7	11,859	7,767.95	4,091.52	32,500.33	10,653.08	43,153.40
8	11,800	7,729.11	4,071.06	32,337.82	10,599.81	42,937.64
9	11,741	7,690.46	4,050.70	32,176.13	10,546.81	42,722.95
10	11,682	7,652.01	4,030.45	32,015.25	10,494.08	42,509.33
11	11,624	7,613.75	4,010.30	31,855.18	10,441.61	42,296.79

ตาราง 24 (ต่อ)

ปีที่	ไฟฟ้าที่ ผลิตได้ kWh/ปี	ปริมาณไฟฟ้าตามสัดส่วนของวัน		ค่าไฟฟ้าตามสัดส่วนของวันทำการและ วันหยุด		ผลตอบแทนค่าไฟฟ้าที่ สามารถผลิตได้ บาท/ปี
		ทำการและวันหยุด		วันหยุด		
		On-Peak	Off-Peak	On-Peak	Off-Peak	
12	11,566	7,575.68	3,990.25	31,695.90	10,389.40	42,085.30
13	11,508	7,537.80	3,970.29	31,537.42	10,337.46	41,874.88
14	11,451	7,500.12	3,950.44	31,379.74	10,285.77	41,665.50
15	11,393	7,462.62	3,930.69	31,222.84	10,234.34	41,457.18
16	11,336	7,425.30	3,911.04	31,066.72	10,183.17	41,249.89
17	11,280	7,388.18	3,891.48	30,911.39	10,132.25	41,043.64
18	11,223	7,351.23	3,872.02	30,756.83	10,081.59	40,838.42
19	11,167	7,314.48	3,852.66	30,603.05	10,031.18	40,634.23
20	11,111	7,277.91	3,833.40	30,450.03	9,981.03	40,431.06
21	11,056	7,241.52	3,814.23	30,297.78	9,931.12	40,228.90
22	11,000	7,205.31	3,795.16	30,146.29	9,881.47	40,027.76
23	10,945	7,169.28	3,776.19	29,995.56	9,832.06	39,827.62
24	10,891	7,133.44	3,757.31	29,845.58	9,782.90	39,628.48
25	10,836	7,097.77	3,738.52	29,696.36	9,733.98	39,430.34
ผลรวม						1,047,556

จากตาราง 24 พบว่าผลตอบแทนจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในปีแรก 44,470.97 บาทต่อปี และในปีถัดไปผลตอบแทนจะลดลงตามพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงตามประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ในปีสุดท้ายผลตอบแทนจากค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงเหลือ 39,430.34 บาทต่อปี และตลอดระยะเวลา 25 ปี มีผลตอบแทนจากค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 1,047,556 บาท

ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยคิดจากผลรวมของผลตอบแทนจากการลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งจากพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลบกับค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของแต่ละปี และค่าเงินลงทุนเริ่มแรก 288,000 บาท สามารถคำนวณได้จากสมการ (10) ผลการคำนวณ ดังตาราง 25

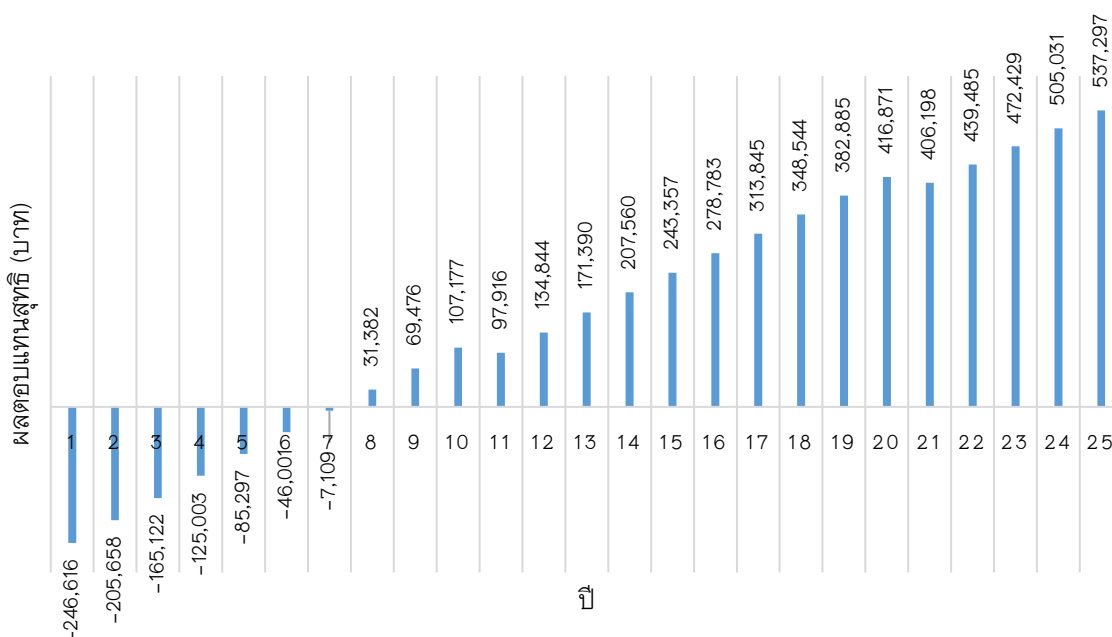
ตาราง 25 ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด
9.60 kW_p

ปี	ผลตอบแทนจากพลังงาน ไฟฟ้าที่ผลิตได้ (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการ บำรุงรักษา (บาท)	รายรับสุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ (บาท)
1	44,470.97	2,880	41,591	41,384
2	44,248.61	2,880	41,369	40,958
3	44,027.37	2,880	41,147	40,536
4	43,807.23	2,880	40,927	40,119
5	43,588.20	2,880	40,708	39,706
6	43,370.26	2,880	40,490	39,297
7	43,153.40	2,880	40,273	38,892
8	42,937.64	2,880	40,058	38,491
9	42,722.95	2,880	39,843	38,094
10	42,509.33	2,880	39,629	37,701
11	42,296.79	52,080	-9,783	-9,261
12	42,085.30	2,880	39,205	36,928
13	41,874.88	2,880	38,995	36,547
14	41,665.50	2,880	38,786	36,170
15	41,457.18	2,880	38,577	35,796
16	41,249.89	2,880	38,370	35,427
17	41,043.64	2,880	38,164	35,061
18	40,838.42	2,880	37,958	34,699
19	40,634.23	2,880	37,754	34,341
20	40,431.06	2,880	37,551	33,986
21	40,228.90	52,080	-11,851	-10,673
22	40,027.76	2,880	37,148	33,287
23	39,827.62	2,880	36,948	32,943
24	39,628.48	2,880	36,748	32,603
25	39,430.34	2,880	36,550	32,266
			877,156	537,297

จากตาราง 25 พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิในแต่ละปีมีค่าเป็นบวก เนื่องจากมีมูลค่ารายรับจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ส่วนในปีที่ 11 และ 21 มีค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยน Inverter เพิ่มเติม จึงทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าติดลบ และตลอดระยะเวลา 25 ปี พบว่า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 537,297 บาท มีค่าเป็นบวก นั้นหมายความว่า การดำเนินโครงการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการประเมินระยะเวลาดำเนินทุน

เป็นการวิเคราะห์หาค่าระยะระยะเวลาในการคือทุนทั้งหมดจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ขนาด 9.60 kWp โดยคิดจากเงินรายรับในแต่ละปีลบกับเงินลงทุนต้นเริ่มต้นบวกกับเงินรายจ่ายในการบำรุงรักษาในแต่ละปี จนถึงปีที่ทำให้ผลรวมมีค่าเท่ากับศูนย์หรือมีค่ามากกว่าศูนย์ นั้นหมายความว่าปีที่ มีค่าเท่ากับศูนย์หรือมากกว่าศูนย์เป็นปีที่มีการคืนทุน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (11) และมีผลการประเมินระยะเวลาดำเนินทุน ดังภาพ 43



ภาพ 43 ผลการประเมินจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 9.60 kWp

จากภาพ 43 พบว่าในปีที่ 1-7 ผลตอบแทนจากค่าไฟฟ้าที่ลดได้มีค่าเป็นลบ เนื่องจากยังไม่มีมูลค่าในการลงทุน และตั้งแต่ปีที่ 8-25 มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่า

ตั้งแต่ปีที่ 8 เป็นต้นไปมีความคุ้มค่าในการลงทุน และโครงการสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 7.18 ปี

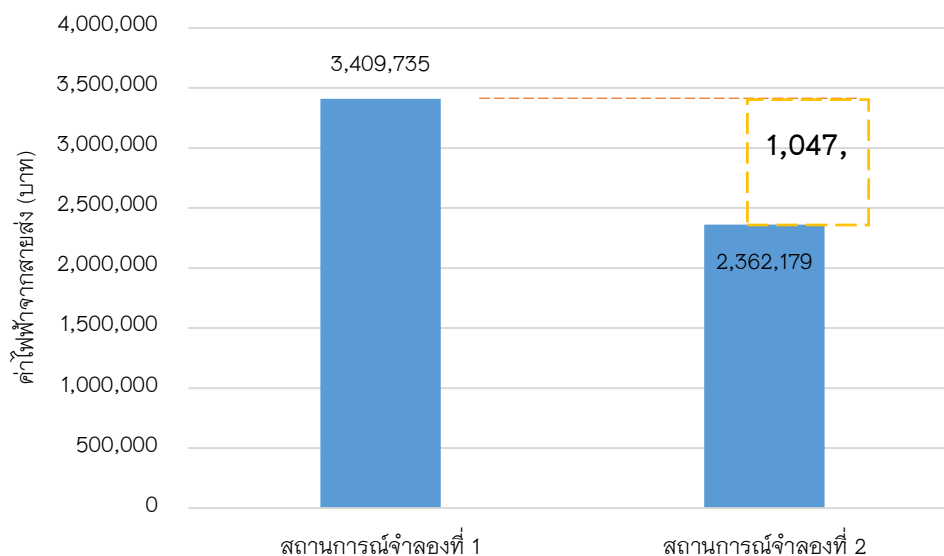
ผลการประเมินเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามความต้องการไฟฟ้าพื้นฐาน (Base Load) ขนาดกำลังติดตั้ง 9.60 kWp ของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีผลตอบแทนจากค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 1,047,556 บาท และจากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี มีผลการวิเคราะห์ ดังตาราง 26 และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าจากสายส่งกับสถานการณ์ที่ 1 พบว่า จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 30.72% ดังภาพ 44

ตาราง 26 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี

รายจ่ายสุทธิ (บาท)	รายรับสุทธิ (บาท)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
458,400	877,156	537,297	7.18

จากตาราง 26 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ตลอดอายุโครงการ 25 ปี พบว่าการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 1,047,556 บาท และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 537,297 บาท มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน และสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 7.18 ปี



ภาพ 44 ผลการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ลดได้จากสถานการณ์จำลองที่ 2

ผลการสร้างสถานการณ์จำลองที่ 3

เป็นการสร้างสถานการณ์จำลองอาคารที่มีระบบการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) เพิ่มเติมจากสถานการณ์จำลองที่ 2 แล้วทำการประเมินผลการจำลองสถานการณ์ที่ 3 ด้าน คือ ด้านพลังงาน ด้านก๊าซเรือนกระจก และด้านเศรษฐศาสตร์ ดังภาพ 45

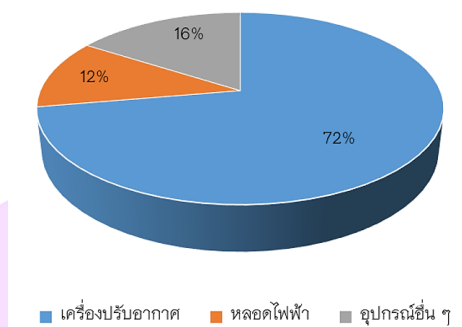


ภาพ 45 แนวทางการประเมินสถานการณ์ที่ 3

ขั้นตอนการสร้างสถานการณ์จำลองระบบการจัดการพลังงานภายในอาคาร

จากผลการจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ดังตาราง 40-42 (ภาคผนวก ข) พบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทเครื่องปรับอากาศมีปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 72% รองลงมาเป็น

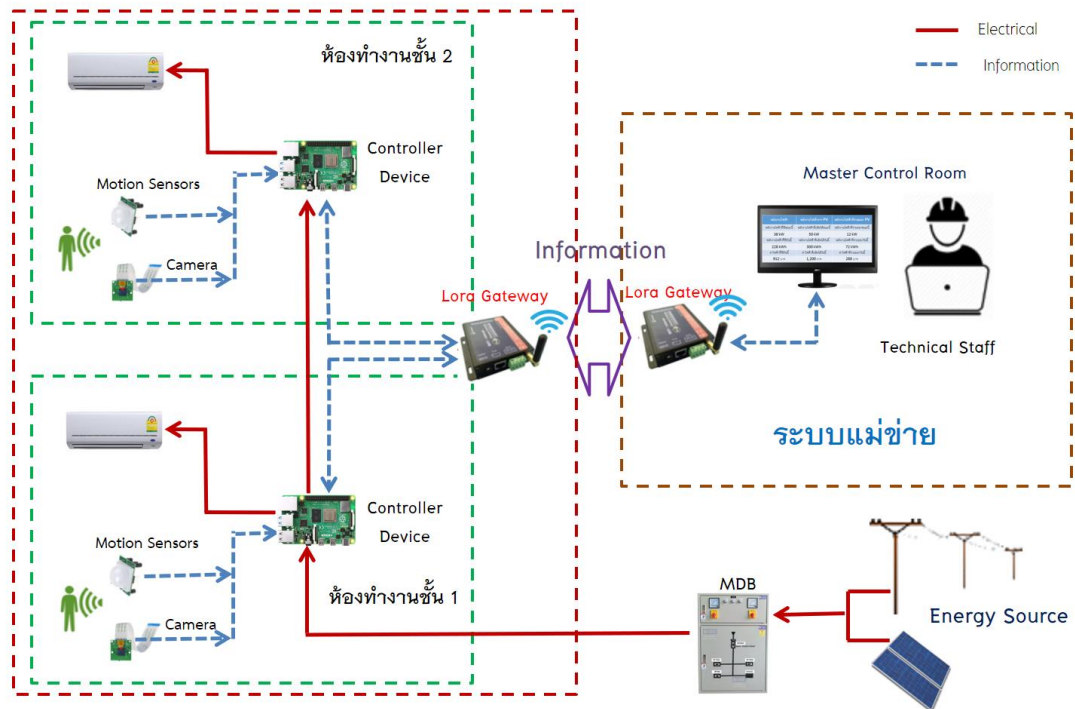
อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ 16% และหลอดไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด 12% ดัง
ภาพ 46



ภาพ 46 สัดส่วนความต้องการไฟฟ้าแต่ละประเภทภายในอาคารคณะเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม

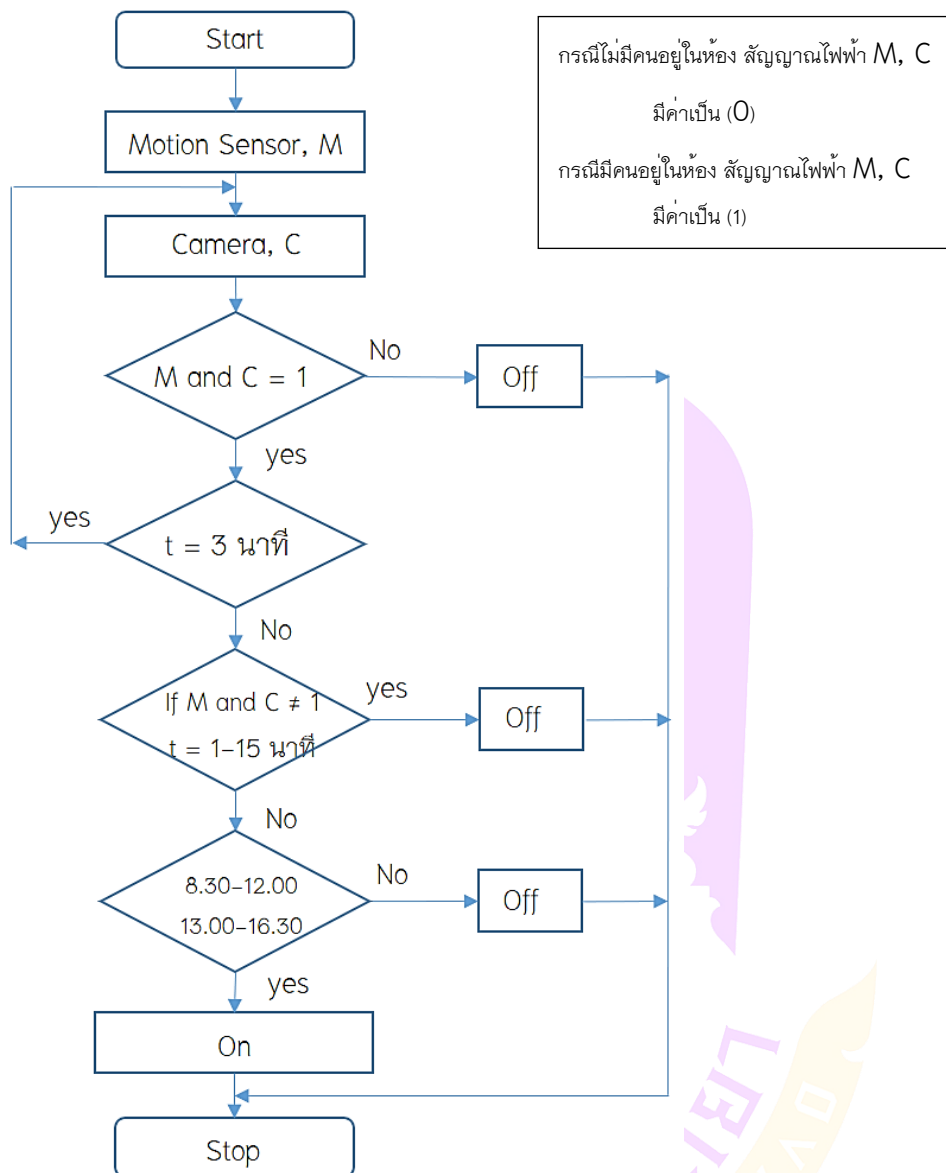
ระบบการจัดการพลังงาน

ผลจากการวิเคราะห์สัดส่วนความต้องการใช้ไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละประเภทภายในอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม พบว่าเครื่องปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้ไฟมากที่สุด 72% ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการลดการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ โดยการออกแบบจำลองสถานการณ์ควบคุมการเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศด้วยระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ซึ่งมีอุปกรณ์ Motion Sensor, Camera เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด การมีอยู่ของคนส่วนอุปกรณ์ Computer และ Controller Device ที่มีหน้าที่ประมวลผลและสั่งการควบคุมการทำงานเครื่องปรับอากาศ ผ่านอุปกรณ์ไร้สาย (Lora Gateway) ดังภาพ 47



ภาพ 47 ระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT)

อัลกอริทึม (Algorithm) ระบบการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขและขั้นตอนการควบคุมการทำงาน (เปิด-ปิด) เครื่องปรับอากาศ ดังภาพ 48



ภาพ 48 Flowchart การควบคุมเครื่องปรับอากาศ

หลักการการทำงานของระบบการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศ

การควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ จากภาพ 47 เริ่มจากอุปกรณ์ตรวจวัด Motion Sensor, Camera และ Temperature ส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่าน Controller Device ไปยัง Lora Gateway เปลี่ยนการส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลตาม อัลกอริทึมที่ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ และผลการประมวลจะถูกส่งกลับไปยัง Controller Device ผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย (Lora Gateway) เพื่อทำการเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ

จากภาพ 48 กรณี Motion Sensor ตรวจพบว่ามีการเคลื่อนไหวภายในห้อง Motion Sensor จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าเป็น (1) เพื่อเปิดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ แต่สัญญาณของ Motion Sensor จะถูกตรวจสอบและยืนยันด้วยสัญญาณภาพจากกล้อง (Camera) อีกครั้ง กรณีกล้องตรวจสอบไม่มีคนอยู่ในห้องก็จะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าเป็น (0) เครื่องปรับอากาศยังอยู่ในสถานะปิดการทำงาน แต่กรณีกล้องตรวจพบว่ามีคนอยู่ในห้องจะส่งสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าเป็น (1) เพื่อยืนยันการมีตัวตนของคนอยู่ภายในห้องอนุญาตให้เปิดเครื่องปรับอากาศ และทุก ๆ 3 นาที ระบบจะมีการตรวจสอบและยืนยันการมีตัวตนของคนที่อยู่ภายในห้องอีกครั้ง กรณีการตรวจสัญญาณภาพจากกล้องผ่านไป 15 นาที หรือสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าเป็น (0) ต่อเนื่อง 5 ครั้ง (Felipe Rocha และคณะ 2021) อุปกรณ์และเครื่องปรับอากาศก็จะถูกปิดตัวลง เพื่อป้องกันการเปิดเครื่องปรับอากาศไว้ในกรณีไม่มีคนอยู่ภายในห้องเป็นเวลานาน แต่ถ้าสัญญาณไฟฟ้าที่มีค่าเป็น (1) เครื่องปรับอากาศจะถูกเปิดใช้งาน และระบบจะทำการตรวจสอบตามเงื่อนไขของเวลา คือ ช่วงเวลา 8.30-12.00 และ 13.00-16.30 น. ที่ได้กำหนดไว้ให้เครื่องปรับอากาศเปิดทำงานปกติ กรณีไม่อยู่ในช่วงเวลาที่เครื่องปรับอากาศจะไม่ถูกเปิดใช้งาน หรือปิดการใช้งาน

สร้างสถานการณ์จำลองระบบการจัดการพลังงาน

จากผลการเก็บข้อมูลการใช้งานเครื่องปรับอากาศสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมพบว่าห้องทำงานอาคารชั้น 1 เป็นห้องทำงานเจ้าหน้าที่ธุรการและห้องสมุด มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จำนวน 5 เครื่อง และชั้น 2 เป็นห้องทำงานผู้บริหาร มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จำนวน 5 เครื่อง ดังตาราง 44 (ภาคผนวก ข) และวันเวลาทำการปกติเครื่องปรับอากาศเริ่มเปิดใช้งานช่วงเช้า เวลา 8.30 – 12.00 น. และ เปิดใช้งานช่วงบ่าย เวลา 13.00 – 16.30 น. รวมเวลาเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ 7 ชั่วโมงต่อวัน และจากการสอบถามการอยู่ปฏิบัติงานประจำห้องในช่วงระยะเวลา 1 วัน พบว่า การอยู่ปฏิบัติงานประจำห้องทำงานของเจ้าหน้าที่ธุรการและห้องสมุด เฉลี่ย 90% และการอยู่ปฏิบัติงานประจำห้องทำงานของผู้บริหารเฉลี่ย 70% ของการอยู่ปฏิบัติงานประจำห้องทำงาน ดังนั้นจึงทำการสร้างสถานการณ์จำลองการเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ จำนวน 10 เครื่อง โดยการจำลองเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศตามวันเวลาทำการปกติ ช่วงเช้าเปิดเครื่องปรับอากาศ เวลา 8.30 – 12.00 น. และช่วงบ่ายเปิดเครื่องปรับอากาศ เวลา 13.00 – 16.30 น. รวมเวลาเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ 7 ชั่วโมงต่อวัน จากนั้นจำลองการใช้ Motion Sensor ตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้อง เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศตามสัดส่วนของการใช้ห้องทำงาน ของการอยู่ปฏิบัติงานในห้องทำงานของเจ้าหน้าที่ 90% และสัดส่วนของการอยู่ปฏิบัติงานในห้องทำงานของผู้บริหาร 70%

ผลการประเมินพลังงาน

การประเมินด้านพลังงานจากระบบจัดการพลังงานของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการประเมินพลังงาน 3 ด้าน คือ 1) พลังงานที่ลดได้ 2) พลังงานสะสม และ 3) พลังงานสุทธิ

ด้านที่ 1 ผลการประเมินพลังงานที่ลดได้จากการจำลองการเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศตามวันเวลาทำการปกติ ช่วงเช้าเปิดเครื่องปรับอากาศ เวลา 8.30 – 12.00 น. และช่วงบ่ายเปิดเครื่องปรับอากาศ เวลา 13.00 – 16.30 น. รวมเวลาเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศ 7 ชั่วโมงต่อวัน และจำลองการใช้ Motion Sensor ตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้อง เพื่อควบคุมการเปิดเครื่องปรับอากาศตามสัดส่วนของการใช้ห้องของเจ้าหน้าที่ 90% และของผู้บริหาร 70% ดังตาราง 26

ตาราง 27 ผลการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการสร้างสถานการณ์จำลอง

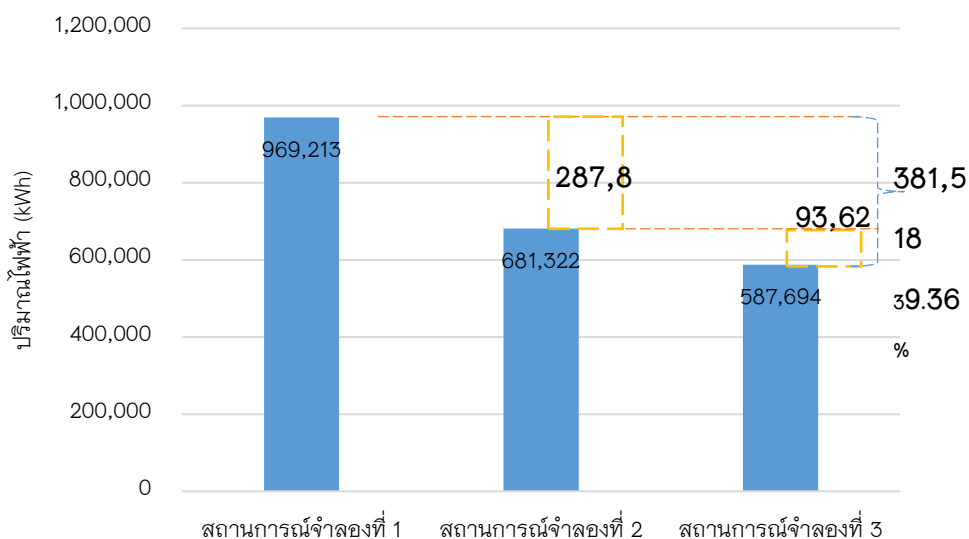
เครื่องปรับอากาศขนาด (Split type)	จำนวน	กระแสไฟฟ้า (A)	พลังงานที่ใช้ ชั่วโมง/วัน (kWh/วัน)	สัดส่วนการ ใช้ห้อง (%)	พลังงานที่ใช้ตาม สัดส่วนการ ใช้ห้อง(kWh/วัน)	พลังงานที่ลด ได้ (kWh/วัน)
เครื่องปรับอากาศ 18000 BTUi (ห้องสมุด ชั้น 1)	1	4.8	7.39	90%	6.65	0.74
เครื่องปรับอากาศ 26000 BTUi (ห้องสมุด ชั้น 1)	1	6.2	9.55	90%	8.60	0.95
เครื่องปรับอากาศ 36000 BTUi (ห้องทำงาน ชั้น 1)	1	6.7	10.32	90%	9.29	1.03
เครื่องปรับอากาศ 24000 BTUi (ห้องทำงาน ชั้น 1)	2	5.5	16.94	90%	15.25	1.69
เครื่องปรับอากาศ 16000 BTUi (ห้องทำงาน ชั้น 2)	1	4.5	6.93	70%	4.85	2.08
เครื่องปรับอากาศ 11000 BTU (ห้องทำงาน ชั้น 2)	1	5.5	8.47	70%	5.93	2.54
เครื่องปรับอากาศ 12000 BTUi (ห้องทำงาน ชั้น 2)	1	4.2	6.47	70%	4.53	1.94
เครื่องปรับอากาศ 10000 BTU (ห้องทำงาน ชั้น 2)	2	5.1	15.71	70%	11.00	4.71
รวม						15.67

หมายเหตุ: BTU เครื่องปรับอากาศธรรมดา (Non-Inverter Air Conditioner), BTUi เครื่องปรับอากาศ Inverter (Inverter Air Conditioner)

จากตาราง 27 จากการดำเนินการควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศตามระบบการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) พบว่า สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 15.67 kWh/วัน กรณีคำนวณจากจำนวนวันทำการปกติของปีฐาน 239 วัน (2561) สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 3,745 kWh/ปี หรือตลอดระยะเวลา 25 ปี สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ทั้งหมด 93,628 kWh

ผลการเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่สามารถลดได้จากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน

ผลการประเมินด้านพลังงานจากการสร้างสถานการณ์จำลองที่ 3 โดยการสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมการทำงานเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) ทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 93,628 kWh หรือเท่ากับ 9.66% และจากการทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานสามารถลดการใช้ไฟจากสายส่งลงได้ 381,518 kWh หรือเท่ากับ 39.36% ดังภาพ 49



ภาพ 49 ผลการเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่ลดได้จากสถานการณ์จำลอง 3 สถานการณ์

ด้านที่ 2 การประเมินพลังงานสะสมจากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน เครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) โดยการวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) แบบ Gate to Gate จากการใช้ทรัพยากร คือ การวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการดำเนินการระบบการจัดการพลังงาน ทั้งพลังงานทางตรง (Direct Consumption) ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ ในการขนส่งอุปกรณ์ และพลังงานทางอ้อม (Indirect Consumption) ได้แก่ พลังงานในกระบวนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์นั้น ๆ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนด Function Unit ต่อพลังงานที่สามารถลดได้ 1 kWh สามารถคำนวณพลังงานสะสมจากสมการ (6) และผลการประเมินพลังงานสะสม จากขั้นตอนการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง และการบำรุงรักษา ดังนี้

ผลการประเมินพลังงานสะสมจากการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) ดังนี้

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ จะพิจารณาเฉพาะพลังงานสะสมจากการผลิตคอมพิวเตอร์ ส่วนอุปกรณ์ Controller Device, Motion Sensor, Camera และ Lora Gateway มีปริมาณที่น้อยมากจึงไม่นำมาคิดในขั้นตอนพลังงานสะสม ในการคิดพลังงานสะสมโดยการนำค่าปริมาณคอมพิวเตอร์ จากตาราง 52 (ภาคผนวก ข) มาคูณกับพลังงานสะสมจากการผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังตาราง 28

ตาราง 28 ผลการประเมินพลังงานสะสมขั้นตอนการผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ 1 kWh

รายการ	ค่า LCI		ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ (MJ)	แหล่งอ้างอิง
	ปริมาณ	หน่วย			
คอมพิวเตอร์	1.09E-05	kg	9.80	1.07E-04	SimaPro 9.1.1.1

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการขนส่งคอมพิวเตอร์ โดยการนำค่าปริมาณคอมพิวเตอร์ จากตาราง 27 คูณกับระยะทางและพลังงานสะสมของประเภทการขนส่ง (CED) ดังตาราง 29

ตาราง 29 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในขั้นตอนการขนส่งคอมพิวเตอร์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง	พาหนะ	ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ (MJ)
	หน่วย	ปริมาณ				
คอมพิวเตอร์	1.09E-08	ton	791	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.4698	3.46E-05

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้ง เป็นการประเมินการใช้พลังงานงานในการติดตั้งอุปกรณ์ Controller Device, Motion Sensor, Camera, Lora Gateway และคอมพิวเตอร์ โดยส่วนใหญ่เป็นการติดตั้งด้วยแรงงานคน และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้ส่วนไฟฟ้าในการเจาะรูติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งมีการใช้พลังงานที่น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่พิจารณาการใช้พลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้ง

ผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการบำรุงรักษา เป็นการประเมินการใช้พลังงานงานในการ อุปกรณ์ Controller Device, Motion Sensor, Camera, Lora Gateway และคอมพิวเตอร์ ซึ่งการดูแลบำรุงรักษาเป็นการเช็คทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยแรงงานคน ดังนั้นจึงไม่มีพลังงานสะสมในขั้นตอนการบำรุงรักษา

ผลการประเมินพลังงานสะสมจากมาตรการที่ 2 จากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน พบว่ามีพลังงานสะสม ดังตาราง 30

ตาราง 30 พลังงานสะสมแต่ละขั้นตอนจากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

ขั้นตอน	ผลรวม CED (MJ)
ขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์	1.07E-04
ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์	3.46E-05
ขั้นตอนการติดตั้ง	0
ขั้นตอนการบำรุงรักษา	0
รวม	1.42E-04

จากตาราง 30 พบว่าพลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ มีพลังงานสะสมมากที่สุด ดังนั้นผลรวมพลังงานสะสมทั้งหมด เท่ากับ 1.42E-04 MJ และในขั้นตอนการติดตั้ง

ขั้นตอนการบำรุงรักษา ส่วนใหญ่ดำเนินงานด้วยแรงงานคน หรืออาจมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์ในขั้นตอนดังกล่าว แต่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่พิจารณาในการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้ง และขั้นตอนการบำรุงรักษา

ส่วนที่ 3 การประเมินพลังงานสุทธิ NEV โดยการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้จากระบบการจัดการพลังงาน 1 kWh หรือเท่ากับ 3.6 MJ กับพลังงานสะสมในกระบวนการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) ผลการประเมินพลังงานสุทธิ ดังตาราง 30

ตาราง 31 ผลการประเมินพลังงานสุทธิ NEV

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MJ)	ผลรวมพลังงานสะสม (MJ)	พลังงานสุทธิ (MJ)
3.60	1.42E-04	3.59

จากตาราง 31 ผลการประเมินพลังงานสุทธิ NEV จากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานพบว่าพลังงานสุทธิ NEV มีค่าเท่ากับ 3.59 MJ สามารถอธิบายได้ว่าการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพทางพลังงาน เนื่องจากพลังงานสุทธิที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก นั่นหมายความว่าระบบการจัดการพลังงานจากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานมีความสามารถลดการใช้พลังงานมากกว่าพลังงานสะสม ทำให้มีความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน ประเมินก๊าซเรือนกระจก

เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดระยะเวลา 25 ปี โดยทำการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้จากการสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) และประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานสะสมในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรม คือ ขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ ขั้นตอนการขนส่ง ขั้นตอนการติดตั้ง ขั้นตอนการใช้งาน และขั้นตอนการบำรุงรักษา ซึ่งมีผลการประเมิน ดังนี้

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 3 ด้าน คือ 1) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) และ 2) ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดจากการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

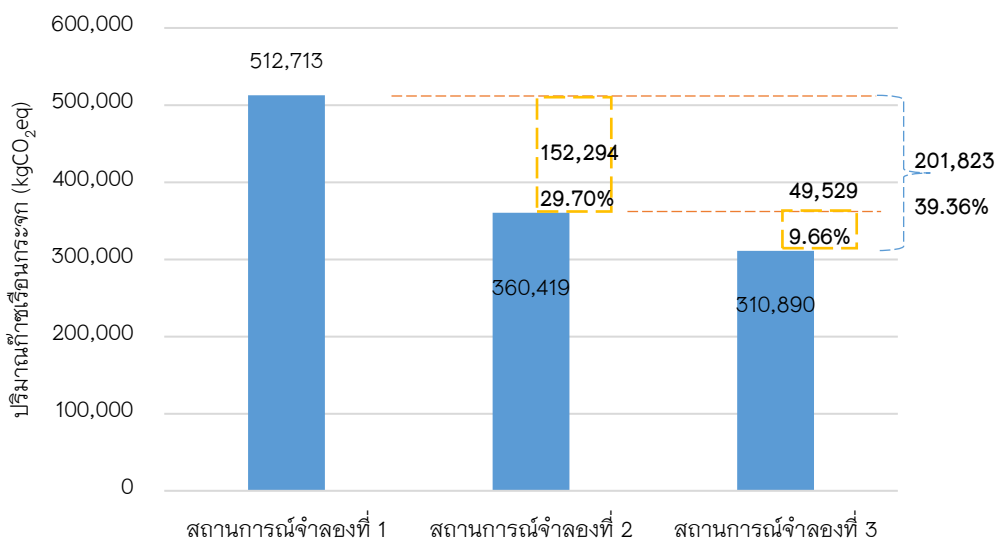
ด้านที่ 1 ผลประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ จากการสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) โดยการนำค่า Emission Factor เท่ากับ 0.5290 kgCO₂eq/หน่วย คูณกับพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดได้ การสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) ผลการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ต่อปี ดังตาราง 31

ตาราง 32 ผลการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT)

พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ตลอดระยะเวลา 25 ปี (kWh)	Emission Factor (kgCO ₂ eq/หน่วย)	ผลคูณ (kgCO ₂ eq)
93,628	0.5290	49,529

จากตาราง 31 พบว่าจากการสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) สามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 49,529 kgCO₂eq ตลอดระยะเวลา 25 ปี

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการสร้างสถานการณ์จำลองการควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) พบว่า สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลงได้ 49,529 kgCO₂eq หรือเท่ากับ 9.66% และจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 201,823 kgCO₂eq หรือเท่ากับ 39.36% ดังภาพ 50



ภาพ 50 สรุปผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้

ด้านที่ 2 การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่าง ๆ จากการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานเครื่องปรับอากาศ (IoT) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) โดยมีการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิต การขนส่ง การติดตั้ง การใช้งาน และการซ่อมบำรุง ตลอดระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ ดังนี้

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ โดยการนำค่า Emission Factor ของการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 0.5290 kgCO₂eq/หน่วย คูณกับพลังงานสะสมจากการผลิตคอมพิวเตอร์ ดังตาราง 32

ตาราง 33 การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตคอมพิวเตอร์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ 1 kWh

รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (kgCO ₂ eq/หน่วย)	ผลคูณ (kgCO ₂ eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
	ปริมาณ	หน่วย			
คอมพิวเตอร์	1.09E-05	kg	0.529	1.09E-05	Thai National LCI Database/MTEC

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งคอมพิวเตอร์ โดยการวิเคราะห์หาค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากปริมาณของคอมพิวเตอร์คูณกับระยะทางและค่า Emission Factor ของประเภทการขนส่ง ดังตาราง 33 โดยคิดระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า กรุงเทพมหานครถึงเชียงใหม่ เป็นระยะทาง 791 กิโลเมตร



ตาราง 34 ผลการประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งคอมพิวเตอร์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

รายการ	หน่วย	ปริมาณ	แบบการใช้ระยะทาง				ค่า EF (kgCO ₂ eq/หน่วย)	ผลคูณ (kgCO ₂ eq)	แหล่งที่มาของข้อมูล	
			ระยะทาง (km)	นหน. x ระยะทาง (tkm)	พาหนะ	% เที่ยวไป เที่ยวกลับ				
คอมพิวเตอร์	ton	0.0063	791	4.98	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ล้อ	100	0	0.0451	3.89E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ Controller Device, Motion Sensor, Camera, Lora Gateway และคอมพิวเตอร์ เนื่องจากผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการติดตั้งไม่มีกิจกรรมที่ทำให้เกิดพลังงานสะสม ดังนั้นจึงไม่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการติดตั้ง

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ Controller Device, Motion Sensor, Camera, Lora Gateway และคอมพิวเตอร์ เนื่องจากผลการประเมินพลังงานสะสมในขั้นตอนการบำรุงรักษาไม่มีกิจกรรมที่ทำให้เกิดพลังงานสะสม ดังนั้นจึงไม่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการบำรุงรักษา

ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการติดตั้งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ดังตาราง 35

ตาราง 35 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละขั้นตอนจากการติดตั้งอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ 1 kWh

ขั้นตอน	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO ₂ eq)
ขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์	1.09E-05
ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์	3.89E-07
ขั้นตอนการติดตั้ง	0
ขั้นตอนการบำรุงรักษา	0
รวม	1.13E-05

จากตาราง 35 พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตวัสดุ-อุปกรณ์ มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งกระบวนการ เท่ากับ 1.13E-05 kgCO₂eq/kWh ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (ปีฐาน 2561) เท่ากับ 0.5290 kgCO₂eq/kWh ดังนั้นโครงการนี้จึงมีความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม ส่วนขั้นตอนการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานไม่มีกิจกรรมที่ทำให้เกิดพลังงานสะสม และขั้นตอนการบำรุงรักษาไม่มีกิจกรรมที่ทำให้เกิดพลังงานสะสมเช่นกัน ดังนั้นจึงไม่พิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการติดตั้งและการบำรุงรักษา

ผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการประเมินต้นทุนของการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานตลอดอายุโครงการ 25 ปี ตามหลักการประเมินแบบ Life Cycle Costing (LCC) จากสมการที่ (9) แล้วทำการประเมินความคุ้มค่า โดยใช้ตัวชี้วัดทางด้านเศรษฐศาสตร์ 2 ด้าน คือ 1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และ 2) ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ จากสมการที่ (10) – (11) โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองติดตั้งระบบการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศด้วยระบบ (IoT) โดยการประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน (IoT) ตลอดระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ดังตาราง 36

ตาราง 36 ผลการประเมินต้นทุนตลอดอายุโครงการ 25 ปี

กิจกรรม	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด
ค่าใช้จ่ายวัสดุ-อุปกรณ์รวม ค่าติดตั้ง	- ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ 1. เครื่องคอมพิวเตอร์ All In One สำหรับงาน ประมวลผล จำนวน 1 เครื่อง (กระทรวงดิจิทัล เพื่อเศรษฐกิจและสังคม 2562) 2. Raspberry Pi (Controller Device) จำนวน 10 ตัว ๆ ละ 3,990 บาท 3. Raspberry Pi Camera Module จำนวน 10 ตัว ๆ ละ 200 4. Motion Sensor จำนวน 10 ตัว ๆ ละ 48 บาท. 5. Lora Gateway (Router) (กระทรวงดิจิทัลเพื่อ เศรษฐกิจและสังคม 2562) จำนวน 2 ตัว ๆ ละ 2,700 บาท.	23,000 39,900 2,00 480 5,400
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	- ค่าพลังงานไฟฟ้าจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ 968 บาท/ปี	24,200
ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยน อุปกรณ์	- หลังจากการติดตั้งไม่มีการปรับเปลี่ยน อุปกรณ์เพิ่มเติม	-
ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง	- การดูแลรักษาทางคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรมมีเจ้าหน้าที่ดูแลงานทางด้าน คอมพิวเตอร์	-

ตาราง 36 (ต่อ)

กิจกรรม	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด
มูลค่าซาก (บาท)	- กำหนดให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานเกินกว่าอายุ โครงการ 25 ปี จากมีเจ้าหน้าที่ประจำคอย บำรุงรักษา	-
รวม		93,180

ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

การประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยคิดจากผลรวมของผลตอบแทนจากพลังงานไฟฟ้าที่
ลดได้จากสายส่ง 3,745 หน่วยต่อปี และคิดค่าไฟฟ้าจากปีฐาน 2561 ช่วง Peak Load เท่ากับ
4.1839 บาทต่อหน่วย ทำให้ มีผลตอบแทนจากค่าไฟฟ้าที่ลดลงได้ 15,668 บาท หรือตลอด
ระยะเวลา 25 ปี มีผลตอบแทน 391,717 บาท กำหนดให้อัตราคิดลดอยู่ที่ 0.5% ต่อปี มีเงินลงทุน
เริ่มต้น 68,980 บาท และลงทุนทั้งหมด 93,180 บาท สามารถคำนวณได้จากสมการ (10) ผลการ
คำนวณ ดังตาราง 37

ตาราง 37 ผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิตามมาตรการที่ 2

ปี	ผลตอบแทนจากพลังงานที่ลดได้	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
	(บาท)	(บาท)	(บาท)
1	15,668	968	14,627
2	15,668	968	14,553
3	15,668	968	14,480
4	15,668	968	14,406
5	15,668	968	14,333
6	15,668	968	14,274
7	15,668	968	14,200
8	15,668	968	14,127
9	15,668	968	14,053
10	15,668	968	13,980
11	15,668	968	13,921
12	15,668	968	13,847
13	15,668	968	13,774

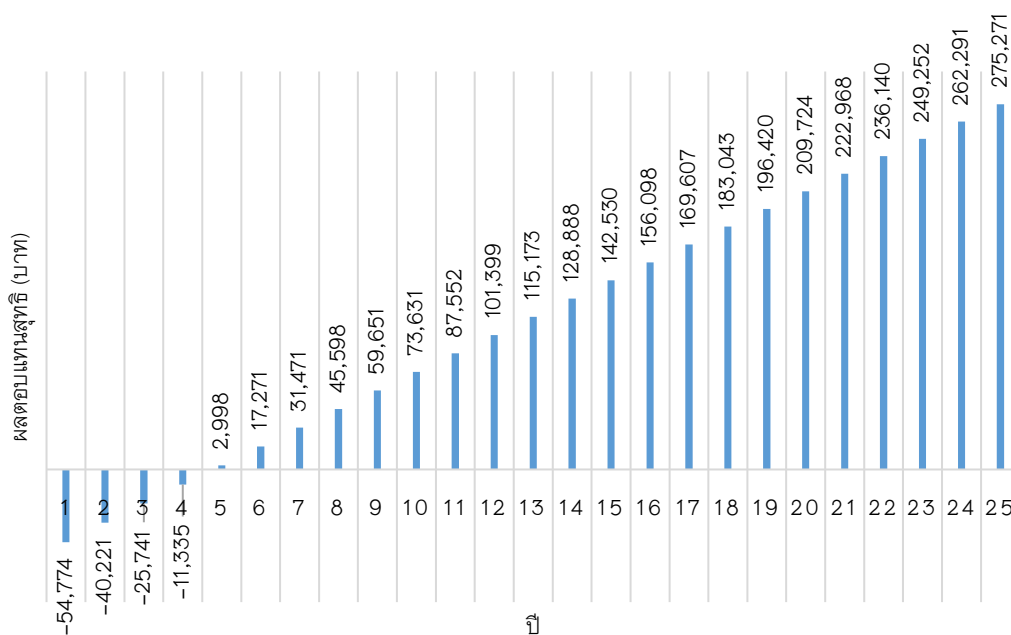
ตาราง 37 (ต่อ)

ปี	ผลตอบแทนจากพลังงานที่ผลิตได้ (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)
14	15,668	968	13,715
15	15,668	968	13,642
16	15,668	968	13,568
17	15,668	968	13,509
18	15,668	968	13,436
19	15,668	968	13,377
20	15,668	968	13,304
21	15,668	968	13,245
22	15,668	968	13,171
23	15,668	968	13,112
24	15,668	968	13,039
25	15,668	968	12,980
		รวม	344,671

จากตาราง 36 ผลรวมของมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่เกิดจากรายรับกับค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเป็นบวก เท่ากับ 344,671 บาท แสดงว่ามีความคุ้มค่าทางด้านการลงทุน แต่เมื่อคิดเงินลงทุนเริ่มต้น 68,980 บาท ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่า 275,691 บาท นั้นหมายความว่า การลงทุนของโครงการมีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการประเมินระยะเวลาดำเนินทุน

เป็นการวิเคราะห์หาค่าระยะของเวลาในการคือทุนจากการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการทำงานเครื่องปรับอากาศ โดยคิดจากกระแสเงินสดสุทธิในแต่ละปีลบกับเงินลงทุนต้นเริ่มต้น จนถึงปีที่ทำให้ผลรวมมีค่าเท่ากับศูนย์หรือมีค่ามากกว่าศูนย์ นั้นหมายความว่าปีที่ค่าเท่ากับศูนย์หรือมากกว่าศูนย์เป็นปีที่มีการคืนทุน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (11) และมีผลการประเมินระยะเวลาดำเนินทุน ดังภาพ 51

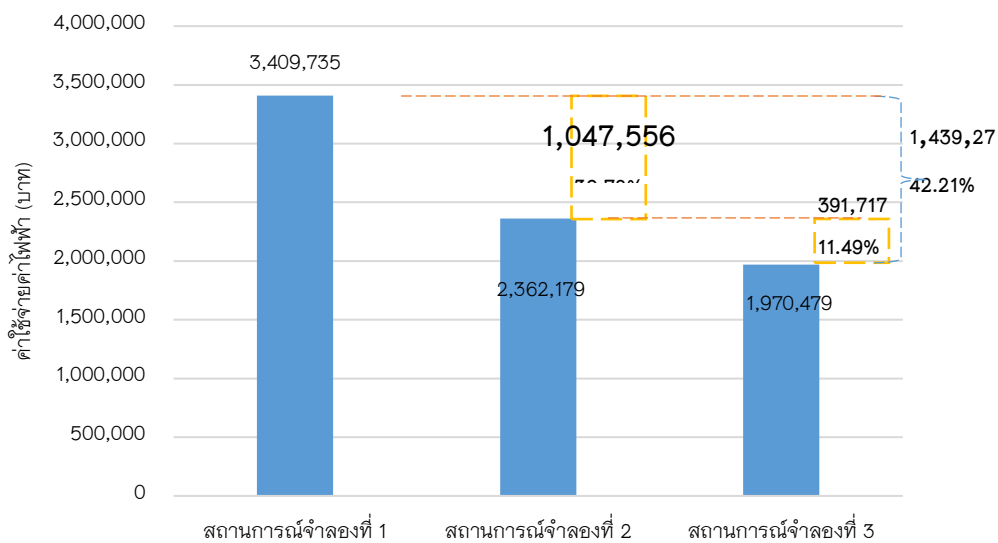


ภาพ 51 ผลการประเมินระยะเวลายื่นทุน

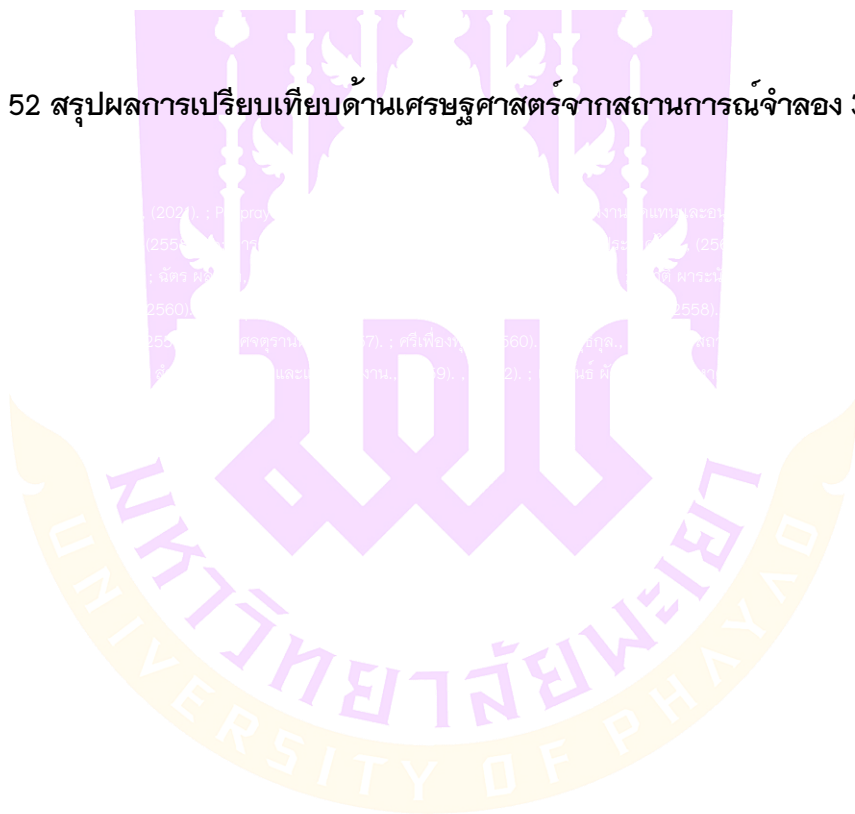
จากภาพ 51 พบว่าในปีที่ 1-4 ผลตอบแทนจากค่าไฟฟ้าที่ลดได้มีค่าเป็นลบ เนื่องจากยังไม่มีควมคุ้มค่าในการลงทุน และโครงการมีระยะเวลาดำเนินการ 4.30 ปี ทำให้ในปีที่ 5-25 จึงมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวก

สรุปผลการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ทั้ง 3 สถานการณ์

ผลการประเมินด้านก๊าซเรือนกระจกจากการสร้างสถานการณ์จำลอง 3 สถานการณ์ โดยมีกรอบระยะเวลาดำเนินการ 25 ปี พบว่า สถานการณ์จำลองที่ 1 ครัวเรือนไม่มีการดำเนินการใด ๆ มีการใช้ไฟจากสายส่งเพียงอย่างเดียว ทำให้มีค่าใช้จ่าย 3,409,735 บาท ส่วนสถานการณ์จำลองที่ 2 มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดกำลังติดตั้ง 9.60 kWp ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าลงได้ 1,047,556 บาท หรือลดลง 30.72% และสถานการณ์จำลองที่ 3 มีระบบการจัดการพลังงานเพิ่มเติม ทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้ 391,717 บาท คิดเป็น 11.49% และสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้จากการดำเนินการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานทั้งหมด 1,439,27 บาท หรือลดลงได้ 42.21% ดังภาพ 52



ภาพ 52 สรุปผลการเปรียบเทียบด้านเศรษฐศาสตร์จากสถานการณ์จำลอง 3 สถานการณ์



บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน 8.35 kW ของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม พบว่า ขนาดกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 9.60 kW_p สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 287,890 kWh หรือทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 29.70% และมีพลังงานสะสม เท่ากับ 2.71 MJ ทำให้มีพลังงานสุทธิ เท่ากับ 0.89 MJ ซึ่งพลังงานสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงว่าการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 152,294 kgCO₂eq หรือเท่ากับ 29.70% และผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh เท่ากับ 0.23 kgCO₂eq ซึ่งมีค่าน้อยกว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (ปีฐาน 2561) เท่ากับ 0.5290 kgCO₂eq/kWh จึงทำให้การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าทางด้านสิ่งแวดล้อม และผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 1,047,556 บาท หรือเท่ากับ 30.72% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 537,297 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ (0) แสดงว่าการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และมีระยะเวลาคืนทุน 7.18 ปี

ผลจากการจำลองการจัดการพลังงานเครื่องปรับอากาศภายในห้องทำงานของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ด้วยระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 93,628 kWh หรือเท่ากับ 9.66% มีพลังงานสะสม เท่ากับ 1.42E-04 MJ ทำให้มีพลังงานสุทธิ เท่ากับ 3.59 MJ ซึ่งมีค่าเป็นบวก แสดงว่าการจัดการพลังงานด้วยระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี และสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 49,529 kgCO₂eq หรือเท่ากับ 9.66% และผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ต่อปริมาณไฟฟ้าที่ลดได้ 1 kWh เท่ากับ 1.13E-05 kgCO₂eq และจากการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 391,717 บาท หรือเท่ากับ 11.49% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 275,27 บาท ซึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ (0) แสดงว่าการจัด

การพลังงานด้วยระบบการจัดการสภาพแวดล้อมบนอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และมีระยะเวลาคืนทุน 4.30 ปี ดังนั้น ผลจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน ทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 381,518 kWh หรือเท่ากับ 39.36% ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ 201,823 kgCO₂eq หรือเท่ากับ 39.36% และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งลงได้ 1,439,27 บาท หรือเท่ากับ 42.21%

ข้อเสนอแนะสำหรับมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System) กรณีที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณการผลิตไฟฟ้ามากกว่าความต้องการการใช้ไฟของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร เช่น วันหยุดเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์
2. ควรมีการศึกษาการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน และสถานีประจุไฟฟ้ารถยนต์ เพื่อรองรับการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต
3. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายสามารถนำแนวทางการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับระบบการจัดการพลังงานงาน ไปสู่การดำเนินการที่เป็นรูปธรรมกับอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อช่วยลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายลงได้
4. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายหรือองค์กรอื่น ๆ ควรมีนโยบายในการออกแบบอาคารให้มีหลังคาหันไปทางทิศใต้หรือหลังคาที่เป็นลาดฟ้า เพื่อใช้เป็นพื้นที่ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนช่วยลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของอาคาร

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579**. สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2560, จาก http://www.dede.go.th/download/files/AEDP%20Action%20Plan_Final.pdf
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2561). **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาศักยภาพเชิงพื้นที่ในการบริหารจัดการกากขยะแอมเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2562 จาก <https://webkc.dede.go.th/testmax/node/4442>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). **สรุปผลการตรวจวัดข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 11 กันยายน 2563, จาก https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=562&filename=index
- กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2564). **เกณฑ์ราคากลางและคุณลักษณะพื้นฐานการจัดหาอุปกรณ์และระบบคอมพิวเตอร์ ฉบับเดือนธันวาคม 2564**. สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2566, จาก <https://www.mdes.go.th/service/29>.
- กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579**. สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2560, จาก http://www.eppo.go.th/images/Power /pdf/smart_gridplan.pdf
- กระทรวงพลังงาน. (2558). **คู่มือการตรวจประเมินแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- การุณย์ ชัยวณิชย์. (2562). **การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ทกริด**. วิทยานิพนธ์ ปร.ด., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- การจัดการพลังงาน. (ม.ป.ป.). **คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน**. สืบค้นเมื่อ 29 มีนาคม 2561, จาก <https://sites.google.com/site/220040554pimjaifa/electronic-book/kar-cadkar-phlangngan>.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2561). **รายงานประจำปี 2561**. สืบค้นเมื่อ 8 ตุลาคม 2562, จาก <http://www.egat.co.th/images/businessop/annual-report/2561/annual-report-60-th.pdf>
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2560). **โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ปี 2558**. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม

- 2560, จาก <https://www.pea.co.th/ดาวน์โหลดเอกสาร>.
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2563). “**รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปี 2563**”. สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2563, จาก <https://www.pea.co.th/>.
- จรรยาผล เลิศจตุรานนท์. (2557). **การวิเคราะห์พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการใช้เคิลลูบปิด สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุ**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ฉัตร ฝนาค, จอมภพ แววศักดิ์, สมพล ชีวมงคลกานต์ และปราณี หนูทองแก้ว. (2560). การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบด้วยโปรแกรม PVsyst. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**, 20(ฉบับพิเศษ), 261–268.
- ชมพูนิกข์ นามสุวรรณ. (2557). **การจัดการพลังงานในโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลเจ้าพระยายมราช**. สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2562, จาก <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/46336>.
- ชัชชัย วรพัฒน์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และปรเมษฐ์ สิทธิสันต์. (2564). ประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษา: อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: เทพสตรี**, 16(2), 117–126.
- ชูชาติ ผาระนัด, จักรกฤษณ์ จันทศิริ และสุจิตรา ผาระนัด. (2553). การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ว.มรม**, 4(2), 25–37.
- ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต. (2558). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **วารสารวิจัยพลังงาน**, 12(2), 59–74.
- ธนาพล ตันติสัตยกุล, พีรพล รัตมีธรรมโชติ และเมธาพร อุษสกุล. (2560). การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 25(6), 1083–1099.
- ปณิดา ตะสิทธิ์. (2560). **การจัดการพลังงานในอาคารเรียน กรณีศึกษา อาคารเรียนรวม**

- สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.** สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2562, จาก <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/60280>.
- พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา. (2559). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงาน. **วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 15(1), 183 – 200.
- พีระวุฒิ ชินวรรังสี, ศศิวิมล ทรงไทร, ณัฐกานต์ อุดมเดชาณัติ, ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์, อัศวิน หงษ์สิงห์ทอง, ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์ และคณะ. (2558). ศึกษาการประเมินสมรรถนะและความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย. **วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง**, 32(2), 19–24
- มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2560). **ระบบฐานข้อมูลอาคาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2560, จาก <http://map.crru.ac.th/index.php>.
- มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2560). **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในหน่วยงานภาครัฐ-มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.** เชียงราย: มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- วรรมล เลิศจตุรานนท์. (2557). **การวิเคราะห์พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของกระบวนการรีไซเคิลรูปปิด สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่หมดอายุ.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ศศิธร ศรีเฟื่องฟู. (2560). การศึกษาความสบายเชิงคุณภาพของคนไทยภายในสถาปัตยกรรมประเภทโบสถ์. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 11(3), 85–98.
- สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม. (2561). **Demand Response.** สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2562, จาก www.iie.or.th/iie2016/energy_detail.php?news_id=1455.
- สำนักงานงบประมาณ. (2565). **บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ ฉบับธันวาคม 2565.** สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2566, จาก <https://www.bb.go.th/topic.php?gid=237&mid=279>.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). **แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 (PDP2018).** สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2561, จาก <https://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/PDP2018.pdf>
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2559). **Demand Response.** สืบค้นเมื่อ 29 มีนาคม 2561, จาก <http://www.eppo.go.th/index.pup/th/electricity/define->

electricity/demand–response.

สุรกิจ ทองสุก และอรรถพล เกาพิทักษ์กุล. (2561). การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 10(19), 157–169.

อาจารย์ ศุภสุธิกุล. (2557). การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 6(12), 106–113.

เอกพันธ์ ฝัดศรี, คณภรณ์ ก้อนแก้ว และอัศวินทร์ อินทนิเวศน์ (ผู้บรรยาย). (30 สิงหาคม 2561). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW. ใน **การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี**. (หน้า 94–104).
ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา.

Felipe Rocha, Lucas Cristiano Dantas, Luis Felipe Santos, Samela Ferreira, Bruna Soares, Alan Fernandes et al., (2021). Energy Efficiency in Smart Buildings: An IoT-Based Air Conditioning Control System. **HAL Open Science**, Retrieved April 9, 2023, from <https://inria.hal.science/hal-03371594>.

Gunn Panprayou. (2017). 8 kWp Rooftop PV System and Feasibility of System Expansion. **Journal of Professional Routine to Research**, 4, 76–86.

Taehoon, Minhyun, Choongwan, Jimin and Kwangbok. (2016). Estimation of the Available Rooftop Area for Installing the Rooftop Solar Photovoltaic (PV) System by Analyzing the Building Shadow Using Hillshade Analysis. **ScienceDirect**. 88, 408–413.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก บัญชีรายการ และ LCI วัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ตาราง 38 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุ-อุปกรณ์	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
Solar Cell	21.24	kg	Property TSM-PE15H-320
Inverter	17	kg	Property SUN2000-12KTL-M2
Stainless Steel	0.49	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems
Aluminum	0.54	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems
Copper	0.10	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems
TPE Thermoplastic	0.06	kg/m ²	Vasilis F(2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems

ตาราง 39 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

วัสดุ-อุปกรณ์	จำนวน	ปริมาณ	หน่วย	LCI (kg/หน่วย)
Solar Cell	30 แผง	642.00	kg	2.23E-03
Inverter	1 เครื่อง	17.00	kg	5.91E-05

ตาราง 40 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ ต่อพื้นที่ติดตั้ง 58.2 m² ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

วัสดุ-อุปกรณ์	จำนวน	ปริมาณ	หน่วย	LCI (kg/หน่วย)
Stainless Steel	0.49 kg/m ²	28.52	kg	9.91E-05
Aluminum	0.54 kg/m ²	31.43	Kg	1.09E-04
Copper	0.1 kg/m ²	5.82	kg	2.02E-05
TPE Thermoplastic	0.06 kg/m ²	3.49	kg	1.21E-05

ภาคผนวก ข ประเภทอุปกรณ์และชั่วโมงการใช้งาน ของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร
สำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ตาราง 41 อุปกรณ์ประเภทเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศขนาด (Split type)	จำนวน	กระแสไฟฟ้า (A)	ชั่วโมงการใช้งาน (h)
เครื่องปรับอากาศ 18000 BTUi (ห้องสมุด)	1	4.8	7
เครื่องปรับอากาศ 26000 BTUi (ห้องสมุด)	1	6.2	7
เครื่องปรับอากาศ 36000 BTUi (ห้องทำงาน1)	1	6.7	7
เครื่องปรับอากาศ 24000 BTUi (ห้องทำงาน1)	2	5.5	7
เครื่องปรับอากาศ 25000 BTU (ห้องประชุม)	1	8.7	1
เครื่องปรับอากาศ 24000 BTUi (ห้องประชุม)	2	5.5	1
เครื่องปรับอากาศ 16000 BTUi (ห้องทำงาน2)	1	4.5	7
เครื่องปรับอากาศ 11000 BTU (ห้องทำงาน2)	1	5.5	7
เครื่องปรับอากาศ 12000 BTUi (ห้องทำงาน2)	1	4.2	7
เครื่องปรับอากาศ 10000 BTU (ห้องทำงาน2)	2	5.1	7

หมายเหตุ: BTU เครื่องปรับอากาศธรรมดา (Non-Inverter Air Conditioner), BTUi เครื่องปรับอากาศ Inverter (Inverter Air Conditioner)

ตาราง 42 อุปกรณ์ประเภทหลอดไฟฟ้า

ประเภทหลอดไฟฟ้า	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงการใช้งาน (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/วัน)
หลอดไฟ LED T8	73	14	8	8.18
หลอดไฟ LED T8	27	14	1	0.38
หลอดไฟ T5	24	28	8	5.38
หลอดไฟ T5	2	28	1	0.06
			รวม	13.99

ตาราง 43 อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ

ชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า	จำนวน	กระแสไฟฟ้า (A)	ชั่วโมงการใช้ งาน (h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/วัน)
คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (CPU,จอคอม)	9	0.55	8	8.71
ตู้กดน้ำ	1	0.38	24	2.01
พัดลมติดผนัง	5	0.18	0.1	0.02
เครื่องปริ้น HP	3	2.5	0.5	0.83
คอมพิวเตอร์ Tablet	1	0.29	7	0.45
คอมพิวเตอร์ Tablet	1	0.25	7	0.39
ตู้เย็น	1	0.75	24	3.96
หม้อต้มน้ำ	1	10.9	1	2.40
โปรเจ็คเตอร์ รุ่น EB- x18 (ห้องประชุม)	1	1.23	1	0.27
			รวม	19.02

ตาราง 44 รายการบัญชีอุปกรณ์ระบบการจัดการพลังงาน

เครื่องปรับอากาศขนาด (Split type)	จำนวน	หน่วย
เครื่องปรับอากาศ 36000 BTU (ห้องทำงาน 1)	1	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 24000 BTU (ห้องทำงาน 1.1)	2	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 26000 BTU (ห้องสมุด 1)	1	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 18000 BTU (ห้องสมุด 1)	1	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 16000 BTU (ห้องทำงาน 2)	1	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 12000 BTU (ห้องทำงาน 2)	1	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 11000 BTU (ห้องทำงาน 2)	1	เครื่อง
เครื่องปรับอากาศ 10000 BTU (ห้องทำงาน 2.1)	2	เครื่อง
Computer	1	เครื่อง
Camera	10	ตัว
Lora Gateway (Router)	2	ตัว
Motion Sensor	10	ตัว
Controller Device	10	ตัว

ตาราง 45 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศขนาด (Split type)	ปริมาณ	น้ำหนัก (kg)	รวม (kg)	แหล่งอ้างอิง
เครื่องปรับอากาศ 26000 BTUi	1	59	59	Daikin Space Max Inverter FAVF
เครื่องปรับอากาศ 12000 BTUi	3	41	123	FTKC12WV2S9

ตาราง 46 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ

วัสดุ-อุปกรณ์	ปริมาณ	น้ำหนัก/หน่วย (kg)	รวม(kg)	กระแสไฟฟ้า A	แหล่งอ้างอิง
คอมพิวเตอร์	1	6.30	6.30	0.55	Acer Aspire C24-1700- 1238G0T

ตาราง 47 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

วัสดุ-อุปกรณ์	ปริมาณ	หน่วย	LCI (kg/หน่วย)
เครื่องปรับอากาศ 26000 BTUi	59	kg	1.86E-03
เครื่องปรับอากาศ 12000 BTUi	123	kg	3.87E-03

ตาราง 48 บัญชีรายการปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

วัสดุ-อุปกรณ์	ปริมาณ	หน่วย	LCI (kg/หน่วย)
คอมพิวเตอร์	6.30	kg	1.09E-05

ผลจากการติดตั้งเพาเวอร์เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในวันทำการปกติ เวลา 8.30-16.30 น. ช่วงเดือน พฤษภาคม - มิถุนายน พ.ศ. 2562 จำนวน 30 วัน พบว่าอาคารมีความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา ดังตาราง 48

ตาราง 49 ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของอาคารต้นแบบ

Time	ความต้องการ ไฟฟ้า (kW)	Time	ความต้องการ ไฟฟ้า (kW)	Time	ความต้องการ ไฟฟ้า (kW)	Time	ความต้องการ ไฟฟ้า (kW)
8:30	10.82	10:35	11.72	12:40	13.08	14:45	10.05
8:35	10.51	10:40	14.35	12:45	13.99	14:50	10.25
8:40	10.90	10:45	13.07	12:50	11.78	14:55	10.07
8:45	10.63	10:50	13.61	12:55	13.21	15:00	10.23
8:50	9.74	10:55	11.26	13:00	14.74	15:05	10.30
8:55	13.11	11:00	14.18	13:05	14.66	15:10	10.10
9:00	13.82	11:05	16.61	13:10	14.78	15:15	10.08
9:05	14.84	11:10	12.10	13:15	14.74	15:20	9.90
9:10	12.18	11:15	12.30	13:20	14.02	15:25	10.09
9:15	11.92	11:20	14.38	13:25	13.67	15:30	9.04
9:20	12.55	11:25	14.80	13:30	13.57	15:35	8.99
9:25	12.28	11:30	15.18	13:35	13.93	15:40	10.39
9:30	12.31	11:35	12.44	13:40	13.69	15:45	14.00
9:35	10.41	11:40	11.31	13:45	13.37	15:50	13.76
9:40	10.21	11:45	13.98	13:50	12.07	15:55	10.69
9:45	10.40	11:50	13.82	13:55	11.58	16:00	10.62
9:50	10.13	11:55	13.97	14:00	11.47	16:05	9.43
9:55	9.01	12:00	11.98	14:05	11.72	16:10	8.35
10:00	8.49	12:05	13.79	14:10	11.26	16:15	8.78
10:05	10.78	12:10	15.28	14:15	11.19	16:20	8.99
10:10	10.90	12:15	12.58	14:20	11.26	16:25	9.07
10:15	13.14	12:20	12.05	14:25	11.33	16:30	9.25
10:20	12.99	12:25	14.01	14:30	10.01		
10:25	13.76	12:30	14.73	14:35	10.03		
10:30	12.61	12:35	12.97	14:40	9.91		

บทความวิจัย เรื่องที่ 1

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

ประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา
กรณีศึกษา: อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Potential and Cost-Effectiveness Evaluation of Solar Rooftop System
Case Study: Faculty of Industrial Technology Office Building Chiang Rai
Rajabhat University

ชัชชัย วรพัฒน์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และปรเมษฐ์ สิทธิสันต์
Chatchai Vorapat, Surat Sedpho* and Poramate Sittisun

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
โทร 0882667441 E-mail: sedpho@gmail.com
School of Energy and Environment, University of Phayao 19 Moo 2, Maeka, Muang, Phayao 56000

Received: August 25, 2021; Revised: December 03, 2021; Accepted: December 15, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาขนาดกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน (Base Load) ของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และหาจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง จากการออกแบบและจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าขนาดกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมอยู่ที่ 9.60 kW_p สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 7.22 kW โดยในปีแรกระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,222 หน่วย และตลอดระยะเวลา 25 ปี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 287,890 หน่วย สามารถลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าลงได้ 1,047,556 บาท มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 695,702 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 6.70 ปี

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์, การใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน, ระยะเวลาคืนทุน

Abstract

This research aimed to study installed capacity and cost-effectiveness for grid-connected solar rooftop system along with base load demand of Faculty of Industrial Technology. It was found that the suitable of installed power around 9.60 kW_p which could generate a maximum power of 7.22 kW. In the first year, the system could generate 12,222 units or approximately 287,890 units entire the lifetime project of 25 years which can reduce electricity consumption cost around 1,047,556 Baht. Solar rooftop project showed the net present value and pay-back time of 695,702 baht and 6.70 years, respectively.

1. บทนำ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ส่วนใหญ่จะอาศัยแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงจากกลุ่มฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันเตา เป็นต้น ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทย มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล 75% จากการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [1] และการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก ตามไปด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน ดังนั้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงได้มีการกำหนดเป้าหมายในแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (2558 – 2579) ให้มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 6,000 MW ภายในปี พ.ศ. 2579 [2] มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา มีอาคารและสิ่งปลูกสร้าง จำนวน 105 อาคาร ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 22 kV และคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้าแบบ Time of Use Rate (TOU) [3] อาคารส่วนใหญ่เป็นอาคารเรียนและอาคารสำนักงานที่ใช้ในการสนับสนุนการเรียนการสอน ทำให้การดำเนินกิจกรรมภายในอาคาร อยู่ในช่วงเวลากลางวันของวันเวลาทำการปกติ (จันทร์-ศุกร์) ระหว่างเวลา 08.30 - 16.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เป็นการคิดค่าไฟฟ้าแบบ On Peak จึงทำให้มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายมีค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 10 ล้านบาทต่อปี ด้วยเหตุนี้ ในปี พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จึงมีนโยบายในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย โดยการแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเพื่อหาแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร [4]

จากสถานการณ์ข้างต้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคาร เพื่อช่วยลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งในช่วงตอนกลางวัน และหาจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร (Solar Rooftop) โดยทำการเลือกอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเป็นอาคารต้นแบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการลงทุนติดตั้งเซลล์

แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาขนาดกำลังการผลิตติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เหมาะสมตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
2. เพื่อหาจุดคุ้มทุนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เหมาะสมกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

3. ขอบเขตและสมมติฐานงานวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาแบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (On-grid System)
2. ศึกษาโดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก (Polycrystalline) ขนาด 320 วัตต์ต่อแผง
3. ศึกษาความคุ้มค่าของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยใช้ตัวชี้วัดของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และระยะเวลาของการคืนทุน (Payback Period: PB) ซึ่งในการศึกษาความคุ้มค่าจะคิดจากอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก โดยกำหนดให้มหาวิทยาลัยเป็นผู้ลงทุน และเป็นการจ้างเหมาในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ตามระเบียบการจ้างส่วนราชการ
4. การคิดค่าใช้จ่ายระหว่างการดำเนินโครงการ ได้ทำการแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณี คือ
 - กรณีที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ตามระยะเวลารับประกัน 10 ปี สำหรับวิเคราะห์หาความคุ้มค่า โดยคิดตามอัตราค่าใช้จ่ายต่อกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บาทต่อวัตต์
 - กรณีที่ 2 ไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ Inverter ซึ่งในการบำรุงรักษาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ดำเนินการโดยคณะทำงานด้านเทคนิค ที่มีเจ้าหน้าที่ที่เชี่ยวชาญของมหาวิทยาลัยคอยดูแลอย่างใกล้ชิด ดังนั้นจึงกำหนดสมมติฐานให้ไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2564

ตารางที่ 1 สมมติฐานในการศึกษาความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูล	สมมติฐาน
ต้นทุนทั้งระบบ	30 บาทต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง [5]
ค่าบำรุงรักษา	1% ของต้นทุนต่อปี [5]
ประสิทธิภาพของระบบ	75.17% [6]
Peak sun hour (ชั่วโมงการทำงาน)	4.64 ชั่วโมง/วัน [6]
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	
- อายุการใช้งาน	25 ปี [7]
- การลดทอนประสิทธิภาพ	0.5% ต่อปี (เริ่มจากปีที่ 2) [8]-[9]
อินเวอร์เตอร์	
- อายุการใช้งาน	10 ปี ตามระยะเวลาประกันอุปกรณ์ [7]
- ต้นทุน (กรณีเปลี่ยน Inverter ใหม่)	5.125 บาทต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง (จากใบเสนอราคา เดือน พ.ย. 2560)
อัตราค่าไฟฟ้าในระบบ TOU ประเภท 4.2.2 ขนาด 22-33 กิโลวัตต์	
- On-Peak + Ft	4.1839 บาทต่อหน่วย [10]
- Off-Peak + Ft	2.6037 บาทต่อหน่วย [10]
สัดส่วนจำนวนวัน	
- On-Peak : Off-Peak	65.5% : 34.5% (คำนวณสัดส่วนจากจำนวนวันในปี 2561)
อัตราส่วนลด หรืออัตราดอกเบี้ยต่อปี	0.5% [11]

4. วิธีการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 การประเมินกำลังการติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

- เก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในวันเวลาทำการปกติ (จันทร์-ศุกร์) 08.30 – 16.30 น. ของเดือนพฤษภาคม เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพอากาศที่ร้อน ทำให้มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากการใช้เครื่องปรับอากาศช่วยระบายความร้อนภายในอาคาร ดังนั้น จึงเลือกทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารในช่วงเวลาดังกล่าว เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบกำลังติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับช่วงที่มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าของอาคารมากที่สุด และการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารช่วงเวลาทำงานปกติ อาคารต้องไม่มีการดำเนินกิจกรรมอื่น ๆ ใดเพิ่มเติม

- ทำการวัดขนาดพื้นที่จริงของหลังคาอาคารสำนักงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่หันไปทางทิศใต้ และไม่มีสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้บังเงา เพื่อหาขนาดพื้นที่ที่สามารถติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้

- คำนวณหาลำดับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานของอาคารสำนักงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากสมการที่ (1) [12]

$$P_p = \frac{P_{Base} \times 100\%}{\eta_{Sys}} \quad (1)$$

โดย P_p คือ กำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

P_{Base} คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าพื้นฐาน (kW)

η_{Sys} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เปอร์เซ็นต์ (%)

4.2 วิเคราะห์การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐาน

- พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อปี จากสมการที่ (2)

$$E_S = P_p \times \eta_{Sys} \times hr \times 365 \quad (2)$$

โดย E_S คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/ปี)

P_p คือ กำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

η_{Sys} คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เปอร์เซ็นต์ (%)

hr คือ ชั่วโมงการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (ชั่วโมง/วัน)

4.3 ประเมินความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคา

การประเมินหาต้นทุนต่อผลตอบแทนจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าจากผลตอบแทนเพื่อช่วยในการตัดสินใจที่จะลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารสำนักงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยจะพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และระยะเวลา คืนทุน (Payback Period: PB) ซึ่งได้กำหนดข้อสมมติฐานในการศึกษาความคุ้มค่า ดังตารางที่ 1 มาใช้ในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (PVB) และมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายของโครงการ (PVC) จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารต้นแบบ เพื่อให้เห็นว่าโครงการนั้นให้ผลตอบแทนคุ้มค่าต่อการลงทุนหรือไม่ ถ้า NPV มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่ถ้า NPV มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมีค่าติดลบ แสดงว่าเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่า จากสมการที่ (3) [7]

$$NPV = PVB - PVC = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - IIC \quad (3)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

B_n คือ ผลตอบแทนในปีที่ n เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ \times ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)

C_n คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ n เป็นค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ หรือ ค่าบำรุงรักษา (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ยคิดลด (%)

n คือ ระยะเวลาของโครงการ ปีที่ 0, 1, 2, ..., n (ปี)

N คือ อายุของโครงการ (ปี)

TIC คือ เงินลงทุนทั้งหมดตอนเริ่มต้นโครงการ (Total Investment Cost) ณ เวลาปัจจุบัน (บาท)

- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับเงินที่ลงทุนไปเป็นเครื่องมือที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครงการได้ โครงการที่มีระยะคืนทุนที่สั้นจะมีสภาพคล่องสูงและมีค่าความเสี่ยงต่ำ โดยสามารถคำนวณหาค่า PB จากสมการที่ (4) [13]

$$PB = Y_n + \frac{CF_c}{CF_y} \quad (4)$$

โดยที่ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

Y_n คือ จำนวนปีก่อนคืนทุน (ปี)

CF_c คือ กระแสเงินสดที่เหลือ (บาท)

CF_y คือ กระแสเงินสดทั้งปี จากค่าพลังงานไฟฟ้า

(Energy Cost Saving) ของปีที่มีการคืนทุน (บาท/ปี)

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการออกแบบและจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

ผลจากการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารในช่วงวันเวลาทำการปกติ 8.30-16.30 น. ดังรูปที่ 2 พบว่าอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) อยู่ที่ 16.61 kW และมีค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานอยู่ที่ 8.35 kW ดังรูปที่ 3



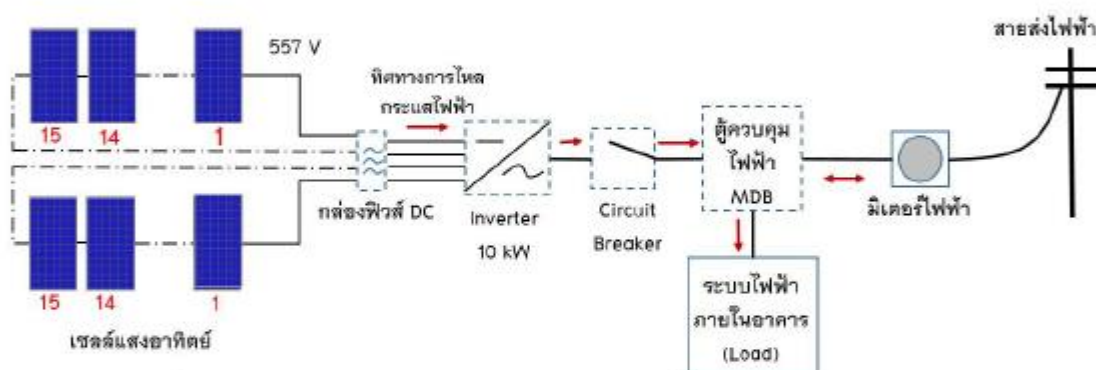
รูปที่ 2 ติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร



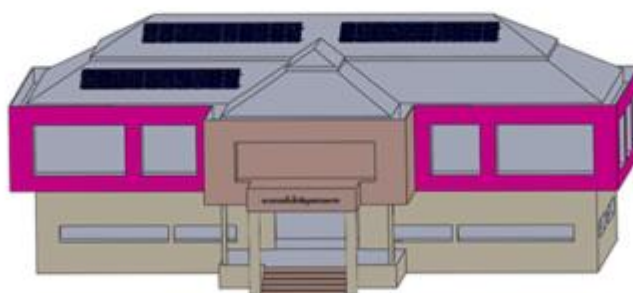
รูปที่ 3 ความต้องการการใช้ไฟฟ้าอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยพิจารณาความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานที่ 8.35 kW มาใช้ในการออกแบบหากลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ที่เหมาะสมกับค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากสมการที่ (1) ผลการคำนวณพบว่าต้องทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดกำลังติดตั้งรวม 11.11 kWp แต่เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ขนาด 11.11 kW ไม่มีในรายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปี 2563 [14] ดังนั้น จึงได้ทำการเลือกใช้

อินเวอร์เตอร์ขนาด 10 kW แบบ 3 เฟส (3 – phase) และใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 320 W 37.12 โวลต์ จำนวน 30 แผง ในการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์ ขนาด 10 kW และทำการเชื่อมต่อแบบ 2 สตริง ๆ ละ 15 แผง มีแรงดัน 557 โวลต์ต่อสตริง ดังรูปที่ 4 ทำให้มีกำลังติดตั้งรวมเป็น 9.60 kW, จากการออกแบบและจำลองการติดตั้ง เซลล์แสงอาทิตย์ตามขนาดและลักษณะพื้นที่หลังคาอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สามารถทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ได้ จำนวน 3 แถว ๆ ละ 10 แผง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 โดอะแกรมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On Grid System)



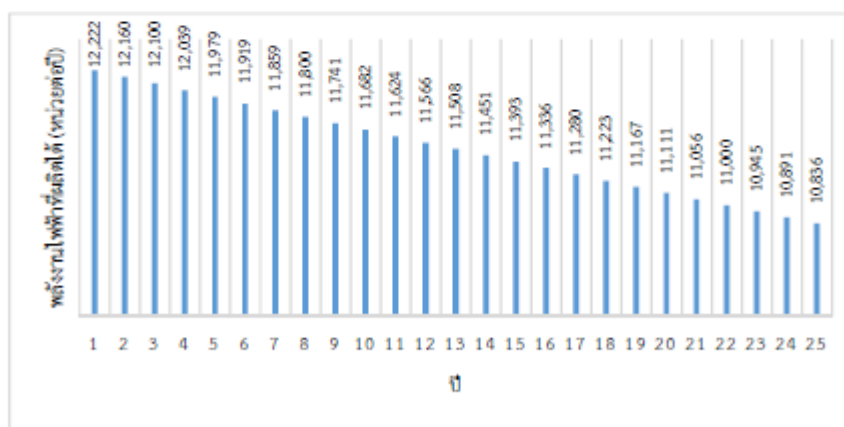
รูปที่ 5 ตำแหน่งการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาหันไปทางทิศใต้

5.2 ผลการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์ จากสมการที่ (2) พบว่าจากการจำลอง การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้งรวม 9.60 kW_p งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยหน่วยต่อปี โดยใช้ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งเท่ากับ 75.17 เปอร์เซ็นต์ [6] ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในหน่วยงานภาครัฐ – มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2560 มาใช้ในการวิเคราะห์กำลังการผลิตไฟฟ้าจากการจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา และใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 320 W และเซลล์แสงอาทิตย์มีการลดทอนประสิทธิภาพลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี (เริ่มจากปีที่ 2) ทำให้ในปีแรก ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,222 หน่วยต่อปี และในปีถัดไปค่าประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง ทำให้ในปีที่ 2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,160 หน่วยต่อปี และในปีที่ 25 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 10,836 หน่วยต่อปี ดังรูปที่ 6 ตลอดระยะเวลา 25 ปี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 287,890 หน่วย

5.3 ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี จากรูปที่ 6 มาคำนวณหาผลตอบแทนค่าไฟฟ้าแบบ TOU ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในราคาบาทต่อหน่วยไฟฟ้าจากสัดส่วนของจำนวนวัน On-Peak และ Off-Peak [14] ซึ่งในปีแรกระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,222 หน่วยต่อปี โดยใช้ปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน ซึ่งมีวันทำการปกติ จันทร์-ศุกร์ 239 วัน ช่วงเวลา On-Peak คิดเป็น 65.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 8,005.41 หน่วยต่อปี ลดค่าไฟฟ้าลงได้ 33,493 บาท และวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์ 126 วัน ช่วงเวลา Off-Peak คิดเป็น 34.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 4,216.59 หน่วยต่อปี ลดค่าไฟฟ้าลงได้ 10,978 บาท ทำให้ตลอดทั้งปีสามารถลดค่าไฟฟ้าลงได้เป็นเงิน 44,471 บาท จากการลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง และตลอดระยะเวลา 25 ปี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 287,890 หน่วย เมื่อคิดจากสัดส่วน On-Peak คิดเป็น 65.5 เปอร์เซ็นต์ และ Off-Peak คิดเป็น 34.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าลงได้ 1,047,460.79 บาท



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีและจากการลดทอนของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 0.5 % ตลอดระยะเวลา 25 ปี

รูปที่ 6 ผลการจำลองการผลิตไฟฟ้า จากกำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าในปีแรกระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 12,222 หน่วยต่อปี แต่เมื่อเวลาผ่านไปทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงตามการลดทอนของประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 0.5 % ต่อปี จนถึงปีที่ 25 ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 10,836 หน่วยต่อปี

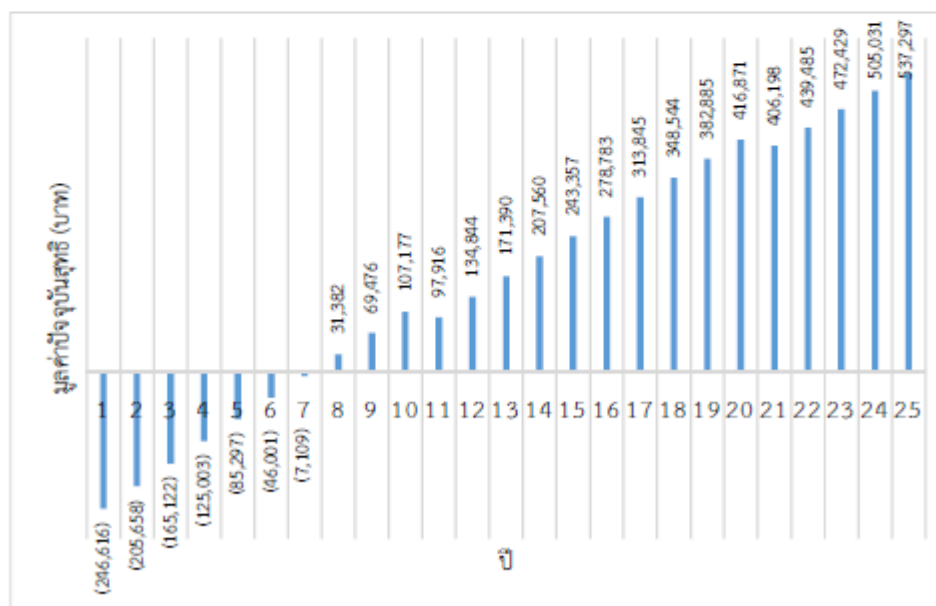
5.4 ผลการประเมินความคุ้มค่า

จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ขนาด 9.60 kW_p โดยคิดค่าติดตั้งทั้งระบบเท่ากับ 30 บาทต่อวัตต์ (จากตารางที่ 1) ทำให้มีต้นทุนเริ่มต้นอยู่ที่ 288,000 บาท ส่วนรายรับคิดจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากระดับทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สูงมาก และเป็นการลงทุนที่ไม่ได้หวังผลกำไรจากโครงการ จึงกำหนดให้มหาวิทยาลัยเป็นผู้ลงทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด และใช้อัตราราคาขายในการคำนวณ เป็นอัตราราคาขายเงินฝาก

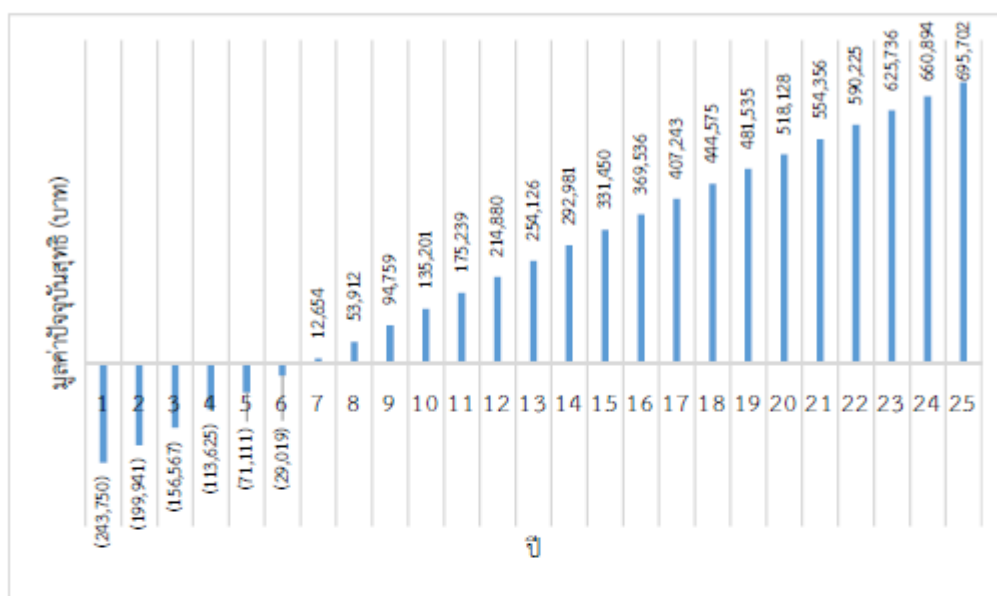
ประเภทลูกค้ารายใหญ่ขึ้นดีเฉลี่ย 0.5% (MLR) ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย ณ ประจำวันที่ 4 มิถุนายน 2564 ในการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากสมการที่ (3)-(4) ได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ต่อกำลังติดตั้ง และค่าเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ 5.125 บาท ต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง โดยทำการเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ตามระยะเวลาครบประกันทุก ๆ 10 ปี พบว่าเมื่อสิ้นสุดโครงการ 25 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) มีค่าเท่ากับ 537,297 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) 7.18 ปี ดังรูปที่ 7

กรณีที่ 2 ไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ Inverter พบว่าเมื่อสิ้นสุดโครงการ 25 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) มีค่าเท่ากับ 695,702 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) 6.70 ปี ดังรูปที่ 8



รูปที่ 7 ผลการประเมินจุดความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร กรณีที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเปลี่ยนอุปกรณ์ Inverter



รูปที่ 8 ผลการประเมินจุดความคุ้มทุนจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร กรณีที่ 2 ไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและเปลี่ยนอุปกรณ์ Inverter

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการออกแบบและจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าพื้นฐานขนาด 8.35 kW ของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม พบว่ากำลังติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมที่ 9.60 kW_p ทำให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 7.22 kW และในปีแรกระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12,222 หน่วยต่อปี ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าของอาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมลงได้ 44,471 บาท และจากการลดทอนประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 0.5 เปอร์เซ็นต์ต่อปี ทำให้ในปีที่ 25 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 10,836 หน่วยต่อปี ลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าลงได้ 39,430 บาท และตลอดระยะเวลาอายุของโครงการที่ 25 ปี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 287,890 หน่วย ทำให้ลดค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าลงได้ 1,047,556 บาท

จากการศึกษาความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้ทำการแบ่งการประเมินออกเป็น 2 กรณี ในกรณีแรก มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ Inverter มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 537,297 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) 7.18 ปี ส่วนกรณีที่สอง ไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการเปลี่ยนอุปกรณ์ Inverter มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 695,702 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) 6.70 ปี เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษามีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อปี พบว่าทั้งสองกรณีมีระยะเวลาคืนทุนแตกต่างกันไม่มาก ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาความคุ้มทุนของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ พบว่าการในกรณีที่ 2 มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่ากรณีแรก ประมาณ 158,405 บาท

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Energy Consumption Statistics. [Online]. (2021). [Cited March 9, 2021] Available: <https://www.dede.go.th>
- [2] Chiang Rai Rajabhat University. Energy Conservation. [Cited March 9, 2021] Available: <https://buildings.crru.ac.th>
- [3] Chiang Rai Rajabhat University. Database System for Buildings Chiangrai Rajabhat University Buildings. [Cited October 10, 2020] Available: <http://map.crru.ac.th>
- [4] C. Pholnak J. Waewsak S. Cheewamongkolkarn and P. Nutongkaew, "Efficiency Evaluation of 3 kW Photovoltaic Rooftop and Grid Connected System by Using PVsyst Programmed ModelingSimulation," Thaksin University Journal, Special Edition, Vol.20 (27) 2017 (in Thai).
- [5] T. Tantisattayakul P. Rassameethammachote and M. Auisakul "Energy, Environmental and Economic Assessment of Solar Rooftop Systems on Buildings of Thammasat University, Rangsit Centre." Thai Science and Technology Journal, Vol. 25, No. 6, Nov. – Dec. 2017 (in Thai).
- [6] Chiang Rai Rajabhat University. Final Report of Alternative Energy Encouragement in Government Sector-Chiangrai Rajabhat University. [Cited March 2021] (in Thai).
- [7] P. Piriyasatta "Using Photovoltaic System on The Faculty of Architecture's Building Rooftop in Khon Kaen University for Energy Conservation." Academic Journal: Faculty of Architecture, Khon Kaen University, Vol. 15, pp. 183 – 200. Jan. – Jun. 2559 (in Thai).
- [8] K. Chaivanich S. Sedpho N. Yaiwong, "Analysis and Development of Energy Efficiency of Smart Grid System" Thaksin University Journal, Vol. 22 No. 2, pp. 59-66. July- Dec. 2019 (in Thai).
- [9] T. Tantisattayakul P. Rassameethammachote, and M. Auisakul, "Environmental and Economic Assessment of Solar Rooftop Systems on Buildings of Thammasat University Rangsit Centre." Thai Science and Technology Journal, Vol. 25, No. 6, pp. 1084 – 1099. Nov. – Dec. 2017 (in Thai).
- [10] Provincial Electricity Authority. Electricity tariff. [Online]. (2018). [Cited March 15, 2020] . Available: <https://www.pea.co.th/electricity-tariffs>
- [11] Bank of Thailand. Commercial Bank Loans Interest Rates. [Online]. (2021). [Cited June 4, 2021] . Available: <https://www.bot.or.th>
- [12] A. Padsri K. Konkeaw and A. Intaniwet, "Efficiency and Performance Analysis of a 300 kW Grid-tied Solar Power Generation System," The 3rd Academic Conference, Kasetsart University Sriracha Campus. 30 August 2018 (in Thai).
- [13] N. suwanasang and S. Tongsovit, "An Assessment of the Technical and Economic Potential of Rooftop Solar Systems on Chulalongkorn University's Buildings" Journal of Energy Research, Vol. 12 No. 2, pp. 59-74. July – Dec. (2015) (in Thai).
- [14] Provincial Electricity Authority. PEA Inverter list. [Online]. (2020). [Cited October 15, 2020] Available: <https://www.pea.co.th>

บทความวิจัย เรื่องที่ 2



ที่ อว ๐๖๑๕/๑๒๓๐

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
อ.เมือง จ.กำแพงเพชร ๖๒๐๐๐

๑๔ มีนาคม ๒๕๖๖

เรื่อง ตอบรับการลงบทความใน สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เรียน คุณชัชชัย วรพัฒน์, คุณสุรัตน์ เศษโพธิ์ และคุณนเรศ ใหญ่วงศ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง “ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นตลาดฟ้า กรณีศึกษา : อาคารโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงราย” ซึ่งได้ดำเนินการแก้ไขตามที่ผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ จำนวน ๓ ท่าน เป็นที่เรียบร้อยแล้วนั้น บัดนี้คณะผู้จัดทำวารสาร จะนำบทความดังกล่าวเผยแพร่ใน สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ ๑๐ ฉบับที่ ๑ เดือน มกราคม-มิถุนายน ๒๕๖๖ ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งที่ท่านส่งบทความมาลงวารสารของมหาวิทยาลัยฯ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชญาดา กลิ่นจันทร์)

รองอธิการบดี ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

๑๔ มีนาคม ๒๕๖๖

Signature Code : F๖MSiKXL๑GyOTTnw๘๑Gn



สถาบันวิจัยและพัฒนา

โทร ๐๕๕-๗๒๑๘๗๙ ต่อ ๑๗๖๐

โทรสาร ๐๕๕-๗๐๖๕๑๘

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ชัชชัย วรพัฒน์
วัน เดือน ปี เกิด	12 สิงหาคม 2518
สถานที่เกิด	เชียงราย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2553 ค.ม., (เครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ. 2544 อส.บ., (เครื่องกล) มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล, นครราชสีมา.
ที่อยู่ปัจจุบัน	267/3 หมู่ 14 ตำบลบ้านคู้ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100
ผลงานตีพิมพ์	[1] ชัชชัย วรพัฒน์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และปรเมษฐ์ สิทธิสันต์. (2564). ประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษา: อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.วารสารวิชาการเทปสตรี I-TECH, 16(2), 117-126. [2] ชัชชัย วรพัฒน์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และนเรศ ใหญ่วงศ์. (2566). ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า กรณีศึกษา : อาคารโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. ลักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 10(1), (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)
รางวัลที่ได้รับ	-