การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้า
บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

พันโทการุณย์ ชัยวณิชย์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ตุลาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้า
บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

พันโทการุณย์ ชัยวณิชย์

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ตุลาคม 2562

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS REDUCTION USING POWER MANAGEMENT ON SMART GRID NETWORKS

LIEUTENANT COLONELKARUN CHAIVANICH

A DissertationSubmitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Doctor of Philosophy Degree in Energy Management and Smart Grid Technology

October 2019

Copyright 2019 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้า

บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ของ พันโทการุณย์ ชัยวณิชย์

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ)

.... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์)

.... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ณภัทร จักรวัฒนา)

.... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร. ฉัตรแก้ว ชัยลือชา)

.... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา

(ดร. ปรเมษฐ์ สิทธิสันติ์)

.... ผู้ทรงคุณวุฒิ

(ดร. สุลักษณ์ สุมิตสวรรค์)

.... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ผู้วิจัย: พันโทการุณย์ ชัยวณิชย์, วิทยานิพนธ์: ปร.ด. (การจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562

อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร. สุรัตน์ เศษโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ณภัทร จักรวัฒนา ดร.ฉัตรแก้ว ชัยลือชา

คำสำคัญ การจัดการไฟฟ้า, สมาร์ตกริด, พลังงานสะสม, ก๊าซเรือนกระจก, เซลล์แสงอาทิตย์, พลังงานสุทธิ

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการผลิตไฟฟ้า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้านการลดก๊าซเรือนกระจก เศรษฐศาสตร์ ออกแบบการจำลองสถานการณ์ ประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดภายในมหาวิทยาลัยพะเยา ที่มีขนาด 0.5 MW โดยจะทำการประเมินตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุ 20 ปี (ปี 2559 – 2578) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการติดตั้ง 0.5 MW มีค่าเท่ากับ 912,500 kWh/year ต่อผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.2281 kgCO_2eq ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า NPV ที่อัตราดอกเบี้ย 9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี เท่ากับ 1,253,130.17 บาท แสดงให้เห็นว่าคุ้มค่าที่จะลงทุน BCR เท่ากับ 1.03 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้คุ้มค่าที่จะลงทุน และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 8.08 ปี พลังงานสะสม เพื่อผลิตไฟฟ้า 1 kWh (3.6 MJ) เท่ากับ 2.251 MJ โดยเซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานสะสมมากที่สุด 2.234 MJ หรือคิดเป็นสัดส่วน 99.24 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานสุทธิเท่ากับ 1.349 ซึ่งบ่งบอกว่าระบบสมาร์ตกริดมีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี ดังนั้น การบำรุงรักษาระบบเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นจาก 20 ปี เป็น 25 ปี สามารถลดพลังงานสะสมลงได้ 14.17 เปอร์เซ็นต์ จากการจำลองสถานการณ์ที่ 1 พบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้การจัดการไฟฟ้าโดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 1,027.251 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 12.18 ต่อปี ของการปล่อยก๊าซเรือนทั้งหมดในระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยา ทางด้านเศรษฐศาสตร์จะมีระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 0.09 ปี จากการจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 2,544.61 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 22.61 ต่อปีของการปล่อยก๊าซเรือนทั้งหมดของมหาวิทยาลัยพะเยา ด้านเศรษฐศาสตร์จะมีระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 8.09 ปี แบบมหาวิทยาลัยลงทุน และถ้าแบบบริษัทเอกชนลงทุนสามารถประหยัดมูลค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบเท่าปัจจุบันเท่ากับ 18,547,708.65 บาทต่อปี

Title: ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS REDUCTION USING POWER MANAGEMENT ON SMART GRID NETWORKS

Author: Lieutenant ColonelKarun Chaivanich, Dissertation: Ph.D. (Energy Management and Smart Grid Technology), University of Phayao, 2019

Advisor: Dr. Surat Sedpho Co-advisor Dr.Napat Jakrawatana Dr.Chatkaew Chailuecha

Keyword Energy Management, Smart Grid, Cumulative Energy Demand, Greenhouse Gas, Photovoltaic, Net Energy Value

ABSTRACT

This research aims to evaluate the potential of electric energy generation, the environmental impact of greenhouse gas reduction on economics, and the simulation of scenario designing. The evaluation of greenhouse gas reduction was done by managing the electricity on the Smart Grid network in University of Phayao with a capacity of 0.5 MW. It will be evaluated throughout the lifetime of the solar cell, which is 20 years (2016 – 2035). The electric power produced from the solar cell system for the installation capacity of 0.5 MW is equal to 912,500 kWh/year. The greenhouse gas emission of 1 kWh of electricity produced is 0.2281 kgCO_2eq. In economics, it was found that the Net Present Value (NPV) with an interest rate of 9% per year is equal to 1,253,130.17 baht, indicating that it is worth investing since the Benefit-Cost Ratio (BCR) is equal to 1.03, which is worth more than 1. Therefore, it is worth investing with a payback period of 8.08 years. The cumulative energy for electricity generation of 1 kWh (3.6 MJ) is 2.251 MJ. Solar cells have the most cumulative energy with 2.234 MJ or 99.24 percent and the net energy value is 1.349 which indicates that Smart Grid systems have good energy efficiency. Therefore, this showed that maintaining the system for a longer service life from 20 years to 25 years can significantly reduce the accumulated energy by 14.17%. From the simulation scenario 1, it was found that the amount of greenhouse gas emissions by using electricity management by installing air conditioning control systems reduced greenhouse gas emissions to 1,027.251 tonCO_2/year or 12.18% per year of the total greenhouse gas emissions in the air conditioning system University of Phayao. In economics, the payback period is 0.09 years. It is based from the simulation scenario 2 by installing a 2 MW solar power generation system that reduced the greenhouse gas emission by a total of 2,544.61 tonCO_2/year or 22.61% peryear of the total greenhouse gas emissions from University of Phayao. In economics, there is a payback period of 8.09 years, which the university invested in. Similarly, if a private company invests, it can save the electricity cost that is equivalent to 18,547,708.65 baht peryear.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นตามความตั้งใจของผู้เขียนได้ เนื่องจากความเมตตาและกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณทั้งสามท่าน ท่านแรกขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาเป็นอย่างสูงจากท่านอาจารย์ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์ ที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ในการรับเป็นที่ปรึกษาที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการหาหัวข้อวิทยานิพนธ์และแนวทางการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยกำกับติดตามดูแล และให้คำแนะนำการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ท่านที่สองขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ดร. ฉัตรแก้ว ชัยลือชา ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาและเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำที่ปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบความเรียบร้อยและข้อแนะนำในการแก้ไขความถูกต้องตามหลักวิชาการ ท่านที่สามขอกราบขอบพระคุณ ดร.ณภัทร จักรวัฒนา ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมล แซ่เฮง พิสิษฐ์สังฆการ ที่กรุณาให้การสนับสนุนข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์รวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ปรเมษฐ์ สิทธิสันติ์ ที่ช่วยแนะนำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุลักษณ์ สุมิตสวรรค์ ที่แนะนำข้อมูลและแนวทางการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ขอขอบคุณอาจารย์ในสาขาวิชาทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและช่วยแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จในทุก ๆ ด้าน ขอบคุณนพดล มั่นที่สุด ที่คอยสนับสนุนและประสานงานในการทำวิทยานิพนธ์และขอบคุณพี่น้องทุกรุ่น ทุกท่าน ที่ช่วยเป็นกำลังใจคอยสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์และการเรียนเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอยสนับสนุนการเรียนและคอยให้กำลังใจในวันที่ท้อแท้จนสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ มาได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้กับผู้เขียน

การุณย์ ชัยวณิชย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ญ

สารบัญภาพ .... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ขอบเขตการวิจัย 4

นิยามคำศัพท์เฉพาะ 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 7

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

สมาร์ตกริดเทคโนโลยี (Smart Grid Technology) 8

ระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน 11

การพัฒนาระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด 11

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Generation) 12

ระบบสมาร์ตกริดในมหาวิทยาลัยพะเยา 17

การประเมินวัฏจักรชีวิต 20

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) 32

การวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจก 33

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ 34
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 38
ขั้นสำรวจข้อมูลและรวบรวมข้อมูลความรู้ 39
ศึกษาปัญหาและกำหนดขอบเขตการศึกษา 39
ขั้นการเก็บรวบรวมข้อมูล..46
การจัดทำบัญชีรายการ 46
การวิเคราะห์ข้อมูล 50
การออกแบบจำลองสถานการณ์และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด 52
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..59
การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด 59
การประเมินพลังงานไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) ของระบบสมาร์ตกริด.. 61
การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริด 66
การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์...86
ผลการออกแบบจำลองสถานการณ์ และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด สถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ 88
การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า และประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 94
ผลการออกแบบการจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW 104
ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบมหาวิทยาลัยลงทุน)...112

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบบริษัทเอกชนลงทุน) 116

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบบริษัทเอกชนลงทุน) 117

การเปรียบเทียบการลดลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดจากการจำลองสถานการณ์ 118

บทที่ 5 บทสรุป 120

สรุปผลการวิจัย 120

อภิปรายผลการวิจัย 122

ข้อเสนอแนะ 123

บรรณานุกรม 124

ภาคผนวก 129

ภาคผนวก ก แผนผังอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา 130

ภาคผนวก ข รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา 131

ภาคผนวก ค ข้อมูลอาคารต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา 132

ภาคผนวก ง ข้อมูลชนิด ขนาด และพิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยา 133

ภาคผนวก จ ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยาปี พ.ศ.2561 134

ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในระบบสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh 135

ภาคผนวก ช การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งที่ใช้ในการดำเนินโครงการ 137

ประวัติผู้วิจัย 138

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 การเปรียบเทียบระบบไฟฟ้าในปัจจุบันกับการพัฒนาระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด...........11

ตาราง 2 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000.. 21

ตาราง 3 ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ ในช่วงเวลา 100 ปี ของก๊าซเรือนกระจก 33

ตาราง 4 รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา.................45

ตาราง 5 การออกแบบข้อมูลที่ต้องการในการใช้ประกอบการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบ...........46

ตาราง 6 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการติดตั้งโครงสร้างการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด 48

ตาราง 7 สมมุติฐานในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 51

ตาราง 8 รายละเอียดพื้นที่ดำเนินการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา 52

ตาราง 9 คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริด (พิจารณาตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี) 60

ตาราง 10 ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิ 62

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของระบบเครือข่ายสมาร์ตกริดตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh 63

ตาราง 12 ขั้นตอนหลักการบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ 64

ตาราง 13 ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์พลังงานสะสมของของระบบเครือข่ายสมาร์ตกริด ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปีและ 25ปี ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh.......................66

ตาราง 14 แหล่งที่มาของข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด.........68

ตาราง 15 บัญชีรายการสารขาเข้าสารขาออกของการติดตั้งโครงสร้างการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh 70

ตาราง 16 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการปฏิบัติการบำรุงรักษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh 71

ตาราง 17 บัญชีรายการขนส่งวัสดุการติดตั้งโครงสร้างระบบสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh 75

ตาราง 18 บัญชีรายการขนส่ง วัสดุ อุปกรณ์การบำรุงรักษาของระบบสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh 76

ตาราง 19 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งโครงสร้าง (Construction)ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh 78

ตาราง 20 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการปฏิบัติการ และการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh 79

ตาราง 21 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งการติดตั้งโครงสร้างของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh 80

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh 82

ตาราง 23 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh ในระบบสมาร์ตกริด 83

ตาราง 24 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh ของการขนส่งในระบบ 83

ตาราง 25 สรุปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh 83

ตาราง 26 ข้อมูลเบื้องต้นของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด 86

ตาราง 27 ศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ 87

ตาราง 28 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 87

ตาราง 29 ข้อมูลการตรวจสอบชนิด ขนาด และพิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศ 90

ตาราง 30 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในอาคารต่าง ๆ 91

ตาราง 31 ปริมาณการใช้และการลดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ 92

ตาราง 32 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยา 95

ตาราง 33 การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578 97

ตาราง 34 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระบบปรับอากาศด้วยเทคโนโลยีไร้สาย LoRa 101

ตาราง 35 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าในงานระบบปรับอากาศ............ 102

ตาราง 36 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานการณ์จำลองที่ 1 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578 103

ตาราง 37 ข้อมูลระยะเวลาในการคืนทุน 104

ตาราง 38 คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริด ขนาด 2 MW........................ 105

ตาราง 39 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด 2 MW 106

ตาราง 40 สรุปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงวัฏจักรของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh..... 107

ตาราง 41 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานการณ์ที่ 2 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578... 108

ตาราง 42 รายละเอียดสรุปปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้.......................................112

ตาราง 43 ข้อมูลเบื้องต้นของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด........113

ตาราง 44 ศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์ 113

ตาราง 45 ข้อมูลระยะเวลาในการคืนทุน 114

ตาราง 46 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบมหาวิทยาลัยลงทุน)..115

ตาราง 47 ผลมูลค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบเท่าปัจจุบัน ตั้งแต่ปี 2562-2578............................117

ตาราง 48 รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา..............131

ตาราง 49 ข้อมูลอาคารต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา 132

ตาราง 50 ข้อมูลชนิด ขนาด และพิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยา............ 133

ตาราง 51 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา ปี พ.ศ.2561 134

ตาราง 52 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์................................. 135

ตาราง 53 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์ 135

ตาราง 54 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของขั้นตอนการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง 136

ตาราง 55 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ชั่วโมงการทำงานและการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของอุปกรณ์ไฟฟ้า 137

มหาวิทยาลัยพะเยา UNIVERSITY OF PHAYAO

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 โครงสร้างของระบบที่ติดตั้งระบบสมาร์ตกริดที่ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 3

ภาพ 2 อาคารในมหาวิทยาลัยพะเยา 5

ภาพ 3 ระบบสมาร์ตกริด 9

ภาพ 4 ระบบไฟฟ้า (Power System)... 10

ภาพ 5 ระบบไฟฟ้าแบบสายส่งกับระบบสมาร์ตกริด 11

ภาพ 6 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย 13

ภาพ 7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 14

ภาพ 8 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน Monocrystalline Silicon Solar Cell 15

ภาพ 9 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน Polycrystalline Silicon Solar Cell......................... 15

ภาพ 10 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก Amorphous Silicon Solar Cell.. 16

ภาพ 11 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)... 17

ภาพ 12 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา... 18

ภาพ 13 อุปกรณ์หลักของระบบการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา 19

ภาพ 14 ส่วนประกอบที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา 20

ภาพ 15 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตามขั้นตอน ISO 14040 (2006)................................ 22

ภาพ 16 การกำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา.. 23

ภาพ 17 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate 25

ภาพ 18 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave 26

ภาพ 19 การกำหนดขอบเขตแบบ Gate to Gate 26

ภาพ 20 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to cradle......27
ภาพ 21 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment ; LCIA)...... 31
ภาพ 22 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย......38
ภาพ 23 ขอบเขตของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด......40
ภาพ 24 เซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น ND-AA250...... 41
ภาพ 25 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter; SMA รุ่น STP25000TL-30)......42
ภาพ 26 ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งบนหลังคา......42
ภาพ 27 ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งบนพื้นดินหรือพื้นระนาบ......43
ภาพ 28 ขอบเขตการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 43
ภาพ 29 ขอบเขตพื้นที่ดำเนินการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์......44
ภาพ 30 ขอบเขตพื้นที่ดำเนินการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริต......45
ภาพ 31 การจัดทำบัญชีรายการ......47
ภาพ 32 ขั้นตอนการออกแบบสถานการณ์จำลองการลดก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริด......53
ภาพ 33 ระบบควบคุมระบบปรับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa......56
ภาพ 34 ลักษณะการระบบควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa ตามอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา......56
ภาพ 35 คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด......60
ภาพ 36 ระยะทางจากโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น บรรทุกไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ระยะทาง 3,385 กิโลเมตร......73
ภาพ 37 ระยะทางจากท่าเรือ แหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี บรรทุกไปยัง มหาวิทยาลัยพะเยา ระยะทาง 791 กิโลเมตร......74
ภาพ 38 ระยะทางจาก อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา บรรทุกไปยัง มหาวิทยาลัยพะเยา......74
ภาพ 39 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายอุปกรณ์ต่าง ๆ ของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh......85

ภาพ 40 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟของมหาวิทยาลัยพะเยาปี 2561 88

ภาพ 41 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในมหาวิทยาลัยพะเยา 89

ภาพ 42 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน ปี พ.ศ.2559 – 2578 98

ภาพ 43 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นใน ปี พ.ศ.2559 – 2578 99

ภาพ 44 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี 2561 100

ภาพ 45 การเปรียบเทียบการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดที่เกิดขึ้นในปี 2558–2578 119

ภาพ 46 แผนผังอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา.. 130

ภาพ 47 กราฟแสดงการใช้ปริมาณไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยาปี พ.ศ.2561 134

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เป็นปัญหาสำคัญที่กำลังส่งผลกระทบไปทั่วโลก (จรีวรรณ จันทร์คงและคณะ, 2562) และได้ทวีความรุนแรงและส่งผลกระทบแทบทุกพื้นที่ เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งจากการแข่งขันทางเศรษฐกิจและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก ซึ่งก่อให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อตอบสนองความต้องการของประชากรของแต่ละประเทศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงมากขึ้น กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases; GHG) มีสาเหตุหลักจากการเผาไหม้รูปแบบต่าง ๆ เช่น การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น (ยุทธพงศ์ พันธุ์มณีและคณะ, 2556) นำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ส่งผลให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศใกล้ผิวโลก น้ำในมหาสมุทร เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในอากาศ ดังนั้น ปัญหาโลกร้อนจึงเป็นปัญหาของโลกที่ทุกประเทศต้องร่วมมือกันแก้ไข โดยการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและกักเก็บเอาก๊าซเรือนกระจกไม่ให้ปล่อยออกสู่บรรยากาศ ดูดซับเอาก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในบรรยากาศเก็บไว้ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559)

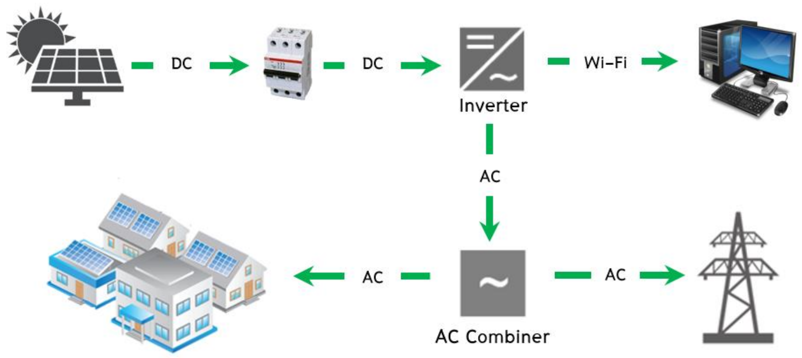
ปัจจุบันในหลายประเทศทั่วโลกได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้ร่วมมือกันหาวิธีการที่จะช่วยแก้และบรรเทาปัญหาของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้น โดยได้รวมกันเพื่อดำเนินการภายใต้การประชุมรัฐภาคีกรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 21 หรือ Conference of the Parties ครั้งที่ 21 (COP21) เพื่อสร้างข้อตกลงร่วมกันระหว่างภาคีสมาชิกเป้าหมายหลัก คือ เป็นการเจรจาตกลงเพื่อให้ภาคีสมาชิกเห็นพ้องต้องกันในการกำหนดเป้าหมายเพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกไม่ให้เกิน 2 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับยุคก่อนพัฒนาอุตสาหกรรม และประเทศไทย คือ หนึ่งในภาคีสมาชิกที่ได้ลงนาม

ให้ความร่วมมือ COP21 โดยแสดงเจตจำนงในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายในปี ค.ศ. 2030 ให้ได้ 20-25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซเรือนกระจกในปี ค.ศ.2009 และการประชุม COP21 ยังเน้นถึงข้อตกลงความร่วมมือในการสนับสนุนประเทศที่ประสบภัยในการปรับตัวเข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน เพิ่มความสามารถในการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเพื่อพัฒนาอย่างยั่งยืน ข้อตกลงปารีสเป็นพื้นฐานทางนิตินัยของโลกเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ

ปัจจุบันกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ได้เพิ่มปริมาณการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญชนิดอื่น ๆ มากขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่งผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสูงขึ้นตามปริมาณความต้องการการใช้ไฟฟ้า ส่งผลกระทบทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดแนวคิด การจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยการนำการจัดการพลังงานมาร่วมใช้กับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการนำระบบควบคุมการทำงานและสั่งการมาบริหารจัดการไฟฟ้า (สมพล โคศรี, 2554) ซึ่งการบริหารจัดการเป็นส่วนที่สำคัญมากที่สุดในกระบวนการจัดการด้านพลังงาน และการประหยัดพลังงานนับเป็นผลลัพธ์ของการจัดการด้านพลังงาน (กฤษณะ วิวัฒนชีวิน และคณะ, 2560) ส่งผลให้การจัดการไฟฟ้าถูกนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และนำไปสู่การลดการใช้ทรัพยากรเพื่อการผลิตไฟฟ้าในอนาคตได้อย่างยั่งยืน

มหาวิทยาลัยพะเยาได้นำระบบสมาร์ตกริดเข้ามาบริหารจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ในการขอรับการจัดสรรเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานปีงบประมาณ 2557 โดยมีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อมเป็นผู้บริหารโครงการวัตถุประสงค์ของการดำเนินโครงการ เพื่อติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการติดตั้งรวม 0.5 MW ต่อเข้าสู่ระบบจำหน่ายสายส่งของมหาวิทยาลัยเพื่อใช้เองภายในหน่วยงานมหาวิทยาลัยพะเยาและบริหารจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar PV Rooftop) อาคารเรียนกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บนหลังคาโรงจอดรถ (Car Parking) ของคณะพลังงานและ

สิ่งแวดล้อม ติดตั้งบนหลังคาอาคารศูนย์ควบคุมระบบบริหารจัดการการใช้ฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Control Building) บนหลังคาอาคารบ้านดิน และบนพื้นดิน (Ground Mounted) มีโครงสร้างของระบบที่ติดตั้งระบบสมาร์ตกริดที่ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีอุปกรณ์หลักในระบบประกอบไปด้วย โครงสร้างรองรับแผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ กล่องรวมสายไฟ และระบบแสดงผล ดังภาพ 1



ภาพ 1 โครงสร้างของระบบที่ติดตั้งระบบสมาร์ตกริดที่ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

การจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยาเป็นการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด มีกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 0.5 MW ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารงานจัดการไฟฟ้า ความมั่นคงระบบกำลังไฟฟ้า สามารถจ่ายให้โหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดต้นทุนการใช้ไฟฟ้าและการใช้เชื้อเพลิงจากทรัพยากรธรรมชาติลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สามารถผสมผสานแหล่งกำเนิดพลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิมเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นพลังงานทดแทนเพื่อรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในอนาคต ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาการประเมินการผลิตไฟฟ้า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดก๊าซเรือนกระจกตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต เศรษฐศาสตร์ของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา พร้อมทั้งออกแบบการจำลองสถานการณ์ และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของระบบการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินการผลิตไฟฟ้า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

2. เพื่อออกแบบการจำลองสถานการณ์และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ขอบเขตการวิจัย

1. ประเมินระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยการประมาณการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด และวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) ของระบบสมาร์ตกริด

2. พื้นที่ศึกษาของการวิจัยนี้ คือ อาคารจำนวน 11 อาคาร ในมหาวิทยาลัยพะเยา ดังภาพ 2

2.1 อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

2.2 อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์และบ้านดิน

2.3 อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์

2.4 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธาโรงจอดรถและศูนย์ควบคุมการบริหารจัดการ

2.5 อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์

2.6 อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ

2.7 อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

2.8 อาคารคณะสหเวชศาสตร์

2.9 อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์

2.10 อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

2.11 อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

3. ประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกและการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของมหาวิทยาลัยพะเยาด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดโดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 0.5MW ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี (ระยะเวลาในการประเมินตั้งแต่ ปี 2559 – 2578) โดยใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในปี 2559 เป็นปีฐานและการวิเคราะห์ประเมินผลกระทบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิต ด้วยโปรแกรม SimaPro วิธี IPCC 2013 GWP 100a

4. ประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยมีขอบเขตช่วงวัฐจักรชีวิตเริ่มตั้งแต่ การผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ (Manufacturing)

การขนส่ง (Transportation) การก่อสร้าง (Construction) และการบำรุงรักษา (Operation and Maintenance)

5. จำลองสถานการณ์และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ภาพ 2 อาคารในมหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: รายงานโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย มหาวิทยาลัยพะเยา, 2560

นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1. ระบบสมาร์ตกริด (Smart Grid) คือ ระบบการจัดการไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น มีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือ มีความปลอดภัย มีความยั่งยืน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถทำให้เกิดขึ้นได้โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารสารสนเทศ (ICT) ระบบเซ็นเซอร์ และระบบเก็บข้อมูล

2. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตลอดช่วงชีวิตของระบบ, ผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งาน การนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

3. ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas; GHG) คือ ก๊าซที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน หรือรังสีอินฟาเรดได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ เมื่อปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นจะสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศส่งผลกระทบทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming)

4. คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) คือ องค์กรระหว่างประเทศชั้นนำด้านการประเมิน เรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ก่อตั้งโดยโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ

5. พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) คือ การใช้พลังงานทั้งพลังงานทางตรง (Direct consumption) ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ และพลังงานทางอ้อม (Indirect consumption) ได้แก่ การใช้วัสดุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่พลังงานแต่ในกระบวนการผลิตวัสดุนั้น มีการใช้พลังงานในการผลิต โดยจะวิเคราะห์ออกมาต่อหน่วยการผลิต เช่น ต่อชิ้น ต่อกล่อง หรือต่อหน่วยไฟฟ้า

6. พลังงานสุทธิ (Net Energy Value; NEV) คือ ตัวชี้วัดทางด้านพลังงานที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ของพลังงานสุทธิของระบบสมาร์ตกริด โดยจะวิเคราะห์ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh

7. ลอรา (Long Range Low Power Wireless Platform; LoRa) คือ ระบบการส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยมีความสามารถในการดีมอดูเลตหลายสัญญาณที่ถูกส่งมาพร้อมกันที่ความถี่เดียวกันได้ โดยใช้ค่าสเปรดแฟกเตอร์ที่แตกต่างกัน ผลของการดีมอดูเลตหลายสัญญาณพร้อมกันที่ความถี่เดียว ทำให้ลอราสามารถรองรับจำนวนอุปกรณ์ไอโอทีได้จำนวนมาก ซึ่งสะดวกต่อการบริหารจัดการ และส่งผลให้วงจรรับ-ส่ง สามารถใช้อุปกรณ์กำเนิดความถี่ที่มีราคาถูกได้

8. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ;NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไปภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (Discount Rate) หรือค่าของทุน (Cost of Capital)

9. อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio ; BCR) คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ที่มีการปรับค่าเวลาให้เป็นปัจจุบันแล้ว ผลตอบแทนจะเกิดขึ้นตลอดอายุของโครงการ ถึงแม้ว่าเมื่อการลงทุนโครงการผ่านพ้นไปแล้ว ในขณะที่ต้นทุนในการก่อสร้างจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงการลงทุนเท่านั้น ส่วนต้นทุนที่อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ตลอดช่วงอายุของโครงการ จากนั้นจึงนำเอา

กระแสผลตอบแทนและกระแสต้นทุนของโครงการที่ได้ทำการปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว นำมาเปรียบเทียบหาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เพื่อหาค่าความเหมาะสมต่อการลงทุน

10. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period ; PB) คือ ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการพอดี เพื่อนำค่าที่ได้มาช่วยในการพิจารณาระยะเวลาของผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายการลงทุน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะเลือกโครงการให้ผลตอบแทนเร็วที่สุด เพื่อลดความเสี่ยง และความไม่แน่นอนของโครงการ การหาระยะคืนทุนที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายการลงทุน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ข้อมูลการประเมินการผลิตไฟฟ้าของการผลิตพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 0.5 MW ของมหาวิทยาลัยพะเยา

2. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการลดก๊าซเรือนกระจกและเศรษฐศาสตร์ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยาตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

3. ออกแบบการจำลองสถานการณ์ และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ผู้วิจัยจะได้ทำการศึกษาทฤษฎีและองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อให้งานวิจัยดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด โดยผู้วิจัยแบ่งหัวข้อการศึกษางานวิจัยดังนี้

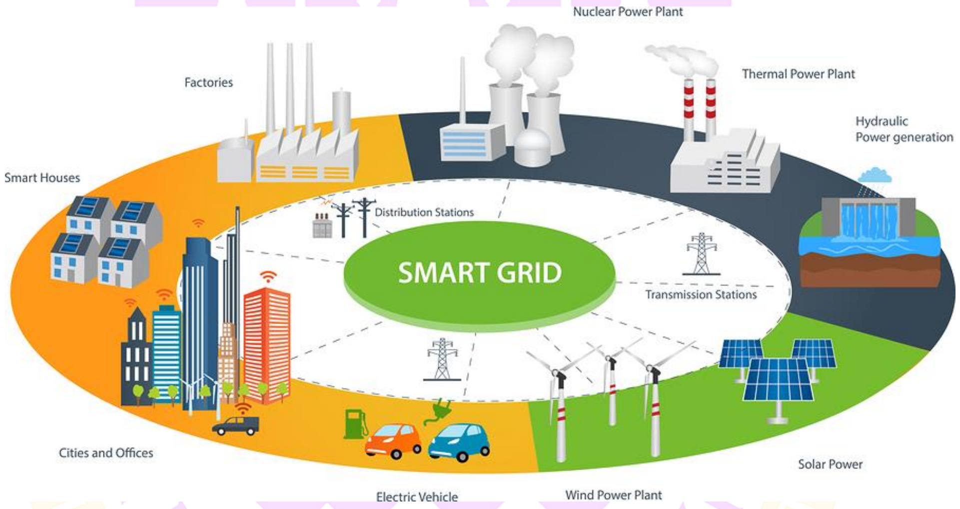
สมาร์ตกริดเทคโนโลยี (Smart Grid Technology)

หลักการทำงานของสมาร์ตกริด เป็นการจัดการให้ระบบไฟฟ้าสามารถตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้น สามารถรับรู้ข้อมูลสถานะต่าง ๆ ในระบบมากขึ้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติ ระบบสมาร์ตกริดประกอบด้วยเทคโนโลยีหลากหลายประเภทซึ่งเข้ามาทำงานร่วมกัน เพื่อจัดการไฟฟ้าจากสายส่งหรือระบบรวมศูนย์สามารถทำงานร่วมกับพลังงานทดแทนที่เป็นแบบกระจายศูนย์ (Bayindir, Colak, Fulli, and Demirtas, 2016) มีการจัดการด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information Communication Technology; ICT) เพื่อใช้ไฟฟ้าอย่างอัตโนมัติได้ตลอดเวลา (Derakhshan, Shayanfar, and Kazemi, 2016) โดยครอบคลุมตั้งแต่การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี ตลอดทั้งห่วงโซ่ของระบบไฟฟ้า ตั้งแต่การผลิตไฟฟ้า การส่งไฟฟ้าการจำหน่ายไฟฟ้า ไปจนถึงภาคส่วนของผู้บริโภค ระบบสมาร์ตกริดยังครอบคลุมไปถึงภาคการขนส่ง เช่น เพื่อให้สามารถรองรับการนำรถยนต์ไฟฟ้าเข้ามาใช้งาน เป็นต้น ความอัจฉริยะเกิดจากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ระบบสารสนเทศ ระบบสื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่าย ดังภาพ 3 ทั้งนี้กระบวนการเหล่านี้จะต้องเกิดขึ้นทั่วทั้งระบบไฟฟ้า คือ ครอบคลุมระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่าย และระบบผู้ใช้ไฟฟ้า กล่าวได้ว่าเป็นการรวมไฟฟ้าและเป็นการจัดการไฟฟ้าให้เป็นหนึ่งเดียวของระบบ (Ellabban and Abu Rub, 2016; Ghasemi, Shayeghi, Moradzadeh, and Nooshyar, 2016) ทำให้ระบบนี้กำลังเข้ามามีบทบาทอย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งโครงข่ายดังกล่าวจะสนับสนุนการทำงานซึ่งกันและกันอย่างเป็นระบบ โดยอาศัยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่

1. อิเล็กทรอนิกส์และระบบฝังตัว (Electronics and Embedded Systems) ระบบนี้จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กแบบฝังตัวติดอยู่ตามจุดต่าง ๆ ในโครงข่ายไฟฟ้า เช่น มิเตอร์ไฟฟ้าแบบดิจิตอล วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ปริมาณการใช้ไฟฟ้า หรือวัดความบกพร่อง (Fault) ในระบบไฟฟ้า

2. ระบบควบคุมอัตโนมัติ (System Control and Automation) คือ การนำคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลสูงหลาย ๆ เครื่อง มาต่อเข้ารวมกันเป็นคอมพิวเตอร์โครงข่าย (Cluster Computer) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวมเอาความสามารถในการประมวลผลของคอมพิวเตอร์มาใช้ในงานที่ต้องอาศัยความละเอียดในการคำนวณที่ซับซ้อนและความเร็วในการประมวลผลที่สูงมาก

3. เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication) มีลักษณะคล้ายคลึงกับอินเตอร์เน็ต ซึ่งมีเราท์เตอร์ (Router) ทำหน้าที่ส่งต่อข้อมูล ตามภาระงาน ตามคุณภาพของบริการ และตามกำลังจากระบบอิเล็กทรอนิกส์และระบบฝังตัวและกลับไปสู่ระบบควบคุมอัตโนมัติ (กระทรวงพลังงาน, 2558)



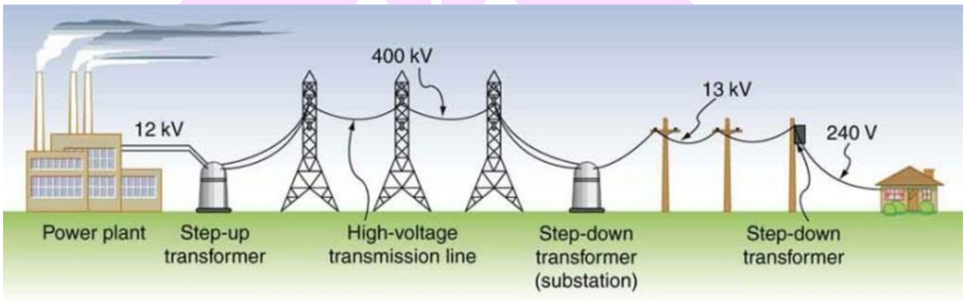
ภาพ 3 ระบบสมาร์ตกริด

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559

การพัฒนาระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด

1. ระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน หน้าที่หลักของระบบไฟฟ้า คือ การส่งไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า โดยระบบผลิตไฟฟ้า (Generation) ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า ที่ผลิตขึ้นมาจะถูกแปลงให้มีความดันไฟฟ้าสูงขึ้นก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบส่งไฟฟ้า (Transmission) โดยให้การไหลของกระแสไฟฟ้าเป็นไปในทิศทางเดียวจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ (Centralized Power System) ระบบไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกแปลงความดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น

เพื่อส่งเข้าสู่ระบบส่งไฟฟ้า (Transmission Network) เพื่อส่งไฟฟ้าในระยะทางไกล เมื่อใกล้ถึงปลายทางไฟฟ้าจะถูกแปลงให้มีแรงดันต่ำลง เนื่องจากเหตุผลด้านความปลอดภัยและจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution Network) ซึ่งจะนำไฟฟ้าไปส่งต่อให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าต่อไป ซึ่งการผลิตไฟฟ้าส่วนมากจะมาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานน้ำ หรือพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น โดยเป็นการผลิตไฟฟ้าที่สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้อย่างแน่นอน ดังภาพ 4



ภาพ 4 ระบบไฟฟ้า (Power System)

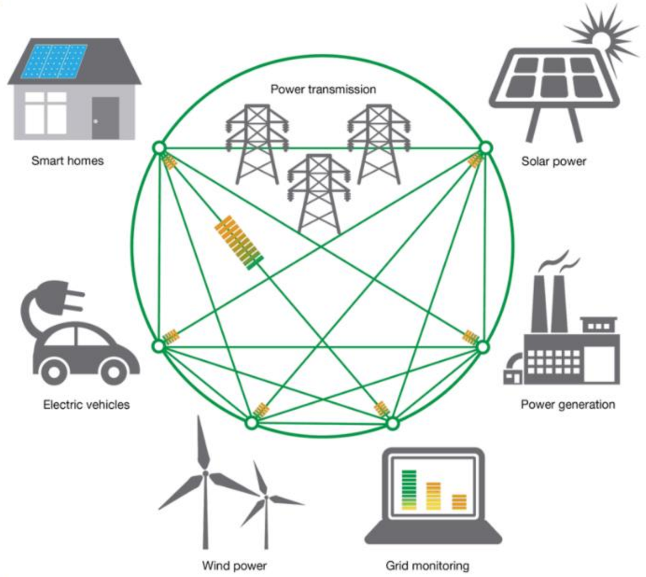
ที่มา: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2557

2. การพัฒนาระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด มีการเปลี่ยนแปลงการผลิตไฟฟ้าทางพลังงานทดแทนให้เป็นการผลิตไฟฟ้าที่มีลักษณะกระจายตัวไม่รวมศูนย์ (Decentralized Power System) และมีจำนวนโรงไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตไม่สูง แต่มีเป็นจำนวนมากและกระจายอยู่ทั่วไป (Distributed generation; DG) ดังตาราง 1 และดังภาพ 5

ตาราง 1 การเปรียบเทียบระบบไฟฟ้าในปัจจุบันกับการพัฒนาระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด

ระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน	การพัฒนาระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด
ออกแบบมาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า	มีการออกแบบให้รองรับแหล่งผลิตไฟฟ้าที่กระจายตัวอยู่ทั่วไป (Distributed Generation) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนบางประเภท เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เป็นต้น
โดยทั่วไปแล้วพลังงานไฟฟ้าจะมีทิศทางการไหลของไฟฟ้าเพียงทิศทางเดียว	มีการออกแบบให้ไฟฟ้าสามารถไหลได้สองทิศทาง รวมถึงการแลก เปลี่ยนข้อมูลสารสนเทศให้สามารถสื่อสารในสองทิศทาง
มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลของระบบไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระดับน้อยมาก	ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถมีบทบาทในการผลิตไฟฟ้า รวมถึงเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับวิถีชีวิตและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559



ภาพ 5 ระบบไฟฟ้าแบบสายส่งกับระบบสมาร์ตกริด

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559

3. ประโยชน์ที่สำคัญของระบบสมาร์ตกริดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

3.1 ประโยชน์ด้านผู้ให้บริการไฟฟ้า จะสามารถบริหารจัดการภาระกำลังไฟฟ้า ที่จ่ายให้โหลดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก สามารถทราบค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง ทำให้มีความสูญเสียน้อย สามารถลดต้นทุนในการสำรองไฟฟ้า และลดปัญหาไฟดับในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก

3.2 ประโยชน์ด้านการเพิ่มความมั่นคงของระบบกำลังไฟฟ้าและการเพิ่มคุณภาพในการให้บริการการรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าในอนาคต

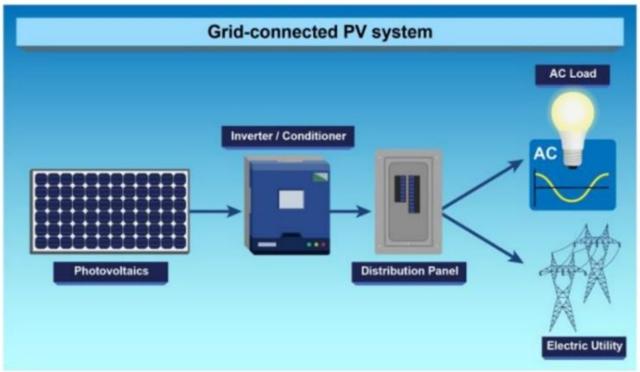
3.3 ประโยชน์ด้านช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงจากทรัพยากรธรรมชาติ ช่วยส่งเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน และการช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.4 สามารถผสมผสานแหล่งกำเนิดพลังไฟฟ้าแบบดั้งเดิมเข้ากับแหล่ง กำเนิดไฟฟ้าที่เป็นพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ได้เนื่องจากระบบมีความชาญฉลาดในการตัดต่อแหล่งพลังงานทดแทนโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมบริหารจัดการเข้ากับระบบส่งกำลังไฟฟ้าเดิมตามสภาวะการใช้งานจริง

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Power Generation)

การผลิตไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ หรือโซล่าเซลล์ (Solar Cell) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยตรง การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนกระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายจะเป็นการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อสายส่งเป็นระบบที่ถูกออกแบบให้ทำงานเมื่อมีไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายเท่านั้น และเมื่อระบบเกิดความผิดปกติหรือระบบจำหน่ายไฟฟ้าเกิดขัดข้อง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะหยุดการจ่ายไฟฟ้าทันที ระบบ Grid Connected จะมีอุปกรณ์ติดตั้ง ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Array) และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

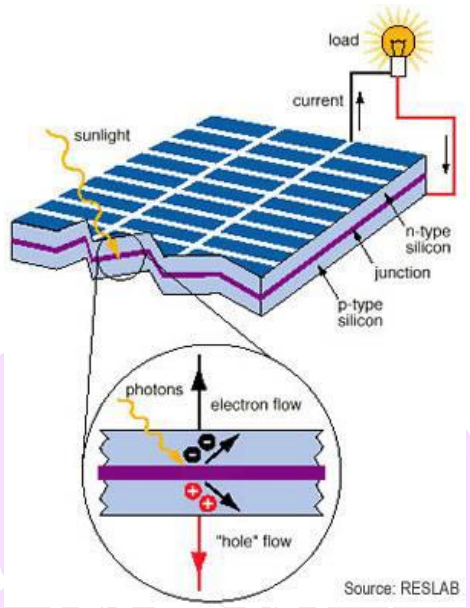
ชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Grid Inverter) ดังภาพ 6 ส่วนประกอบอุปกรณ์ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย มีดังนี้



ภาพ 6 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561

1. เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon) การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ต้องผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โปตอน (Proton) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron)ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้น เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน ดังภาพ 7



ภาพ 7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561

1.1 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนกับการผลิตจากสารประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide) แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) เป็นต้น

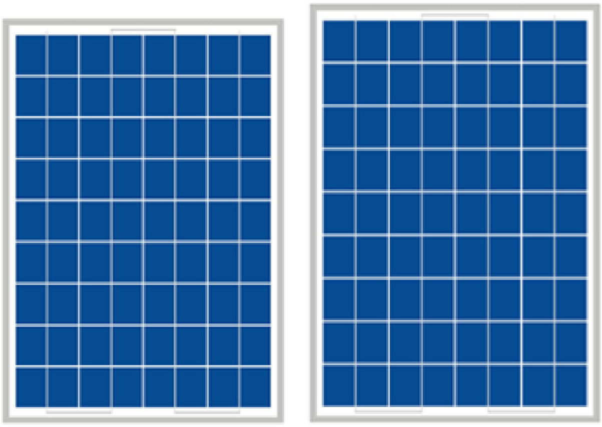
กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้นเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบที่อยู่ในรูปของผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเป็นก้อนผลึก (Bulk) และชนิดฟิล์มบาง (Thin Film) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดก้อนผลึกแบ่งออกเป็นชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน และชนิดผลึกรวมซิลิคอน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2560)

1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell มีประสิทธิภาพประมาณ 15–24 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพ 8 และเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบาง ดังภาพ 9

ภาพ 8 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน Monocrystalline Silicon Solar Cell

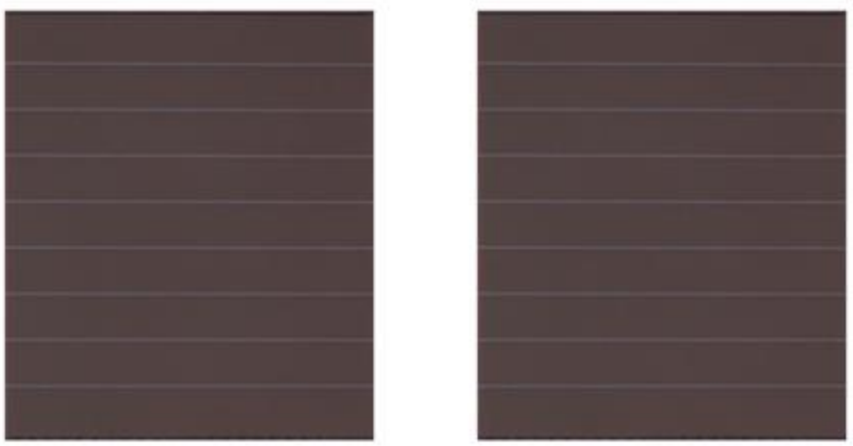
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561



ภาพ 9 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน Polycrystalline Silicon Solar Cell

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561

1.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบาง มีน้ำหนักเบามาก ดังภาพ 10



ภาพ 10 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก Amorphous Silicon Solar Cell

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2561

1.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ เช่น แกลเลียม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น ซึ่งจะมีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้จะมีราคาค่อนข้างสูงกว่า 2 ชนิดข้างต้น โดยส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับกิจการด้านอวกาศ

1.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับการใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้านโดยทั่วไป อินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 H_z ดังภาพ 11 ในระบบวงจรอินเวอร์เตอร์จะรวมเข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and Inverter) ในการใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15-20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมีประสิทธิภาพประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์ เช่น กำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 1 กิโลวัตต์ เป็นต้น

ภาพ 11 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ที่มา: คู่มือปฏิบัติการ Inverter SMA รุ่น STP25000TL-30, 2557

1.4 การคำนวณหาปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559) สามารถคำนวณได้ ดังสมการ 1

$$Electricity_{SmartGrid} = \sum_{i} \left(Power_i \times Work\ hour_i \right) \quad (1)$$

โดยที่

$Electricity_{SmartGrid}$ คือ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริดตลอดวัฏจักรชีวิต (kWh)

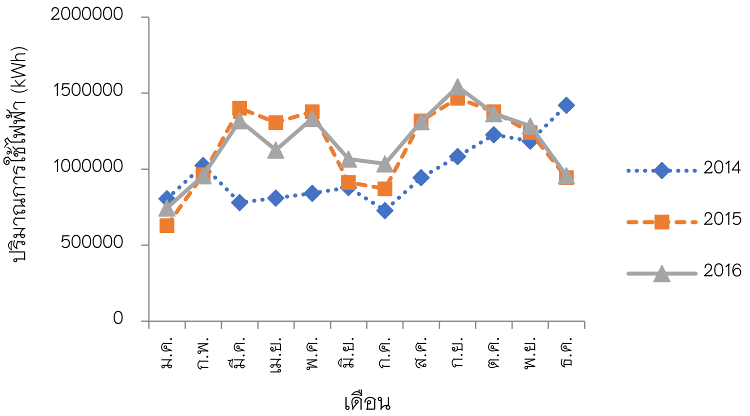
$Power_i$ คือ กำลังการติดตั้งของระบบ i (kW)

$Work\ hour_i$ คือ ชั่วโมงที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในปีที่พิจารณา (ชั่วโมง; 5 ชั่วโมง/วัน จำนวน 365 วัน) (Hour; h) (รายงานโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย มหาวิทยาลัยพะเยา, 2560)

ระบบสมาร์ตกริดในมหาวิทยาลัยพะเยา

มหาวิทยาลัยพะเยาได้นำระบบสมาร์ตกริด เข้ามาบริหารจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นหน่วยงานนิติบุคคลที่มีการซื้อขายไฟฟ้าผ่าน 1 มิเตอร์ไฟฟ้าจากการ

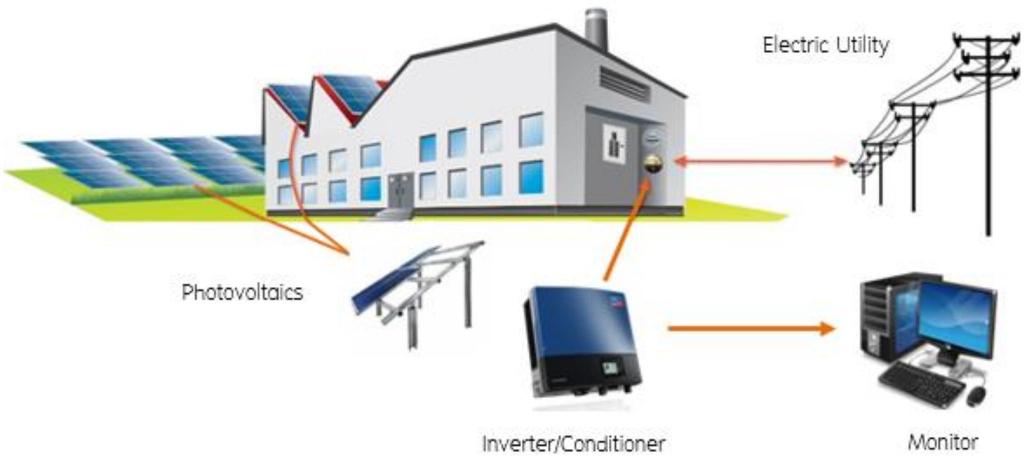
ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Thailand Energy Grid Mix) โดยมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าถึงปีละ 10–12 ล้านหน่วย (kWh) ดังภาพ 12



ภาพ 12 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยพะเยา, 2562

แม้ว่ามหาวิทยาลัยพะเยาจะเป็นหน่วยงานที่มีภาระไฟฟ้าหลักเฉพาะเวลากลางวัน (Daytime Office) มีความเข้มข้นของการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง (High Energy Intensity) และภาระการใช้ไฟฟ้า (Demand Side) สอดคล้องกับรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวัน เป็นไปได้ที่มหาวิทยาลัยจะมีการติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1–4 MW ต่อเชื่อมกับระบบสายส่งในมหาวิทยาลัย ซึ่งจะทำให้มหาวิทยาลัยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 50 – 80 เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์หลักในระบบประกอบไปด้วย โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ กล่องรวมสายไฟ และระบบแสดงผล ดังภาพ 13



ภาพ 13 อุปกรณ์หลักของระบบการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา

1. โครงสร้างและขั้นตอนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา มีดังนี้

1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งบนโครงสร้างรองรับแผง ผลิตไฟกระแสตรงเมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์

1.2 กระแสไฟที่ถูกผลิตออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกรวบรวมไว้ที่อินเวอร์เตอร์

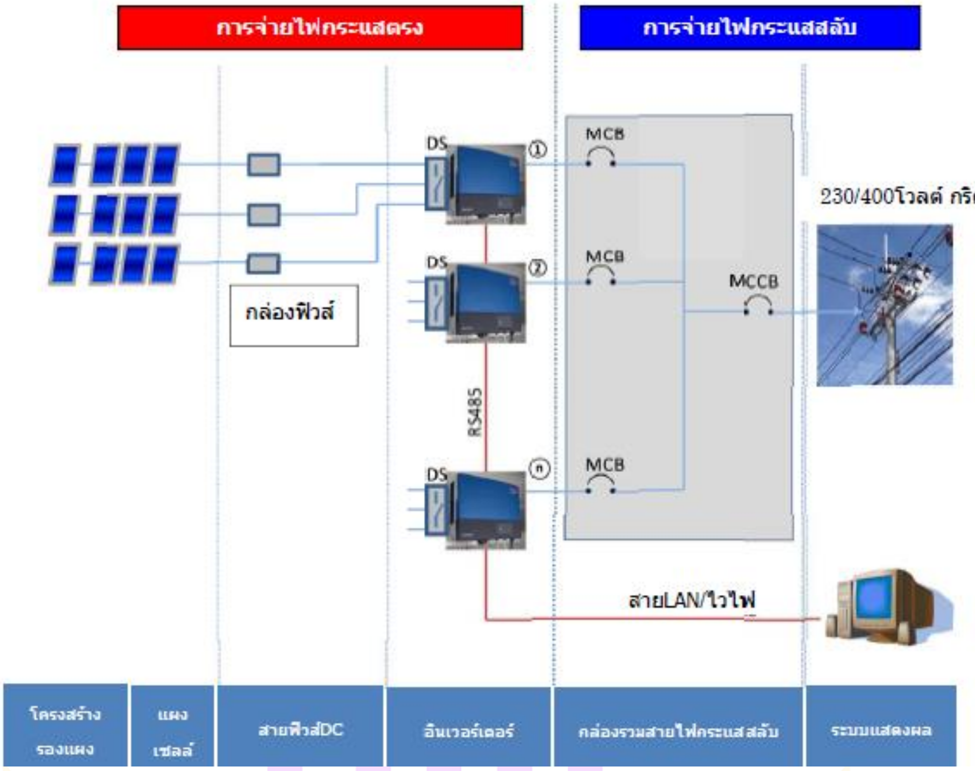
1.3 อินเวอร์เตอร์จะทำการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะ Synchronize กับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า 230โวลต์/400โวลต์

1.4 เมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ หรือระบบใช้งานที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจะถูกตัดลงโดยอุปกรณ์ป้องกันของระบบไฟฟ้า (รีเลย์ป้องกันของอินเวอร์เตอร์)

1.5 ระบบแสดงผลการผลิตไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าปกติจะแสดงผลการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด และสภาวะของสภาพอากาศด้วยระบบมอนิเตอร์ริ่งคอมพิวเตอร์

2. ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดเพื่อใช้ทดแทนพลังงานไฟฟ้าจาก

ระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา ดังภาพ 14



ภาพ 14 ส่วนประกอบที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา

ที่มา: รายงานโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย มหาวิทยาลัยพะเยา, 2560

การประเมินวัฏจักรชีวิต

องค์การมาตรฐานสากลหรือองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization; ISO) ซึ่งได้นิยามความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040-14044 ดังตาราง 2

มหาวิทยาลัยพะเยา UNIVERSITY OF PHAYAO

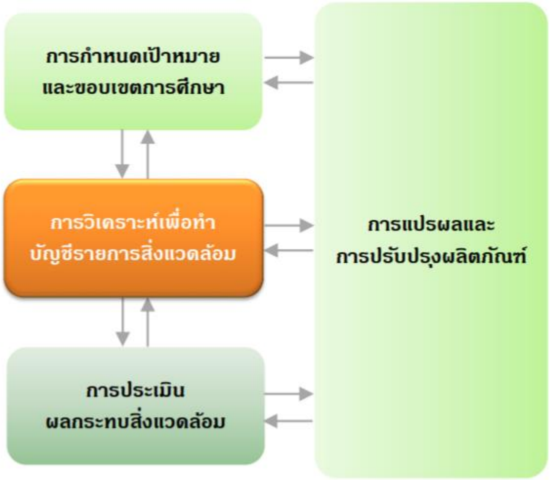
ตาราง 2 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14000

มาตรฐานเลขที่	หัวข้อ
ISO 14001/4	Environmental Management System
ISO 14010-14012	Environmental Auditing
ISO 1431	Environmental Performance Evaluation
ISO 14020-14024	Environmental Labeling
ISO 14040-14044	Life Cycle Assessment
ISO 14050	Term and Definitions
ISO 14062	Design for Environment
ISO 14063	Environmental Communication

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัมภัตตะกุล การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์, 2012

2. หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน ซึ่งดำเนินการตามมาตรฐาน ISO 14040 ได้แก่ (1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition) (2) การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis; LCI) (3) การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment; LCIA) และ (4) การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation) ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ดังภาพ 15



ภาพ 15 หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตตามขั้นตอน ISO 14040 (2006)

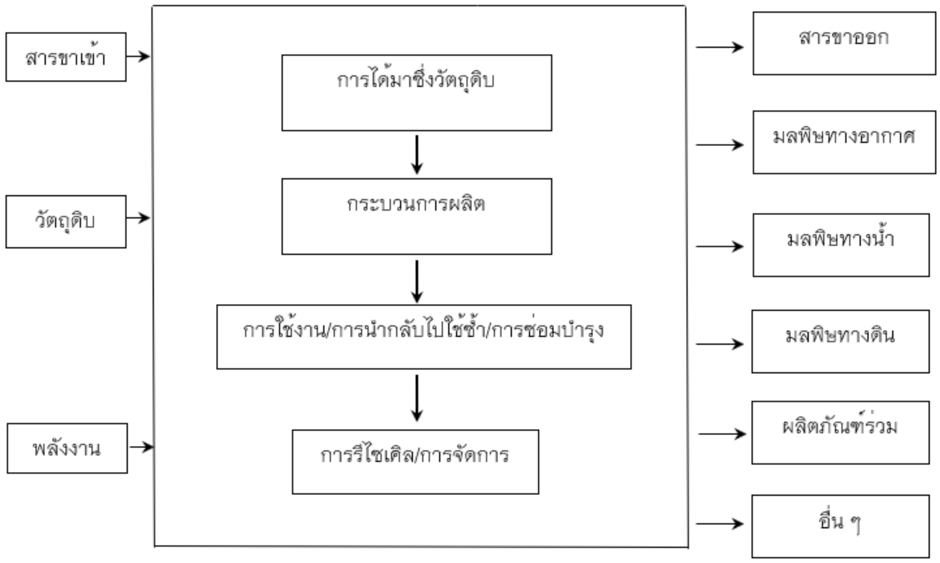
ที่มา: http://www.thaiecoproduct.com/index.php/knowledge2/14-knowledge-lca.html

2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา

2.1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition) การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์เป็นขั้นตอนแรกในการทำ LCA โดยพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา เพื่อให้ผู้รับสามารถนำผลการประเมินไปใช้ได้ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพราะในส่วนของวิธีทำ LCA ขึ้นอยู่กับการกำหนดวัตถุประสงค์ ผลการวิเคราะห์อาจผิดพลาด ถ้าการใช้งานไม่ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสม เป้าหมายเป็นหัวใจสำคัญของการศึกษารายละเอียด และการสรุปผล เพราะเป้าหมายและวัตถุประสงค์จะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่าง ๆ ของเนื้อหาได้อย่างถูกต้อง การกำหนดเป้าหมาย และวัตถุประสงค์ต้องครอบคลุมปัญหาเหล่านี้ ได้แก่ การนำผลการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตไปใช้ทำอะไร การเปลี่ยนแปลงใดเกิดขึ้นเมื่อมีการนำหลักการ LCA มาพิจารณาและผลิตภัณฑ์ใหม่จะได้รับการปรับปรุงในเรื่องอะไรบ้าง (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

2.1.2 การกำหนดขอบเขต (Scope Definition) การกำหนดขอบเขต คือ การบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งประกอบด้วย การกำหนดสิ่งที่เราต้องการศึกษา รวมถึงการกำหนดหน่วยหน้าที่หรือสิ่งที่ผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ (Functional Unit ; FU) การออกแบบระบบอ้างอิงหรือผลิตภัณฑ์อ้างอิงเพื่อแสดงวัตถุประสงค์ของการศึกษาการออกแบบตัวแปรการประเมินทาง

สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของ LCA และการบ่งชี้กระบวนการผลิตที่สำคัญทางสิ่งแวดล้อมในระบบผลิตภัณฑ์ที่สัมพันธ์กับเป้าหมายของ LCA ซึ่งการกำหนดขอบเขตประกอบไปด้วย ขอบเขตระบบ (System Boundary) หมายถึง ขอบเขตระหว่างระบบผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหรือระบบผลิตภัณฑ์อื่น โดยที่ระบบผลิตภัณฑ์รวมเอาหน่วยที่รวบรวมวัตถุดิบและพลังงานที่มีการเชื่อมโยงกัน ที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกันหรือหลายอย่าง โดยสามารถแบ่งขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบ หรือพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบก่อนมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่าง ๆ ดังภาพ 16



ภาพ 16 การกำหนดขอบเขตของระบบที่ศึกษา

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559

หน่วยหน้าที่และหน่วยการทำงานของระบบ Function and Functional Unit ซึ่งระบบอาจมีหน้าที่หลายอย่าง และหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้นที่อาจถูกเลือกมาเพื่อทำการศึกษา LCA โดยขึ้นอยู่กับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของการศึกษา จึงต้องระบุหน้าที่ของระบบที่ทำการศึกษาให้ชัดเจน และหน่วยการทำงาน (Functional Unit; FU) ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับสารขาเข้าและสารขาออกของระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน ซึ่งถือว่าเป็นพื้นฐานของ LCA ที่

สามารถวัดผลความแตกต่างของระบบได้ และมีหน้าที่พื้นฐาน 3 ประการ คือ ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนและคุณสมบัติพื้นฐานคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการเนื่องจากการศึกษา LCA ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก และข้อมูลมีความแตกต่างกันทั้งที่มาและวิธีการเพื่อได้มาซึ่งข้อมูล ดังนั้นการระบุรายละเอียดและระดับคุณภาพของข้อมูลจึงเป็นสิ่งสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการใช้ผลของ LCA เปรียบเทียบกัน การกำหนดคุณภาพของข้อมูลตามมาตรฐานควรคำนึงถึงประเด็นดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาที่ต้องการศึกษาเพื่อให้ทราบว่าข้อมูลดังกล่าวอยู่ในช่วงเวลาใดและระยะเวลาในการเก็บข้อมูล

2. เทคนิคที่ต้องการศึกษา

3. พื้นที่ที่ต้องการศึกษา

4. ความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลและต้องเป็นตัวแทนของสภาพจริง

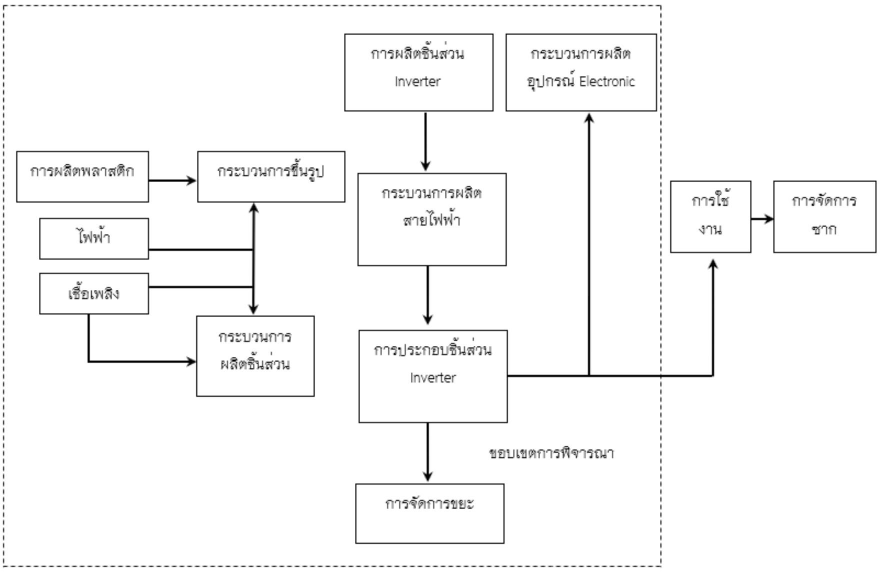
5. แหล่งที่มาของข้อมูล เพื่อสามารถตรวจสอบประเภทของข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูล

6. ความสอดคล้องต่อเนื่องของข้อมูล เพื่อตรวจสอบความผิดปกติและความไม่แน่นอนของข้อมูล

2.1.3 การกำหนดขอบเขตการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและกำหนดการรวบรวมสิ่งที่อำนวยประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA สามารถแบ่งออก ได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้ การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate, Cradle to Grave, Gate to Gate และCradle to Cradle (เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559)

1) การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate

การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate จะเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน โดยไม่รวมผลกระทบในช่วงการใช้งานและการทำลายซากเมื่อหมดอายุ การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate นิยมใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบในช่วงการใช้งานได้ชัดเจน เช่น ไฟฟ้า น้ำ เชื้อเพลิง และวัสดุต่าง ๆ (เช่น กระดาษ พลาสติก) หรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเพื่อเป็นวัตถุดิบให้กับผลิตภัณฑ์อื่น ตัวอย่างขอบเขตการเก็บข้อมลแบบ Cradle to Gate ดังภาพ 17 Cradle to Gate เป็น LCA เต็มรูปแบบที่ประเมินผลกระทบตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบมาผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งาน ตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน

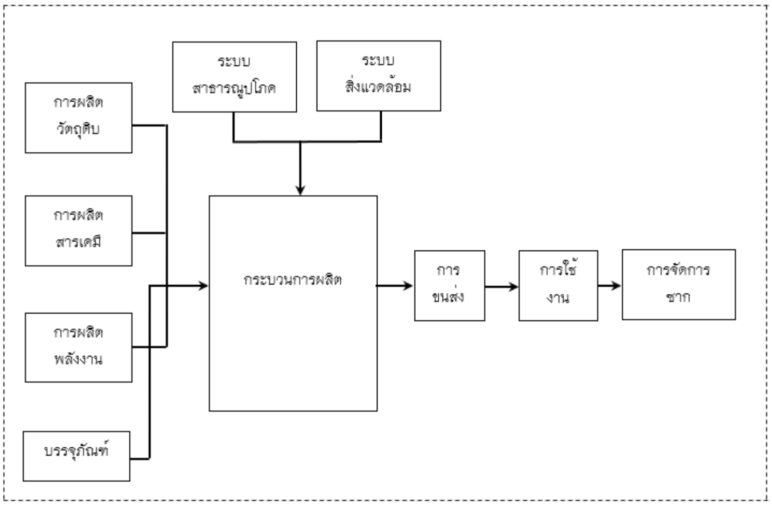


ภาพ 17 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Gate

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559

2) การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave

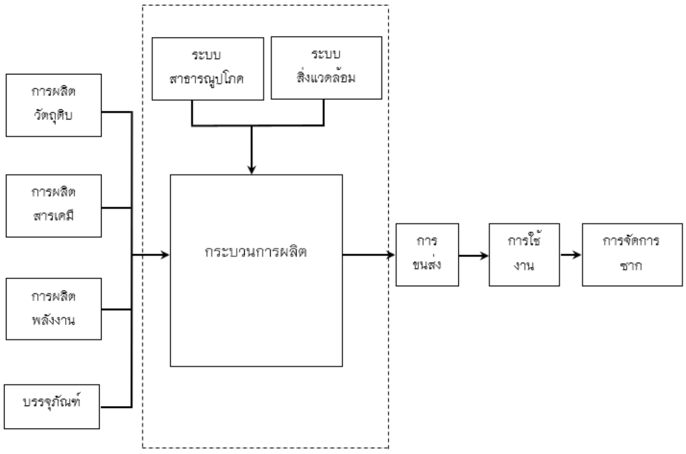
การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave จะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตวัตถุดิบ (ธรรมชาติ) จนถึงขั้นตอนการทำลายซาก การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave ใช้ได้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่สามารถวิเคราะห์ผลกระทบฝนช่วงการใช้งานได้อย่างชัดเจน เช่น ผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างของขอบเขตการเก็บข้อมูลแบบ Cradle to Grave ดังภาพ 18



ภาพ 18 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Grave

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559

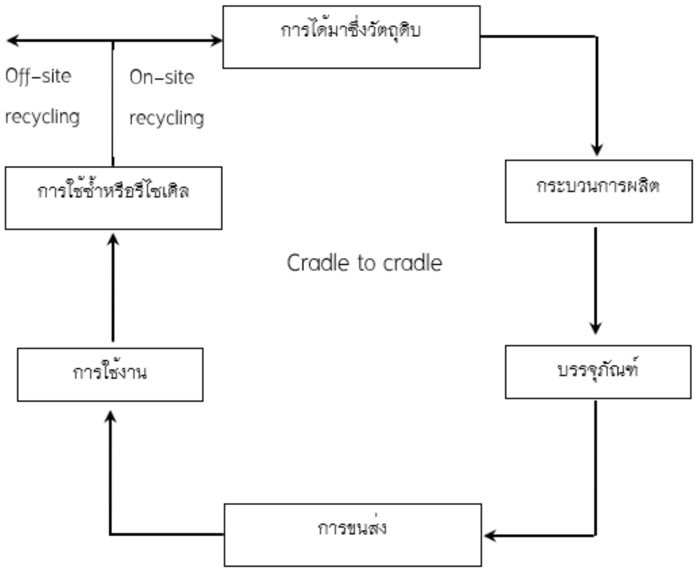
3) การกำหนดขอบเขตแบบ Gate to Gate: Partial LCA โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต ดังภาพ 19



ภาพ 19 การกำหนดขอบเขตแบบ Gate to Gate

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559

4) การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to Cradle เป็นรูปแบบพิเศษของ Cradle to Grave ได้แก่กรณีที่ขั้นตอนการการจัดซากของผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งทำให้ได้สินค้าเดิมออกมา ดังภาพ 20



ภาพ 20 การกำหนดขอบเขตแบบ Cradle to cradle

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559

3. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)

การจัดทำบัญชีรายการข้อมูล หมายถึงการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา ซึ่งรวมถึงการใช้ทรัพยากร การปลดปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ อากาศ ดิน และน้ำ ข้อมูลเหล่านี้ถูกใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงจากวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ กระบวนการนี้เป็นการทำซ้ำไปซ้ำมา โดยเรียนรู้จากข้อมูลที่เก็บมาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งอาจทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวิธีเก็บข้อมูลหรือประเด็นปัญหา เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ จุดมุ่งหมายของการทำบัญชีรายการก็คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope Definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System)

3.1 การสร้างหน่วยของข้อมูลและการตั้งหน่วยกระบวนการการสร้างหน่วยของข้อมูล เป็นการระบุกระบวนการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในรูปผังแสดงกระบวนการในการผลิตผลิตภัณฑ์ตามที่กำหนดหน้าที่และหน่วยการทำงาน โดยเริ่มจากการศึกษาวัตถุดิบ การใช้พลังงาน ขั้นตอนการผลิต การขนส่งการบริโภคและการกำจัดซึ่งจำเป็นต้องระบุวัตถุดิบ พลังงานและกระบวนการต่าง ๆ ให้ครบถ้วนเนื่องจากมวลสารที่เข้าระบบจะต้องสมดุลกับมวลสารที่ออกจากระบบ

3.2 การรวบรวมข้อมูล การรวบรวมข้อมูลในแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีความแตกต่างกันตั้งแต่การเริ่มใช้วัตถุดิบซึ่งมีหลากหลายประเภท ต้องสามารถแยกเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้และข้อมูลเหล่านั้นต้องมีการเชื่อมโยงกัน ขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษาว่าจะมีการพิจารณาละเอียดมากน้อยเท่าใด

3.3 การคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล ในการรวบรวมข้อมูล หากระบบที่เกี่ยวข้องมีหลายประเภท ต้องมีการแจกแจงตามประเภทผลิตภัณฑ์ตามเหตุผลที่ชัดเจนและวิธีที่ระบุไว้แล้วนำมาคำนวณซึ่งกระบวนการคำนวณสามารถทำได้หลายวิธี เช่น NETS (Numerical Environmental Total Standard) Method เป็นต้น ขึ้นอยู่กับผู้วิจัย นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับ LCA จำนวนมากที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองงานด้าน LCA โดยเฉพาะสามารถเลือกได้ตามชนิดและข้อมูลของงาน เช่น ฐานข้อมูลโปรแกรม Sima Pro ที่ถูกพัฒนาขึ้นและเป็นที่นิยมในวงการ LCA

3.4 การนำเสนอของข้อมูลในรูปของแบบฟอร์มที่เข้าใจง่าย การนำเสนอข้อมูลแก่ผู้รับเป็นส่วนสำคัญมาก เพราะการทำ LCA จะบรรลุวัตถุประสงค์ได้เมื่อผู้รับสามารถนำไปใช้ประโยชน์และเข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน การนำเสนอข้อมูลประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต คุณลักษณะของข้อมูล เช่น คุณภาพของข้อมูล ข้อจำกัด และที่มาของข้อมูล เป็นต้น เช่น กราฟแท่ง กราฟวงกลม

4. การประเมินผลกระทบ Life Cycle Impact Assessment

การประเมินผลกระทบเป็นการนำข้อมูลมาทำการแปลงแยกแยะตามชนิดของผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการ (Inventory) จะทราบข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด การแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญแต่บางอย่างไม่ใช่ เพื่อให้ LCA สามารถช่วยในการตัดสินใจ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการต้องได้รับการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมแหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงาน และต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ

4.1 การเลือกข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Selection) หมายถึง การเลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องในกระบวนการแต่ละช่วงในวัฏจักรชีวิตซึ่งทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้แก่ ข้อมูลการใช้วัตถุดิบ การใช้พลังงาน การขนส่ง การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ การบริโภค การนำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงการกำจัดโดยอาศัยความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับกลไกด้านสิ่งแวดล้อมและกระบวนการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมเริ่มตั้งแต่จุดกำเนิดของปัญหาอันเนื่องมาจากกิจกรรมในวัฏจักรชีวิตจนถึงการแพร่กระจายมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งสร้างความเสียหายตั้งแต่ระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลก

4.2 การจัดแบ่งหรือจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification) หมายถึงการจำแนกข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถจำแนกเป็นกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Mid–Point Impact) หรือขั้นปลายทาง (End–Point Impact) โดยดูจากความสัมพันธ์ของสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบนั้น ๆ ในการจำแนกข้อมูลมีข้อควรระวัง คือ การจำแนกซ้ำเนื่องจากสารบางตัวอาจเป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่าหนึ่งประเภท เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สามารถก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนและเกิดฝนกรด การจำแนกสารดังกล่าวให้อยู่ในกลุ่มใด ต้องพิจารณาว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นผลกระทบโดยตรงจากสารมลพิษหรือเป็นผลกระทบต่อเนื่องจากผลกระทบอีกประเภทหนึ่ง ในกรณีที่เป็นผลกระทบต่อเนื่องไม่ควรจำแนกซ้ำ

4.3 การแปลงข้อมูลให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Characterization) หมายถึง การแปลงข้อมูลปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกในกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมเดียวกันให้อยู่ในรูปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปตัวชี้วัดตามมาตรฐานที่ได้จากการเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐานเรียกว่า Equivalent or Characterization Factors โดยคำนวณจากแบบจำลองที่อธิบายกลไกทางฟิสิกส์–เคมี และวิถีทางของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

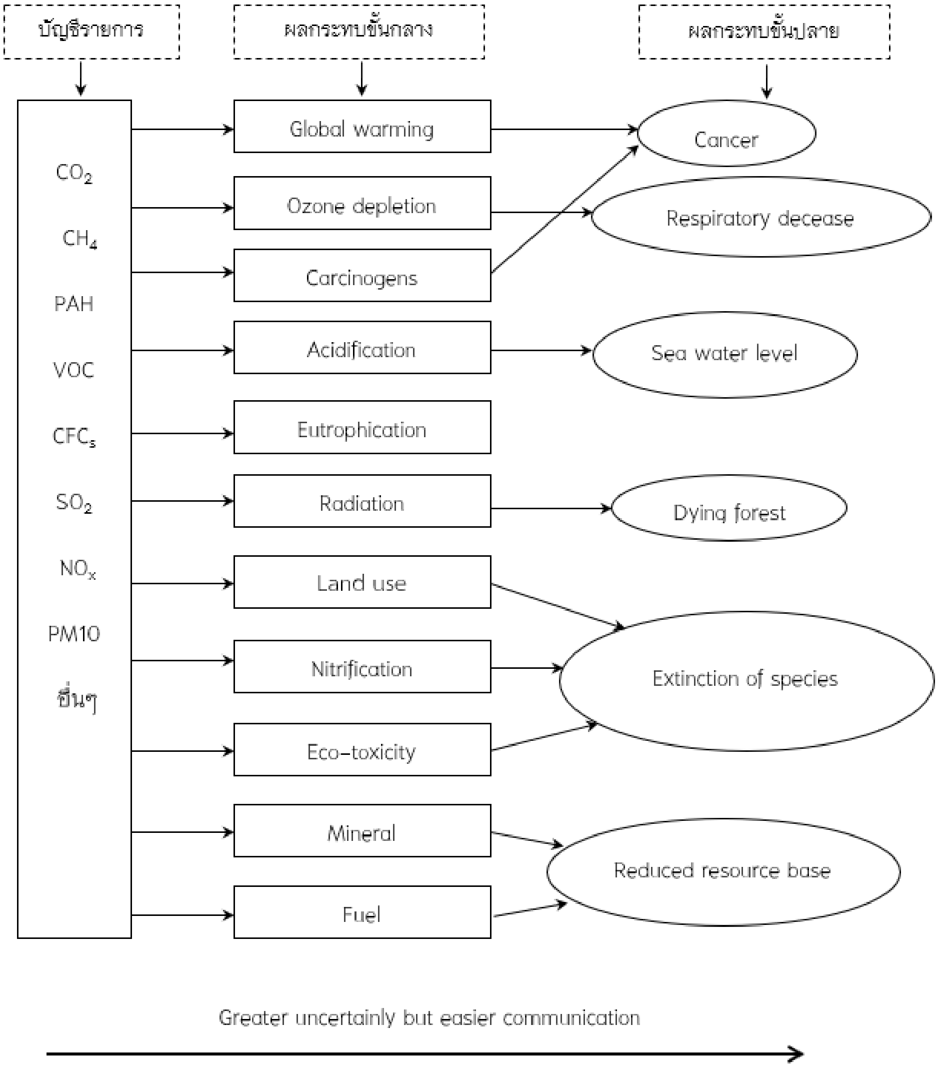
4.4 การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Normalization) หมายถึง การเทียบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษากับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาคหรือระดับโลก ขั้นตอนนี้ทำให้สามารถเปรียบเทียบระดับความรุนแรงของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในภาพรวม

4.5 การจัดกลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Grouping) หมายถึง การจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่ เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพและอนามัยของมนุษย์การทำลายคุณภาพ

ของระบบนิเวศน์ การลดลงของปริมาณทรัพยากรธรรมชาติและแหล่งพลังงาน หรืออาจแบ่งเป็นระดับท้องถิ่น เช่น การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหาร และระดับโลกเช่น ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน เพื่อให้ทราบขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในแต่ละหมวดหมู่ในภาพรวมเป็นต้น

4.6 การให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Weighting) หมายถึง การเปรียบเทียบความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท เรียกว่า Weighting Factor โดยเกณฑ์ในการกำหนดลำดับความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อาจเป็นการเปรียบเทียบเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ ใช้หลักเกณฑ์แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ผู้วิจัยจะนำมาพิจารณา เช่น ขนาดและความรุนแรงของผลกระทบสิ่งแวดล้อม ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉพาะประเภทที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขการแปลงค่าความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมเป็นค่าเงินเพื่อวิเคราะห์ในทางเศรษฐศาสตร์การใช้หลักเกณฑ์เชิงสังคม เป็นต้น

4.7 การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล (Data Quality Analysis) หมายถึง การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก่อนที่จะนำผลดังกล่าวไปใช้ต่อไป ปัจจัยที่นำมาพิจารณาเกี่ยวกับคุณภาพข้อมูล ได้แก่ ความเหมาะสมและสอดคล้องของข้อมูลที่ใช้และข้อมูลที่ต้องการตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา โดยดูจากแหล่งที่มาของข้อมูล ช่วงเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล ความถูกต้องของวิธีการวัดและการคำนวณการเป็นตัวแทนที่เหมาะสมของข้อมูลที่ขาดหายไป ตัวอย่างเทคนิคในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เช่น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Analysis) เพื่อจำแนกข้อมูล วิธีปันส่วน (Allocation) วิธีคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการตัดออก (Cut-Off) เป็นต้น ดังภาพ 21 (หาญพล พึ่งรัศมี, 2559)



ภาพ 21 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment ; LCIA)

ที่มา: เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2559

5. การแปลผลการศึกษา (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของ LCA หมายถึง การนำผลจากการจัดทำรายการบัญชีข้อมูลและการประเมินผลกระทบมารวมกันเข้าเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมายขอบเขตการศึกษาที่ระบุไว้ การแปลผลอาจเป็นการทำซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนจากข้อมูลและอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และ

คุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด การแปลผลของการศึกษาควรจะคำนึงถึงความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิตแบ่งการศึกษาเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มการศึกษาหลักการการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA Methodology Research Team) กลุ่มการศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับภูมิภาค (Regional Environment Research Team) กลุ่มการศึกษาระบบการใช้พลังงาน (Energy Systems Analysis Research Team) กลุ่มการศึกษาประสิทธิภาพการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Efficiency Research Team) โดยแต่ละกลุ่มมีการเชื่อมโยงข้อมูลต่อกันตลอดเวลา (หาญพล พึ่งรัศมี, 2559)

ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

ก๊าซเรือนกระจกมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญคือ ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทน และไนตรัสออกไซด์ สารซีเอฟซี เป็นต้น แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Greenhouse Gas Emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC_S) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC_S) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (Chlorofluorocarbon; CFC) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟมแต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออลแล้ว

กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ กำลังเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน น้ำมันและก๊าซธรรมชาติรวมทั้งการตัดไม้ทำลายป่าทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การทำการเกษตร การปศุสัตว์ปล่อยก๊าซมีเทน และไนตรัสออกไซด์ ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ นอกจากนี้กระบวนการแปรรูปอุตสาหกรรมปล่อยสารฮาโลคาร์บอน (Halocarbon) การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกนั้น ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถ ในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกนั้น ไม่ได้เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่เพิ่มขึ้นอีกทั้งก๊าซเรือนกระจกแต่ละชนิดยังมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่แตกต่างกันค่าศักยภาพ ในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนนี้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของโมเลกุล และขึ้นอยู่กับอายุของก๊าซนั้น ๆ ในบรรยากาศ โดยจะคิดเทียบกับการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 20 ปี 50 ปี หรือ 100 ปี

โดยค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential ; GWP) ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ ในช่วงเวลา 100 ปี ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ ดังตาราง 3

ตาราง 3 ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ ในช่วงเวลา 100 ปี ของก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก	อายุในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP เทียบกับ CO_2)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	5 – 200	1
มีเทน (CH_4)	12	25
ไนตรัสออกไซด์ (N_2O)	114	298
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC_s)	1.4 – 270	124 – 14,800
เพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC_s)	1,000 – 50,000	7,390 – 12,200
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6)	3,200	22,800
ไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3)	740	17,200

ที่มา: IPCC Forth Assessment Report Climate Change, 2007

การวิเคราะห์ก๊าซเรือนกระจก

การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของ IPCC Guidelines การประเมินตามคำแนะนำของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC, 2006) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งข้อมูลกิจกรรมต่าง ๆ ได้ดังนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานได้โดยการคูณปริมาณของทรัพยากรที่ใช้กับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2

$$GHG_i = A_i \times EF_i \tag{2}$$

โดยที่

GHG_i คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2eq)

A_i คือ ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก (unit)

EF_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kg CO_2eq/unit)

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์มีเทคนิคในการประเมินทางเศรษฐศาสตร์เพื่อจัดอันดับโครงการและตัดสินใจโดยใช้เทคนิคดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการเป็นการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจว่าการลงทุนในโครงการจะคุ้มค่าหรือไม่นั้น จำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) ได้ดังสมการ 3

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \left(\frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} \right) \tag{3}$$

โดยที่

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลตอบแทนของโครงการ (บาท)

Bt คือ มูลค่าผลตอบแทนในปีที่ t (ปี)

Ct คือ มูลค่าของต้นทุนในปีที่ t (ปี)

i คือ อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ย (%)

t คือ ปีของโครงการ คือ ปีที่ 0,1,2,3,...,n (ปี)

n คือ อายุของโครงการ (ปี)

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธินั้น ถ้าค่า Net Present Value เป็นบวก หมายถึง หน่วยผลิตจะเลือกที่จะลงทุนในโครงการนี้ เพราะมูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดรับมากกว่าการลงทุนเริ่มแรกส่วนถ้าค่า Net Present Value มีค่าเป็นลบ หมายถึง หน่วยผลิตจะเลือกที่จะไม่ลงทุนในโครงการโดยที่เกณฑ์การยอมรับสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV Acceptance Criterion) กิจการจะยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ Net Present Value มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0

2. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB) หมายถึง ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการพอดี เพื่อนำค่าที่ได้มาช่วยในการพิจารณาระยะเวลาของผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายการลงทุน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะเลือกโครงการให้ผลตอบแทนเร็วที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงและความไม่แน่นอนของโครงการ การหาระยะคืนทุนที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายการลงทุน ดังสมการ 4

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายในการลงทุน}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี}} \qquad (4)$$

3. อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; BCR) คือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ที่มีการปรับค่าเวลาให้เป็นปัจจุบันแล้ว ผลตอบแทนจะเกิดขึ้นตลอดอายุของโครงการ ถึงแม้ว่าเมื่อการลงทุนโครงการผ่านพ้นไปแล้ว ในขณะที่ต้นทุนในการก่อสร้างจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงการลงทุนเท่านั้น ส่วนต้นทุนที่อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา ตลอดช่วงอายุของโครงการ จากนั้นจึงนำเอากระแสผลตอบแทนและกระแสต้นทุนของโครงการที่ได้ทำการปรับเป็นมูลค่าปัจจุบันแล้ว นำมาเปรียบเทียบหาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เพื่อหาค่าความเหมาะสมต่อการลงทุน ดังสมการ 5

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^{n}\left(\frac{Bt-Ct}{(1+i)^{t}}\right)}{\sum_{t=0}^{n}\left(\frac{Ct}{(1+i)^{t}}\right)} \qquad (5)$$

โดยที่

B/C	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน
i	คือ	เป็นอัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ย (%)
Ct	คือ	ต้นทุนสุทธิของโครงการในปีที่ t (ปี)
Bt	คือ	ผลตอบแทนสุทธิในปีที่ t (ปี)
t	คือ	ปีของโครงการ คือ ปีที่ 0,1,2,3,...,n
n	คือ	อายุของโครงการ (ปี)

โดยอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนกับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ซึ่งอัตราส่วนรายได้ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio ; BCR) ของโครงการที่เหมาะสมต่อการลงทุนต้องมากกว่า 1 หรืออย่างน้อยที่สุดต้องเท่ากับ 1

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน (2557) ศึกษาตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโครงการที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจำหน่ายหรือทดแทนหรือใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งของประเทศ (National Grid Electricity System) เพื่อคำนวณค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าหรือ Grid Emission Factor ของประเทศไทยใช้ระเบียบวิธีการคำนวณ (Methodology) อ้างอิงของ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) พบว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยการผลิตพลังงานไฟฟ้า สำหรับโครงการทั่วไป มีค่าเท่ากับ 0.5664 tCO_2/kWh และสำหรับโครงการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 0.5692 tCO_2/kWh ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โครงการที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Emission) หรือจากการดำเนินโครงการ (Project Emission) ที่มีการทดแทนหรือใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งได้ต่อไป

เนตรชนากานต์ สุนันตา และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล (2560) ศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จึงได้นำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment) มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ พบว่าการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาด 1 kWh ตลอดวัฏจักรชีวิตมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.93 $kgCO_2eq$ เทียบเท่าสามารถช่วยลดปริมาณขยะที่นำไปฝังกลบได้ถึงร้อยละ 30 และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้ถึงร้อยละ 51.47

อังสนา พจน์ศิริ (2559) ศึกษาต้นทุนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาระหว่างระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On Grid System) และระบบโดดเดี่ยว (Off Grid System) โดยศึกษาความคุ้มค่าทางด้านการเงินและทางด้านเศรษฐศาสตร์ในโกดังเก็บสินค้า มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return) และระยะคืนทุน (Payback Period) การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในครั้งนี้มีระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ตามอายุของเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินด้วยอัตราดอกเบี้ย 6.75 เปอร์เซ็นต์ พบว่าโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบระบบสายส่งของการไฟฟ้ามีความเป็นไปได้มากกว่าการลงทุนแบบระบบโดดเดี่ยว

พรสวัสดิ์ พิริยะศรัทธา (2559) ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่ศึกษาการใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น สามารถผลิตได้ในช่วงเวลา 5 ชั่วโมงและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า พบว่าวันธรรมดา (วันจันทร์-ศุกร์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 4.77 สำหรับวันหยุด (วันเสาร์-อาทิตย์) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 33.24 โดยได้เลือกใช้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-Grid System) ชนิดหักลบหน่วย (Net Metering) ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน มีระยะเวลาคืนทุนของเท่ากับ 11.76 ปี แต่เมื่อต้นทุนทั้งหมดเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 ของเงินลงทุนทั้งหมด อัตราดอกเบี้ยเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 สามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้เป็นเวลา 25 ปี ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการศึกษาว่ามีความคุ้มค่าในระยะยาว

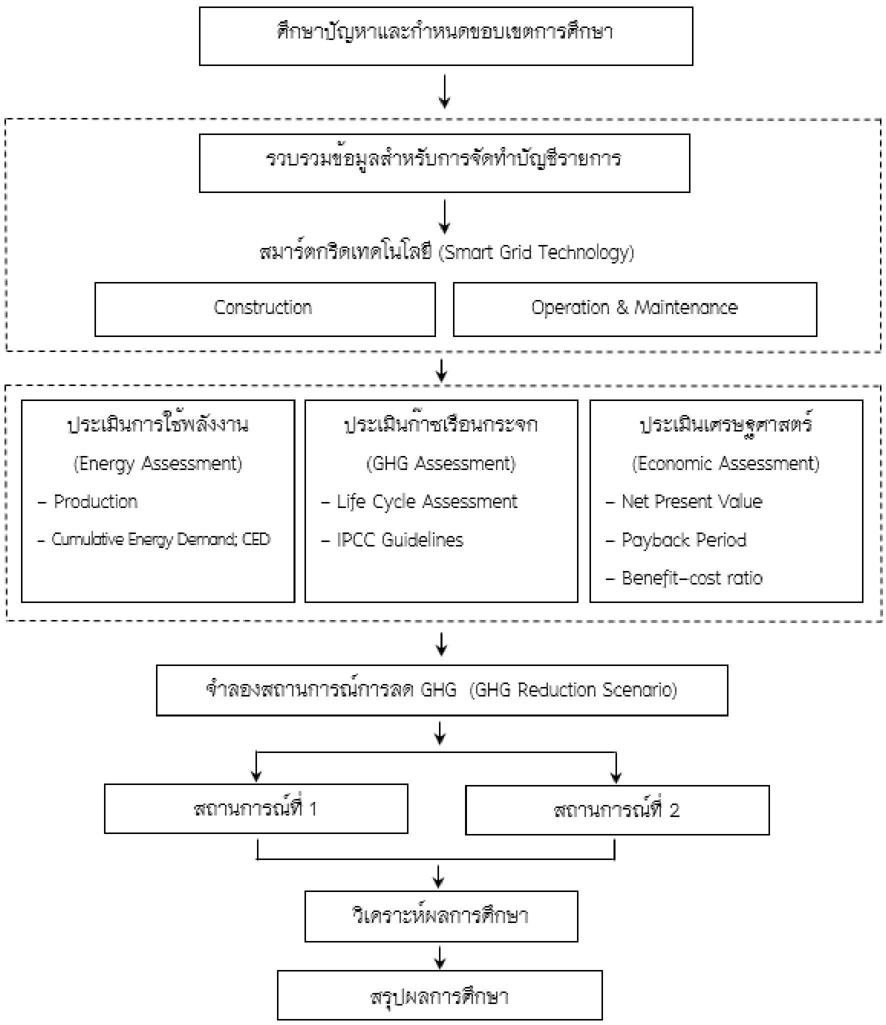
สมพล โคศรี (2554) ศึกษาเกี่ยวกับระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทนโดยระบบที่ใช้เป็นแบบผสมผสานประกอบด้วยเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ ชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ภาระทางไฟฟ้าได้ตามขนาดพิกัดและสามารถจ่ายพลังงานเพื่อประจุแบตเตอรี่จากพลังงานที่เหลือจากการจ่ายโหลดได้

Masoud Zebarjadi and Alireza Askarzadeh (2015) ศึกษาความน่าเชื่อถือของการผลิตไฟฟ้าจากกริดที่เชื่อมต่อกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเปรียบเทียบในกรณีเชื่อมกริดกับเซลล์แสงอาทิตย์ปกติและกริดที่เชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบกักเก็บพลังงาน โดยกรณีศึกษาที่เมืองในประเทศอิหร่านทำการแบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ สถานการณ์ที่ 1 ไม่มีระบบกักเก็บพลังงานในการออกแบบระบบสถานการณ์ที่ 2 มีระบบกักเก็บพลังงานเข้าร่วมในระบบแล้วทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การใช้ไฟฟ้าจากกริดเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์นั้นยังไม่เหมาะสมในการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ แต่หากราคาค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปัจจุบัน 3.8 เท่า การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบจะทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น สำหรับในสถานการณ์ที่ 2 แบบกริดเชื่อมกับระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์มีระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วย พบว่า ในกรณีราคาค่าไฟราคาต่ำ การมีระบบกักเก็บพลังงานยังไม่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น แต่หากราคาค่าไฟเพิ่มขึ้นจากเดิมการใช้ PV Storage Hybrid จะช่วยให้มีความคุ้มทุนของระบบมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยหัวข้อ การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตครั้งนี้ มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังภาพ 22



ภาพ 22 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นสำรวจข้อมูลและรวบรวมข้อมูลความรู้

สำรวจข้อมูลศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด รวบรวมข้อมูลสำหรับการจัดทำบัญชีรายการของระบบสมาร์ตกริด โดยประกอบด้วยโครงสร้างของการติดตั้ง (Construction) การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) การประเมินก๊าซเรือนกระจกด้วยวิธี IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB) อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; BCR) พร้อมทั้งออกแบบการจำลองสถานการณ์ 2 สถานการณ์ ดังนี้ สถานการณ์ที่ 1 การติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ สถานการณ์ที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แบบมหาวิทยาลัยพะเยาลงทุน และแบบบริษัทเอกชนลงทุน เพื่อวิเคราะห์ผลการลดก๊าซเรือนกระจกโดยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ศึกษาปัญหาและกำหนดขอบเขตการศึกษา

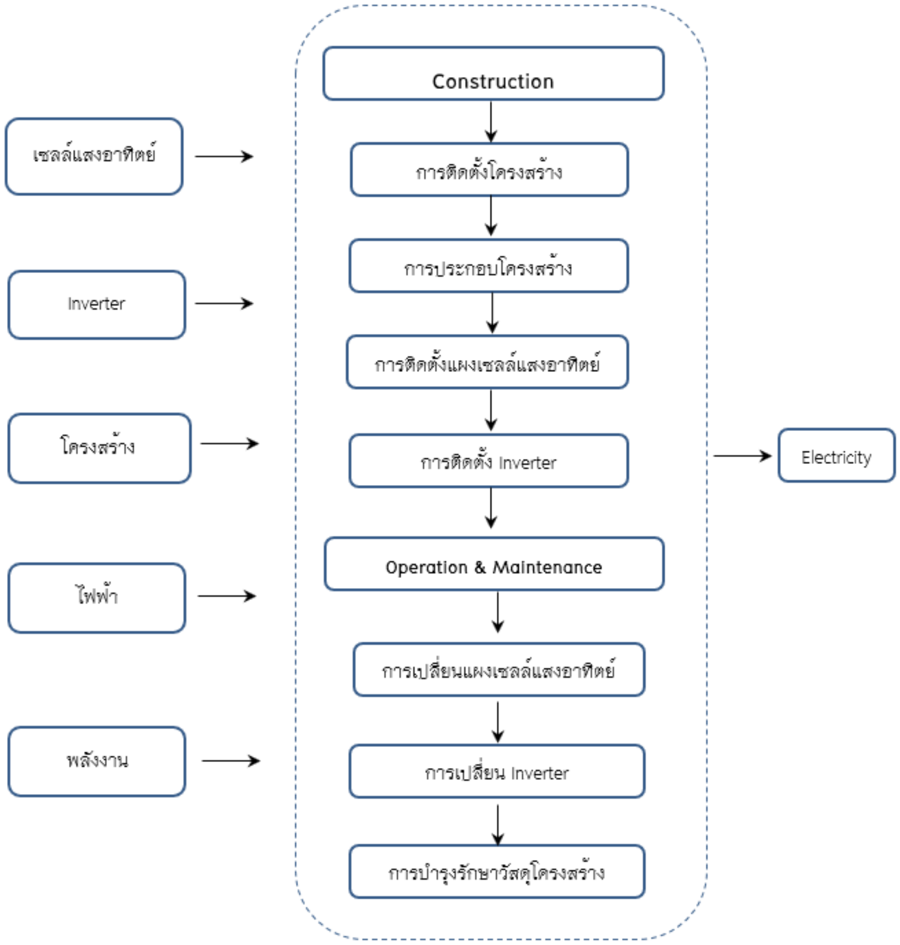
1. ในการศึกษาวิจัยการประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ด้านการผลิตไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยาเป็นการประเมินการผลิตไฟฟ้าและประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมด้านการลดก๊าซเรือนกระจกพร้อมทั้งการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์ ในการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์จนกระทั่งกระบวนการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุของการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยอาศัยข้อมูลประกอบการศึกษา ดังนี้

2. หน่วยการศึกษา (Functional Unit)

ในการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด หน่วยการศึกษาที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

3. ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาส่วนของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบสมาร์ตกริดส่วนของระบบที่ทำการศึกษา ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาโครงสร้างการติดตั้ง การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง ดังภาพ 23



ภาพ 23 ขอบเขตของการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

4. ขอบเขตการศึกษาการประเมินวัฏจักรโครงสร้าง (Construction) ของระบบสมาร์ตกริดประกอบด้วยลักษณะและคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ Poly Crystalline Silicon SHARP (NDAA250) ดังภาพ 24 ที่ใช้ในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตของการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าตลอด 20 ปี (ระยะเวลาในการประเมินตั้งแต่ ปี 2559 – 2578)

ภาพ 24 เซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น ND–AA250

ที่มา: คู่มือปฏิบัติการ เซลล์แสงอาทิตย์ SHARP รุ่น (ND–AA250), 2558

5. อุปกรณ์ประกอบการทำงานของระบบสมาร์ตกริด

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับประกอบการทำงานของระบบสมาร์ตกริด แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ อุปกรณ์สำหรับการแปลงกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์โครงสร้างสำหรับการติดตั้งโดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 อุปกรณ์สำหรับการแปลงกระแสไฟฟ้า

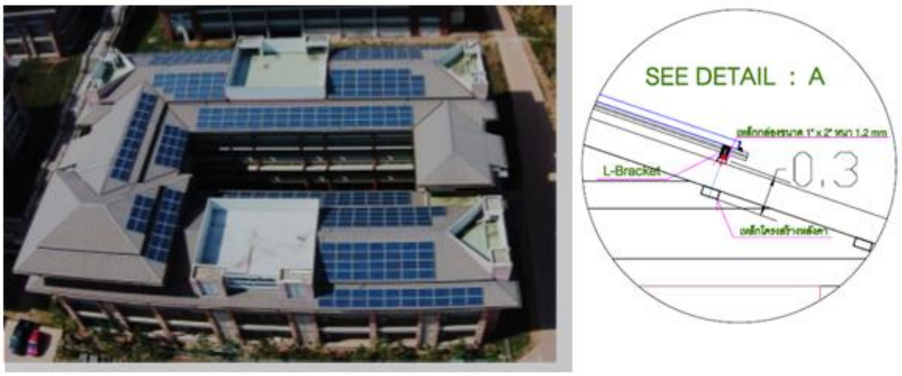
อุปกรณ์สำหรับการแปลงกระแสไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter; SMA รุ่น STP25000TL–30) และชุดสายไฟฟ้ากระแสตรง กระแสสลับ ชุดสายดิน โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีอายุการใช้งานในการวิเคราะห์อยู่ที่ 20 ปี ทั้งนี้ตลอดการประเมินวัฏจักรชีวิตในการผลิตไฟฟ้าตลอด 20 ปี (ระยะเวลาในการประเมินตั้งแต่ปี 2559 – 2578) ดังภาพ 25

ภาพ 25 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter; SMA รุ่น STP25000TL-30)

ที่มา: คู่มือปฏิบัติการ Inverter SMA รุ่น STP25000TL-30, 2557

5.2 อุปกรณ์โครงสร้างสำหรับการติดตั้ง

ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งบนหลังคา ดังภาพ 26 ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งบนพื้นดินหรือพื้นระนาบ ดังภาพ 27 โดยอุปกรณ์โครงสร้างหลักของทั้ง 2 ส่วนนี้ คือ โครงสร้างเหล็กผสมอลูมิเนียมและสแตนเลส

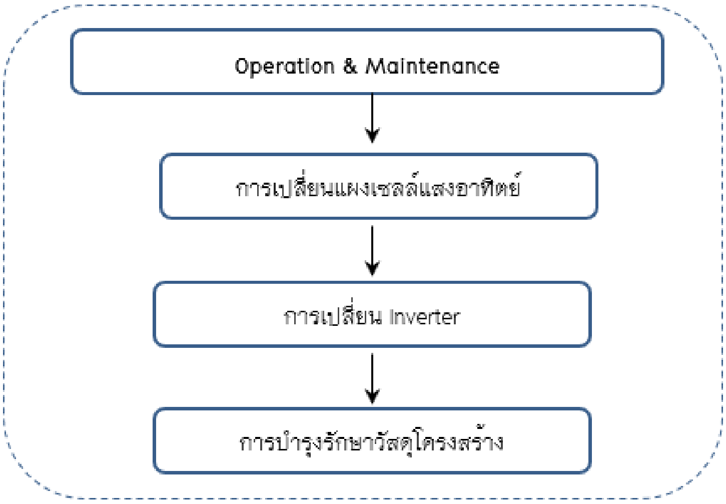


ภาพ 26 ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งบนหลังคา

ที่มา: รายงานโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย มหาวิทยาลัยพะเยา, 2560

ภาพ 27 ลักษณะโครงสร้างการติดตั้งบนพื้นดินหรือพื้นระนาบ

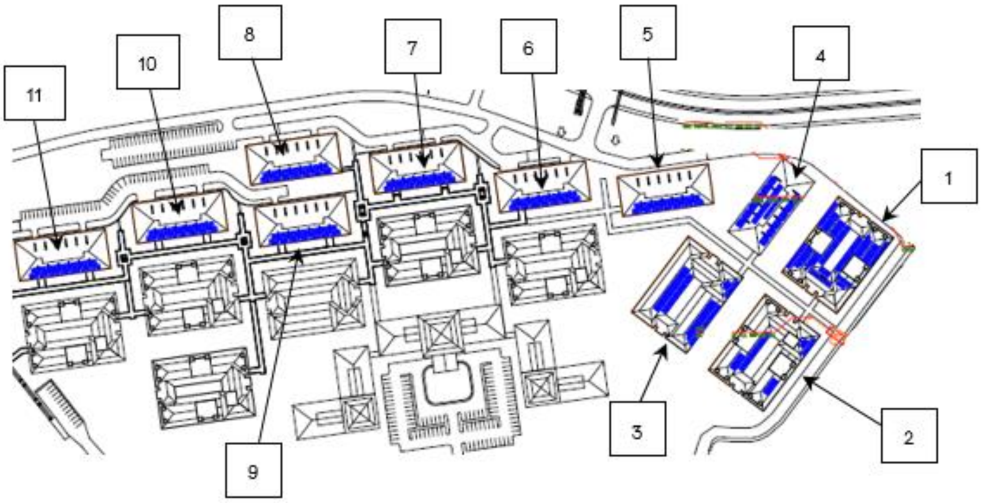
ที่มา: http://th.cysolarracking.com/news/the-6-foundation-types-used-in-pv-structure-13265776.html



ภาพ 28 ขอบเขตการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

5.4 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

ในส่วนของขอบเขตพื้นที่การศึกษาของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดขนาด 0.5 MW ดังภาพ 29 และขอบเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัยพะเยาที่ทำการศึกษาการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด ดังภาพ 30



ภาพ 29 ขอบเขตพื้นที่ดำเนินการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดขนาด 0.5 MW

ที่มา: รายงานโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย มหาวิทยาลัยพะเยา, 2560

ภาพ 30 ขอบเขตพื้นที่ดำเนินการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริต

สำหรับพื้นที่เป็นส่วนของหลังคา อาคารพื้นที่รวมประมาณ 4,106 m^2 จำนวน 2,000 แผง จำนวน 0.5 MW เป็นโครงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารเรียนบนหลังคาอาคารจอดรถ และบนพื้นดินภายในมหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีรายละเอียด ดังตาราง 4

ตาราง 4 รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

No	Location	Capacity (kW)
1.	อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม	147.5
2.	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์	30
3.	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์	60
4.	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา	52.5
5.	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์	30
6.	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ	30
7.	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล	30
8.	อาคารคณะสหเวชศาสตร์	30
9.	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์	30
10.	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	30
11.	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์	30
	Total	500

ขั้นการเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยเก็บจากข้อมูลของการใช้ไฟฟ้าในปี 2559 เป็นปีฐาน และข้อมูลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยใช้ฐานข้อมูล Ecoinvent ,Data, Sima Pro 8.1.1.16

การจัดทำบัญชีรายการ

การจัดทำบัญชีรายการ คือ การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยอาศัยฐานข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากเอกสารเผยแพร่ เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ประกอบกับระเบียบวิธีการประเมินประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment Method; LCA Method) โดยต้องทำการวางแผนและออกแบบบัญชีรายการที่ต้องการเพื่อให้สะดวกในการจัดหาข้อมูลให้ได้ครบถ้วน ดังตาราง 5

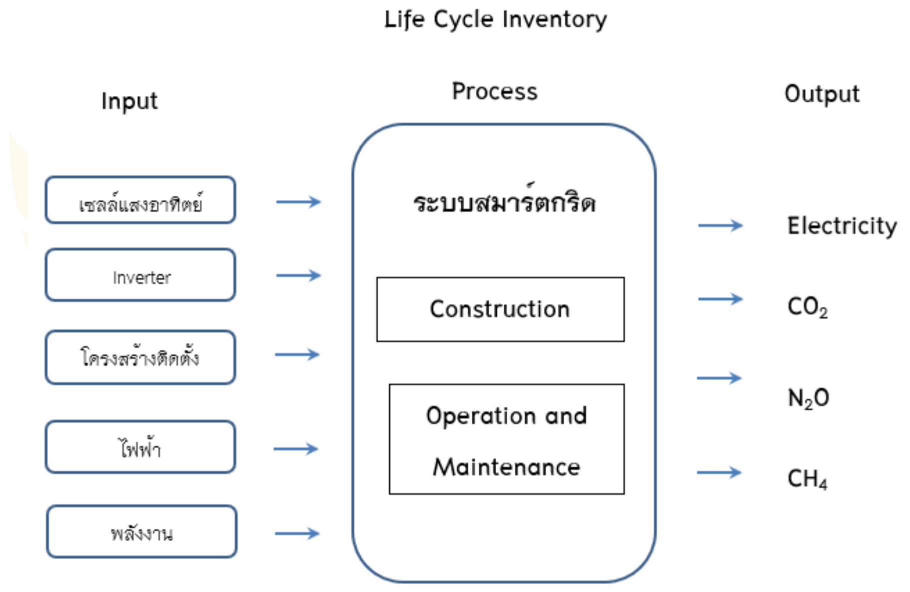
ตาราง 5 การออกแบบข้อมูลที่ต้องการในการใช้ประกอบการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบสมาร์ตกริด

ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลที่ใช้ประกอบการประเมินวัฏจักรชีวิตการระบบสมาร์ตกริด
ข้อมูลทุติยภูมิ	1. วัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิต
	1.1 วัตถุดิบ
	1.2 กระบวนการสกัดวัตถุดิบ
	1.3 พลังงานที่ใช้ในการสกัดวัตถุดิบ
	1.4 การปลดปล่อยของเสียและมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
	1.5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้
	2. กระบวนการผลิตอุปกรณ์
	2.1 วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต
	2.2 กระบวนการและขั้นตอนผลิต
	2.3 การปลดปล่อยของเสียและมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
	2.4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้
	3. การขนส่งผลิตภัณฑ์

ตาราง 5 (ต่อ)

ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลที่ใช้ประกอบการประเมินวัฏจักรชีวิตการระบบสมาร์ตกริด
ข้อมูลทุติยภูมิ	3.1 ประเภทของการขนส่ง
	3.2 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง
	3.3 ระยะทางในการขนส่ง
	4. การใช้งาน
	4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการทำงาน
	4.2 ประเภทการติดตั้ง
	4.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการติดตั้ง

การจัดทำบัญชีรายการที่รวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกของระบบการดำเนินการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังภาพ 31



ภาพ 31 การจัดทำบัญชีรายการ

ตาราง 6 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการติดตั้งโครงสร้างการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งที่มาของข้อมูล
Construction	PV-solar cell	2,000	แผง	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา /คู่มือ SHARP (Photovoltaic)
	Inverter 25 kW	18	ตัว	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา/คู่มือ SMA STP-STP2000TLEE (Inverter)
	Copper	548.6	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	TPE	340	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Stainless	534	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Aluminum	517.4	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Steel	76	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Concrete	89	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Disk drive, CD/DVD, ROM	0.199	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Fan, for power supply Unit desktop Computer	0.07	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Hard disk drive for desktop Computer	0.98	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	power supply Unit desktop Computer	1.02	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Cable connector for computer	0.85	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Plug, inlet an out lot for computer cable	0.72	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Display liquid crystal	7.05	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Internet access equipment	0.75	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Keyboard	0.58	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Pointing device optical mouse	0.06	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Router, internet	0.32	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".

ตาราง 6 (ต่อ)

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	แหล่งที่มาของข้อมูล
Operation & Maintenance	PV-solar cell	200	แผง	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา
	Inverter 25 kW	2	ตัว	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา
	Copper	54.86	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	Aluminum	51.74	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".
	TPE	34	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). "Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems".

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินปริมาณผลิตไฟฟ้า การใช้ไฟฟ้า และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี (ระยะเวลาในการประเมินตั้งแต่ปี 2559 – 2578) ของระบบสมาร์ตกริด ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle Assessment) ด้วยโปรแกรม Sima Pro และประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

1. วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินการผลิตและการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา

วิเคราะห์ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยเก็บจากข้อมูลจริงของการใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในปี 2559 เป็นปีฐาน

2. วิเคราะห์ข้อมูลประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมการลดก๊าซเรือนกระจก

วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด ในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ โดยอาศัยเทคนิคการจัดการข้อมูลในการจำแนกประเภท กำหนดบทบาท ทั้งในด้านคุณภาพและด้านปริมาณ เพื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ความสำคัญและความรุนแรงที่เกิดขึ้น โดยอาศัย โปรแกรม Sima Pro ด้วยวิธี IPCC วิธี IPCC 2013 GWP 100a โดยทำการคัดเลือกการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกระบวนการตลอดการประเมินวัฏจักรชีวิต และการวิเคราะห์การแปลผล การตีความที่ได้จากขั้นตอนการประเมินผลกระทบ เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของผลการศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบสมาร์ตกริดและนำมาซึ่งข้อสรุปที่สอดคล้องกับความจริง เป้าหมายในการศึกษาตลอดจนนำมาซึ่งข้อเสนอแนะเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น โดยเก็บจากข้อมูลจริง และข้อมูล Ecoinvent ,Data, Sima Pro 8.1.1.16

3. วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

วิเคราะห์ต้นทุน ผลประโยชน์ของโครงการเป็นการพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนและผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการ ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจว่าการลงทุนในโครงการจะคุ้มค่าหรือไม่นั้นจำเป็นต้องอาศัยเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value; NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ

3.2 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB) หมายถึง ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการพอดี เพื่อนำค่าที่ได้มาช่วยในการพิจารณาระยะเวลาของผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่าย

การลงทุน เพื่อลดความเสี่ยง และความไม่แน่นอนของโครงการ การหาระยะคืนทุนที่ จะได้รับผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุน

3.3 อัตราส่วนของผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit–Cost Ratio; BRC) หมายถึง มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมหารด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม ที่มีการปรับค่าเวลาให้เป็นปัจจุบันแล้ว ผลตอบแทนจะเกิดขึ้นตลอดอายุของโครงการ ในขณะที่ต้นทุนในการก่อสร้างจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงการลงทุนเท่านั้น ส่วนต้นทุนที่อยู่ในรูปของค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาตลอดช่วงอายุของโครงการ นำมาเปรียบเทียบหาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เพื่อหาค่าความเหมาะสมต่อการลงทุน

รายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการลงทุนของโครงการเท่ากับ 30,000,000 บาท โดยมีรายละเอียด ดังตาราง 7

ตาราง 7 สมมุติฐานในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	รายละเอียด
1	เซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 2,000 แผง สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 500 กิโลวัตต์ โดย 1 วัตต์ราคาไม่รวมค่าติดตั้งเท่ากับ 20,000 บาท
2	อุปกรณ์ประกอบหลัก Solar Inverter (กำหนดเป็น 25,000 บาทต่อกิโลวัตต์)
3	อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ในการผลิตไฟฟ้า เช่น ชุดสายไฟ ท่อร้อยสายไฟ เป็นต้น (กำหนดเป็นร้อยละ 10 บาทของผลรวมรายการที่ 1 และ 2)
4	ค่าดำเนินการ ค่าเชื่อมระบบและค่าติดตั้ง (กำหนดเป็นร้อยละ 20 บาทของผลรวมรายการที่ 1 ,2 และ 3)

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ของโครงการได้กำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดีสูงสุด

2. อายุโครงการเท่ากับ 20 ปี

3. ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยของมหาวิทยาลัยในปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

4. ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี

การออกแบบจำลองสถานการณ์และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

การศึกษาการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดโดยการจัดเก็บข้อมูล และวิเคราะห์การใช้พลังงานของโดยละเอียด การที่จะเลือกออกแบบจำลองสถานการณ์ที่จะมาช่วยในการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดนั้น ต้องสามารถช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกลดลงได้ โดยการพิจารณาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นออกแบบการจำลองสถานการณ์ที่จะช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจึงทำการเลือกใช้สถานการณ์ โดยออกแบบจำลองสถานการณ์จำนวน 2 สถานการณ์ ดังนี้

สถานการณ์ที่ 1 การติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ

สถานการณ์ที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW โดยประเมินด้านเศรษฐศาสตร์แบบมหาวิทยาลัยพะเยาลงทุน และแบบบริษัทเอกชนลงทุน

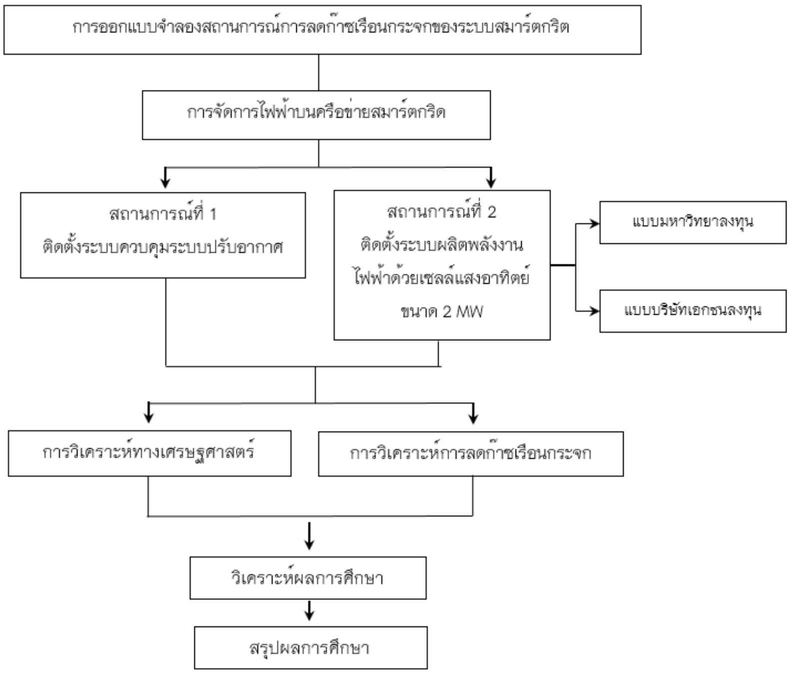
ดังนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบจำลองสถานการณ์ ประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยมีวิธีการดำเนินการศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลผลการศึกษา และมีขอบเขตพื้นที่การศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังตาราง 8 และดังภาพ 32

ตาราง 8 รายละเอียดพื้นที่ดำเนินการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	อาคาร
1	หอประชุมพญางำเมือง
2	โรงเรียนสาธิต ม.พะเยา
3	อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์
5	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา
6	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์
7	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ
8	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล
9	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์
10	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์
11	อาคารคณะสหเวชศาสตร์

ตาราง 8 (ต่อ)

ลำดับ	อาคาร
12	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
13	อาคารคณะเภสัชศาสตร์
14	อาคารคณะแพทย์ศาสตร์
15	อาคารคณะพยาบาลศาสตร์
16	อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์
17	อาคารคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
18	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์
19	อาคารคณะวิทยาศาสตร์
20	อาคารคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์
21	อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
22	อาคารเรียนรวม (CE) และศูนย์บรรณสารสื่อการศึกษา
23	อาคารสงวนเสริมศรี
24	อาคารเรียนรวม
25	อาคารสำนักงานอธิการบดี



ภาพ 32 ขั้นตอนการออกแบบสถานการณ์จำลองการลดก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริด

1. ขั้นตอนการศึกษา สถานการณ์ที่ 1 การติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ

1.1 สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารภายในมหาวิทยาลัยพะเยาที่ได้จากข้อมูลเอกสาร ได้แก่ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า แผนผังอาคารที่มีการใช้งานอาคาร แผนภูมิปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า รายละเอียดอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

1.2 ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้จากการสำรวจเครื่องปรับอากาศ การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานจะได้มาจากเอกสารต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลและรายละเอียด ชื่ออาคาร ที่อยู่ ประเภทอาคาร เช่น ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ แผนผังของอาคาร เวลาทำงานของอาคาร และอื่น ๆ

1.3 ตรวจสอบข้อมูลชนิด ขนาด พิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศ ได้จากการสำรวจและบันทึกข้อมูล ชนิดและจำนวนของเครื่องปรับอากาศ รวมถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์

1.4 จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการติดตั้งระบบควบคุมปรับอากาศ ในการควบคุมเครื่องปรับอากาศโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติในการเก็บข้อมูลของรีโมทเครื่องปรับอากาศประเภท Intronics Digital Room Thermostat ใช้แผงวงจรประเภท ET-BASE AVR EASY328 เป็นตัวเชื่อมต่อผ่านรีโมทเครื่องปรับอากาศ ไปยังสัญญาณอินเตอร์เน็ตโดยมีจุดเชื่อมต่อไร้สายเป็นตัวกลางในการรับส่งสัญญาณโดยควบคุมผ่านหน้าจอเว็บที่สร้างขึ้นมาเพื่อควบคุมอุปกรณ์ แต่มีความไม่สเถียรของระบบ ดังนั้นอาจจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง (จตุภูมิ เกิดประกอบ และนายสุริยา นิลเปี่ยม, 2557) และการควบคุมระบบปรับอากาศด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายไวไฟ WiFi มีข้อจำกัด คือ การควบคุมการแพร่กระจายของสัญญาณยังมีหลายมาตรฐานตามผู้ผลิตแต่ละบริษัท ทำให้มีปัญหาในการใช้งานร่วมกันของอุปกรณ์ต่าง ๆ และมีอัตราการลดทอนสัญญาณสูง หรือสามารถส่งสัญญาณได้ระยะสั้น (บัญชา โพธิ์ทัย, 2551) ดังนั้นการควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย แบบลอรา (Long Range Low Power Wireless Platform ; LoRa) มีลักษณะเด่น คือ ค่าความไวของการรับจากการมอดูเลต (Modulation) ชนิดนี้ สามารถทำให้รับได้ที่ระดับสัญญาณต่ำกว่า -140 dBm ซึ่งถือว่าต่ำมากเมื่อเทียบกับการมอดูเลตชนิดอื่น ๆ ที่ใช้อยู่ในซิกบี (Zigbee)และไวไฟ WiFi ที่อยู่ในระดับ -100 dBm ถึง-110 dBm เท่านั้น อีกหนึ่งประสิทธิภาพที่โดดเด่นของลอรา (LoRa) คือ ความสามารถในการดีมอดูเลต (Demodulation) หลายสัญญาณที่ถูกส่งมาพร้อมกันที่ความถี่เดียวกันได้ โดยสัญญาณที่ถูกส่งมาพร้อมกันจะต้องมีอัตราเชิร์ปที่แตกต่างกันโดยใช้ค่าสเปรดแฟกเตอร์ที่แตกต่างกัน ผลของการดีมอดูเลตหลายสัญญาณพร้อมกันที่ความถี่เดียว ทำให้ลอราสามารถรองรับจำนวนอุปกรณ์ไอโอที (Internet of Things; IOT) ได้จำนวนมาก ลอราเป็นกระบวนการ

ในชั้นกายภาพ และมีการจัดเฟรมข้อมูลด้วยรูปแบบเฉพาะในชั้นเส้นทางเชื่อมโยงของข้อมูล การนำลอรามาใช้งานไอโอทีจำเป็นต้องส่งต่อข้อมูลจากอุปกรณ์ลอราเข้าสู่อินเทอร์เน็ต (Internet) ผ่านลอราเกตเวย์ (LoRa Gateway) ไปยังลอราแวน (LoRaWAN) ซึ่งมีโพรโทคอล (Protocol) ในการส่งผ่านข้อมูลเข้าสู่อินเทอร์เน็ตได้ (ปรีชา กอเจริญและคณะ, 2560) ดังนั้น การจำลองสถานการณ์ที่ 1 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาพิจารณาเพื่อออกแบบ ควบคุมระบบปรับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย LoRa ควบคุมระยะไกลเพื่อการจัดการ การใช้พลังงานไฟฟ้า

1.5 การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa (Long Range Low Power Wireless Platform) เป็นระบบควบคุมเพื่อควบคุมการจัดการไฟฟ้า โดยระบบควบคุมการเครื่องปรับอากาศ มีรายละเอียดดังภาพ 33-34 โดยมีอุปกรณ์ประกอบด้วยดังนี้

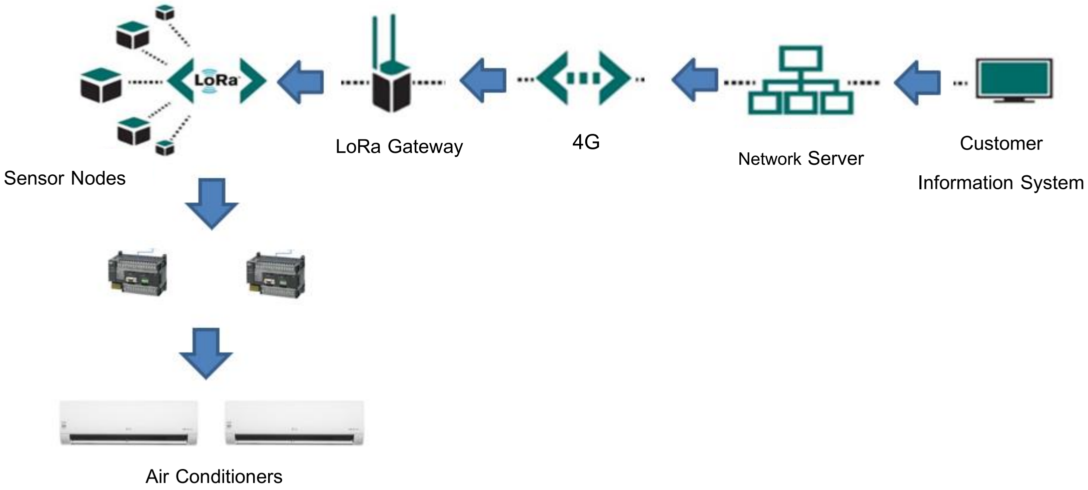
1.5.1 LoRa Network Server เป็นการวางระบบเทคโนโลยีไร้สาย เพื่อการเชื่อมต่อภายในและภายนอกองค์กร เป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้การดำเนินงานมีความต่อเนื่อง โดย LoRa เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ได้รับการพัฒนาเพื่อทำการสื่อสารที่มีอัตราข้อมูลต่ำในระยะไกล มีความถี่สัญญาณ 920-925 MHz

1.5.2 LoRa Gateway ทำหน้าที่เป็นทางเข้าสู่เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa ควบคุม สั่งการ และเชื่อมโยงการสื่อสารของอุปกรณ์

1.5.3 LoRa Controller เป็นตัวประมวลผลรับและส่งสัญญาณจาก LoRa Gateway ไปควบคุมสวิตช์อุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ

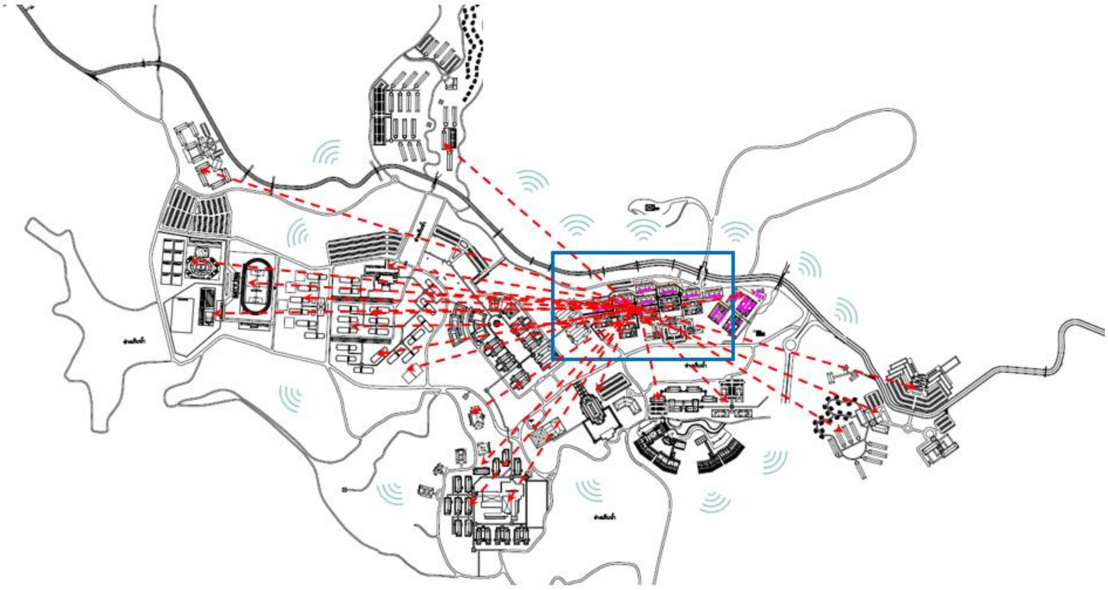
1.5.4 Switch ใช้สำหรับควบคุมรับสัญญาณการเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ

มหาวิทยาลัยพะเยา UNIVERSITY OF PHAYAO



ภาพ 33 ระบบควบคุมระบบปรับอากาศ โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa

ที่มา: ปรีชา กอเจริญ และคณะ, 2560



ภาพ 34 ลักษณะการระบบควบคุมระบบปรับอากาศโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa ตามอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา

1.6 การจำลองสถานการณ์ที่ 1 การติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ เพื่อลดเวลาการทำงาน โดยติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ เพื่อช่วยในการควบคุมการปรับอากาศจากการสั่งการระยะไกล โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa (Long Range Low Power Wireless Platform) มีลักษณะการทำงานดังนี้

ขั้นตอนการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ โดยอาศัยการควบคุมและสั่งการของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย LoRa ร่วมกับระบบสมาร์ตกริด ทำการออกแบบควบคุมการจัดการไฟฟ้า โดยสั่งการตั้งเวลาเปิด – ปิดเครื่องปรับอากาศโดยอัตโนมัติ เป็น 2 ลักษณะ คือ ช่วงแรกเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเวลา 08.30 น. – 12.00 น. และ 13.00 – 16.30 น. รวมเป็นเปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา 7 ชั่วโมง/วัน ช่วงที่สองเปิดใช้งานเครื่องปรับอากาศเวลา 09.00 – 12.00 น. และ 13.00 – 16.00 น. รวมเป็นเปิดเครื่องปรับอากาศเวลา 6 ชั่วโมง/วัน (เทอดไทย นาครักษ์, 2554) แล้วนำข้อมูลมาแปลผลเป็นค่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

1.7 วิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนของการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 1 โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะมีต้นทุนในการเริ่มต้นโครงการ ต้นทุนในการดูแลรักษาและการดำเนินการ อัตราการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในระบบสมาร์ตกริด

1.8 ขั้นตอนการศึกษา การจำลองสถานการณ์ที่ 2 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW

1.9 การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW เพิ่มเติม ซึ่งมหาวิทยาลัยพะเยามีโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น การวางแผนการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานเพื่อรองรับการติดตั้งเพิ่มเติมจึงเป็นสิ่งจำเป็น

1.10 การวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนของการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 ของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะมีต้นทุนในการเริ่มต้นโครงการ ต้นทุนในการดูแลรักษาและการดำเนินการ อัตราการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกในระบบสมาร์ตกริด แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1.10.1 รูปแบบที่ 1 วิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW แบบมหาวิทยาลัยพะเยาลงทุน

1.10.2 รูปแบบที่ 2 วิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW แบบบริษัทเอกชนลงทุน

1.11 การหาคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) จากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้จากการดำเนินโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด หรือสิ่งทดแทนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาผลาญน้ำมันดิบในโรงงานอุตสาหกรรมหรือการผลิต

พลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยจะวิเคราะห์คาร์บอนเครดิตจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดได้ จากการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 ตามแนวทางของโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) ซึ่งถูกพัฒนาโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) พัฒนาขึ้นเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้ทุกภาคส่วน มีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศโดยความสมัครใจ สามารถนำปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ที่เรียกว่าคาร์บอนเครดิต ซึ่งภายใต้โครงการ T-VER นี้เรียกว่า "TVERs" ไปขายในตลาดคาร์บอนภาคสมัครใจในประเทศได้ ทั้งนี้ อบก. ได้กำหนดหลักเกณฑ์และขั้นตอนในการพัฒนาโครงการ ระเบียบวิธีการในการลดก๊าซเรือนกระจก (Methodology) การขึ้นทะเบียนและการรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยจะต้องเป็นโครงการที่ก่อให้เกิดการลด/ ดูดซับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในประเทศไทย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559)

1.12 จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการออกแบบจำลองสถานการณ์ทั้ง 2 สถานการณ์ โดยเริ่มต้นจากใช้ระบบปัจจุบันที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด (Housekeeping) ปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีอยู่ให้ดีขึ้นกว่าเดิม (Process Improvement) และการเปลี่ยนระบบหรือเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมสูงขึ้น (Machine Change) จากนั้นจะวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริต และคาร์บอนเครดิต ซึ่งจะนำไปสู่การดำเนินโครงการหรือเทคโนโลยีต่อผลการลดใช้พลังงานไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยพะเยา

บทที่ 4

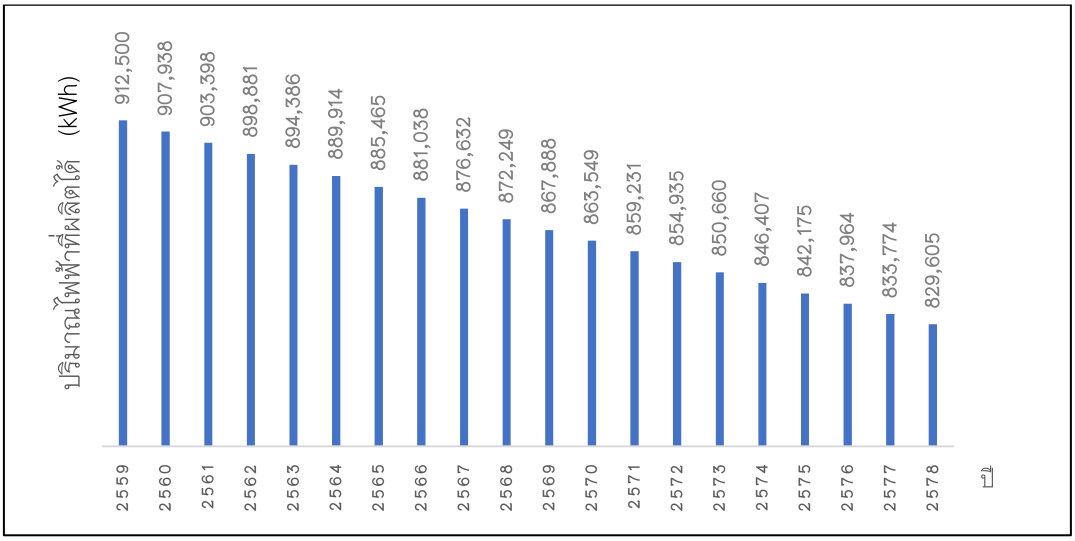
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด ในการวิเคราะห์และประเมินพลังงานไฟฟ้าผลกระทบที่เกิดขึ้นทางสิ่งแวดล้อมด้านก๊าซเรือนกระจก ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและมีความเหมาะสม นำไปสู่แนวทางในการพัฒนาระบบสมาร์ตกริด

การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

การประเมินพลังงานไฟฟ้า (ด้านการผลิตไฟฟ้า) ประมาณการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยาเริ่มใช้งานได้จริง เมื่อต้นปี 2559 มีการจัดเก็บข้อมูลทั้งไฟฟ้าที่ผลิตได้และไฟฟ้าที่ใช้ของแต่ละอาคารที่ทำการติดตั้ง แต่เนื่องจากระบบยังไม่เสถียรของระบบการจัดเก็บข้อมูล ทำให้ข้อมูลนั้นยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้น การประมาณการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากประมาณการจากกำลังการติดตั้งของระบบ (Net power) กับชั่วโมงการทำงาน (Work hour) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559) สามารถคำนวณได้ดังสมการ 6

ดังนั้นประมาณการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริด (Estimation of Electricity Generation from Photovoltaic cell on the Smart Grid Network) ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดจากระบบสมาร์ตกริดที่ติดตั้ง ณ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่มีขนาดกำลังการติดตั้ง 0.5 MW มีอายุการใช้งาน 20 ปี โดยได้มีการคำนึงถึงค่าการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าลดลงเท่ากับร้อยละ 0.5 ต่อปี (Jordan, D.C.and Kurtz, S.R, 2012) ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบสมาร์ตกริดมีค่าเท่ากับ 912,500 kWh/year หรือ 912.5 MWh/year และมีปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี เท่ากับ 17,409,129 kWh/year หรือ 17,409.129 MWh/year ดังภาพ 35 และตาราง 9



ภาพ 35 คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ตาราง 9 คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริด (พิจารณาตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี)

ปี	คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year)
2559	912,500
2560	907,938
2561	903,398
2562	898,881
2563	894,386
2564	889,914
2565	885,465
2566	881,038
2567	876,632
2568	872,249
2569	867,888
2570	863,549
2571	859,231

ตาราง 9 (ต่อ)

ปี	คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year)
2572	854,935
2573	850,660
2574	846,407
2575	842,715
2576	837,964
2577	833,774
2578	829,605
Total	**17,409,129**

การประเมินพลังงานไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) ของระบบสมาร์ตกริด

วิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) คือ การประวิเคราะห์การใช้พลังงานทั้งพลังงานทางตรง (Direct Consumption) ได้แก่ การใช้ไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงต่าง ๆ และพลังงานทางอ้อม (Indirect Consumption) ได้แก่ การใช้วัสดุต่าง ๆ ที่ไม่ใช่พลังงานแต่ในกระบวนการผลิตวัสดุนั้น มีการใช้พลังงานในการผลิต โดยจะวิเคราะห์ออกมาต่อหน่วยการผลิต เช่น ต่อชิ้น ต่อกล่อง หรือต่อหน่วยไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการคิดค่าพลังงานสะสมในการผลิตไฟฟ้าของระบบสมาร์ตกริด สามารถวิเคราะห์ได้ ดังสมการ 7

$$CED_{SMG} = CED_{Man} + CED_{Tran} + CED_{Con} + CED_{O\&M} \qquad (7)$$

โดยที่

CED_{SMG} คือ พลังงานสะสมของการผลิตไฟฟ้าจากระบบสมาร์ตกริด (MJ)

CED_{Man} คือ พลังงานสะสมในกระบวนการผลิตอุปกรณ์ (MJ)

CED_{Tran} คือ พลังงานสะสมในกระบวนการขนส่งอุปกรณ์ (MJ)

CED_{Con} คือ พลังงานสะสมในกระบวนการก่อสร้างและติดตั้ง (MJ)

$CED_{O\&M}$ คือ พลังงานสะสมในกระบวนการดำเนินงานและบำรุงรักษา (MJ)

ในการหาค่าพลังงานสะสมของแต่ละกระบวนการสามารถหาได้ ดังสมการ 8

$$CED_i = \sum_i \left(A_{i,j} \times ced_{i,j} \right) \quad (8)$$

โดยที่

CED_i	คือ	พลังงานสะสมในขั้นตอน *i* (MJ)
A_i	คือ	ปริมาณทรัพยากร *j* ในขั้นตอนการผลิต *i* (unit)
ced_j	คือ	พลังงานสะสมของทรัพยากร *j* ในขั้นตอนการผลิต *i* (MJ/Unit)

1. ประสิทธิภาพทางพลังงาน (Energy Efficiency) คือ ตัวชี้วัดทางด้านพลังงานที่บ่งบอกถึงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะแสดงเป็นค่าพลังงานสุทธิของระบบ (Net Energy Value; NEV) ซึ่งค่าพลังงานสุทธิของระบบสมาร์ตกริด โดยจะวิเคราะห์ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh ดังสมการ 9

$$NEV_{SMG} = E_{out,SMG} - CED_{SMG} \quad (9)$$

โดยที่

NEV_{SMG}	คือ	พลังงานสุทธิของระบบสมาร์ตกริด
$E_{out,SMG}$	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 kWh (MJ)
CED_{SMG}	คือ	พลังงานสะสมของพลังงานในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh (MJ)

ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิจะเป็นค่าที่ไม่มีหน่วยและสามารถเป็นไปได้ 3 กรณี ดังตาราง 10

ตาราง 10 ผลที่ได้จากการหาค่าพลังงานสุทธิ

NEV_{SMG}	**ความหมาย**
เท่ากับ 0	ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานและการใช้พลังงานเท่ากัน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับพอใช้
มากกว่า 0	ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานมากกว่าการใช้พลังงาน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี (หากมีค่าที่สูงขึ้นจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นตามไปด้วย)
น้อยกว่า 0	ระบบที่พิจารณามีความสามารถในการผลิตพลังงานน้อยกว่าการใช้พลังงาน มีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับควรปรับปรุง (หากมีค่าที่ต่ำลงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำลงเช่นกัน)

2. พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED)

ข้อมูลบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI) ของระบบสมาร์ตกริดข้างต้นจะถูกนำมาวิเคราะห์พลังงานสะสม เพื่อหาค่าประสิทธิภาพพลังงาน โดยแยกตามขั้นตอนเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานหรือพลังงานสะสม ของระบบสมาร์ตกริดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ดังผนวก ฉ และดังตาราง 11

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของระบบเครือข่ายสมาร์ตกริดตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอน	**ผลรวม CED (MJ/kWh)**
	20 ปี
ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์	2.234
ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์	0.0067
ขั้นตอนการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง	0.0000179
ขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง	0.01
ผลรวมทั้งระบบสมาร์ตกริด	**2.251**

3. ข้อมูลการบำรุงรักษา (Maintenance) ระบบสมาร์ตกริดนั้น สามารถปฏิบัติจากคู่มือการบำรุงรักษา Smart Grid ม.พะเยา (SHARP, 2559) และจากคู่มือการบำรุงรักษา PV Module Maintenance (SHARP, 2559) สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก คือ การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter) โดยมีรายละเอียดดังตาราง 12

ตาราง 12 ขั้นตอนหลักการบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ

ข้อมูลการบำรุงรักษา	ขั้นตอนหลักการบำรุงรักษาระบบสมาร์ตกริด
1. การบำรุงรักษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module Maintenance)	1. ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2. ตรวจสอบการเชื่อมต่อและกล่องพักสายไฟ 3. ตรวจสอบความสะอาดบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ฝุ่นและขี้นกที่ตกสะสมอยู่บนผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้การส่องผ่านของแสงลดลง
2. การบำรุงรักษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ (Inverter Maintenance)	1. ตรวจสอบการเชื่อมต่อเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับ 2.สังเกตหน้าจอสัญญาณ

จากตาราง 12 ข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานจะช่วยทำให้ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงจะช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้อีกด้วย ในขั้นตอนบำรุงรักษาหากผู้ดูแลระบบทำตามคู่มือบำรุงรักษาอย่างเคร่งครัด อุปกรณ์ทุกอย่างจะสามารถใช้งานได้ตลอดอายุโครงการทั้ง 20 ปี ในส่วนของการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นสมมติให้มีการใช้แรงงานคนและมีการใช้น้ำในปริมาณไม่มากจึงไม่ได้นำมาคิดรวมในการวิเคราะห์

พลังงานที่ใช้ (พลังงานสะสม) ในการผลิตไฟฟ้าจากระบบสมาร์ตกริดจำนวน 1 kWh มีค่าเท่ากับ 2.251 MJ จากผลการวิเคราะห์พลังงาน พบว่า ช่วงที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคิดเป็น 99.24 เปอร์เซ็นต์ของทั้งระบบ คือ ช่วงการผลิตอุปกรณ์ของระบบสมาร์ตกริด โดยมีการใช้พลังงานไป 2.234 MJ เพื่อผลิตไฟฟ้าจำนวน 1 kWh ซึ่งพลังงานที่ใช้มาจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า คือ เซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 2,000 แผง อีกทั้งในกระบวนการผลิตยังมีขั้นตอนที่ซับซ้อนและหลายกระบวนการ (Achara, N., 2014) ส่งผลให้พลังงานที่ใช้ในการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (พลังงานสะสม) มีค่ามากตามไปด้วย ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานรองลงมา คือ การใช้พลังงานในการขนส่งเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีการนำเข้ามาจากญี่ปุ่นด้วยเรือและมีการขนส่งด้วยรถบรรทุกมายังมหาวิทยาลัยพะเยา โดยขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานคิดเป็น 0.742 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมด โดยส่วนใหญ่มาจากการขนส่งภายในประเทศ ส่วนของการใช้พลังงานในขั้นตอนอื่น ๆ มีนัยสำคัญน้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้กล่าวไปข้างต้น

ค่าพลังงานสุทธิของระบบสมาร์ตกริดซึ่งหาได้จากผลต่างของพลังงานที่ผลิตได้จากระบบกับพลังงานที่ใช้ (พลังงานสะสม) พบว่า ค่าพลังงานสุทธิของระบบสมาร์ตกริดมีค่าเท่ากับ 1.349

ซึ่งบ่งบอกว่า ระบบสมาร์ตกริดประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี สำหรับระบบเดิมที่ได้ดำเนินการติดตั้งไปแล้วการบำรุงรักษาที่ดีจะทำให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงสามารถยืดอายุการใช้งานและสามารถใช้งานระบบได้นานขึ้นไปอีกด้วย

การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของระบบสมาร์ตกริด โดยแผนการปฏิบัติการและบำรุงรักษา (Plant Operation & Maintenance) เป็นสิ่งที่สำคัญ ซึ่งการปฏิบัติการและบำรุงรักษาเป็นการพยายามรักษาสภาพของระบบสมาร์ตกริด และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่าง ๆ ให้มีสภาพที่พร้อมจะใช้งานตลอดเวลา ในการซ่อมบำรุงจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม เพื่อให้ระบบสมาร์ตกริดทำงานอย่างมีประสิทธิผล (Effectiveness) สามารถใช้งานได้เต็มกำลังความสามารถและตรงกับความต้องการของระบบสมาร์ตกริดที่ติดตั้งมากที่สุด เพื่อให้ระบบสมาร์ตกริดมีสมรรถนะการทำงานสูง (Performance) มีอายุการใช้งานยาวนาน ดังนั้นการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงร้อยละ 6.9 ดังนั้น วิธีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม โดยจะส่งผลให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.83 (นิพนธ์ เกตุจ้อย และมรุพงศ์ กอนอยู่, 2555) ของการทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะเวลา 30 วัน ซึ่งอาจส่งผลทำให้ยืดอายุการใช้งานของระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบสมาร์ตกริดจาก 20 ปี ออกไปเป็น 25 ปี เนื่องจากมีการปฏิบัติการบำรุงรักษา (Plant Operation & Maintenance) ตามแผนเป็นหลักอย่างสม่ำเสมอ หากมีการใช้งานระบบได้มากถึง 25 ปี จะทำให้ไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นจาก 17,409,129 kWh เป็น 21,495,346.88 kWh การวิเคราะห์พลังงานสะสมของระบบที่มีอายุการใช้งาน 20 ปี และ25 ปี ดังตาราง 13

ตาราง 13 ผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์พลังงานสะสมของของระบบเครือข่ายสมาร์ตกริด ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปีและ 25ปี ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอน	ผลรวม CED (MJ/kWh)	
	20 ปี	25 ปี
ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์	2.234	1.9183
ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์	0.00678	0.00549
ขั้นตอนการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง	0.0000179	0.0000145
ขั้นตอนการก่อสร้างและติดตั้ง	0.01064	0.008621
ผลรวมทั้งระบบสมาร์ตกริด	**2.251**	**1.932**

เมื่อมีการยืดเวลาการใช้ระบบสมาร์ตกริดจาก 20 ปี เป็น 25 ปี พบว่า ค่าพลังงานสะสมลดลงจาก 2.251 MJ/kWh เป็น 1.932 MJ/kWh หรือ 14.17 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าพลังงานสุทธิเพิ่มขึ้นจาก 1.349 เป็น 1.668 ซึ่งบ่งบอกว่าระบบมีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงานในระดับดี ดังนั้น การบำรุงรักษาระบบอย่างสม่ำเสมอก็มีความสำคัญไม่น้อยไปกว่าการเลือกอุปกรณ์เพื่อใช้ในการติดตั้งระบบเลย

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้วยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริด

ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด เป็นระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ได้เชื่อมโยงเข้ากับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า(Inverter/Converter) แบบเชื่อมต่อสายส่ง ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Array) ระบบจำหน่าย (Grid) และภาระไฟฟ้า (AC loads) โดยรับไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งมีความถี่และแรงดันเดียวกับระบบจำหน่ายและระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ขอบเขตการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้านก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริดตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ประกอบด้วย โครงสร้างของการติดตั้ง (Construction) การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) โดยพิจารณาตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิต ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา

1.1 เป้าหมายของการศึกษา

การกำหนดเป้าหมายของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาการลดก๊าซเรือนกระจกจากระบบสมาร์ตกริด โดยเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะวิเคราะห์ตลอดทั้ง Supply Chain ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต

1.2. ขอบเขตของการศึกษา

หน่วยหน้าที่การศึกษา (Function Unit) คือ การผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWhของไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ โดยตั้งสมมติฐานว่าระบบมีอายุการใช้งาน 20 ปี (เสาวภา ทินปานและคณะ ,2556); (ปาณิศา อ่อนดอกไม้ และคณะ, 2561)

1.3. ขอบเขตของระบบอ้างอิง (System Boundary) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

ขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้าง (Construction)ของการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด ประกอบด้วย โครงสร้างต่าง ๆ และการขนส่งของการติดตั้ง

ขั้นตอนการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าปกติบนเครือข่ายสมาร์ตกริด ประกอบด้วยการบำรุงรักษาระบบ อุปกรณ์และการขนส่งของอุปกรณ์บำรุงรักษา

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากขั้นตอนหลักของการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการผลิตหลักประกอบด้วยหน่วยการผลิตย่อย (Unit Process) อีกหลายขั้นตอนโดยมีรายละเอียดแหล่งที่มาของข้อมูลต่าง ๆ ดังตาราง 14

ตาราง 14 แหล่งที่มาของข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ช่วงวัฏจักรชีวิต	ข้อมูลปฐมภูมิ	ข้อมูลทุติยภูมิ	แหล่งอ้างอิง
Construction	1.ข้อมูลปริมาณของอุปกรณ์ 2. ข้อมูลแหล่งผลิต 3. ข้อมูลระยะทางและรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ 4. อมูลการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ 5. ข้อมูลการขนส่งวัสดุก่อสร้าง 6. ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	1. ค่า EF ของอุปกรณ์ 2. ค่า EF ของการขนส่งในแต่และรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ 3. ค่า EF ของการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ 4. ค่า EF ของการขนส่งวัสดุก่อสร้าง 5. ค่า EF ของวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	1. ข้อมูลคู่มือการติดตั้ง Smart Grid ม.พะเยา 2. ฐานข้อมูล Ecoinvent 3. ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ Google Map 4. คู่มือ SHARP (Photovoltaic) 5. คู่มือ SMA STP-STP2000TLEE (Inverter)
Operation & Maintenance	1. ข้อมูลปริมาณของอุปกรณ์ 2. ข้อมูลแหล่งผลิต 3. ข้อมูลระยะทางและรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ 4. ข้อมูลการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ 5. ข้อมูลการขนส่งวัสดุก่อสร้าง 6. ข้อมูลวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 7. ข้อมูลการบำรุงรักษาระบบและอุปกรณ์ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	1. ค่า EF ของอุปกรณ์ 2. ค่า EF ของการขนส่งในแต่ละรูปแบบขนส่งวัสดุต่าง ๆ 3. ค่า EF ของการติดตั้งโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ 4. ค่า EF ของการขนส่งวัสดุก่อสร้าง 5. ค่า EF ของวัสดุที่ใช้ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ 6. ค่า EF ของการบำรุงรักษาระบบและอุปกรณ์	1. ข้อมูลคู่มือการติดตั้ง Smart Grid ม.พะเยา 2. ฐานข้อมูล Ecoinvent 3. ระบบภูมิสารสนเทศศาสตร์ Google Map 4. คู่มือ SHARP (Photovoltaic) 5. คู่มือ SMA STP-STP2000TLEE (Inverter)

เมื่อทำการเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงวัฏจักรชีวิตของระบบสมาร์ตกริด นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณให้อยู่ในรูปต่อหน่วยหน้าที่การทำงาน (Function Unit) ตามที่กำหนดไว้ คือ การผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

การวิเคราะห์จัดบัญชีรายการ ขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ วัสดุ การก่อสร้างและติดตั้งโครงสร้างของระบบสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh โดยสามารถแสดงรายละเอียดบัญชีรายการ ดังตาราง 15-16 ในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สำหรับขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งในส่วนของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และวัสดุในการก่อสร้าง/ติดตั้ง จะใช้ข้อมูลปริมาณของวัสดุอุปกรณ์จากคู่มือการติดตั้ง Smart Grid ม.พะเยา (คู่มือการติดตั้งระบบ Smart Grid ม.พะเยา, 2559) ร่วมกับข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตอุปกรณ์และวัสดุชนิดนั้น ๆ ของฐานข้อมูล

Ecoinvent (IPCC, 2016) ในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro วิธี IPCC 2013 GWP 100a บนสมมติฐานว่าในกระบวนการผลิตอุปกรณ์และวัสดุชนิดเดียวกันจะมีการใช้พลังงานที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน

ตาราง 15 บัญชีรายการสารขาเข้าสารขาออกของการติดตั้งโครงสร้างการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		แหล่งที่มาของข้อมูล
		ปริมาณ	หน่วย	
Construction	PV-Solar Cell	0.002182763	กิโลกรัม	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา /คู่มือ SHARP (Photovoltaic)
	Inverter 25 kW	4.65273E-05	กิโลกรัม	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา/คู่มือ SMA STP-STP2000TLEE (Inverter)
	Copper	3.15122E-05	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	TPE	1.953E-05	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Stainless	3.06736E-05	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Aluminum	2.972E-05	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Steel	4.36553E-06	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Concrete	5.11226E-06	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Disk drive, CD/DVD, ROM	1.14308E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Fan, for power supply Unit desktop Computer	4.02088E-09	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Hard disk drive for desktop Computer	5.62923E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	power supply Unit desktop Computer	5.859E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Cable connector for computer	4.8825E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Plug, inlet an out lot for computer cable	4.13576E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Display liquid crystal	4.0496E-07	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Internet access equipment	4.30808E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Keyboard	3.33159E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Pointing device optical mouse	3.44647E-09	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Router, internet	1.83812E-08	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.

ตาราง 16 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการปฏิบัติการบำรุงรักษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		แหล่งที่มาของข้อมูล
		ปริมาณ	หน่วย	
Operation & Maintenance	PV-Solar Cell	0.000218276	กิโลกรัม	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา
	Inverter 25 kW	5.1697E-06	กิโลกรัม	คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart Grid ม.พะเยา
	Copper	3.15122E-06	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	Aluminum	2.972E-06	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.
	TPE	1.953E-06	กิโลกรัม	Vasilis, F. (2011). “Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessment of Phohovoltaic systems”.

การวิเคราะห์จัดบัญชีรายการ ขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์ วัสดุ การก่อสร้างและติดตั้งโครงสร้าง และการบำรุงรักษาของการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh ซึ่งสามารถแสดงบัญชีรายการได้ ดังตาราง 17–18

ซึ่งนอกจากการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด จะต้องมีการขนส่งอุปกรณ์ วัสดุจากแหล่งต่าง ๆ ด้วย ซึ่งสามารถพิจารณาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการประเมินจากรูปแบบที่ใช้ในการขนส่งของระบบสมาร์ตกริด โดยจะใช้หลักการพิจารณาจากรูปแบบในการขนส่ง

การคำนวณวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในขั้นตอนการขนส่งวัสดุ อุปกรณ์ต่าง ๆ การก่อสร้าง การติดตั้งโครงสร้างการผลิต การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงระบบสมาร์ตกริดโดย ดังตาราง 22–23 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงในการขนส่งวัตถุดิบ ทั้งสารขาเข้า และสารขาออกต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากระยะทางและน้ำหนักของวัตถุดิบที่ขนส่ง ดังสมการ 10 (เนตร ชนาการนต์, 2560)

$$GHG_{T,i} = \sum \left[\left(\frac{W_k D_k}{W_T} \times ET_{T1} \right) + (W_k \times D_k \times EF_{T2}) \right]_i \qquad (10)$$

โดยที่

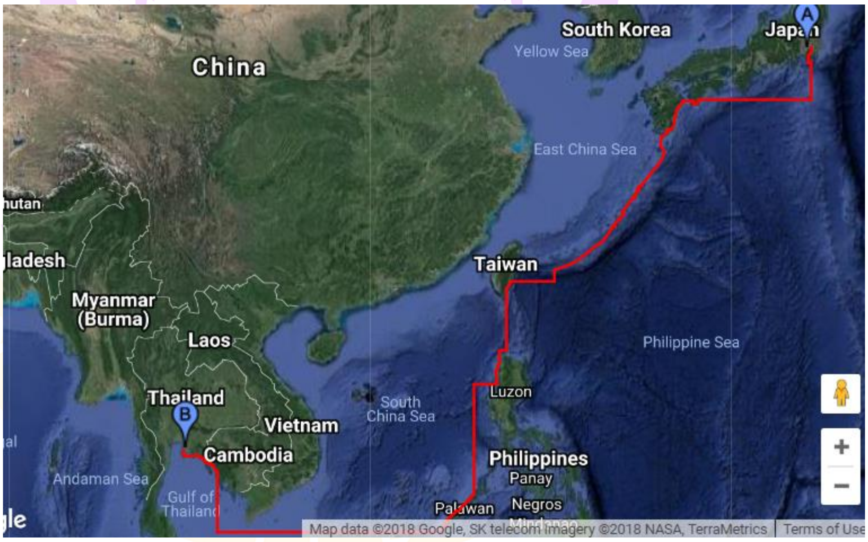
$GHG_{T,i}$	คือ	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง (kg CO_2eq)
W_T	คือ	น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถบรรทุก (ton)
W_k	คือ	น้ำหนักบรรทุกของวัตถุดิบ k (ton)
D_k	คือ	ระยะทางการขนส่งของวัตถุดิบ k (km)
ET_{T1}		ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของวัตถุดิบ k เที่ยวกลับ(kg CO_2 eq /km)

การขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบสมาร์ตกริด สามารถคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้ค่าเฉลี่ยของระยะทางคูณด้วยปริมาณปัจจัยการผลิตที่บรรทุก จากนั้นจึงนำมาคูณเข้ากับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามประเภทรถที่ใช้งานด้วย ทั้งนี้ สำหรับการขนส่งที่นำมาประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะคิดจากการขนส่ง ปัจจัยการผลิตหรือวัตถุดิบในทุกกิจกรรม ตั้งแต่กิจกรรมการขนส่งและการติดตั้งโครงสร้าง และการปฏิบัติการบำรุงรักษา โดยพาหนะที่ใช้ในการประเมินครั้งนี้ คือ รถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16,000 กิโลกรัม เที่ยวไปบรรทุกเต็ม เที่ยวกลับตีรถเปล่า

ระยะทางการขนส่งจำเป็นต้องนำมาคิดในการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบสมาร์ตกริด โดยขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์ โดยจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำหนักของอุปกรณ์แต่ละชนิด ระยะทาง

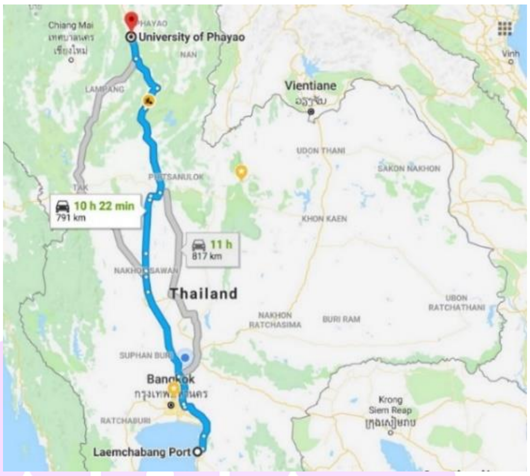
จากโรงงานที่ผลิต รวมถึงข้อมูลของรูปแบบการขนส่ง ซึ่งอุปกรณ์หลักของระบบสมาร์ตกริดที่พิจารณานั้น คือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ผลิตในโรงงานที่ประเทศญี่ปุ่น มีการคิดการขนส่งแผงจากประเทศญี่ปุ่นมายังท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรีด้วยการขนส่งทางเรือ โดยมีระยะทางในการขนส่งเท่ากับ 3,385 กิโลเมตร (www.searates.com) ดังภาพ 36 และได้มีการขนส่งต่อจากท่าเรือแหลมฉบังมายังพื้นที่โครงการ คือ มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา โดยรถบรรทุกมีระยะทางสำหรับการขนส่งช่วงนี้เท่ากับ 791 กิโลเมตร (www.google.co.th/maps/) ดังภาพ 37

สำหรับอินเวอร์เตอร์ (SMA) นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีการประกอบขึ้นในประเทศไทย ดังนั้นจึงได้คิดระยะทางการขนส่งจากแหล่งกระจายสินค้าซึ่งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ ซึ่งมีการขนส่งโดยรถบรรทุกเช่นกัน ในส่วนของอุปกรณ์อื่น ๆ รวมถึงวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ ในพื้นที่จังหวัดพะเยา จึงได้ตั้งสมมติฐานว่ามีการขนส่งจากในตัวเมืองจังหวัดพะเยา ซึ่งมีระยะทางการขนส่งจากใน อำเภอเมือง จังหวัดพะเยาถึงมหาวิทยาลัยพะเยาเป็นระยะทาง 28 กิโลเมตร (www.google.co.th/maps/) ดังภาพ 38



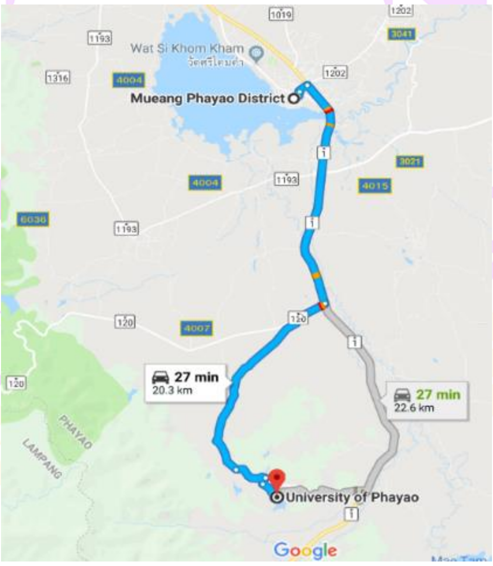
ภาพ 36 ระยะทางจากโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น บรรทุกไปยังท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ระยะทาง 3,385 กิโลเมตร

ที่มา: www.searates.com



ภาพ 37 ระยะทางจากท่าเรือ แหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี บรรทุกไปยัง มหาวิทยาลัยพะเยา ระยะทาง 791 กิโลเมตร

ที่มา: https://www.google.com/maps



ภาพ 38 ระยะทางจาก อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา บรรทุกไปยัง มหาวิทยาลัยพะเยา ระยะทาง 28 กิโลเมตร

ที่มา: https://www.google.com/maps

ตาราง 17 บัญชีรายการขนส่งวัสดุการติดตั้งโครงสร้างระบบสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

ขั้นตอนหลัก	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง	น้ำหนักxระยะทาง	พาหนะ
		หน่วย	ปริมาณ			
Construction	PV-Solar Cell (นำเข้าจากโตเกียว)	kg	2.1828E-06	3,385	7.389E-03	Fright Ship
	PV-Solar Cell (ขนส่งภายในประเทศ)	kg	2.1828E-06	791	1.727E-03	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Inverter 25 kW	kg	4.6527E-08	791	3.680E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Copper	kg	3.1512E-08	791	2.493E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	TPE	kg	1.9530E-08	791	1.545E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Stainless	kg	3.0674E-08	791	2.426E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Aluminum	kg	2.9720E-08	791	2.351E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Steel	kg	4.3655E-09	28	1.222E-07	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Concrete	kg	5.1123E-09	20.3	1.431E-07	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Disk drive, CD/DVD, ROM	kg	1.1431E-11	20.3	3.201E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Fan, for power supply Unit desktop	kg				
	Computer		4.0209E-12	20.3	1.126E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Hard disk drive for desktop Computer	kg	5.6292E-11	20.3	1.576E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	power supply Unit desktop Computer	kg	5.8590E-11	20.3	1.641E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Cable connector for computer	kg	4.8825E-11	20.3	1.367E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Plug, inlet an out lot for computer	kg				
	cable		4.1358E-11	20.3	1.158E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน

ตาราง 17 (ต่อ)

ขั้นตอนหลัก	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง	น้ำหนักxระยะทาง	พาหนะ
		หน่วย	ปริมาณ			
Construction	Display liquid crystal	kg	4.0496E-10	20.3	1.134E-08	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Internet access equipment	kg	4.3081E-11	20.3	1.206E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Keyboard	kg	3.3316E-11	20.3	9.328E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Pointing device optical mouse	kg	3.4465E-12	20.3	9.650E-11	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Router, internet	kg	1.8381E-11	20.3	5.147E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน

ตาราง 18 บัญชีรายการขนส่ง วัสดุ อุปกรณ์การบำรุงรักษาของระบบสมาร์ตกริดต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

ขั้นตอนหลัก	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง	น้ำหนักxระยะทาง	พาหนะ
		หน่วย	ปริมาณ			
Operation & Maintenance	PV-Solar Cell (นำเข้าจากโตเกียว)	kg	2.1828E-06	3,385	7.389E-03	Fright Ship
	PV-Solar Cell (ขนส่งภายในประเทศ)	kg	2.1828E-06	791	1.727E-03	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Inverter 25 kW	kg.	5.1697E-09	791	4.089E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Copper	kg.	3.1512E-09	791	2.493E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	Aluminum	kg.	2.9720E-09	791	2.351E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน
	TPE	kg.	1.9530E-09	791	1.545E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน

หลังจากการวิเคราะห์บัญชีรายการของระบบสมาร์ตกริด ตั้งแต่ขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) จนถึงการผลิตไฟฟ้า จากข้อมูลที่ได้ในการคำนวณหาค่าการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคูณเข้ากับปัจจัยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor; EF) ของประเภทวัสดุ พลังงานหรือกระบวนการนั้น ๆ คำนวณในรูปของปริมาณก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้มาจากฐานข้อมูล Ecoinvent จากโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro วิธี IPCC 2013 GWP 100a สามารถคำนวณได้ดังสมการ 2 (เนตร ชนากานต์, 2560) โดยสามารถแสดงรายละเอียดการคำนวณออกเป็นดังนี้

1. การคำนวณวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งโครงสร้างการผลิต การปฏิบัติการ และการซ่อมบำรุงระบบสมาร์ตกริด ดังตาราง 19-20

2. การคำนวนวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งติดตั้งโครงสร้างการผลิต การปฏิบัติการ และการซ่อมบำรุงระบบสมาร์ตกริด ดังตาราง 21-22

ตาราง 19 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งโครงสร้าง (Construction)ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF	ผลคูณ	แหล่งที่มาของข้อมูล EF
		หน่วย	ปริมาณ	($kgCO_2eq$/หน่วย)	(1 kWh)	
Construction	PV-Solar Cell	kg	0.002182763	94.5	0.206271089	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Inverter 25 kW	kg	4.65273E-05	4.03	0.00018766	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Copper	kg	3.15122E-05	5.14	0.00016197	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	TPE	kg	1.953E-05	2.73	5.3317E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Stainless	kg	3.06736E-05	2.13	6.5335E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Aluminum	kg	2.972E-05	7.56	0.00022468	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	Steel	kg	4.36553E-06	2.34	1.0215E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Concrete	kg	5.11226E-06	0.238	1.2167E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	Disk drive, CD/DVD, ROM	kg	1.14308E-08	202	2.1033E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Fan, for power supply Unit desktop Computer	kg	4.02088E-09	18.4	5.6694E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Hard disk drive for desktop Computer	kg	5.62923E-08	14.1	8.1624E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	power supply Unit desktop Computer	kg	5.859E-08	14.5	2.3143E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Cable connector for computer	kg	4.8825E-08	39.5	2.2069E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Plug, inlet an out lot for computer cable	kg	4.13576E-08	0.452	1.3772E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Display liquid crystal	kg	4.0496E-07	0.333	0.00013404	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013

ตาราง 19 (ต่อ)

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF	ผลคูณ	แหล่งที่มาของข้อมูล EF
		หน่วย	ปริมาณ	($kgCO_2eq$/หน่วย)	(1 kWh)	
Construction	Internet access equipment	kg	4.30808E-08	331	2.4815E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Keyboard	kg	3.33159E-08	5.76	6.3966E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Pointing device optical mouse	kg	3.44647E-09	19.2	1.8094E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Router, internet	kg	1.83812E-08	5.25	4.9813E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
Total					0.2071	

ตาราง 20 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการปฏิบัติการ และการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF	ผลคูณ	แหล่งที่มาของข้อมูล EF
		หน่วย	ปริมาณ	($kgCO_2eq$/หน่วย)	(1 kWh)	
Operation & Maintenance	PV-Solar Cell	kg	0.00021827	94.5	0.02062710	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Inverter 25 kW	kg	5.1697-06	4.03	2.0851E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Copper	kg	3.15122-06	5.14	1.6197E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	Aluminum	kg	2.972E-06	7.56	1.9259E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
	TPE	kg	1.953E-06	2.73	5.3317E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
Total					0.0206	

จากตาราง 19-20 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) และการปฏิบัติการ การซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีค่าเท่ากับ 0.2278 kgCO_2eq/ 1kWh

ตาราง 21 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งการติดตั้งโครงสร้างของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI หน่วย	ค่า LCI ปริมาณ	ระยะทาง (กม.)	นน.x ระยะทาง (tkm or km)	แบบการใช้ระยะทาง พาหนะ	% เที่ยวไป	% เที่ยวกลับ	ค่า EF (kgCO_2eq/ ตัน-กม.)	ผลคูณ (1 kWh)	แหล่งที่มาของข้อมูล
Construction	PV-Solar Cell (นำเข้าจากโตเกียว)	kg	2.1828E-06	3,385	7.389E-03	Fright Ship	100	0	0.0100	7.389E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	PV-Solar Cell (ขนส่งภายในประเทศ)	kg	2.1828E-06	791	1.727E-03	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	7.787E-05	Thai National LCI Database/MTEC
	Inverter 25 kW	kg	4.6527E-08	791	3.680E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.660E-06	Thai National LCI Database/MTEC
	Copper	kg	3.1512E-08	791	2.493E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.124E-06	Thai National LCI Database/MTEC
	TPE	kg	1.9530E-08	791	1.545E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	6.967E-07	Thai National LCI Database/MTEC
	Stainless	kg	3.0674E-08	791	2.426E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.094E-06	Thai National LCI Database/MTEC
	Aluminum	kg	2.9720E-08	791	2.351E-05	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.060E-06	Thai National LCI Database/MTEC
	Steel	kg	1.2298E-07	28	3.443E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	5.513E-09	Thai National LCI Database/MTEC
	Concrete	kg	6.2841E-09	28	1.760E-07	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	6.456E-09	Thai National LCI Database/MTEC
	Disk drive, CD/DVD, ROM	kg	3.3890E-11	28	9.489E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.443E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	Fan, for power supply Unit desktop Computer	kg	2.3551E-11	28	6.594E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	5.078E-12	Thai National LCI Database/MTEC
	Hard disk drive for desktop Computer	kg	2.9869E-11	28	8.363E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	7.109E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	power supply Unit desktop Computer	kg	2.7572E-11	28	7.720E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	7.399E-11	Thai National LCI Database/MTEC

ตาราง 21 (ต่อ)

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง (กม.)	แบบการใช้ระยะทาง				ค่า EF ($kgCO_2eq$/ตัน-กม.)	ผลคูณ (1 kWh)	แหล่งที่มาของข้อมูล
		หน่วย	ปริมาณ		นน.xระยะทาง (tkm or km)	พาหนะ	% เที่ยวไป	% เที่ยวกลับ			
Construction	Cable connector for computer	kg	4.8825E-11	28	1.367E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	6.166E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	Plug, inlet an out lot for computer cable	kg	4.1358E-11	28	1.158E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	5.223E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	Display liquid crystal	kg	6.2036E-10	28	1.737E-08	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	5.114E-10	Thai National LCI Database/MTEC
	Internet access equipment	kg	4.3081E-11	28	1.206E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	5.440E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	Keyboard	kg	5.9739E-11	28	1.673E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	4.207E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	Pointing device optical mouse	kg	5.1123E-11	28	1.431E-09	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	4.352E-12	Thai National LCI Database/MTEC
	Router, internet	kg	1.8381E-11	28	5.147E-10	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	2.321E-11	Thai National LCI Database/MTEC
	Total									0.0001574	

ตาราง 22 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	รายการ	ค่า LCI หน่วย	ค่า LCI ปริมาณ	ระยะทาง (กม.)	แบบการใช้ระยะทาง นน.xระยะทาง (tkm or km)	แบบการใช้ระยะทาง พาหนะ	% เที่ยวไป	% เที่ยวกลับ	ค่า EF ($kgCO_2eq$/ตัน-กม.)	ผลคูณ (1 kWh)	แหล่งที่มาของข้อมูล
Operation & Maintenance	PV-Solar Cell (นำเข้าจากโตเกียว)	kg.	2.1828E-07	3,385	7.389E-04	Fright Ship	100	0	0.0100	7.38865E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
	PV-Solar Cell (ขนส่งภายในประเทศ)	kg	2.1828E-07	791	1.727E-04	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	7.78681E-05	Thai National LCI Database/MTEC
	Inverter 25 kW	kg	5.1697E-09	791	4.089E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.84424E-07	Thai National LCI Database/MTEC
	Copper	kg.	3.1512E-09	791	2.493E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.12417E-07	Thai National LCI Database/MTEC
	Aluminum	kg	2.9720E-09	791	2.351E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	1.06024E-07	Thai National LCI Database/MTEC
	TPE	kg.	1.9530E-09	791	1.545E-06	รถบรรทุก 10 ล้อ 16 ตัน	100	0	0.0451	6.96715E-08	Thai National LCI Database/MTEC
	Total									0.0001522	

จากตาราง 21-22 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการขนส่งการติดตั้งโครงสร้างการปฏิบัติการและการซ่อมบำรุงของการผลิตไฟฟ้า 1 kWh มีค่าเท่ากับ 0.00031 kgCO_2eq/ 1kWh

การแปลผล

เมื่อทำการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) จนถึงการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด สามารถสรุปรายละเอียดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังตาราง 23-25

ตาราง 23 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh ในระบบสมาร์ตกริด

ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG ในระบบสมาร์ตกริด (kgCO_2eq/1kWh)
Construction	0.2071
Operation & Maintenance	0.0206
รวม	**0.2278**

ตาราง 24 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh ของการขนส่งในระบบสมาร์ตกริด

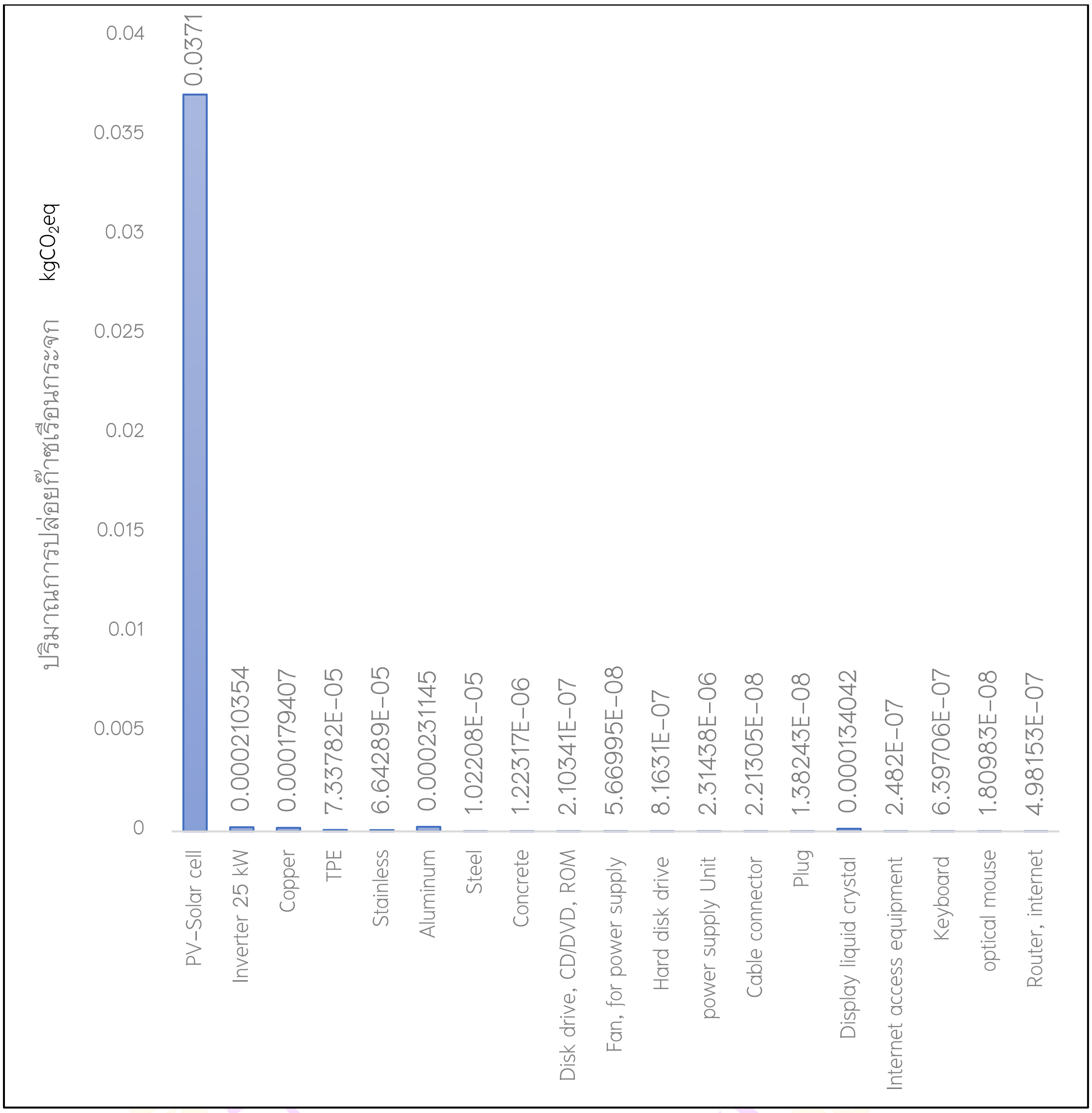
ขั้นตอนตามวัฏจักรชีวิต	การปล่อย GHG การขนส่งในระบบสมาร์ตกริด (kgCO_2eq/1kWh)
Construction	0.0001574
Operation & Maintenance	0.000152
รวม	**0.0031**

ตาราง 25 สรุปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

การปล่อย GHG ในระบบสมาร์ตกริด(kgCO_2eq/1kWh)	การปล่อย GHG การขนส่งในระบบสมาร์ตกริด (kgCO_2eq/1kWh)	ผลรวม (kgCO_2eq/1kWh)
0.2278	0.00031	0.2281

จากข้อมูลในตาราง 23-25 พบว่า ในการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh จากการผลิตพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งโครงสร้างและการใช้วัสดุ (Construction) มีค่าเท่ากับ 0.2072 kgCO_2eq ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการปฏิบัติการและการบำรุงรักษา มีค่าเท่ากับ 0.0207 kgCO_2eq และมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในระบบสมาร์ตกริดของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ1 kWh เท่ากับ 0.2281 kgCO_2eq หากพิจารณาสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จะเห็นได้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการการติดตั้งโครงสร้างและการใช้วัสดุ (Construction) เป็นหลัก

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริดเป็นรายอุปกรณ์โดยมีรายละเอียด ดังภาพ 39



ภาพ 39 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกรายอุปกรณ์ต่าง ๆ ของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh จากระบบสมาร์ตกริด

จากภาพ 39 แสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการได้มาของระบบสมาร์ตกริด ตั้งแต่การติดตั้งโครงสร้างของระบบและการปฏิบัติการซ่อมบำรุงต่าง ๆ การใช้งานร่วมกันกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาที่ผลกระทบในระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 0.2271 kgCO_2eq เนื่องจากมีขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและหลายกระบวนการ (Achara, N., 2014) และมีระยะทางในการขนส่งเนื่องจากขนส่งมาจากประเทศ

ญี่ปุ่น ส่งผลให้เกิดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการขนส่ง และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดในระบบสมาร์ตกริด

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลเบื้องต้นของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดจากการสัมภาษณ์วิศวกรที่ควบคุมระบบสมาร์ตกริดและเก็บรวบรวมข้อมูล เอกสารที่อ้างอิงจากกระทรวงพลังงาน สามารถแสดงปริมาณการผลิตและการใช้ไฟฟ้า จำนวนแผง ค่าบำรุงรักษา อายุการใช้งานชั่วโมงการทำงาน เงินลงทุนโครงการ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของระบบสมาร์ตกริด ปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ดังตาราง 26

ตาราง 26 ข้อมูลเบื้องต้นของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ข้อมูล	รายละเอียด
จำนวนแผง Solar Call	2,000 แผง
ชั่วโมงการทำงาน/ปี	1,825 ชั่วโมง
จำนวนวันที่ใช้งาน	365 วัน
ค่าบำรุงรักษา	300,000 Baht/year
เงินลงทุนในโครงการ	30,000,000 บาท
อายุการใช้งาน	20 ปี
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	เฉลี่ย 4.12 Baht/kW
ปริมาณไฟฟ้าประหยัดได้ ต่อปี	901,312.49 kWh/year

จากข้อมูลในตาราง 26 เมื่อนำมาคำนวณหา ผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีและค่าบำรุงรักษาระบบต่อปี โดยผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี คือ ผลต่างค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าระหว่างระบบสมาร์ตกริด ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปีคูณค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 901,312.49 x 4.12 = 3,713,407.459 บาท และมีค่าบำรุงรักษาระบบต่อปี 300,000 บาทต่อปี

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของระบบสมาร์ตกริด ด้วยวิธีทางเศรษฐศาสตร์

1.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการระบบสมาร์ตกริดจะทำการวิเคราะห์จากเงินลงทุนทั้งโครงการผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีที่

เกิดขึ้น รวมถึงค่าบำรุงรักษา ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี กรณีที่มหาวิทยาลัยพะเยา มีผลการคำนวณและแสดงได้ดังตาราง 27-28 ดังนี้

ตาราง 27 ศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์

หัวข้อ	NPV (บาท)	BCR	PB (ปี)
การผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด 0.5 MW	1,253,130.17	1.03	8.08 ปี

ตาราง 28 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ข้อมูล	รายละเอียด
เงินลงทุนในโครงการ	30,000,000 บาท
ปริมาณไฟฟ้าประหยัดได้ ต่อปี	901,312.49 kWh/year
ค่าบำรุงรักษา	300,000 Baht/year
อัตราดอกเบี้ย	9% ต่อปี

1.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio ; BCR)

การวิเคราะห์อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนของโครงการระบบสมาร์ตกริดจะคิดผลประโยชน์จากผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเงินลงทุนทั้งโครงการและค่าบำรุงรักษารายปี ผลจากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนที่อัตราดอกเบี้ย 9%ต่อปี พบว่า ค่า B/C = 1.03 ซึ่ง มีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้คุ้มค่าที่จะลงทุน (จากเกณฑ์ที่กำหนดว่าถ้า BCR- ≤ 1 โครงการนี้เป็นโครงการสมควรจะลงทุน)

1.3 วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback period ; PB)

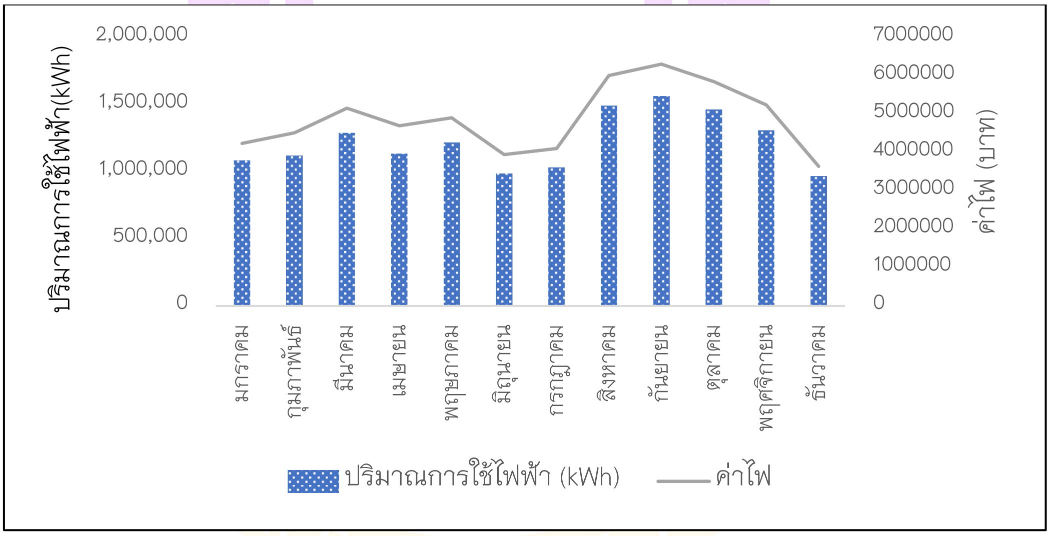
ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ คือ ระยะเวลาการดำเนินงานโครงการที่ให้ผลตอบแทนสุทธิมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโครงการพอดี เพื่อนำค่าที่ได้มาช่วยในการพิจารณาระยะเวลาของผลตอบแทนคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายการลงทุน ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักจะเลือกโครงการให้ผลตอบแทนเร็วที่สุด เพื่อลดความเสี่ยง และความไม่แน่นอนของโครงการ ซึ่งระยะเวลาคืนทุนของระบบการผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดเท่ากับ 8.08 ปี

ผลการออกแบบจำลองสถานการณ์ และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด สถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ

การจัดเก็บข้อมูล และวิเคราะห์การใช้พลังงานของโดยละเอียด โดยออกแบบสถานการณ์จำลองจำนวน 2 สถานการณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด

1. ผลการสำรวจข้อมูลการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 1

1.1 ข้อมูลการตรวจสอบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา จากการสำรวจประมาณการณ์การเก็บข้อมูลและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารต่าง ๆ ที่มีระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้าปกติและมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2561 ทั้งสิ้นประมาณ 14,663,941.02 kWh/year คิดเป็นเงิน 58,605,875.63 Baht (กองอาคารสถานที่, มหาวิทยาลัยพะเยา) ดังภาพ 40

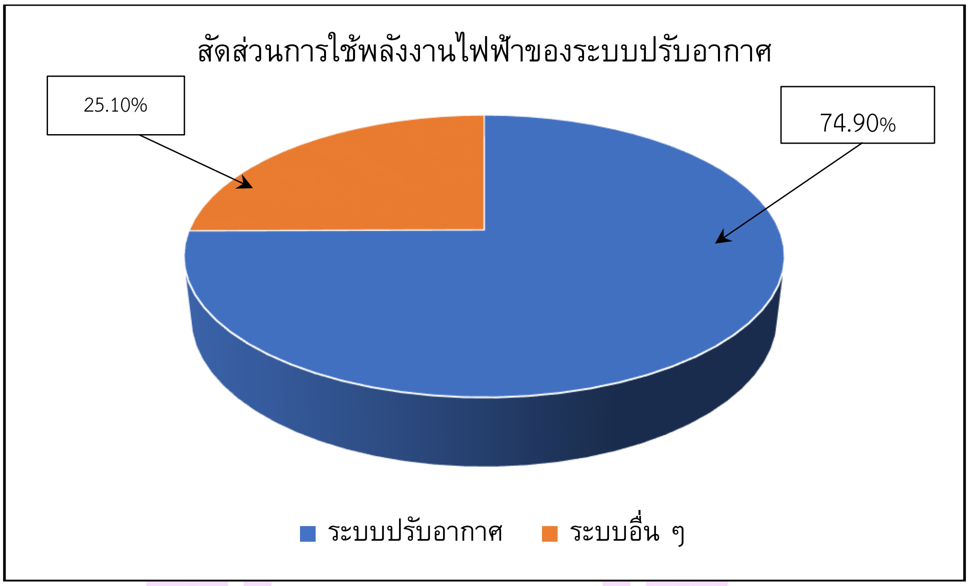


ภาพ 40 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟของมหาวิทยาลัยพะเยาปี 2561

1.2 สถานภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารมหาวิทยาลัยพะเยา

จากการสำรวจในเบื้องต้นพบว่า มหาวิทยาลัยพะเยามีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูง ซึ่งในปัจจุบันอาคารภายในมหาวิทยาลัยพะเยามีการใช้งานของอาคารแยกตามพื้นที่ใช้งานและแยกตามอาคาร ซึ่งจากการสำรวจพื้นที่จริงและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้

พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในมหาวิทยาลัยพะเยาสามารถแบ่งเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ ดังภาพ 41



ภาพ 41 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

จากภาพ 41 จากการสำรวจสัดส่วนในการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่า ระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงาน 74.9% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารภายในมหาวิทยาลัยพะเยา ซึ่งส่วนใหญ่การใช้ปริมาณไฟฟ้าจะอยู่ในส่วนของระบบปรับอากาศเป็นหลัก เนื่องจากมีการติดตั้ง ใช้งานอยู่เป็นจำนวนมาก และมีการเปิดใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

1.3 ชนิด จำนวน ขนาดและลักษณะการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากอาคารตั้งอยู่ในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนชื้นสภาพอากาศค่อนข้างร้อน ดังนั้น อาคารส่วนใหญ่จึงนิยมที่จะติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องทำงานต่าง ๆ เพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการปฏิบัติงาน ซึ่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในอาคารจะติดตั้งในส่วนของห้องสำนักงาน ห้องพักอาจารย์ ห้องประชุม และห้องเรียนต่าง ๆ ซึ่งการเลือกใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับพื้นที่ของการใช้งานตลอดจนลักษณะของห้องปรับอากาศ เพื่อให้เกิดการสูญเสียความเย็นน้อยที่สุด การติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร มีรายละเอียดดังนี้

เครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งภายในอาคารจะเป็นชนิดแบบแยกส่วน (Split type) คือ มีตัวชุดแผงคอยล์เย็น (Fan Coil Unit) ติดตั้งอยู่ภายในห้องปฏิบัติงาน ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นให้อุณหภูมิที่เหมาะสม ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของห้องปรับอากาศ ส่วนที่สองจะเรียกว่า ชุดแผงคอยล์ร้อน

(Condensing Unit) จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนอุณหภูมิของสารทำความเย็น หรือกระบวนการควบแน่น ทำหน้าที่ระบายความร้อนในระบบปรับอากาศ อุปกรณ์ทั้งสองชนิดจะทำงานสัมพันธ์กันเป็นวัฏจักรของการปรับอากาศ

1.4 ระบบปรับอากาศอาคารภายในมหาวิทยาลัยพะเยามีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศทั้งหมด 749 เครื่อง มีขนาดพิกัดติดตั้งรวม 35,876,000.00 BTU/hr รายละเอียดดังตาราง 29

ตาราง 29 ข้อมูลการตรวจสอบชนิด ขนาด และพิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศ

ลำดับที่	ขนาด (Btu/hr)	ชนิดเครื่องปรับอากาศ	จำนวน เครื่อง	รวม (Btu/hr)
1	12,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	25	300,000
2	18,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	66	1,188,000
3	30,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	134	4,020,000
4	40,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	109	4,360,000
5	48,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	331	15,888,000
6	62,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	42	2,604,000
7	48,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ชนิดต่อท่อลม	27	1,296,000
8	180,000	เครื่องปรับอากาศแบบต่อท่อลม	4	720,000
9	500,000	เครื่องปรับอากาศแบบต่อท่อลม	11	5,500,000
		รวม	**749**	**35,876,000**

1.5 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของอาคาร ภายในมหาวิทยาลัยพะเยาปี พ.ศ. 2561 ซึ่งในการพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้า คำนวนจากจำนวนวันเวลาการใช้อาคาร วันทำการวันจันทร์ถึงวันศุกร์ รวม 5 วัน ช่วงเวลาทำการ 8.30 น. – 12.00 และ 13.00– 16.30 น. ชั่วโมงเฉลี่ยในการสอนแต่ละพื้นที่ 7 ชั่วโมงต่อวัน และมีการสอนประมาณ 168 วันต่อปี จากการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2561 มีการใช้พลังงานของอุปกรณ์ มีจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) จำนวน 749 เครื่อง แบ่งออกเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) จำนวน 707 เครื่อง ขนาดทำความเย็นรวม 28,360,000 Btu/hr และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศแบบต่อท่อลม จำนวน 42 เครื่องขนาดทำความเย็น 48,000, 180,000 และ 500,000 Btu ตามลำดับ ขนาดทำความเย็นรวม 7,516,000.00 Btu/hr และปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ทั้งหมดของสัดส่วนระบบปรับอากาศประมาณ 10,982,605.15 kWh/year (กองอาคารสถานที่มหาวิทยาลัยพะเยา) ดังตาราง 30

ตาราง 30 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในอาคารต่าง ๆ

ลำดับ	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/year)	คิดเป็นเงิน (baht/year)
1	หอประชุมพญางำเมือง	492,359.40	1,967,762.53
2	โรงเรียนสาธิต ม.พะเยา	502,501.99	2,008,298.39
3	อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม	281,096.24	1,123,428.62
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์	365,330.68	1,460,079.82
5	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา	49,629.83	198,350.46
6	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์	48,363.76	193,290.50
7	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ	37,222.37	148,762.84
8	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล	66,173.10	264,467.28
9	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์	63,412.55	253,434.45
10	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์	268,828.22	1,074,398.31
11	อาคารคณะสหเวชศาสตร์	413,581.88	1,652,920.48
12	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	170,947.18	683,207.14
13	อาคารคณะเภสัชศาสตร์	351,544.61	1,404,982.45
14	อาคารคณะแพทย์ศาสตร์	361,884.16	1,446,305.46
15	อาคารคณะพยาบาลศาสตร์	403,284.97	1,611,767.85
16	อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์	423,921.43	1,694,243.51
17	อาคารคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ	386,699.06	1,545,480.66
18	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์	148,889.48	595,051.37
19	อาคารคณะวิทยาศาสตร์	525,938.32	2,101,963.96
20	อาคารคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์	521,113.19	2,082,679.89
21	อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	1,141,486.00	4,562,060.54
22	อาคารเรียนรวม (CE) และศูนย์บรรณสารสื่อการศึกษา	1,429,638.92	5,713,691.86

ตาราง 30 (ต่อ)

ลำดับ	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh/year)	คิดเป็นเงิน (baht/year)
23	อาคารสงวนเสริมศรี	295,415.64	1,180,657.52
24	อาคารเรียนรวม	860,250.32	3,438,074.62
25	อาคารสำนักงานอธิการบดี	1,373,091.85	5,487,695.99
	รวม	**10,982,605.15**	**43,893,056.48**

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำลองสถานการณ์ที่ 1

ผลการวิเคราะห์การจำลองสถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศเพื่อช่วยในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยจะแบ่งการเปิด–ปิดเครื่องปรับอากาศเป็น 2 แบบ คือ ในกรณีแรกเปิดเวลา 08.30–12.00 น. และ 13.00 น.–16.30 น.เป็นเวลา 7 ชั่วโมงต่อวัน กรณีที่สองเปิดใช้เครื่องปรับอากาศเวลา 09.00 น.–12.00 น. และ 13.00 น.–16.00 น. ปิดช่วงพักกลางวันรวมเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน สามารถสรุปได้ดังตาราง 31

ตาราง 31 ปริมาณการใช้และการลดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ

ลำดับ	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของใช้งานระบบปรับอากาศ (kWh/year)		ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (kWh/year)
		(7 ชั่วโมง)	(6 ชั่วโมง)	
1	หอประชุมพญางำเมือง	492,359.40	422,022.34	70,337.06
2	โรงเรียนสาธิต ม.พะเยา	502,501.99	449,031.76	53,470.23
3	อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม	281,096.24	240,939.63	40,156.61
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์	365,330.68	313,140.58	52,190.10
5	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา	49,629.83	42,539.85	7,089.98

ตาราง 31 (ต่อ)

ลำดับ	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของใช้งานระบบปรับอากาศ (kWh/year) (7 ชั่วโมง)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของใช้งานระบบปรับอากาศ (kWh/year) (6 ชั่วโมง)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง (kWh/year)
6	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์	48,363.76	42,539.85	5,823.91
7	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ	37,222.37	31,904.89	5,317.48
8	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล	66,173.10	56,719.80	9,453.30
9	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์	63,412.55	54,353.61	9,058.94
10	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์	268,828.22	230,424.19	38,404.03
11	อาคารคณะสหเวชศาสตร์	413,581.88	354,498.76	59,083.12
12	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	170,947.18	146,526.15	24,421.03
13	อาคารคณะเภสัชศาสตร์	351,544.61	301,323.95	50,220.66
14	อาคารคณะแพทย์ศาสตร์	361,884.16	310,186.42	51,697.74
15	อาคารคณะพยาบาลศาสตร์	403,284.97	345,672.83	57,612.14
16	อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์	423,921.43	363,361.23	60,560.20
17	อาคารคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ	386,699.06	331,456.34	55,242.72

ตาราง 31 (ต่อ)

ลำดับ	อาคาร	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของใช้งานระบบปรับอากาศ (kWh/year)		ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง
		(7 ชั่วโมง)	(6 ชั่วโมง)	(kWh/year)
18	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์	148,889.48	127,619.55	21,269.93
19	อาคารคณะวิทยาศาสตร์	525,938.32	450,804.27	75,134.05
20	อาคารคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์	521,113.19	446,668.45	74,444.74
21	อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	1,141,486.00	994,959.85	146,526.15
22	อาคารเรียนรวม (CE) และศูนย์บรรณสารสื่อการศึกษา	1,429,638.92	1,225,404.78	204,234.14
23	อาคารสงวนเสริมศรี	295,415.64	253,213.40	42,202.24
24	อาคารเรียนรวม	860,250.32	829,724.04	30,526.28
25	อาคารสำนักงานอธิการบดี	1,373,091.85	1,278,558.85	94,533.00
	รวม	**10,982,605.15**	**9,643,595.40**	**1,339,009.78**

จากตาราง 31 จะเห็นได้ว่า ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของใช้งานระบบปรับอากาศ (7 ชั่วโมง) เท่ากับ 10,982,605.15 kWh/year และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของใช้งานระบบปรับอากาศ (6 ชั่วโมง) เท่ากับ 9,643,595.40 kWh/year และมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง เท่ากับ 1,339,009.78 kWh/year ซึ่งระยะเวลาในการใช้งานเครื่องปรับอากาศมีผลต่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน

การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า และประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยาย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2561 ดังสมการ 11 ดังตาราง 34

$$Y_i = \beta_o + \beta_i X_i + \varepsilon_i \qquad (11)$$

โดยที่

Y_i	คือ	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)
X_i	คือ	หน่วยแสดงเวลาเป็นปี เริ่มจาก 0,1,2,3...
β_o	คือ	ส่วนตัดแกน Y หรือ คือค่าของ Y เมื่อ X มีค่าเป็นศูนย์
ε_i	คือ	ความคาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random Error) คือ ความคลาดเคลื่อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างเมื่อทำการวัดซ้ำจะได้ค่าที่เปลี่ยนไปโดยไม่สามารถคาดเดาความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้
β_i	คือ	ความชัน (Slope) ของเส้นตรง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y

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

$\beta_1 > 0$ 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

ตาราง 32 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยา

ปีที่เก็บข้อมูล	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($tonCO_2$/year)
พ.ศ. 2559	13,815,099.6	8,041.769
พ.ศ. 2560	15,186,583.5	8,840.110
พ.ศ. 2561	14,663,941	8,535.880

การดำเนินการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า (Forecasting) จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2561 ดังตาราง 32 โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์การถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression Model) จากการวิเคราะห์หาสมการณ์ที่ใช้ในการพยากรณ์การใช้พลังงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จึงได้สมการณ์ในการพยากรณ์ โดยใช้สมการณ์เส้นตรง y=502498x+1E+07 และมีค่า $R^2 = 0.9998$ เมื่อค่า R-square เข้าใกล้ 1 แสดงว่าสองตัวแปรมีความสอดคล้องกัน และความผันแปรของตัวแปร y ถูกอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระมากเท่านั้น (กรินทร์ กาญทนานนท์, 2561)

ดังนั้นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยาสามารถเกิดได้จากปัจจัยหลายประการดังนี้

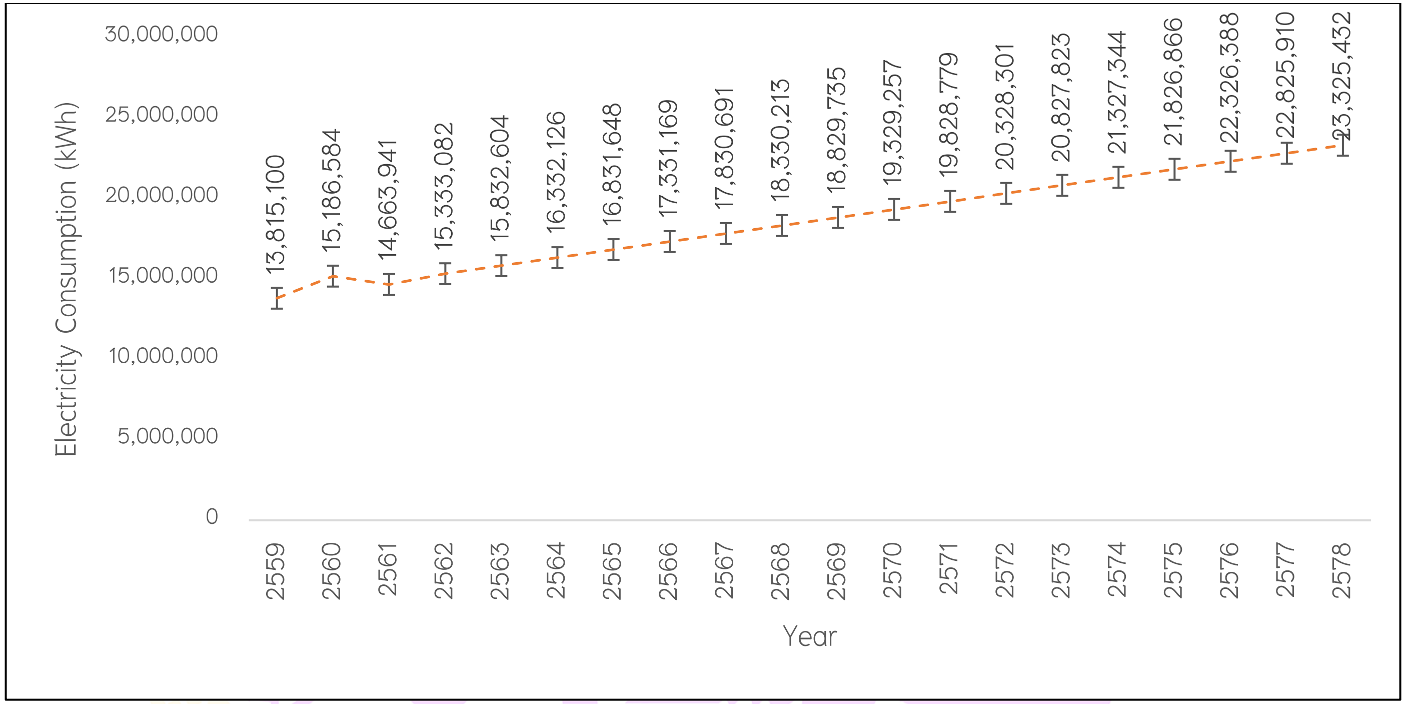
1. การเพิ่มขึ้นของปริมาณนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ในแต่ละปีการศึกษา
2. มหาวิทยาลัยพะเยามีการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้าง ศูนย์การแพทย์ โรงพยาบาล อาคารเรียน สำนักงานต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้นตามภารกิจของมหาวิทยาลัยพะเยา
3. การติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ซึ่งหลักในการพยากรณ์มีหลายรูปแบบ เช่น การพยากรณ์เชิงปริมาณและการพยากรณ์เชิงคุณภาพ ในการดำเนินการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า (Forecasting) ครั้งนี้เลือกใช้การพยากรณ์การถดถอยเชิงเส้น (Simple Linear Regression Model) ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในอดีตซึ่งสามารถนำมาพยากรณ์ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำมาพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคตได้ โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Techniques) สำหรับการใช้ในวัดการคาดคะเนแนวโน้ม (Trend Projection) เนื่องจากเป็นการใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อมาพยากรณ์อนาคต โดยตั้งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าข้อมูลในอดีตจะสามารถใช้พยากรณ์อนาคตได้เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้ม (Trend) การใช้พลังงานไฟฟ้า

จากข้อมูลการพยากรณ์การใช้พลังงานในอนาคต ทำการวิเคราะห์หาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังสมการ 11 แสดงข้อมูลดังตาราง 33 และดังภาพ 42-43

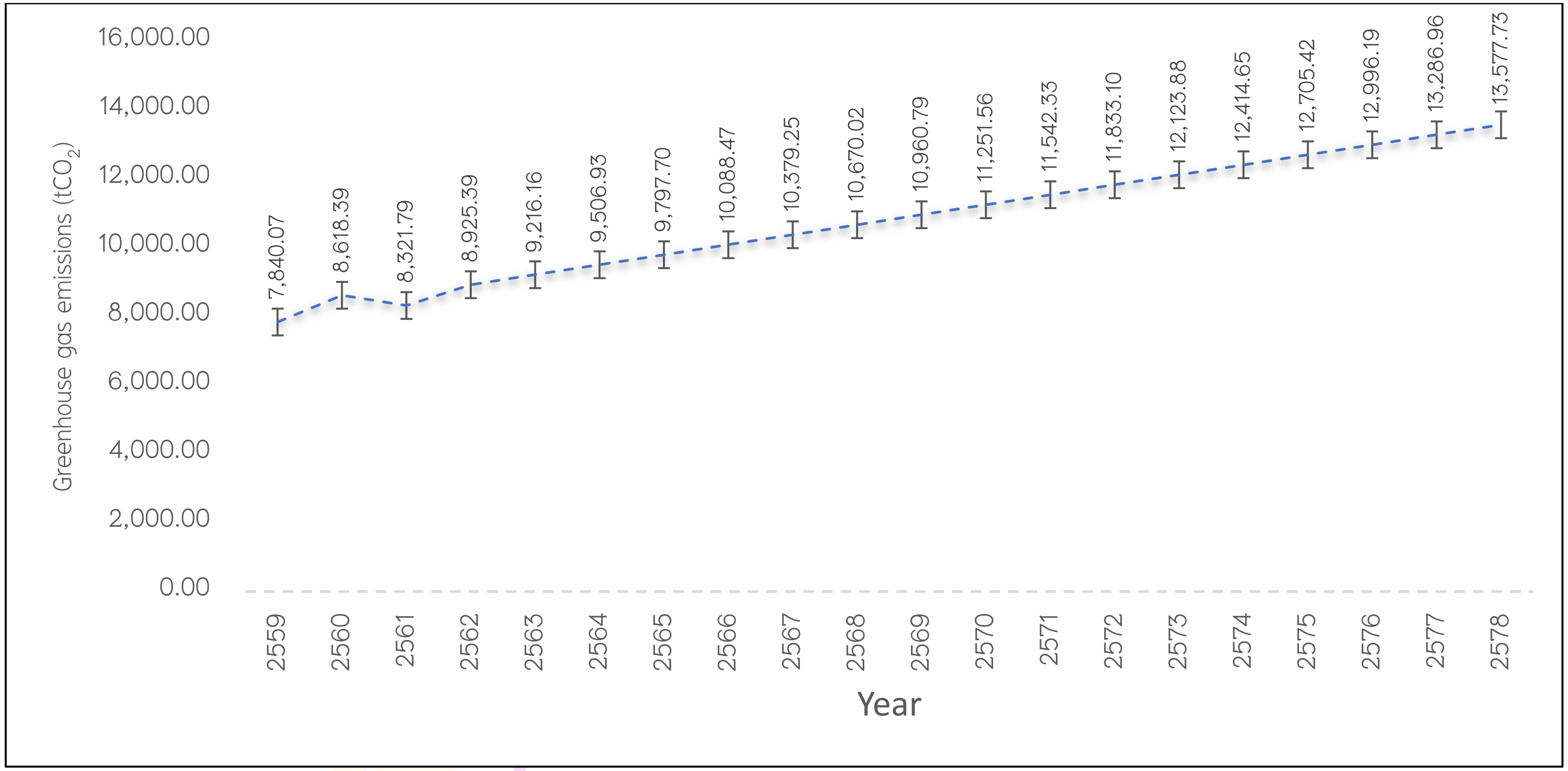
ตาราง 33 การพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578

ปี	การใช้พลังงานไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (kWh/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ($tonCO_2$/year)
2562	15,333,081.91	8,925.39
2563	15,832,603.78	9,216.16
2564	16,332,125.65	9,506.93
2565	16,831,647.53	9,797.70
2566	17,331,169.40	10,088.47
2567	17,830,691.27	10,379.25
2568	18,330,213.15	10,670.02
2569	18,829,735.02	10,960.79
2570	19,329,256.89	11,251.56
2571	19,828,778.77	11,542.33
2572	20,328,300.64	11,833.10
2573	20,827,822.51	12,123.88
2574	21,327,344.39	12,414.65
2575	21,826,866.26	12,705.42
2576	22,326,388.13	12,996.19
2577	22,825,910.01	13,286.96
2578	23,325,431.88	13,577.73



ภาพ 42 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน ปี พ.ศ.2559 – 2578

จากภาพ 42 จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา มีอัตราการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เฉลี่ยปีละ 499,521 kWh/year ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 จนถึงปี พ.ศ.2574

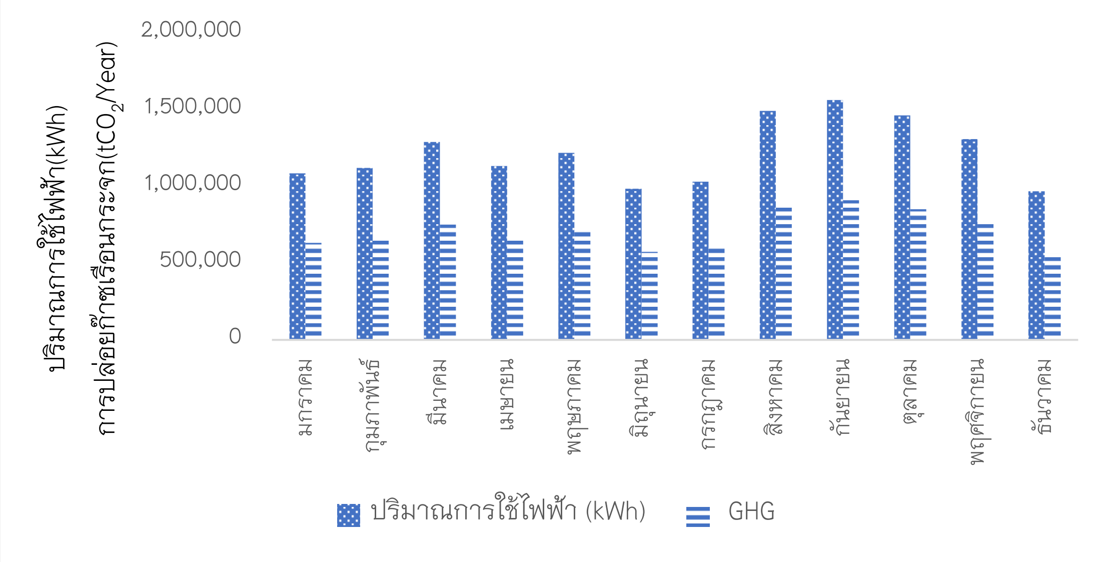


ภาพ 43 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นใน ปี พ.ศ.2559 – 2578

จากภาพ 43 จะเห็นได้ว่าค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยา มีอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น เฉลี่ยปีละ 290.77 tonCO_2 /year ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 จนถึงปี พ.ศ.2578

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการจำลองสถานการณ์ที่ 1

ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัยพะเยามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ในปีพ.ศ.2561 ทั้งสิ้น 14,663,941.02 kWh/year และมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 8,535.88 tonCO_2eq/year ดังภาพ 44



ภาพ 44 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปี 2561

จากภาพ 44 พบว่า ในช่วงที่มหาวิทยาลัยพะเยาเปิดภาคเรียน (มี.ค.– พ.ค.และ ส.ค.– พ.ย. 61) จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง เนื่องจากมีนักศึกษาจำนวนมากที่มาเรียนจึงเกิดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในระบบปรับอากาศ และระบบอื่น ๆ พร้อมกันในเดือนมิถุนายนและเดือนพฤศจิกายน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงเดือนแรกของการเปิดภาคเรียนทั้งสองภาคเรียน ซึ่งส่งผล ให้มหาวิทยาลัยพะเยามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการติดตั้งระบบควบคุมปรับอากาศ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ วิทยาเขตรังสิต ทำการจัดการพลังงานโดยการลดการทำงานของระบบปรับอากาศ 1 ชั่วโมงต่อวัน จากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ส่งผลให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง (เทอดไท นาครักษ์,

2554) ดังนั้น การจำลองสถานการณ์ที่ 1 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาพิจารณาเพื่อออกแบบควบคุมระบบปรับอากาศด้วยระบบเทคโนโลยีไร้สาย LoRa เพื่อการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยลดจำนวนชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศลง 1 ชั่วโมง/วัน

ดังนั้น ขั้นตอนการออกบบการจำลองสถานการณ์ที่ 1 โดยการระบบการควบคุมเครื่องปรับอากาศ จำเป็นต้องเก็บข้อมูลค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระบบปรับอากาศในระบบสมาร์ตกริดที่ติดตั้ง โดยจะมีห้องควบคุมการทำงานเพื่อรองรับการเก็บข้อมูลรวมถึงควบคุมและสั่งการระบบ ซึ่งระบบการควบคุมระบบปรับอากาศของการเก็บ ประมวลผลข้อมูลนั้น ต้องมีการทำงานอยู่ตลอดเวลาจึงต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากสายส่งร่วมด้วย โดยมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ รวมถึงประมาณการณ์การใช้ไฟฟ้าและการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุปกรณ์ โดยมีรายละเอียด ดังตาราง 34

ตาราง 34 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมระบบปรับอากาศด้วยเทคโนโลยีไร้สาย LoRa

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	กำลังไฟฟ้า (W)	ชั่วโมงทำงาน (h)	การใช้ไฟฟ้า (kWh/year)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tonCO_2/year)
1	LoRa Gateway	1	128	365x19*	887.68	0.52
2	LaRa Server	1	550	365x19*	3,814.25	2.22
3	LoRa Controller	25	124	365x19*	21,498.50	12.51
4	Switch	304	59	365x19*	124,386.16	72.41
	รวม				**150,586.59**	**87.66**

หมายเหตุ: * ใช้ไฟฟ้าจากสายส่งประมาณ 19 ชั่วโมงต่อวัน

ผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สถานการณ์จำลองที่ 1

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดสถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศเปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปีฐาน (ปี2561) ดังตาราง 35

ตาราง 35 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าในงานระบบปรับอากาศ

ลำดับ	อาคาร	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการใช้ไฟฟ้าในงานระบบปรับอากาศ ($tonCO_2$/year)		ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลดลง ($tonCO_2$/year)
		(7 ชั่วโมง)	(6 ชั่วโมง)	
1	หอประชุมพญางำเมือง	286.60	245.65	40.94
2	โรงเรียนสาธิต ม.พะเยา	292.50	261.38	31.12
3	อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม	163.62	140.25	23.37
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์	212.65	182.27	30.37
5	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา	28.88	24.76	4.12
6	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์	28.15	24.76	3.39
7	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ	21.66	18.57	3.09
8	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล	38.51	33.01	5.50
9	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์	36.91	31.63	5.27
10	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์	156.48	134.12	22.35
11	อาคารคณะสหเวชศาสตร์	240.74	206.35	34.39
12	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	99.50	85.29	14.21
13	อาคารคณะเภสัชศาสตร์	204.63	175.40	29.23
14	อาคารคณะแพทย์ศาสตร์	210.65	180.55	30.09
15	อาคารคณะพยาบาลศาสตร์	234.75	201.21	33.53
16	อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์	246.76	211.51	35.25
17	อาคารคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ	225.09	192.94	32.15
18	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์	86.66	74.28	12.38
19	อาคารคณะวิทยาศาสตร์	306.14	262.41	43.73
20	อาคารคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์	303.34	260.00	43.33
21	อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร	664.45	579.16	85.29
22	อาคารเรียนรวม (CE) และศูนย์บรรณสารสื่อการศึกษา	832.19	713.30	118.88
23	อาคารสงวนเสริมศรี	171.96	147.39	24.56
24	อาคารเรียนรวม	500.75	482.98	17.76
25	อาคารสำนักงานอธิการบดี	799.27	744.24	55.02
	รวม	**6,392.97**	**5,613.57**	**779.43**

จากตาราง 35 พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในกรณีที่ 1 การเปิดใช้อุปกรณ์ปรับอากาศ เป็นเวลา 7 ชั่วโมงต่อวัน รวมกับการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ระบบควบคุมระบบปรับอากาศมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 6,480.63 tonCO_2/year และในกรณีที่ 2 การควบคุมระบบปรับอากาศจากห้องควบคุม การเปิดใช้อุปกรณ์ปรับอากาศเป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน รวมกับการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ระบบควบคุมระบบปรับอากาศมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 5,701.20 tonCO_2/year สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้นประมาณ 779.44 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 12.19 ต่อปี ของการปล่อยก๊าซเรือนทั้งหมดในระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยา โดยมีผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578 ดังตาราง 36

ตาราง 36 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานการณ์จำลองที่ 1 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578

ปี	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในอนาคต (tonCO_2/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการจัดการใช้ไฟฟ้า (tonCO_2/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง (tonCO_2/year)
2562	6,685.11	5,870.25	814.86
2563	6,902.90	6,061.49	841.41
2564	7,120.69	6,252.73	867.96
2565	7,338.48	6,443.97	894.51
2566	7,556.27	6,635.21	921.06
2567	7,774.05	6,826.45	947.61
2568	7,991.84	7,017.69	974.15
2569	8,209.63	7,208.93	1,000.70
2570	8,427.42	7,400.17	1,027.25
2571	8,645.21	7,591.41	1,053.80
2572	8,862.99	7,782.65	1,080.35
2573	9,080.78	7,973.89	1,106.90
2574	9,298.57	8,165.13	1,133.44
2575	9,516.36	8,356.37	1,159.99
2576	9,734.15	8,547.61	1,186.54
2577	9,951.93	8,738.84	1,213.09
2578	10,169.72	8,930.08	1,239.64

จากตาราง 36 สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578 รวมทั้งสิ้นเฉลี่ยประมาณ 1,027.251 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 12.18 ต่อปี

ผลการวิเคราะห์ประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์โดยการจำลองสถานการณ์ที่ 1

ผลการวิเคราะห์หาระยะเวลาการคืนทุน งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา และออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 1 แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB) ซึ่งจะนำไปสู่ระยะเวลาคืนทุนของสถานการณ์ เพื่อการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด และการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน ข้อมูลระยะเวลาในการคืนทุน ดังตาราง 37

ตาราง 37 ข้อมูลระยะเวลาในการคืนทุน

ข้อมูล	การจำลองสถานการณ์ที่ 1
เงินในการลงทุน (บาท/ปี)	416,950.00
เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	5,351,483.65
ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)	0.09

จากตาราง 37 จะเห็นได้ว่าการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบ-ควบคุมระบบปรับอากาศจะมีระยะคืนทุนเท่ากับ 0.09 ปี

ผลการออกแบบการจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW

การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW เพิ่มเติม ซึ่งมหาวิทยาลัยพะเยามีโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การประเมินพลังงานไฟฟ้าของระบบสมาร์ตกริด ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW

การประเมินพลังงานไฟฟ้า (ด้านการผลิตไฟฟ้า) ประมาณการไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริด ที่มีขนาดกำลังการติดตั้ง 2 MW มีอายุการใช้งาน 20 ปี สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2.1) โดยได้มีการคำนึงถึงค่าการลดลงของประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าลดลงเท่ากับร้อยละ 0.5 ต่อปี (Jordan, D.C.and Kurtz, S.R, 2012) ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบสมาร์ตกริดมีค่าเท่ากับ 3,650,000 kWh/year หรือ 3,650 MWh/year และมีปริมาณไฟฟ้า

ที่ผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ 20 ปี เท่ากับ 69,634,349.40 kWh/year หรือ 69,634.349 MWh/year รายละเอียด ดังตาราง 38

ตาราง 38 คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบสมาร์ตกริด ขนาด 2 MW

ปี	คาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year)
2562	3,650,000.00
2563	3,631,750.00
2564	3,613,591.25
2565	3,595,523.29
2566	3,577,545.68
2567	3,559,657.95
2568	3,541,859.66
2569	3,524,150.36
2570	3,506,529.61
2571	3,488,996.96
2572	3,471,551.98
2573	3,454,194.22
2574	3,436,923.25
2575	3,419,738.63
2576	3,402,639.94
2577	3,385,626.74
2578	3,368,698.60
2579	3,351,855.11
2580	3,335,095.83
2581	3,318,420.35
Total	**69,634,349.40**

การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบสมาร์ตกริด ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW ดังตาราง 39

ตาราง 39 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด 2 MW

โครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2 MW	
ที่ตั้ง	มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม (Poly Crystalline) SHAP รุ่น (ND-AA250) ขนาด 1,652 x 994 มิลลิเมตร
พิกัดกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแผง	250 Wp
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	8,000 แผง
อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ	SMA 25 kW 3 / N / PE; 230 / 400 V Maximum Output current 36.2 A AC frequency 50 Hz)
จำนวนอินเวอร์เตอร์	72 ตัว
ระบบ Smart Grid and Monitoring	1 ระบบ

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดขนาด 2 MW เพื่อบริหารจัดการการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยจะวิเคราะห์ตลอดทั้ง Supply Chain ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยตั้งสมมติฐานว่าระบบมีอายุการใช้งาน 20 ปี (เสาวภา ทินปาน และคณะ,2556) เมื่อทำการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตั้งแต่ขั้นตอนการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) การปฏิบัติการและการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) สามารถสรุปรายละเอียดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังตาราง 40

ตาราง 40 สรุปการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงวัฏจักรของการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

การปล่อย GHG ในระบบสมาร์ตกริด($kgCO_2eq/1kWh$)	การปล่อย GHG การขนส่งในระบบสมาร์ตกริด ($kgCO_2eq/1kWh$)	ผลรวม ($kgCO_2eq/1kWh$)
0.2278	0.00031	0.2281

จากข้อมูลในตาราง 40 พบว่า ในการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh จากการผลิตพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการติดตั้งโครงสร้างและการใช้วัสดุ (Construction) การปฏิบัติการและการบำรุงรักษา มีค่าเท่ากับ 0.2281 $kgCO_2eq$

ผลการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2

การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2 MW (ติดตั้งใหม่) รวมกับระบบสมาร์ตกริดขนาด 0.5 MW (ติดตั้งเดิม) เปรียบเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปีฐาน สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578 รวมทั้งสิ้นเฉลี่ยประมาณ 2,544.61 $tonCO_2/year$ คิดเป็นร้อยละ 22.61 ต่อปีของการปล่อยก๊าซเรือนทั้งหมดของมหาวิทยาลัยพะเยา

ตาราง 41 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานการณ์ที่ 2 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึงปี พ.ศ.2578

ปี	การใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย (kWh/year)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้า ขนาด 0.5 MW ที่คาดว่าจะผลิตได้ต่อปี (kWh/year)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้า ขนาด 2 MW ที่คาดว่าจะผลิตได้ต่อปี (kWh/year)	รวม 2.5 MW	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ($tonCO_2$/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า ($tonCO_2$/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ($tonCO_2$/year)
2562	15,333,081.91	898,881	3,650,000.00	4,548,881.00	8,925.39	6,277.48	2,647.90
2563	15,832,603.78	894,386	3,631,750.00	4,526,136.00	9,216.16	6,581.49	2,634.66
2564	16,332,125.65	889,914	3,613,591.25	4,503,505.25	9,506.93	6,885.44	2,621.49
2565	16,831,647.53	885,465	3,595,523.29	4,480,988.29	9,797.70	7,189.32	2,608.38
2566	17,331,169.40	881,038	3,577,545.68	4,458,583.68	10,088.47	7,493.13	2,595.34
2567	17,830,691.27	876,632	3,559,657.95	4,436,289.95	10,379.25	7,796.88	2,582.36
2568	18,330,213.15	872,249	3,541,859.66	4,414,108.66	10,670.02	8,100.56	2,569.45
2569	18,829,735.02	867,888	3,524,150.36	4,392,038.36	10,960.79	8,404.18	2,556.61
2570	19,329,256.89	863,549	3,506,529.61	4,370,078.61	11,251.56	8,707.74	2,543.82
2571	19,828,778.77	859,231	3,488,996.96	4,348,227.96	11,542.33	9,011.23	2,531.10
2572	20,328,300.64	854,935	3,471,551.98	4,326,486.98	11,833.10	9,314.66	2,518.45
2573	20,827,822.51	850,660	3,454,194.22	4,304,854.22	12,123.88	9,618.02	2,505.86

ตาราง 41 (ต่อ)

ปี	การใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย (kWh/year)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้าขนาด 0.5 MW ที่คาดว่าจะผลิตได้ต่อปี (kWh/year)	ปริมาณการผลิตไฟฟ้าขนาด 2 MW ที่คาดว่าจะผลิตได้ต่อปี (kWh/year)	รวม 2.5 MW	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ($tonCO_2$/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้า ($tonCO_2$/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ($tonCO_2$/year)
2574	21,327,344.39	846,407	3,436,923.25	4,283,330.25	12,414.65	9,921.32	2,493.33
2575	21,826,866.26	842,715	3,419,738.63	4,262,453.63	12,705.42	10,224.24	2,481.17
2576	22,326,388.13	837,964	3,402,639.94	4,240,603.94	12,996.19	10,527.73	2,468.46
2576	22,326,388.13	837,964	3,402,639.94	4,240,603.94	12,996.19	10,527.73	2,468.46
2577	22,825,910.01	833,774	3,385,626.74	4,219,400.74	13,286.96	10,830.85	2,456.11
2578	23,325,431.88	829,605	3,368,698.60	4,198,303.60	13,577.73	11,133.90	2,443.83

ผลการวิเคราะห์คาร์บอนเครดิตจากการจำลองสถานการณ์ที่ 2

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากการการจำลองสถานการณ์ที่ 2 โดยการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังติดตั้ง 2 MW เพิ่มเติม ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าปี 2562 มีขั้นตอนการหาคาร์บอนเครดิตโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ที่ คือ T-VER-METH-AE-01 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Electricity Generation from Renewable Energy) (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559)

2. ข้อมูลกรณีฐาน (Baseline Scenario)

กรณีฐานของการดำเนินโครงการจะประเมินจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจ่ายไฟฟ้าเพื่อใช้ในอาคารกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา เป็นข้อมูลปีฐาน (ปี y) โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มาจากการคาดการณ์จากกำลังการผลิตของอุปกรณ์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดที่ติดตั้ง ดังสมการ 13 และคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (Baseline Sequestration /Emission) จะคิดเฉพาะการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สามารถคำนวณได้ ดังสมการ 13

$$BE_y = (EG_{PJ,y} \times 10^{-3}) \times EF_{Elec} \qquad (13)$$

โดยที่

BE_y การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี y (tCO_2e/year)

$EG_{PJ,y}$ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิจากการดำเนินโครงการพลังงานหมุนเวียน ในปี y (kWh/year)

EF_{Elec} ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า (tCO_2/MWh)

โดย ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี y เท่ากับ 2,066.26 tCO_2e/year ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สุทธิจากการดำเนินโครงการพลังงานหมุนเวียน ในปี y เท่ากับ 3,650,000 kWh/year และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 0.5661 tCO_2/MWh

3. การคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (Project Emission)

เนื่องจากโครงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบที่ต้องมีการตรวจวัดและควบคุมตลอดเวลา ซึ่งระบบตรวจวัดจะมีการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งซึ่งใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลหรือเชื้อเพลิงอื่น ๆ โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง สามารถคำนวนได้ดังสมการ 14

$$PE_y = PE_{FF,y} + PE_{EL,y} \tag{14}$$

โดยที่

PE_y ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการในปี y (tCO_2/year)

$PE_{FF,y}$ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการดำเนินโครงการในปี y (tCO_2/year)

$PE_{EL,y}$ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการดำเนินโครงการในปี y (tCO_2/year)

โดยมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการดำเนินโครงการในปี y เท่ากับ 14.92 tCO_2/year และไม่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการดำเนินโครงการในปี y

4. การคำนวณการดูดกลับ/การลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้จากโครงการ (Carbon Sequestration / Emission Reduction) สามารถคำนวณได้ดังสมการ 15

$$ER_y = BE_y - PE_y \tag{15}$$

โดยที่

ER_y การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปีy (tCO_2e/year)

BE_y การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐานในปี y (tCO_2e/year)

$PE_{EL,y}$ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการในปีy (tCO_2e/year)

ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี y เท่ากับ 2,051.34 tCO_2e/year

5. สรุปปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้

วันที่เริ่มเดินระบบหรือดำเนินกิจกรรมของโครงการที่ก่อให้เกิดการลดก๊าซเรือนกระจก 01/12/2562 วันที่เริ่มคิดเครดิต 01/10/2562 และมีระยะเวลาการคิดเครดิต เท่ากับ 7 ปี

ตาราง 42 รายละเอียดสรุปปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้

ปี	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกรณีฐาน (tCO_2e/year)	การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (tCO_2e/year)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกขอบเขตโครงการ (tCO_2e/year)	การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO_2e/year)
2562	2,066.265	14.92	0	2,051.35
2563	2,055.934	14.92	0	2,041.01
2564	2,045.654	14.92	0	2,030.73
2565	2,035.426	14.92	0	2,020.51
2566	2,025.249	14.92	0	2,010.33
2567	2,015.122	14.92	0	2,000.20
2568	2,005.047	14.92	0	1,990.13
รวม tCO_2e/year	14,248.70	104.44	0	14,144.26
เฉลี่ยปีละ tCO_2e/year	**2,035.53**	**14.92**	**0**	**2,020.61**

ดังนั้นปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยเฉลี่ยของระยะเวลาการคิดคาร์บอนเครดิต 7 ปี ที่คาดว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนได้เท่ากับ 2,020.61 tCO_2e/year

ผลการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบมหาวิทยาลัยลงทุน)

ข้อมูลเบื้องต้นของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด ขนาด 2 MW (ติดตั้งใหม่) และระบบสมาร์ตกริดขนาด 0.5 MW (ติดตั้งเดิม) โดยเก็บรวบรวมข้อมูล เอกสารที่อ้างอิง จากกระทรวงพลังงาน สามารถแสดงปริมาณการผลิตและการใช้ไฟฟ้า จำนวนแผง ค่าบำรุงรักษา อายุการใช้งานชั่วโมงการทำงาน เงินลงทุนโครงการ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของระบบสมาร์ตกริด ปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ได้ดังตาราง 43

ตาราง 43 ข้อมูลเบื้องต้นของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด

ข้อมูล	รายละเอียด	
	0.5 MW (เดิม)	2 MW (ใหม่)
จำนวนแผง Solar Call	2,000 แผง	8,000 แผง
ชั่วโมงการทำงาน/ปี	1,825 ชั่วโมง	1,825 ชั่วโมง
จำนวนวันที่ใช้งาน	365 วัน	365 วัน
ค่าบำรุงรักษา	300,000 Baht/year	1,000,000 Baht/year
เงินลงทุนในโครงการ	30,000,000 บาท	100,000,000 บาท
อายุการใช้งาน	20 ปี	20 ปี
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	เฉลี่ย 4.12 Baht/kW	เฉลี่ย 4.12 Baht/kW
ปริมาณไฟฟ้าประหยัดได้ต่อปี	901,312.49 kWh/year	3,851,905.36 kWh/year
อัตราดอกเบี้ย	9% ต่อปี	9% ต่อปี

จากข้อมูลในตาราง 44 เมื่อนำมาคำนวณหา ผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี และค่าบำรุงงรักษาระบบต่อปี โดยผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี คือ ผลต่างค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าระหว่างระบบสมาร์ตกริด ผลประโยชน์จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีเท่ากับปริมาณไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปีคูณค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเท่ากับ 15,869,850.08 บาท และมีค่าบำรุงรักษาระบบต่อปี 1,300,000 บาทต่อปี

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของระบบสมาร์ตกริด ด้วยวิธีทางเศรษฐศาสตร์

1.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการระบบสมาร์ตกริด จะทำการวิเคราะห์จากเงินลงทุนทั้งโครงการผลประโยชน์ที่ได้จากการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี ที่เกิดขึ้น รวมถึงค่าบำรุงรักษา ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี กรณีที่มหาวิทยาลัยพะเยา มีผลการคำนวณและแสดงได้ดังตาราง 45

ตาราง 44 ศักยภาพทางเศรษฐศาสตร์

หัวข้อ	NPV (บาท)	BCR	PB (ปี)
การผลิตไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด 2 MW (ติดตั้งใหม่) รวมกับ 0.5 MW (ติดตั้งเดิม)	6,871,496.60	1.04	8.19

จากตาราง 44 สามารถการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) = 6,871,496.60 บาท โดยมีผลจากการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่อัตราดอกเบี้ย 9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี พบว่าจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิโครงการคุ้มค่าที่จะลงทุน

1.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit-Cost Ratio; BCR) ผลจากการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนที่อัตราดอกเบี้ย 9 เปอร์เซ็นต์ต่อปี พบว่า ค่า B/C = 1.04 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 โครงการนี้คุ้มค่าที่จะลงทุน (จากเกณฑ์ที่กำหนด ว่าถ้าBCR ≤ 1โครงการนี้เป็นโครงการสมควรจะลงทุน)

1.3 ผลการวิเคราะห์หาระยะเวลาการคืนทุน

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW (ติดตั้งใหม่) รวมกับ 0.5 MW (ติดตั้งเดิม) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period; PB) ซึ่งจะนำไปสู่ระยะเวลาคืนทุน ดังตาราง 45

ตาราง 45 ข้อมูลระยะเวลาในการคืนทุน

ข้อมูล	สถานการณ์จำลองที่ 2
เงินในการลงทุน (บาท/ปี)	130,000,000
เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)	15,869,850.07
ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)	8.19

จากตาราง 45 จะเห็นได้ว่าการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 มีระยะคืนทุนเท่ากับ 8.19 ปี และมีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบมหาวิทยาลัยลงทุนเอง) ดังตาราง 46

ตาราง 46 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบมหาวิทยาลัยลงทุน)

ปี	ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายตามพยากรณ์ (Baht/year)	ค่าไฟที่จ่ายจริงหัก 2.5 MW (Baht/year)	ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (Baht/year)	% ค่าไฟที่ลดลง
2562	63,172,297.47	44,430,907.75	18,741,389.72	29.66
2563	65,230,327.57	46,582,647.25	18,647,680.32	28.58
2564	67,288,357.68	48,733,916.05	18,554,441.63	27.57
2565	69,346,387.82	50,884,716.07	18,461,671.75	26.62
2566	71,404,417.93	53,035,053.17	18,369,364.76	25.72
2567	73,462,448.03	55,184,933.44	18,277,514.59	24.88
2568	75,520,478.18	57,334,350.50	18,186,127.68	24.08
2569	77,578,508.28	59,483,310.24	18,095,198.04	23.32
2570	79,636,538.39	61,631,814.51	18,004,723.88	22.60
2571	81,694,568.53	63,779,869.34	17,914,699.19	21.92
2572	83,752,598.64	65,927,472.28	17,825,126.36	21.28
2573	85,810,628.74	68,074,629.35	17,735,999.39	20.66
2574	87,868,658.89	70,221,338.26	17,647,320.63	20.08
2575	89,926,688.99	72,365,380.04	17,561,308.95	19.52
2576	91,984,719.10	74,513,430.86	17,471,288.24	18.99
2577	94,042,749.24	76,658,818.19	17,383,931.05	18.48
2578	96,100,779.35	78,803,768.51	17,297,010.84	17.99

จากตาราง 46 ค่าใช้จ่ายทางด้านเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบมหาวิทยาลัยลงทุน) ลดลงเฉลี่ยต่อปี เท่ากับ 18,010,282.18 บาท คิดเป็นเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ต่อปี

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบบริษัทเอกชนลงทุน)

การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบบริษัทเอกชนลงทุน) โดยโครงการมีมูลค่า 100 ล้านบาท บริษัทเอกชนลงทุนติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 2 MW ให้มหาวิทยาลัยพะเยาทั้งหมด โดยมหาวิทยาลัยพะเยาจะซื้อพลังงานไฟฟ้าจากบริษัทเอกชนในอัตราร้อยละ 30 ต่ำกว่าราคาใบแจ้งหนี้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยค่าไฟฟ้าของเดือนที่พิจารณานั้น โดยมีระยะสัญญาทั้งหมด 20 ปี และมุ่งเน้นลดการใช้พลังงาน มีการใช้พลังงานทดแทน โดยนำผลงานวิจัยและนวัตกรรมต่าง ๆ มาใช้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานลงไม่ต่ำกว่า 30% โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดเพื่อสามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองได้ ทั้งนี้เพื่อเป็นต้นแบบให้ชุมชนรอบข้างได้มาศึกษาเรียนรู้

มหาวิทยาลัยพะเยา ใช้สมาร์ตกริตเทคโนโลยีในการบริหารจัดการการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัย ขนาดกำลังการผลิต 2 MW โดยมหาวิทยาลัยพะเยาตั้งเป้าหมายเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) จากการผลิตและซื้อขายไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดภายในมหาวิทยาลัย ด้วยสมาร์ตกริดเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งนอกจากจะเป็นการนำนวัตกรรมมาเพิ่มมูลค่าให้กับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนอาคารต่าง ๆ แล้ว แต่ละอาคารสามารถบริหารจัดการไฟฟ้ากันเองภายในมหาวิทยาลัยทั้งหมด โดยไม่มีไฟฟ้าส่วนเกินหรือเหลือใช้ ไม่กลายเป็นของเสียหรือสูญเปล่า

การออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบบริษัทเอกชนลงทุน) มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาด ตอบสนองนโยบายการเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green University) และสนับสนุนพลังงานสะอาดมุ่งมั่นสู่การเป็นสถาบันการศึกษาเพื่อสังคมไทย ปลูกฝังจิตวิญญาณการใช้พลังงานสะอาดต่อบุคลากรและนักศึกษา ด้วยการมีความรับผิดชอบต่อสังคมควบคู่ไปกับการสร้างบัณฑิตยุคใหม่ให้มีคุณสมบัติผู้นำแห่งศตวรรษที่ 21 สอดรับตามแนวคิดมหาวิทยาลัยสีเขียว (Green university)

2. ติดตั้งระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน เป็นมหาวิทยาลัยนำร่องตัวอย่างในการตอบสนองนโยบายด้านพลังงานของรัฐบาล

3. เพื่อสร้างชื่อเสียงให้มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นตัวอย่างในระดับนานาชาติที่มีระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดขนาด 2.5 MW

4. สร้างจิตสำนึกให้กับนักศึกษาในการมีส่วนร่วมแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

ผลการประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ 2 (แบบบริษัทเอกชนลงทุน)

มหาวิทยาลัยพะเยาจะซื้อไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ติดตั้งตามการใช้งานจริงเป็นร้อยละที่ต่ำกว่าอัตราค่าไฟตามใบแจ้งหนี้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยบริษัทเอกชนต้องติดเครื่องวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า Kilowatt Hour Meter (kWh) และนำหน่วยรวมของปริมาณไฟฟ้าจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดที่ผลิตได้มาเรียกเก็บกับมหาวิทยาลัย และบริษัทเอกชนต้องไม่คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak Demand (KVA) ค่าบริการรายเดือน และค่า FT ทั้งนี้ การคำนวณอัตราในครั้งนี้ให้ตั้งสมมุติฐานการผลิตไฟฟ้าไม่เกิน 2.5 MW และให้ใช้สัญญาระยะ 20 ปี บนพื้นที่ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ และใช้อัตราค่าไฟตามใบแจ้งหนี้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเฉลี่ยต่อปีที่ 4.12 บาทต่อหน่วย โดยที่มหาวิทยาลัยพะเยาจะซื้อไฟฟ้าในอัตราร้อยละที่ต่ำกว่าอัตราค่าไฟฟ้าที่บริษัทเอกชนเสนอตามใบแจ้งหนี้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในแต่ละเดือน (บริษัทเอกชนเสนออัตราร้อยละ 30 ต่ำกว่าราคาใบแจ้งหนี้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยค่าไฟฟ้าเดือนที่พิจารณานั้นราคาเฉลี่ย 4.12 บาทต่อหน่วยมหาวิทยาลัยจะรับซื้อไฟฟ้าในเดือนนั้นในราคา 2.88 บาทต่อหน่วย) โดยมีผลมูลค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบเท่าปัจจุบัน ดังตาราง 48

ตาราง 47 ผลมูลค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบเท่าปัจจุบัน ตั้งแต่ปี 2562-2578

ปี	ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายตามพยากรณ์ (Baht/year)	ค่าไฟที่จ่ายจริง หัก 2.5 MW (Baht/year)	อัตราหน่วยไฟฟ้า (Baht/year)		ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (Baht/year)
2562	63,172,297.47	44,430,907.75	44,430,907.75	31,058,498.62	13,372,409.13
2563	65,230,327.57	46,582,647.25	46,582,647.25	32,562,627.21	14,020,020.04
2564	67,288,357.68	48,733,916.05	48,733,916.05	4,066,426.75	14,667,489.30
2565	69,346,387.82	50,884,716.07	50,884,716.07	5,569,898.61	15,314,817.46
2566	71,404,417.93	3,035,053.17	3,035,053.17	7,073,046.87	15,962,006.30
2567	73,462,448.03	55,184,933.44	55,184,933.44	8,575,875.80	16,609,057.64
2568	75,520,478.18	7,334,350.50	57,334,350.50	40,078,380.93	17,255,969.57
2569	77,578,508.28	59,483,310.24	59,483,310.24	1,580,566.38	17,902,743.86
2570	79,636,538.39	1,631,814.51	61,631,814.51	43,082,433.45	18,549,381.06
2571	81,694,568.53	63,779,869.34	63,779,869.34	44,583,986.33	19,195,883.01
2572	83,752,598.64	5,927,472.28	65,927,472.28	46,085,223.34	19,842,248.94

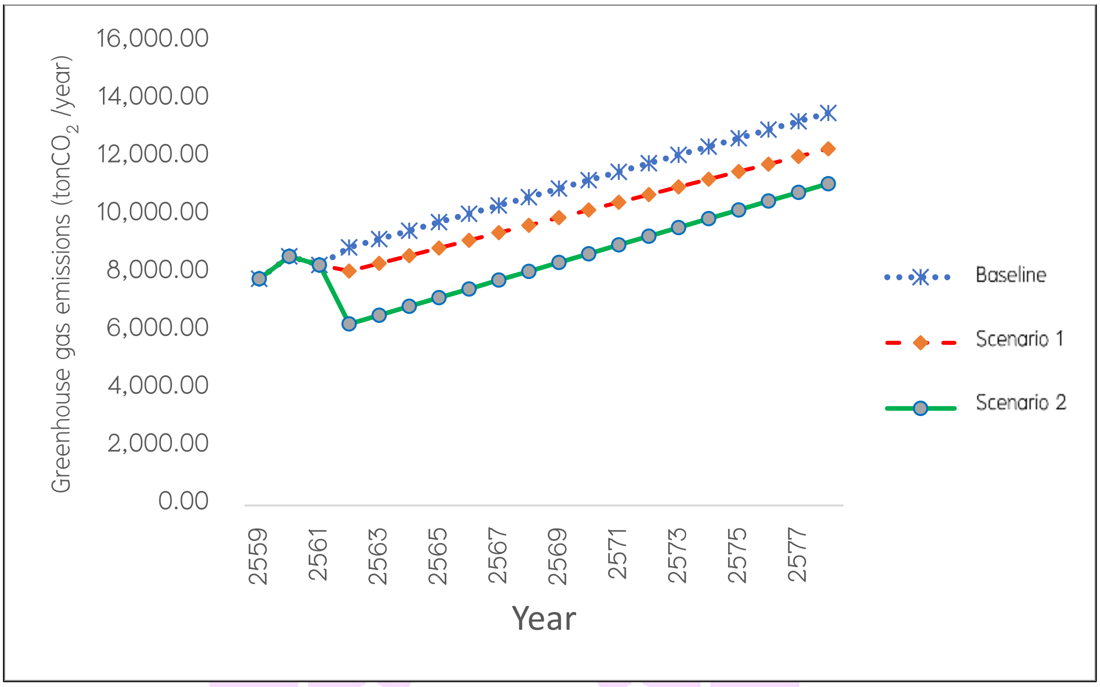
ตาราง 47 (ต่อ)

ปี	ค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายตามพยากรณ์ (Baht/year)	ค่าไฟที่จ่ายจริงหัก 2.5 MW (Baht/year)	อัตราหน่วยไฟฟ้า (Baht/year)		ค่าไฟฟ้าที่ลดลง (Baht/year)
2573	85,810,628.74	8,074,629.35	68,074,629.35	47,586,148.68	20,488,480.67
2574	87,868,658.89	70,221,338.26	70,221,338.26	49,086,760.72	21,134,577.54
2575	89,926,688.99	72,365,380.04	72,365,380.04	50,585,508.37	21,779,871.67
2576	91,984,719.10	74,513,430.86	74,513,430.86	52,087,058.47	22,426,372.39
2577	94,042,749.24	76,658,818.19	76,658,818.19	53,586,746.70	23,072,071.49
2578	96,100,779.35	8,803,768.51	78,803,768.51	55,086,129.45	23,717,639.06

จากตาราง 47 มีมูลค่าไฟฟ้าที่ลดลงเทียบเท่าปัจจุบันเฉลี่ยเท่ากับ 18,547,708.18 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับมูลค่าที่มหาวิทยาลัยต้องเสียค่าไฟฟ้าหลังชดเชยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์กำลังการผลิต ขนาด 2.5 MW คิดเป็นปริมาณมูลค่าไฟฟ้าลดลงเฉลี่ย 30.09 เปอร์เซ็นต์

การเปรียบเทียบการลดลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดจากการจำลองสถานการณ์

การประเมินการลดลงของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดจากการจำลองสถานการณ์ ดังภาพ 45



ภาพ 45 การเปรียบเทียบการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดที่เกิดขึ้นในปี 2558–2578 จากการจำลองสถานการณ์

จากภาพ 45 แสดงให้เห็นว่า การออกแบบจำลองสถานการณ์การประเมินก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดจากการจำลองสถานการณ์ส่งผลทำให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการผลิตไฟฟ้า ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการประเมินวัฏจักรชีวิต ขนาดกำลังการติดตั้ง 0.5 MW วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด เพื่อออกแบบการจำลองสถานการณ์ประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

การประเมินพลังงานไฟฟ้า การปล่อยก๊าซเรือนกระจก เศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด ขนาด 0.5 MW

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด มีค่าเท่ากับ 0.2281 kgCO_2eq ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ซึ่งค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของไฟฟ้าของประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 0.5664 kgCO_2eq / kWh (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2560) ซึ่งหมายความว่า ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดมีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบสายส่งปกติเมื่อเทียบต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh ด้วยการประเมินวัฐจักรชีวิตทั้งระบบ เมื่อพิจารณาผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริดมีความคุ้มค่าในการลงทุน และมีระยะเวลาคืนทุนของโครงการเท่ากับ 8.08 ปี

การวิเคราะห์พลังงานสะสม (Cumulative Energy Demand; CED) ของระบบการผลิตไฟฟ้า ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนเครือข่ายสมาร์ตกริด ขนาด 0.5 MW

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบสมาร์ตกริดมีการใช้พลังงาน (พลังงานสะสม) เพื่อผลิตไฟฟ้า 1 kWh (3.6 MJ) เท่ากับ 2.251 MJ โดยเซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานสะสมมากที่สุด 2.234 MJ หรือคิดเป็นสัดส่วน 99.25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังงานสุทธิเท่ากับ 1.349 ซึ่งบ่งบอกว่า ระบบสมาร์ตกริดมีประสิทธิภาพทางพลังงานและมีความคุ้มค่าทางพลังงาน ในระดับดี ดังนั้นการบำรุงรักษาระบบเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นจาก 20 ปี เป็น 25 ปี สามารถลดพลังงานสะสมลงได้ 14.17 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้อีกด้วย สำหรับแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบที่จะติดตั้งเพิ่มเติมในอนาคตนั้นการเลือกแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ที่มีกระบวนการผลิตที่ดี (มีการใช้พลังงานน้อย) รวมถึงมีประสิทธิภาพสูงจะสามารถลดพลังงานสะสมของระบบและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้

การติดตั้งระบบควบคุมระบบปรับอากาศ

พบว่า สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้นเฉลี่ยเท่ากับ 1,027.251 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 12.18 ต่อปีของการปล่อยก๊าซเรือนทั้งหมดในระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยาจากการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2562–2578 และทางด้านเศรษฐศาสตร์จะมีระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 0.09 ปี สามารถลดค่าไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 5,351,483.65 บาทต่อปี ดังนั้น การจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สถานการณ์ที่ 1 เป็นทางเลือกที่น่าสนใจไม่น้อย เนื่องจากมีระยะเวลาในการคืนทุนน้อย และสามารถนำแนวทางนี้ไปพัฒนาบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานมากยิ่งขึ้น

การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW (แบบมหาวิทยาลัยลงทุน)

พบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 2,544.61 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 22.61 ต่อปี และทางด้านเศรษฐศาสตร์จะมีระยะเวลาการคืนทุนเท่ากับ 8.09 ปี สามารถลดค่าไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 15,869,850.07 บาทต่อปี และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกโดยเฉลี่ยระยะเวลาการคิดคาร์บอนเครดิต 7 ปีที่คาดว่าจะลดการปล่อยก๊าซเรือนได้เท่ากับ 2,020.61 tCO_2e/year ดังนั้น การจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สถานการณ์ที่ 2 มีปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าสถานการณ์ที่ 1 แต่มีอัตราการลงทุนที่สูงมากกว่าโดยมหาวิทยาลัยลงทุน

การติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW (แบบบริษัทเอกชนลงทุน)

พบว่าสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 2,544.61 tonCO_2/year คิดเป็นร้อยละ 22.61 ต่อปี และทางด้านเศรษฐศาสตร์ลดค่าไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 18,547,708.18 บาทต่อปี ดังนั้น การจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สถานการณ์ที่ 2 มีปริมาณปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าสถานการณ์ที่ 1 แต่ในด้านเศรษฐศาสตร์บริษัทเอกชนเป็นผู้ลงทุน มหาวิทยาลัยได้ประโยชน์จากการเสียค่าไฟน้อยลงเฉลี่ยประมาณ 30.09 เปอร์เซ็นต์

อภิปรายผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดก๊าซเรือนกระจกจากระบบสมาร์ตกริดโดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 0.5 MW การผลิตไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลงตามประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ลดลง ส่งผลให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการแทนที่ไฟฟ้าจากสายส่งลดลงด้วยเช่นกัน โดยตลอดอายุการใช้งานของแผง 20 ปี ดังนั้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดก๊าซเรือนกระจกจากระบบสมาร์ตกริดโดยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบสมาร์ตกริดในมหาวิทยาลัยพะเยามี ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline) เช่นเดียวกัน พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าของระบบสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยามีศักยภาพการได้มาของพลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับพื้นที่ในภูมิภาคอื่น ๆ โดยระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1,294 kWh/kWp ต่อปี (ธนาพล ตันติสัตยกุล และคณะ, 2560) ระบบผลิตไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยขอนแก่นสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 1,431 kWh/kWp ต่อปี (พรสวัสดิ์ พิริยะศรัทธา, 2559) โดยมีความแตกต่างกันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์และ 10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยความแตกต่างของไฟฟ้าที่ผลิตได้นี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่ ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ มุมของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้ง (โดยเฉพาะเมื่อทำการติดตั้งบนหลังคา) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ล้วนมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบทั้งสิ้น

2. การจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา การเลือกใช้สถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ สมารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้น้อยกว่า สถานการณ์ที่ 2 แต่มีระยะเวลาในการคืนทุนน้อยกว่า ซึ่งเป็นแนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่สะดวกต่อการติดตั้งระบบ และสามารถนำแนวทางนี้ไปพัฒนาบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. การจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา การเลือกใช้สถานการณ์ที่ 2 สามารถปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าสถานการณ์ที่ 1 แต่มีการลงทุนมากกว่าใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างและติดตั้ง มีระยะเวลาในการคืนทุนมากกว่า ในด้านทางเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW มีความคุ้มค่ามากกว่า บริษัทเอกชนลงทุน เนื่องจากมีระยะเวลาในการคืนทุน 8.09 ปี ซึ่งอายุการใช้งานของระบบ 20 ปี ดังนั้นหลังจากปีที่ 9 จนถึง 20 ปี คือกำไรที่ได้จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW ซึ่งเป็นมูลค่าผลตอบแทนในระยะยาว

ข้อเสนอแนะ

1. ในการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริดของมหาวิทยาลัยพะเยา การเลือกใช้สถานการณ์ที่ 1 โดยการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ ถ้าในการปรับปรุงระบบการควบคุมปรับอากาศมีการเพิ่มอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับสัญญาณความร้อน ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการจัดการพลังงานไฟฟ้า

2. การจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด โดยใช้การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เหมาะสมสำหรับกับสถานที่ราชการหรือหน่วยงานที่มีพื้นที่ อาคารต่าง ๆ ซึ่งมีศักยภาพด้านขนาดของพื้นที่ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2 MW หรือมากกว่าเพื่อใช้ในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. มหาวิทยาลัยพะเยาควรมีการตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการตรวจสอบการใช้พลังงานนี้จะช่วยให้ผู้บริหารรวมถึงบุคลากรและนักศึกษา เกิดความตื่นตัวเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานมากขึ้น

4. การศึกษาการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มความหลากหลายของเครื่องปรับอากาศรวมทั้งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่มีเทคโนโลยีช่วยประหยัดไฟ และระบบแสงสว่างจะทำให้มีผลการศึกษาที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มรูปแบบมากขึ้น

5. มหาวิทยาลัยพะเยาควรมีการติดอุปกรณ์มิเตอร์วัดการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าแยกแต่ละอาคาร เพื่อจะส่งผลการตรวจสอบและการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความเสถียรและแม่นยำถูกต้อง เพื่อการออกแบบและการวิจัยระบบสมาร์ตกริดที่พัฒนาต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

กฤษณะ วิวัฒนชีวิน, ศักดิ์ชาย รักการ, อัตถกร กลั่นความดี และธนาคม สกุลไทย์. (2560). การจัดการการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง, **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต,** 7(2),14-28.

กฤติมา มะลิวัลย์. (2553). **การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนโดยการใช้กระบวนการสิ่งแวดล้อมศึกษา : กรณีศึกษาโรงเรียนหนองจอกพิทยานุสรณ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2560). **แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2558-2579**. สืบค้นเมื่อ 3 พฤษภาคม 2562, จาก http://www.enconfund.go.th/pdf/index/eep2015.pdf.

กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยพะเยา. (2562) **ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า.** สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2562 จาก http://www.building.up.ac.th/Location?category=electricity.

กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2561). **การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์.** สืบค้น เมื่อ 2 พฤษภาคม 2562, จาก https://www.dede.go.th/main.php?filename=index.

กระทรวงพลังงาน. (2558). **แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579**. สืบค้น เมื่อ 28 ธันวาคม 2560, จาก http://www.eppo.go.th/images/Power/pdf/smart_gridplan.pdf.

กระทรวงพลังงาน. (2562). **ภาพรวมพลังงาน.** สืบค้น เมื่อ 7 กันยายน 2562, จาก http://www.eppo.go.th/images/Energy-Statistics/energyinformation/Energy_Statistics/00All.pdf.

การจัดการพลังงานและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2559). **รายงานการจัดการพลังงานประจำปี 2559**. กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. สืบค้นเมื่อ 24 มีนาคม 2561, จาก https://building.kku.ac.th/2017/?p=807.

กรินทร์ กาญทนานนท์. (2561). **การพยากรณ์ทางสถิติ**.กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

จตุภูมิ เกิดประกอบ และนายสุริยา นิลเปี่ยม. (2557). **ระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศไร้สายผ่านเว็บไซต์** ปริญญานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.

จรีวรรณ จันทร์คง, เกศสุดา สิทธิสันติกุล, นิโรจน์ สินณรงค์ และกฤตวิทย์ อัจฉริยะพานิชกุล. (2562). ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อผลผลิตปาล์มน้ำมันในพื้นที่

ภาคใต้ของประเทศไทย. **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย** 11(1), 54-66.

ชัชชัย จันทะสีลา. (2549). **การศึกษาเพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับสถานพยาบาล:กรณีศึกษาอาคารสิรินธรโรงพยาบาลขอนแก่น.** วิทยานิพนธ์ ค.อ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ชูชาติ ผาระนัด, จักรกฤษณ์ จันทรศิริ และสุจิตรา ผาระนัด. (2553). การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม**, (4)2, 25-37.

โชคชัย อนามธวัช. (2545). **การจัดการการใช้พลังงานในโรงงานเฟอร์นิเจอร์**.วิทยานิพนธ์ ว.ศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

เทอดไทย นาครักษ์. (2554). **การจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต.**วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปทุมธานี.

ธนาพล ตันติสัตยกุล, พีรพล รัศมีธรรมโชติ และเมฆาพร อุ่ยสกุล. (2560). การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**, 25(6), 1083-1099.

นิพนธ์ เกตุจ้อย และมรุพงศ์ กอนอยู่. (2012). การศึกษาผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,** 32(5), 555-562.

เนตรชนากานต์ สุนันตา และเศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2560). การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากขยะเทศบาลด้วยระบบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์. **วารสารเทคโนโลยีนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา**, 1(1), 1-14.

บัญชา โพธิ์ทัย. (2551). **การประเมินคุณภาพโครงข่าย Wi-Fi มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, กรุงเทพฯ.

ปาณิศา อ่อนดอกไม้ และคณะ (ผู้บรรยาย). (24-25 พฤษภาคม 2561). การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรงไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออนตามพระราชดำริ. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3.** (หน้า 428-442) ชุมพร: ลอฟท์ มาเนีย บูทีค โฮเทล.

ปรีชา กอเจริญ, เพชร นันทิวัฒนา, เติมพงษ์ ศรีเทศ และณรงค์ อยู่ถนอม. (2560). เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายสำหรับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. **วารสารสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียงกิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ประจำปี 2560**. 2, 270-286.

พรสวัสดิ์ พิริยะศรัทธา. (2559). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นเพื่อการประหยัดพลังงาน. **วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 15(1), 184-200.

ยุทธพงศ์ พันธุ์มณี, ชุติมาใจเพ็ชร และอนุสรณ์ บุญปก. (2556). การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคการขนส่งทางบก: กรณีศึกษาของบริการสหกรณ์บริการเดินรถยนต์โดยสาร. **วารสารนเรศวรพะเยา**, 1(1), 231-236.

เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (2559). **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์**. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมพล โคศรี. (2554). **ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี.

สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2557). **รายงานค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2557**. รายงานวิจัย, กรุงเทพฯ: สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผลองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).

สำนักสิ่งแวดล้อม. (2553). **คลายร้อนให้โลก (ที่) รัก.** กรุงเทพฯ: สำนักสิ่งแวดล้อม.

เสาวภา ทินปาน และประพิธาริ์ ธนารักษ์. (2556). การประเมินการปล่อยคาร์บอนไดออกไซค์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอฟัสซิลิคอน สำหรับการผลิตไฟฟ้า. **Naresuan University Journal** 21(3), 49-58.

หาญพล พึ่งรัศมี. (2559). **การประเมินวัฏจักรชีวิต:หลักการและประยุกต์**.ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2559). **ระเบียบวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งหรือจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ระบบสายส่ง (T-VER-METH-AE-01)**, กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน).

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน. (2559). **แนวทางการบริหารจัดการและ**

การขึ้นทะเบียนโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ T-VER-GG. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(องค์การมหาชน).

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2560). **ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยสำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก**,กรุงเทพฯ: สำนักวิเคราะห์และติดตามประเมินผล องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน.

อังสนา พจน์ศิริ. (2559). **การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในอาคารธุรกิจขนาดเล็ก** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.

Achara, N. (2014). Solar Cell Standard and Improved Manufacturing Processes. **International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)**, 3 (9),162-167.

Bayindir, R., Colak, I., Fulli, G., and Demirtas, K. (2016). **Smart grid technologies and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews,** 66, 499-516.

Eggleston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., and Tanabe, K. (2016). **2006 IPCC Guidlines for National Greenhouse Gas Inventories**. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Retrieved May 15, 2019, from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html

Ellabban, Omar and Abu-Rub, Haitham. (2016). **Smart grid customers' acceptance and engagement: An overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 65, 1285-1298.

Jordan, D.C. and Kurtz, S.R. (2012). **Photovoltaic Degradation Rates: An Analytical Review**, NREL/JA-5200-51664. Review. Retrieved May 05, 2019, from https://www.nrel.gov/docs/ fy12osti/51664.pdf.

Sharp. (2559). **คู่มือการบำรุงรักษาระบบ Smart grid มหาวิทยาลัยพะเยา**, Thailand: Sharp Thai Co.,Ltd.

Sharp. (2559). **คู่มือการติดตั้งระบบ Smart grid มหาวิทยาลัยพะเยา**, Thailand: Sharp Thai Co.,Ltd.

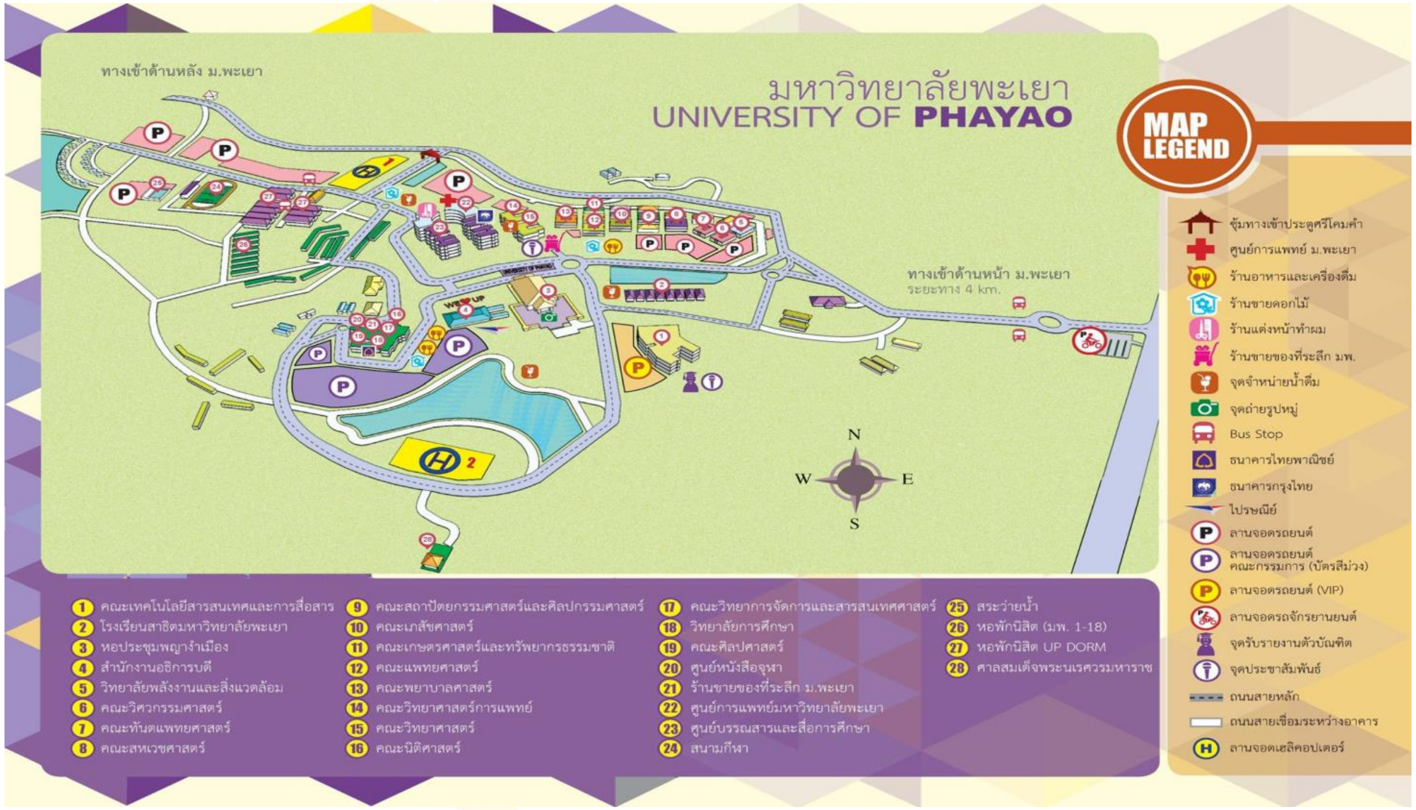
Zebarjadi, M. Askarzadeh, A. (2015). **Optimization of a reliable grid connected PV based power plant with/without energy storage system by a heuristic approach,**

Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate, Iran: University of Advanced Technology.

มหาวิทยาลัยพะเยา
UNIVERSITY OF PHAYAO

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แผนผังอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา



ภาพ 46 แผนผังอาคารต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยพะเยา

ภาคผนวก ข รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

ตาราง 48 รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

No	Location	Capacity (kW)
1.	อาคารวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม	147.5
2.	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์	30
3.	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์	60
4.	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา	52.5
5.	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์	30
6.	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ	30
7.	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล	30
8.	อาคารคณะสหเวชศาสตร์	30
9.	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์	30
10.	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร	30
11.	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์	30
	Total	500

ภาคผนวก ค ข้อมูลอาคารต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

ตาราง 49 ข้อมูลอาคารต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยพะเยา

ลำดับ	อาคาร
1	หอประชุมพญางำเมือง
2	โรงเรียนสาธิต ม.พะเยา
3	อาคารคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
4	อาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์
5	อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา
6	อาคารศูนย์พัฒนาเทคโนโลยียานยนต์
7	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ
8	อาคารโรงปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล
9	อาคารห้องปฏิบัติการเภสัชศาสตร์
10	อาคารคณะทันตแพทย์ศาสตร์
11	อาคารคณะสหเวชศาสตร์
12	อาคารปฏิบัติการศูนย์การเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
13	อาคารคณะเภสัชศาสตร์
14	อาคารคณะแพทย์ศาสตร์
15	อาคารคณะพยาบาลศาสตร์
16	อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และศิลปกรรมศาสตร์
17	อาคารคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
18	อาคารห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์
19	อาคารคณะวิทยาศาสตร์
20	อาคารคณะวิทยาศาสตร์การแพทย์
21	อาคารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
22	อาคารเรียนรวม (CE) และศูนย์บรรณสารสื่อการศึกษา
23	อาคารสงวนเสริมศรี
24	อาคารเรียนรวม
25	อาคารสำนักงานอธิการบดี

ภาคผนวก ง ข้อมูลชนิด ขนาด และพิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยา

ตาราง 50 ข้อมูลชนิด ขนาด และพิกัดติดตั้งของระบบปรับอากาศของมหาวิทยาลัยพะเยา

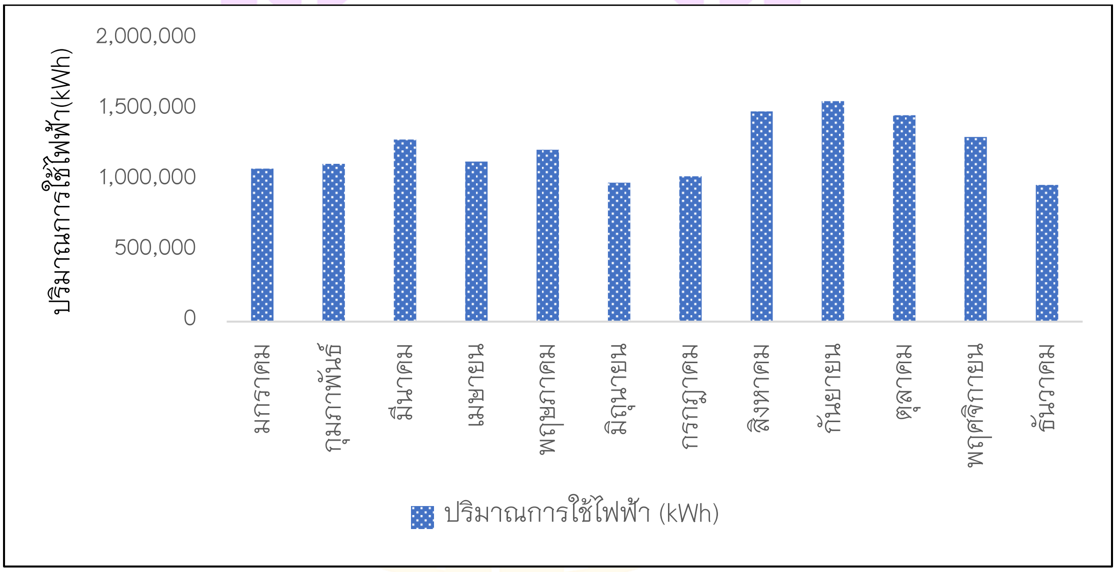
ลำดับที่	ขนาด (Btu/hr)	ชนิดเครื่องปรับอากาศ	จำนวนเครื่อง	รวม (Btu/hr)
1	12,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	25	300,000
2	18,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	66	1,188,000
3	30,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	134	4,020,000
4	40,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	109	4,360,000
5	48,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	331	15,888,000
6	62,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type)	42	2,604,000
7	48,000	เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ชนิดต่อท่อลม	27	1,296,000
8	180,000	เครื่องปรับอากาศแบบต่อท่อลม	4	720,000
9	500,000	เครื่องปรับอากาศแบบต่อท่อลม	11	5,500,000
		รวม	**749**	**35,876,000**

มหาวิทยาลัยพะเยา UNIVERSITY OF PHAYAO

ภาคผนวก จ ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยาปี พ.ศ.2561

ตาราง 51 แสดงข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยา ปี พ.ศ.2561

ลำดับ	เดือน	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)	On Peak (kW)	Off Peak (kW)	Holiday (kW)	ค่าไฟฟ้า (Baht)
1	มกราคม	1,085,316	3,321.74	2,171.91	1,980.27	4,239,264.46
2	กุมภาพันธ์	1,120,270	3,769	2,619.39	1,852.74	4,514,231.7
3	มีนาคม	1,290,550	4,216.13	2,874.63	2,044.18	5,158,301.19
4	เมษายน	1,134,131.01	4,981.68	3,129.52	2,426.97	4,698,156.19
5	พฤษภาคม	1,218,421.01	4,283.01	3,132.33	3,899.46	4,906,883.9
6	มิถุนายน	985,991	3,188.85	2,614.85	1,658.2	3,949,671.86
7	กรกฎาคม	1,031,575	3,192.25	2,489.95	1,532.28	4,104,527.56
8	สิงหาคม	1,492,030	4,599.71	3,577.55	2,235.97	6,005,314.57
9	กันยายน	1,564,190	5,302.88	3,897.3	2,300.04	6,304,155.74



ภาพ 47 กราฟแสดงการใช้ปริมาณไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยพะเยาปี พ.ศ.2561

ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในระบบสมาร์ตกริตต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

ตาราง 52 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมในขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์

รายการ	ค่า LCI		ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ
	ปริมาณ	หน่วย	ปริมาณ	(MJ)
PV-Solar Cell	0.00218	kg	1023.91	2.234
Inverter 25 kW	2.67E-12	kg	2872.22	7.67E-09
		Total		2.251

ตาราง 53 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของขั้นตอนการขนส่งอุปกรณ์

รายการ	ค่า LCI	ระยะทาง	แบบการใช้ระยะทาง			
	ปริมาณ (ตัน)	(กม.)	หน่วย (ตัน-กม.)	พาหนะ	ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ (MJ)
PV-Solar Cell (นำเข้าจากญี่ปุ่น)	2.18E-06	3,385	0.0073	Transport Fright, SEA	0.09331	0.0006
PV-Solar Cell (ขนส่งภายในประเทศ)	2.18E-06	791	0.0017	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	0.0059
Inverter 25 kW	4.65E-08	640	2.98E-05	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	1.03E-04
			Total			0.0067

ตาราง 54 ผลการวิเคราะห์พลังงานสะสมของขั้นตอนการขนส่งวัสดุในการก่อสร้าง

รายการ	ค่า LCI	ระยะทาง	แบบการใช้ระยะทาง			
	ปริมาณ (ตัน)	(กม.)	หน่วย (ตัน-กม.)	พาหนะ	ค่า CED (MJ/Unit)	ผลคูณ (MJ)
Copper	3.15E-08	28	8.82E-07	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	3.06E-06
Aluminum	2.97E-08	28	8.32E-07	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	2.89E-06
Steel	1.22E-07	28	3.44E-06	Transport Freight, lorry 7.5-16 metric ton	3.46979	1.19E-05
			Total			0.0000179

ภาคผนวก ช การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

ตาราง 55 รายการอุปกรณ์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ชั่วโมงการทำงานและการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งของอุปกรณ์ไฟฟ้า

รายการ	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชั่วโมงการทำงาน (h)	การใช้ไฟฟ้าต่อปี (kWh/year)
อินเวอร์เตอร์	0.001	365x24	8.76
เครื่องปรับอากาศ (ห้องควบคุม)	2.6	365x19*	18,031
คอมพิวเตอร์ (ห้องควบคุม)	1.2	365x19*	8,322
	รวม		**26,361.76**

หมายเหตุ: * หาได้จากชั่วโมงการทำงานใน 1 วัน (24 ชั่วโมง) หักออกด้วยชั่วโมงที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ (5 ชั่วโมง) เนื่องจากตอนที่แผงผลิตไฟฟ้าได้ระบบจะใช้ไฟฟ้าจากแผงทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	การุณย์ ชัยวณิชย์
วัน เดือน ปี เกิด	19 พฤษภาคม 2523
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ.2550 ค.อ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ. พ.ศ.2547 ค.อ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลเทคนิคกรุงเทพ กรุงเทพฯ.
ที่อยู่ปัจจุบัน	58/5 หมู่ 4 ตำบลภาชี อำเภอ ภาชี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ผลงานตีพิมพ์	การุณย์ ชัยวณิชย์ และสุรัตน์ เศษโพธิ์. (2561). วิธีการประเมินก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ : กรณีศึกษาระบบสมาร์ตกริดมหาวิทยาลัยพะเยา,วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 6(2), 194-206. การุณย์ ชัยวณิชย์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และนเรศ ใหญ่วงศ์ (2562). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพทางพลังงานของระบบสมาร์ตกริด, วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ อยู่ระหว่างการตีพิมพ์