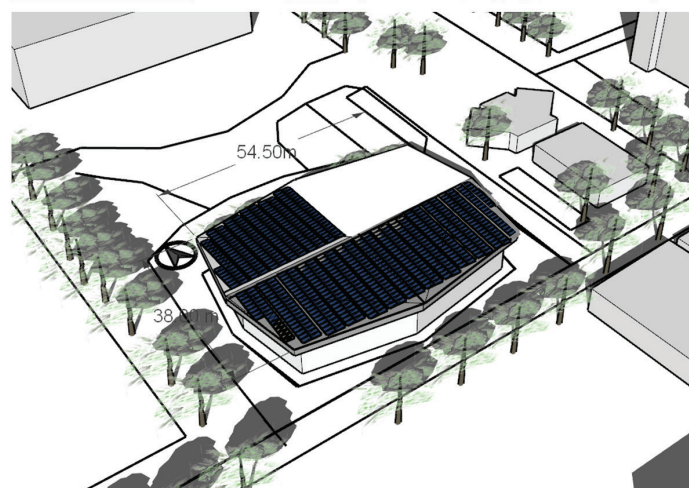
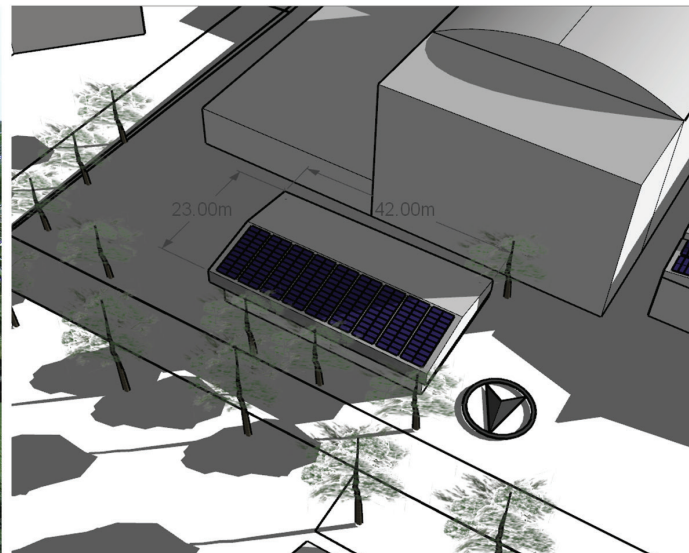
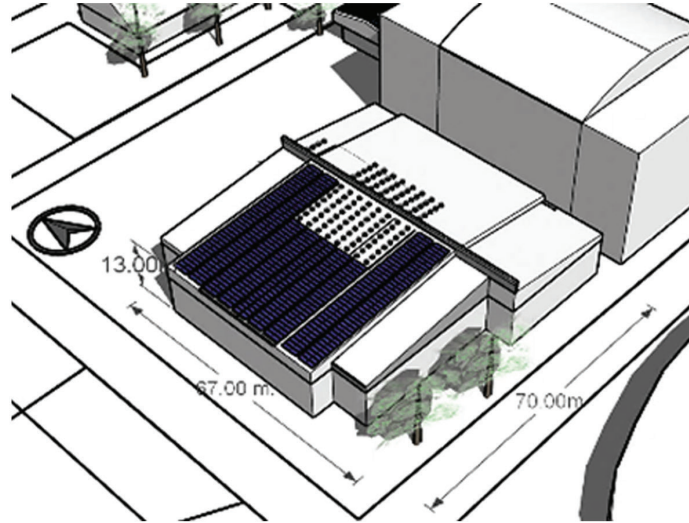




การประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม: กรณีศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Feasibility assessment of solar rooftop systems for gymnasium: case study of Chulalongkorn University

วรรณจิต จันทรเสละ¹ และ วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์²
Wannachit Chansela¹ and Vorapat Inkarojrit²

Received: 2020-04-02

Revised: 2020-05-18

Accepted: 2020-05-26

บทคัดย่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถานศึกษาที่มีการใช้งานหลากหลาย ในปี พ.ศ.2561 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละ 17 ส่งผลให้เกิดปัญหาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า หนึ่งในแนวทางแก้ปัญหา คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารสนามกีฬาในร่มผนวกกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงในอาคารรายชั่วโมงต่อวัน วิเคราะห์ร่วมกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ อีกทั้งเสนอแนวทางเลือกในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแบบพอเพียงต่อการใช้งาน และคำนวณการสำรองพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่ โดยมีอาคารสนามกีฬาในร่ม 3 อาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษา ทำการศึกษาในเชิงการเก็บข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรม สำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารและตารางการใช้อาคาร โดยการคำนวณพลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Faculty of Architecture, Chulalongkorn University)

ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: wannachit.ch@gmail.com

² คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Faculty of Architecture, Chulalongkorn University)

จากการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสามอาคาร ได้แก่ อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 คือ อาคารที่ใช้กลางวันและกลางคืน (ไม่มีเครื่องปรับอากาศ) อาคารสนามกีฬาจันทน์ยิ่งยง คือ อาคารที่ใช้กลางวันและกลางคืน (มีเครื่องปรับอากาศ) และอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 คือ อาคารที่ใช้กลางวัน (ไม่มีเครื่องปรับอากาศ) ผลการวิจัยพบว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน มีค่าเท่ากับร้อยละ 62 ร้อยละ 47 และร้อยละ 8 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน ตามลำดับอาคารข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า อาคารที่มีการใช้งานช่วงกลางวันและกลางคืนที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในสนามเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก การใช้งานระบบแบตเตอรี่ในช่วงกลางคืนมีการใช้เงินลงทุนสูงกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน 2-3 เท่า อีกทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงต่อการใช้งานในอาคารสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้อีกด้วย สำหรับอาคารที่มีศักยภาพนำลงทุนมากที่สุดนี้ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า 336,579 kWh/ปี เพียงพอต่อการใช้งานในช่วงเวลากลางวันเท่ากับร้อยละ 62 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน มีค่าสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ร้อยละ 68 มีค่า IRR ร้อยละ 13 ระยะเวลาการคืนทุนที่ 7 ปี

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่สำรอง การประเมินความเป็นไปได้ อาคารสนามกีฬาในร่ม

Abstract

Chulalongkorn University is a large educational institution that has various kinds of activities, in which the cost of electricity usage is increasing almost 17% in 2018. High electricity bill has become one of the serious issues of the university. Photovoltaic system is one of the productive ways for solving this problem. The objective of this study is to assessment and to compare the quality of solar rooftop system using in the gymnasium daily. This study leads to an analysis and suggestion for solar cell installation which can be enough for usage and battery backup. Cases of the study included three gymnasiums in Chulalongkorn University and the data was collected in the form of architecture survey, survey of electricity usage of each building, and schedule of building usage. The program of System Advisor Model Version 2018.11.11 was applied to calculate the electricity energy.

Feasibility assessment of solar rooftop systems for three gymnasiums include Indoor Stadium 1 in daytime and night time (without air conditioner), Chanthanayingyong Gymnasium in daytime and night time (with air conditioner) and Indoor Stadium 2 in night time (without air conditioner). The result revealed that photovoltaic system can produce electricity sufficiently during daytime and can reach almost 62%, 47% and 8% of daily electronic energy use. This study concludes that the building that is used in daytime and night time without air conditioner and battery backup is suitable for the investment because the cost

of installation is 2-3 times as expensive as regular system. Moreover, solar rooftop system can decrease the electricity bill. The photovoltaic system can produce 336,579 KWh/year. This system can produce electricity sufficiently during daytime. It can reach almost 62% of daily electronic energy use, performance ratio is ranged in 68% and IRR 13%. The payback period is 7 years.

Keywords: solar cell, battery backup, feasibility assessment, gymnasium

บทนำ

ในช่วงปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อการผลิต การนำเข้าของพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย ในปี พ.ศ.2558-2579 รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนแผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ไม่ว่าจะเป็นชีวมวล-ชีวมวล พลังงานลมและการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Ministry of Energy, 2016) โดยประเทศไทยจัดได้ว่ามีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สูง ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ไม่จำกัดตลอดอายุการใช้งาน (The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage, 2015)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นสถานศึกษาที่มีการใช้งานที่หลากหลายทั้งอาคารเรียน สำนักงาน หอพัก พื้นที่ส่วนกลาง สนามกีฬา ในการดำเนินการเรียนการสอนภายในมหาวิทยาลัยนั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมาก โดยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2561 เท่ากับ 82,673,957 kWh โดยคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ.2561 มีมูลค่าถึง 348,206,289 บาท เทียบกับปี พ.ศ.2560 มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 17 และมีแนวโน้มในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้นในทุกปี (Office of Physical Resources Management, Chulalongkorn University, 2018) ส่งผลให้เกิดปัญหาภาระเรื่องค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ปรับเปลี่ยนขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว หนึ่งในแนวทางสร้างพลังงานทดแทน คือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคาร ทั้งนี้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยจึงเห็นถึงความเหมาะสมในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา เพราะ ในมหาวิทยาลัยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากในช่วงเวลากลางวัน ในปัจจุบันพบว่าต้นทุนทางการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคามีค่าใช้จ่ายลดลงอย่างมาก การติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์จะสามารถช่วยลดภาระค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้ (Energy Research Institute, Chulalongkorn University, 2017) และเพื่อส่งเสริมการได้รับคะแนนเพิ่มเติมจากมหาวิทยาลัยสีเขียว (UI Green Metric) ในด้านพลังงานทดแทน อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาพื้นที่บนหลังคาที่ไม่มีการใช้งานมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย จึงมีโครงการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อาทิ การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารเรียน จากงานวิจัยของ Energy Research Institute, Chulalongkorn University (2017) ได้ทำการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม Pvsyst เพื่อประเมินหาอาคารที่มีศักยภาพที่เหมาะสมในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ พบว่า อาคารสนามกีฬาในร่มมีศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์มาก จากงานวิจัยของ Suwanasang (2014) ได้ทำการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้วิธีคัดเลือกอาคารที่สามารถผลิตพลังงานได้ดีที่สุดและประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tantisattayakul, Rassameethammachote & Auisakul (2017) การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ทำการประเมินหลังคาของกลุ่มอาคารเรียน คัดเลือกอาคารที่มีความเหมาะสมด้วยการคัดเลือกอาคารที่ไม่มีเงาอาคารจากสิ่งแวดล้อมข้างเคียงและคำนวณพลังงานที่ผลิตด้วยโปรแกรม RETScreen พบว่า อาคารที่หันไปทางทิศใต้มีศักยภาพในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์มากที่สุด และนอกจากนี้ยังพบงานวิจัยของ Billir & Yildirim (2017) ได้ทำการประเมินผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารเรียนในประเทศตุรกี มีการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของอาคารเรียนใน 1 วัน โดยทำการเลือกติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ใน 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ให้พอดีกับการใช้พลังงานไฟฟ้าและรูปแบบที่ 2 ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา พบว่า รูปแบบที่ 2 มีประโยชน์ต่อการใช้งานในอนาคต กรณีมีการใช้งานอาคารเพิ่มขึ้นหรือสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าที่เหลือเพื่อขายพลังงานได้ต่อไป

นอกจากการศึกษความเป็นไปได้ของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่ทำการประเมินอาคารเรียน โดยทำการคัดเลือกอาคารที่ไม่มีเงาบัง คัดเลือกอาคารที่หันหลังคาไปทางทิศใต้ ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ยังมีการพบว่าการประเมินศักยภาพหลังคาประเภทสนามกีฬาในร่มยังมีส่วนน้อย หากแต่อาคารสนามกีฬาในร่มน่าจะมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากมีหลังคาแบบพาดช่วงกว้าง ซึ่งในอดีตมีงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ลักษณะแบบพาดช่วงกว้าง จากงานวิจัยของ Mukisa, Zamora & Lie (2019) ได้ทำการเปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะของอาคารโรงงานในรูปแบบหลังคาและมุมเอียงของหลังคาที่แตกต่างกัน ด้วยการจำลองผ่าน Google Earth และโปรแกรม System Advisor Model พบว่า หลังคาอาคารประเภทโรงงานมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้พอเพียงต่อการใช้งานในอาคารภายใน 1 วันและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เกินความต้องการใช้งาน ส่งผลให้สามารถขายคืนพลังงานไฟฟ้าเข้าระบบการไฟฟ้าต่อไปได้และงานวิจัยของ Chaikyul (2018) ได้ทำการปรับปรุงศูนย์อาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่มีลักษณะอาคารแบบพาดช่วงกว้าง โดยมีการใช้ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านทิศใต้ ตามมุมเอียงของหลังคาอาคาร คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและทำการออกแบบ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาให้พอเพียงต่อการใช้งานในช่วงเวลากลางวัน นอกจากนี้ยังพบว่าวิจัยของ Nyangon (2019) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้และประเมินศักยภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารหลากหลายประเภทของเมือง Newark และ Wilmington ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ของเมือง พบว่าหลังคา ลักษณะแบบลาดช่วงกว้างมีศักยภาพในการติดตั้งระบบมากที่สุด

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นนั้น ยังขาดข้อมูลประเด็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารรายชั่วโมงต่อวันมาร่วมในการวิเคราะห์ และการเสนอแนวทางเลือกเพิ่มเติมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าพอเพียงต่อการใช้งาน แทนการติดตั้งแบบเต็มหลังคา และคำนวณการสำรองพลังงานไฟฟ้าในแบตเตอรี่เพิ่มเติม ดังนั้นงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ เพื่อประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มในการใช้งานอาคารและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางอาคารที่ต่างกัน และเพื่อเสนอแนะแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเป็นไปได้ของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานศึกษา รวมไปถึงอาคารที่มีลักษณะหลังคาลาดช่วงกว้าง

2. สำนวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน

2.1 สำนวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม ได้แก่ ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งอาคาร ข้อมูลขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) ข้อมูลขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) ข้อมูลสภาพแวดล้อมของอาคาร

2.2 สำนวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562 เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม

2.3 สำนวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด จากการนับจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าจริงและจากการนับจำนวนจากแบบรายการระบบไฟฟ้าของอาคาร เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารและวิเคราะห์หาสัดส่วนของการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจำแนกตามลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละระบบทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบไฟฟ้าส่องสว่าง ระบบปรับอากาศและระบบอื่นๆ

3. การกำหนดตัวแปรที่จะนำมาศึกษา

3.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ ทิศทางหลังคาอาคาร ขนาดพื้นที่หลังคาอาคาร ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียง การใช้พลังงานไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้า ในอาคาร

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh) ค่าสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (performance ratio) ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท) และระยะเวลาคืนทุน (ปี)

4. ทำการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.1 จำลองสภาพร่มเงาบนหลังคาของอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่ม โดยทำการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงร่มเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis 2010 ทำให้ทราบพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม ทำการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่ม โดยกำหนดติดตั้งแผงบริเวณพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียงในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เหมาะสมสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันโดยอ้างอิงจาก Piriyasatta (2016)

กำหนดเกณฑ์ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละอาคาร 2 รูปแบบ ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด
- รูปแบบที่ 2 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาและการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่พอเพียงสำหรับการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในอาคาร ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในรายชั่วโมงให้ได้มากที่สุด

จากนั้นนำทั้ง 2 กรณีมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระยะเวลาคืนทุน เพื่อเลือกติดตั้งกรณีที่มีศักยภาพดีที่สุด

4.2 คำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 จาก National Renewable Energy Laboratory (2018) โดยทำการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในวันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน คือ วันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice) 21 กันยายน (Equinox) และ 21 ธันวาคม (Winter Solstice) และคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในรายปี โดยมีข้อกำหนด ดังนี้

- กำหนดใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดหลายผลึกหรือโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 340 วัตต์ต่อแผง ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2,005 x 1,001 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจาก Energy Research Institute, Chulalongkorn University (2017)

- กำหนดระบบที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้า (on-grid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน หากไฟฟ้าที่ผลิตไม่เพียงพอ อาคารสามารถใช้ไฟฟ้าจากโครงข่ายไฟฟ้าได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นี้หากไม่ส่งให้กับระบบสายส่งอาจเก็บสะสมในระบบสะสมพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่ได้แดดหรือช่วงเวลากลางคืนได้ โดยอ้างอิงจาก Yimprayoon (2016)
- ในกรณีใช้แบตเตอรี่สำรองในช่วงเวลากลางคืน สามารถประเมินการใช้งานของแบตเตอรี่โดยคำนวณหาขนาดความจุของแบตเตอรี่ดังสมการที่ (1) ที่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เท่ากับ 12 โวลต์ อัตราการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ แบบ deep-cycle มีค่า 0.60 โดยประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 0.85 โดยอ้างอิงจาก The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage (2015) ดังนี้

$$\text{ขนาดความจุของแบตเตอรี่ (Ah)} = \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน (Wh/วัน)}}{12 \text{ (V)} \times 0.60 \times 0.85} \quad (1)$$

4.3 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 และนำผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมงต่อวัน

5. การประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์ โดยประกอบด้วย

5.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน คำนวณได้จากสมการที่ (2) โดยกำหนดให้เงินที่ใช้ในการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ ทั้งนี้ กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอัตราเสื่อมสภาพไม่เกินร้อยละ 1 ต่อปี และมีค่าบำรุงรักษาร้อยละ 1 ของเงินลงทุน โดยอ้างอิงจาก Energy Research Institute, Chulalongkorn University (2017) และกรณีอาคารมีการใช้งานแบตเตอรี่ กำหนดใช้แบตเตอรี่ แบบ deep-cycle ขนาดความจุ 200Ah/12V ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 12,375 บาทต่อลูก อ้างอิงจาก DD BEST Co., Ltd. (2019) โดยแบตเตอรี่ดังกล่าวมีอายุการใช้งานเฉลี่ยที่ 5 ปี อ้างอิงจาก The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage (2015)

5.2 การประเมินระยะเวลาการคืนทุน คำนวณได้จากสมการที่ (3) และ (4) จากราคารับซื้อพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากปีงบประมาณ 2561 ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เท่ากับ 4.21 บาทต่อหน่วย โดยอ้างอิงจาก Office of Physical Resources Management, Chulalongkorn University (2018) โดยมีสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ที่อ้างอิงจาก The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage (2015) ดังนี้

คำนวณเงินลงทุนในการติดตั้ง

$$\text{คำนวณเงินลงทุนในการติดตั้ง} = \text{ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)} \times 1,000 \text{ (วัตต์)} \times 36.50 \text{ (บาท)} \quad (2)$$

คำนวณรายรับต่อปี

$$\text{รายรับต่อปี} = \text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh)} \times 4.21 \text{ (บาท)} \quad (3)$$

คำนวณระยะเวลาคืนทุน (simple payback period)

$$\text{คำนวณระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน (บาท)}}{\text{รายรับต่อปี (บาท)}} \quad (4)$$

6. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

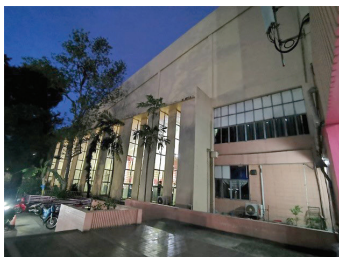
ทำการสรุปผลการวิจัย โดยการเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารรายชั่วโมงต่อวันและระยะคืนทุนของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการลงทุนและเปรียบเทียบกับงานวิจัยโครงการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Energy Research Institute, Chulalongkorn University, 2017)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

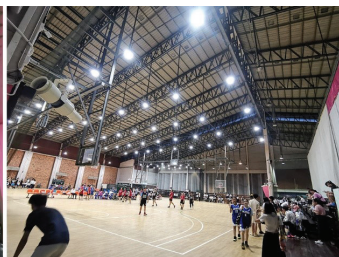
1. ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมและข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารในปัจจุบัน

1.1 ผลการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมอาคารสนามกีฬาในร่ม

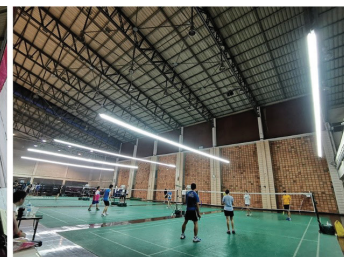
1) อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) เป็นอาคาร 2 ชั้น มีพื้นที่ 4,100 ตารางเมตร ประกอบไปด้วย ชั้นที่ 1 ได้แก่ สนามกีฬาอเนกประสงค์ ห้องสำนักงาน ห้องน้ำ ห้องเปลี่ยนชุด ห้องพยาบาล และชั้นที่ 2 ได้แก่ ห้องควบคุม สำนักงาน ห้องเก็บของ ภายในสนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หลังคาอาคารรูปทรงเพิงหมาแหงน มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา มีพื้นที่หลังคา 3,890 ตารางเมตร หลังคาอาคารหันไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก ดังแสดงในภาพที่ 1



(ก)



(ข)



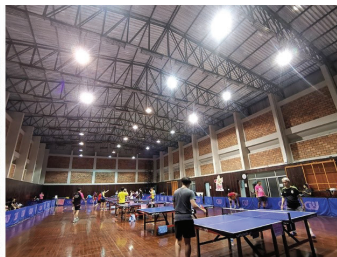
(ค)

ภาพที่ 1 การสำรวจอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 (ก) ทศนิยมภาพภายนอกอาคารสนามกีฬาในร่ม 1
(ข) ทศนิยมภาพภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 และ (ค) ทศนิยมภาพภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม 1

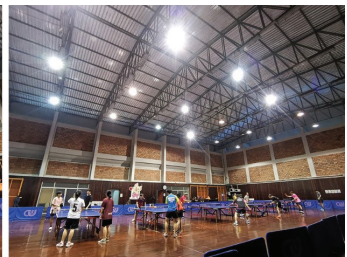
2) อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) เป็นอาคาร 1 ชั้น มีพื้นที่ 1,040 ตารางเมตร ประกอบไปด้วย สนามกีฬา ห้องประชุม ห้องเก็บของ ห้องน้ำ ภายในสนามกีฬาไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หลังคาอาคารทรงจั่ว มุมเอียงหลังคาที่ 10 องศา มีพื้นที่หลังคา 1,250 ตารางเมตร หลังคาอาคารหันไปทางทิศเหนือและทิศใต้ ดังแสดงในภาพที่ 2



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2 การสำรวจอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 (ก) ทศนิยมภาพภายนอกอาคารสนามกีฬาในร่ม 2
(ข) ทศนิยมภาพภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 และ (ค) ทศนิยมภาพภายในอาคารสนามกีฬาในร่ม 2

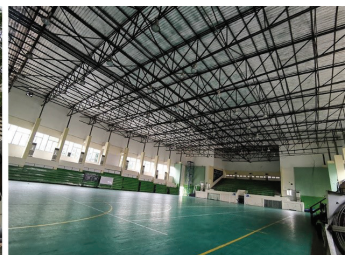
3) อาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง (ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) เป็นอาคาร 1 ชั้น มีพื้นที่ 1,900 ตารางเมตร ประกอบไปด้วย สนามกีฬา ห้องน้ำและห้องแต่งตัว ภายในสนามกีฬามีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ หลังคาอาคารรูปทรงเพิงหมาแหงนมุมเอียงหลังคาที่ 2 องศา มีพื้นที่หลังคา 2,475 ตารางเมตร หลังคาอาคารหันไปทางทิศเหนือและทิศใต้ ดังแสดงในภาพที่ 3



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3 การสำรวจอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง (ก) ทศนิยมภาพภายนอกอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง
(ข) ทศนิยมภาพภายนอกอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง และ (ค) ทศนิยมภาพภายในอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง

1.2 ผลสำรวจข้อมูลตารางการใช้งานอาคารในปี 2562

1) อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 มีการใช้งานในช่วงเวลา 07.00-12.00 น. 13.00-16.00 น. และ 17.00-21.00 น. ระยะเวลาการใช้งาน 14 ชั่วโมงต่อวัน

2) อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 มีการใช้งานในช่วงเวลา 16.00-20.00 น. ระยะเวลาการใช้งาน 4 ชั่วโมงต่อวัน

3) อาคารสนามจันทน์ยิ่งยง มีการใช้งานในช่วงเวลา 08.00-21.00 น. ระยะเวลาการใช้งาน 13 ชั่วโมงต่อวัน

1.3 ผลการสำรวจชนิด จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมด พบว่า จากการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งหมดของ อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 665.39 kW/วัน อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 92.15 kW/วัน และอาคารสนามกีฬาจันทน์ยิ่งยงใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 1,628 kW/วัน จากนั้นทำการหาค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคาร พบว่า อาคารสนามกีฬาจันทน์ยิ่งยง ใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่มากที่สุด อันดับที่ 1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0616 kW/m² อันดับที่ 2 สนามกีฬาในร่ม 2 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0177 kW/m² และอันดับที่ 3 สนามกีฬาในร่ม 1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.0085 kW/m² ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่อพื้นที่อาคารในหนึ่งชั่วโมง

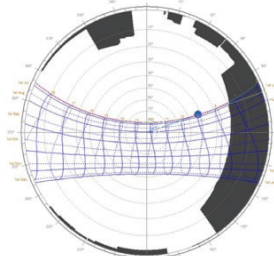
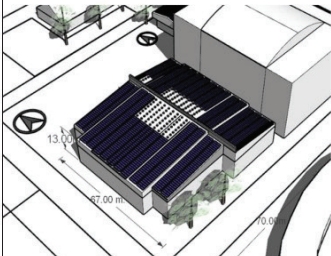
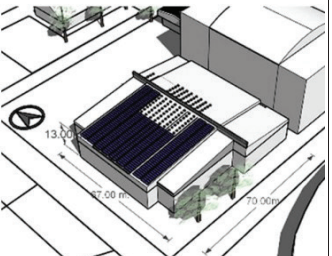
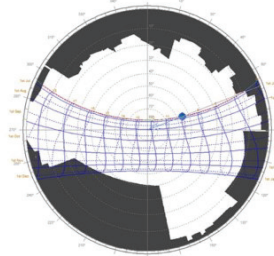
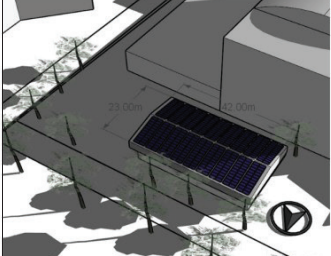
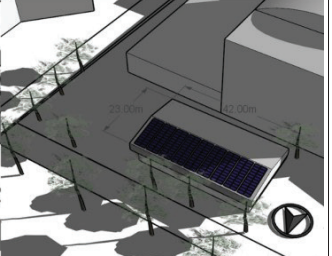
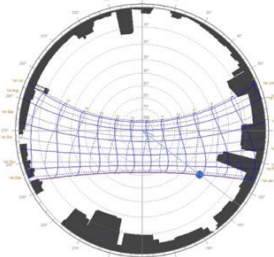
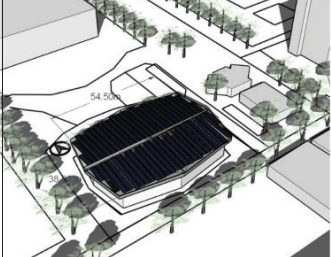
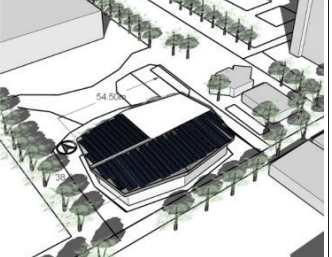
การใช้พลังงาน ในอาคาร	สนามกีฬาในร่ม 1		สนามกีฬาในร่ม 2		สนามกีฬาจันทน์ยิ่งยง	
	พลังงาน ไฟฟ้า (kW)	การใช้ พลังงาน ต่อพื้นที่ (kW/m ²)	พลังงาน ไฟฟ้า (kW)	การใช้ พลังงาน ต่อพื้นที่ (kW/m ²)	พลังงาน ไฟฟ้า (kW)	การใช้ พลังงาน ต่อพื้นที่ (kW/m ²)
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	31.30	0.0053	13.31	0.0128	17.19	0.0091
ระบบปรับอากาศ	12.82	0.0022	4.70	0.0045	99.90	0.0526
ระบบอื่นๆ	1.18	0.0002	0.42	0.0004	0	0.0000
รวม	49.81	0.0085	18.43	0.0177	117.09	0.0616

2. ผลการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 ผลการจำลองสภาพร่มเงาบนหลังคาของอาคารกรณีศึกษาสนามกีฬาในร่มด้วยการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงผลร่มเงาเฉลี่ยรายปีและภาพการจำลองการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า 1) อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 จากผลแสดงร่มเงาเฉลี่ยรายปี พบว่า หลังคาอาคารไม่โดนร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียงจากทิศตะวันออก ในช่วงเวลา 08.00 น. เป็นต้นไป 2) อาคารสนาม

กีฬาในร่ม 2 จากผลแสดงร่มเงาเฉลี่ยรายปี พบว่า หลังคาอาคารไม่โดนร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียง จากทิศเหนือและใต้ ในช่วงเวลา 10.00-16.00 น. และ 3) อาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง จากผลแสดงร่มเงาเฉลี่ยรายปี พบว่า หลังคาอาคารไม่โดนร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียง ในช่วงเวลา 08.00 น. เป็นต้นไป ส่วนตารางที่ 3 แสดงผลสรุปพื้นที่และจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งตามการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ

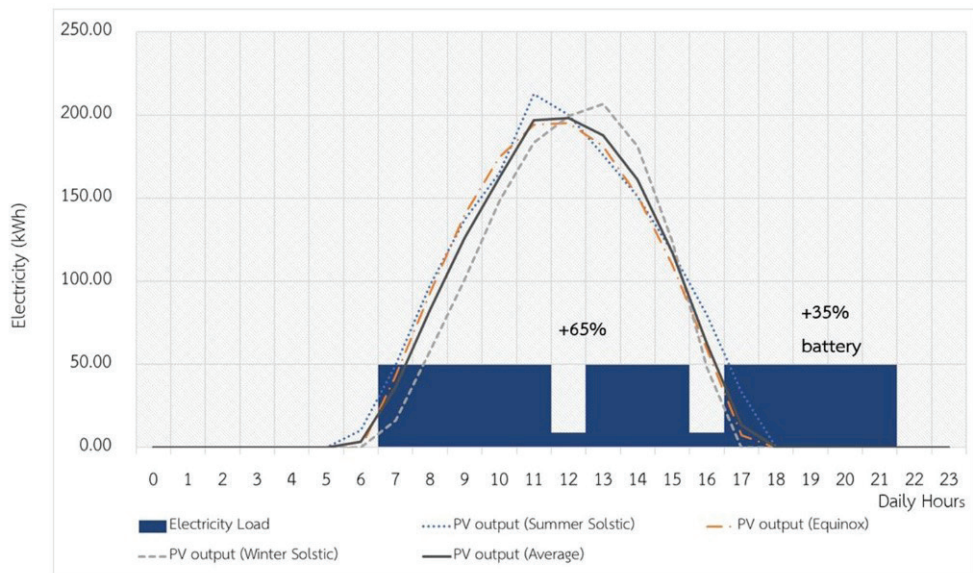
ตารางที่ 2 ผลการจำลอง Sun path diagram เพื่อแสดงผลร่มเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม Autodesk Ecotect Analysis 2010 และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 รูปแบบ

Sun path diagram	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
		
อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดเครื่องปรับอากาศ)		
		
อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดเครื่องปรับอากาศ)		
		
อาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง (ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)		

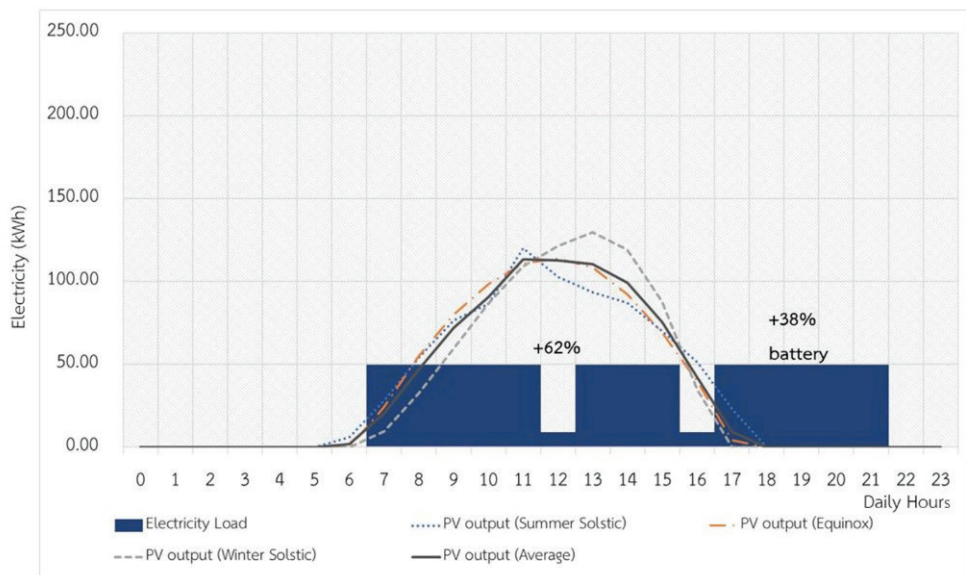
2.2 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 และ 2 มีค่า Performance ratio ในรูปแบบที่ 2 สูงกว่ารูปแบบที่ 1 แต่สำหรับอาคารสนามกีฬาจันทน์ยังมีค่า Performance ratio ในรูปแบบที่ 1 และ 2 เท่ากัน

2.3 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของสนามกีฬาในร่ม ดังนี้

- 1) อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)
- รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 4 ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 พบว่า ค่าเฉลี่ยในวัน 3 ฤดูกาล จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1,346.59 kWh/วัน ซึ่งพอเพียงต่อการใช้งานในช่วงเวลา 08.00-16.00 น. คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำนวน 431.53 kWh หรือร้อยละ 65 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน สำหรับในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ในช่วงเช้าและกลางคืน นั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 232.88 kWh หรือร้อยละ 35 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน โดยคิดได้จากสมการที่ (1) พบว่า ต้องมีแบตเตอรี่สำรองจำนวน 190 ลูกถึงจะเพียงพอ
- รูปแบบที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 5 ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้พอเพียงสำหรับการใช้งาน 1 วัน จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 พบว่า ค่าเฉลี่ยในวัน 3 ฤดูกาล จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 793.38 kWh/วัน ซึ่งพอเพียงต่อการใช้งานในช่วงเวลา 09.00-16.00 น. คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำนวน 410.47 kWh หรือร้อยละ 62 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน สำหรับในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ในช่วงเช้าและกลางคืน นั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 252.84 kWh หรือร้อยละ 38 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน โดยคิดได้จากสมการที่ (1) พบว่า ต้องมีแบตเตอรี่สำรองจำนวน 207 ลูก ถึงจะเพียงพอ

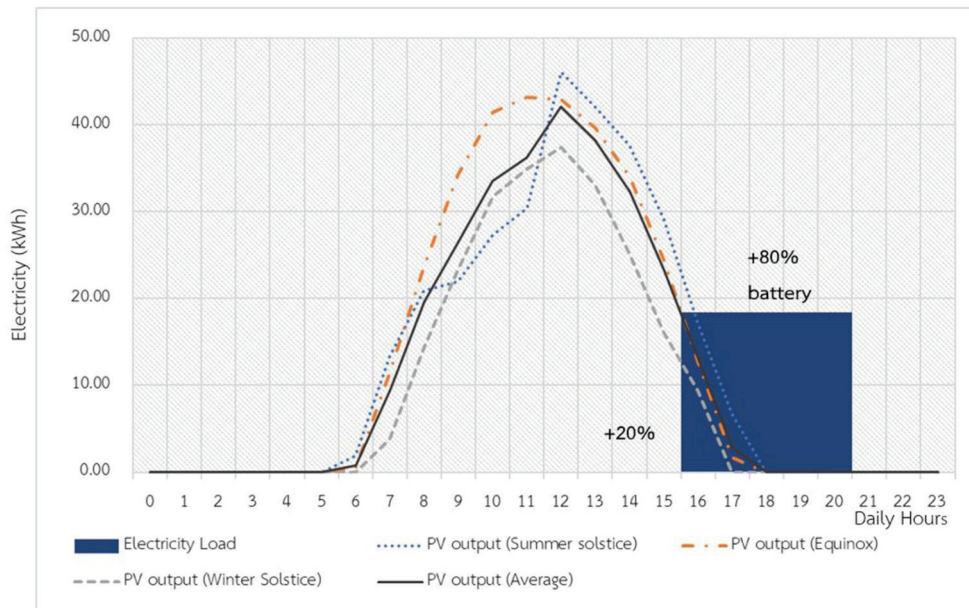


ภาพที่ 4 แผนภูมิแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของ
วันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 รูปแบบที่ 1

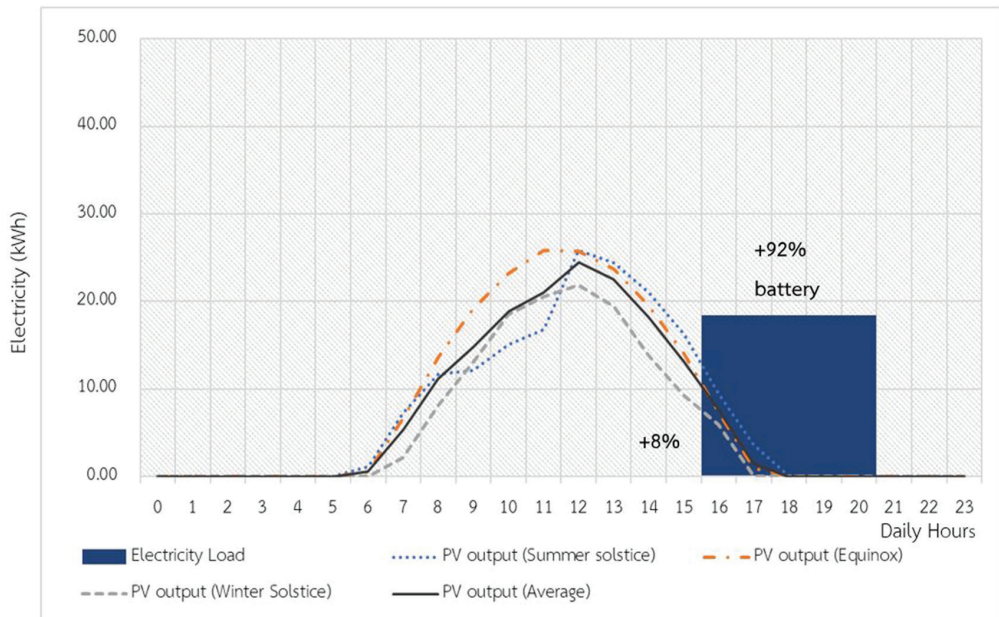


ภาพที่ 5 แผนภูมิแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ของ
วันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 รูปแบบที่ 2

- 2) อาคารสนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)
- รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 6 กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 พบว่าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 277.36 kWh/วัน ซึ่งสามารถใช้งานในช่วงเวลา 16.00 น. โดยไม่ต้องสำรองแบตเตอรี่ คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำนวน 18.43 kWh หรือร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน สำหรับในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ช่วงกลางวัน นั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 73.72 kWh หรือร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน โดยคิดได้จากสมการที่ (1) พบว่าต้องมีแบตเตอรี่สำรองจำนวน 61 ลูก ถึงจะเพียงพอ
 - รูปแบบที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 7 กำหนดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้พอเพียงต่อการใช้งานใน 1 วัน จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 พบว่า จากค่าเฉลี่ยในวัน 3ฤดูกาล ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จำนวน 158.79 kWh/วัน ซึ่งสามารถใช้งานในช่วงเวลา 16.00 น. โดยไม่ต้องสำรองแบตเตอรี่ มีค่าพลังงานไฟฟ้าจำนวน 7.4 kWh หรือร้อยละ 8 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน ในกรณีที่ต้องการสำรองแบตเตอรี่ในช่วงกลางวัน นั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 84.78 kWh หรือร้อยละ 92 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน โดยจากสมการที่ (1) ต้องมีแบตเตอรี่สำรองจำนวน 61 ลูก ถึงจะเพียงพอ



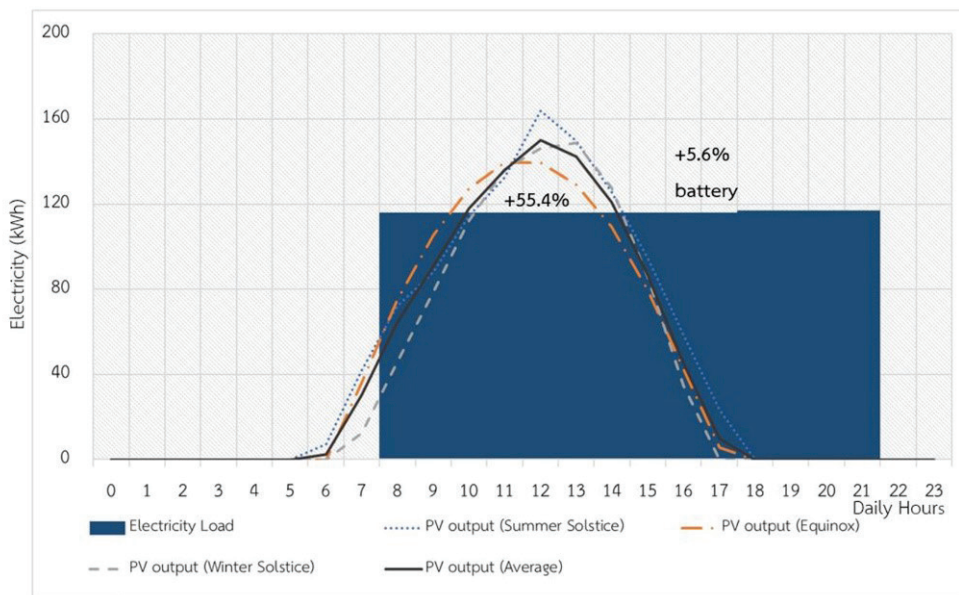
ภาพที่ 6 แผนภูมิแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์
ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 รูปแบบที่ 1



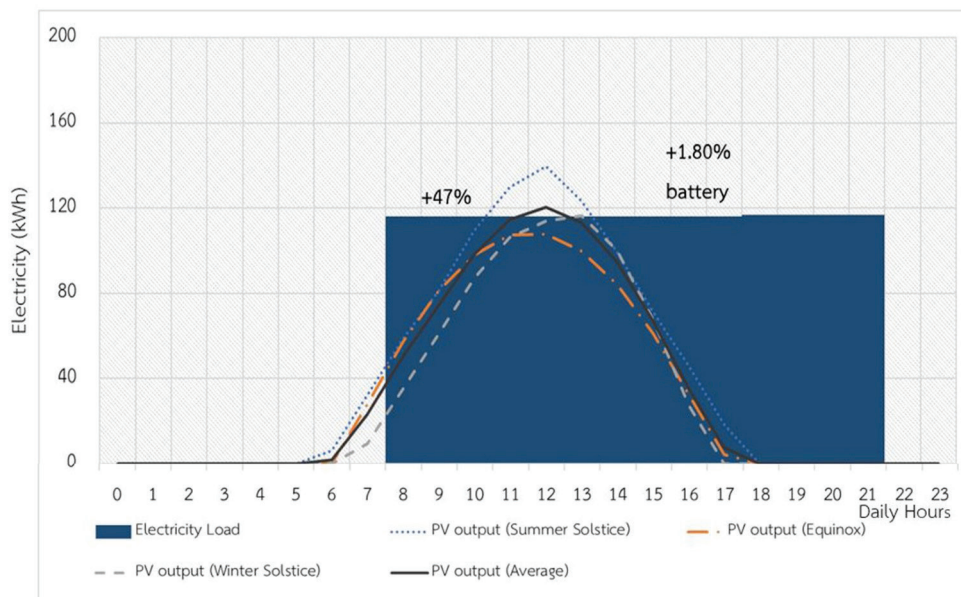
ภาพที่ 7 แผนภูมิแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์
ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน ของอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 รูปแบบที่ 2

3) อาคารสนามกีฬาจันทนียังยง (ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)

- รูปแบบที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 8 กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 พบว่า ค่าเฉลี่ยในวัน 3 ฤดูกาล จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 995.26 kWh/วัน ซึ่งพอเพียงต่อการใช้งานในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำนวน 901.91 kWh หรือร้อยละ 55.4 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน สำหรับในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ในช่วงเช้าและกลางคืน นั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 93 kWh โดยคิดได้จากสมการที่ (1) พบว่าต้องมีแบตเตอรี่สำรองจำนวน 76 ลูก ถึงจะเพียงพอ
- รูปแบบที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 9 กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้พอเพียงสำหรับการใช้งาน 1 วัน จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม System Advisor Model Version 2018.11.11 พบว่า ค่าเฉลี่ยในวัน 3 ฤดูกาล จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 800.52 kWh/วัน คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจำนวน 770.52 kWh หรือร้อยละ 47 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน สำหรับในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ในช่วงเช้าและกลางคืน นั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 30 kWh โดยคิดได้จากสมการที่ (1) พบว่าต้องมีแบตเตอรี่สำรองจำนวน 25 ลูก ถึงจะเพียงพอ



ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์
ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน ของอาคารสนามกีฬาจันทนียังยง รูปแบบที่ 1



ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์
ของวันเปลี่ยนฤดูกาล 3 วัน ของอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยง รูปแบบที่ 2

3. ผลการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์

ผลการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) และผลประเมินระยะเวลาคืนทุน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) และ (4) จากการประเมินศักยภาพด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าระยะเวลาคืนทุนของอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 สนามกีฬาในร่ม 2 และอาคารสนามกีฬาจันทนยิ่งยงในรูปแบบที่ 2 มีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าและค่า IRR (Internal rate of return หรืออัตราผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์) สูงกว่า รูปแบบที่ 1 ในกรณีที่ต้องการเก็บสะสมพลังงานในแบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้งานในช่วงเวลาที่ไม่ได้แดดหรือช่วงเวลากลางคืนนั้น พบว่า ไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน ดังแสดงผลในตารางที่ 3 เนื่องจากการใช้แบตเตอรี่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมากกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันเพียงอย่างเดียว 2-3 เท่า

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม กรณีศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 3 อาคาร ซึ่งได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมองค์ความรู้จากงานวิจัยโครงการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Energy Research Institute, Chulalongkorn University, 2017) โดยศึกษาในประเด็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารรายชั่วโมงต่อวันมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางเลือกเพิ่มเติมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าพอเพียงต่อการใช้งาน แทนการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเต็มหลังคา พร้อมทั้งศึกษาในรูปแบบที่มีการสำรองพลังงานไฟฟ้าโดยใช้แบตเตอรี่เป็นทางเลือกเพิ่มเติม

จากการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การเปรียบเทียบระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร พบว่า อาคารสนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) ในรูปแบบที่ 2 เป็นการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พอเพียงสำหรับการใช้งานไฟฟ้าในอาคาร นั้นมีศักยภาพในการลงทุนที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้พอเพียงต่อการใช้งานในช่วงกลางวันที่ย้อยละ 62 ของจำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน หรือในช่วงเวลา 9.00-16.00 น. ซึ่งผลิตครอบคลุมการใช้งานเฉลี่ย 7 ชั่วโมงต่อวันและมีพลังงานไฟฟ้าพอเพียงสำหรับกักเก็บในแบตเตอรี่ได้เท่ากับร้อยละ 100 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคารเพื่อใช้งานในช่วงเวลากลางคืน อีกทั้งมีค่า performance ratio ร้อยละ 68 สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จำนวน 277.36 kWh/วัน และ 336,579 kWh/ปี โดยมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมูลค่า 9.95 ล้านบาท ค่า IRR ที่ร้อยละ 13.00 ระยะเวลาก่อนทุนที่ 7 ปี ซึ่งน้อยกว่าสนามกีฬาในร่มรูปแบบที่ 1 ที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมูลค่า 18.10 ล้านบาท ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าเกินความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารต่อวัน มีค่า IRR ที่ร้อยละ 11.39 มีค่า Performance ratio ที่ร้อยละ 64 สำหรับอาคารสนามกีฬาจันทน์ยืนยง (ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) ในรูปแบบที่ 2 นั้นมีศักยภาพในการลงทุนเป็นอันดับที่ 2 เนื่องจากสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้พอเพียงต่อการใช้งานในช่วงกลางวันที่ย้อยละ 47 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารต่อวัน มีค่า performance ratio ที่ร้อยละ 76 ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 800.52 kWh/วัน หรือ 368,566 kWh/ปี มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมูลค่า 9.13 ล้านบาท ค่า IRR ที่ร้อยละ 14.00 ระยะเวลาก่อนทุนที่ 6.4 ปีซึ่งน้อยกว่ารูปแบบที่ 1 ที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนมูลค่า 12 ล้านบาท ค่า IRR ร้อยละ 13.71 ส่วนในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้งานในช่วงกลางคืนนั้นจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่สำรอง พบว่า มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงและค่า IRR น้อยมาก ส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนนานถึง 2-3 เท่าของระบบผลิตช่วงกลางวันจึง ไม่เหมาะสมในการลงทุนเนื่องจากการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนที่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่สำรอง เช่นเดียวกับสนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) ที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืน ดังแสดงผลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

อาคาร	สนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)		สนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)		สนามกีฬาจันทนียังยง (ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ)	
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
พื้นที่หลังคาที่ใช้ในการติดตั้ง (ตารางเมตร)	3,500	2,310	920	500	2,475	1,860
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 340 วัตต์ (แผง)	1,444	794	380	190	960	736
ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp)	490	270	130	65	326	250
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบ ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/ปี)	566,221	336,579	117,213	73,360	436,133	337,210
Performance ratio (%)	64%	68%	51.50%	63%	76%	76%
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสง อาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้งานใน ช่วงเวลากลางวัน (%)	65%	62%	20%	8%	55.4%	47%
ค่าใช้จ่ายในการลงทุนระบบ On-grid system และค่าซ่อม บำรุงระบบ (ล้านบาท)	18.10	9.95	4.76	2.4	12	9.13
IRR ระบบ On-grid system (%)	11.39%	13.00%	8.11%	11.17%	13.71%	14%
ระยะเวลาคืนทุน ระบบ On-grid system และค่าซ่อมบำรุงระบบ (ปี)	7.6	7	9.6	7.7	6.5	6.4
ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสง อาทิตย์ที่ครอบคลุมการใช้งานใน ช่วงเวลากลางวันและกลางคืน (%)	100%	100%	100%	100%	61%	48.8%
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน ระบบ On-grid system with battery 25 ปี (ล้านบาท)	29.86	22.76	8.54	6.71	16.74	16
IRR ระบบ On-grid system with battery (%)	4.37%	2.56%	1.87%	0.00%	8.84%	6.24%
ระยะเวลาคืนทุน ระบบ On-grid system with battery (ปี)	12.5	16	17	21.7	9.1	11.3

เมื่อเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มร่วมกับงานวิจัยของ Energy Research Institute, Chulalongkorn University (2017) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยกำหนดใช้ตัวแปร เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ขนาด 340 วัตต์ต่อแผง ใช้เงินลงทุนในการติดตั้งระบบเท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ เช่นเดียวกับงานวิจัยพบว่า ผลการเปรียบเทียบค่า performance ratio ของงานวิจัยมีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Energy Research Institute, Chulalongkorn University (2017) โดยอาคารสนามกีฬาในร่ม 1 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) ในรูปแบบที่ 1 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5.6 ในรูปแบบที่ 2 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.6 และอาคารสนามกีฬาในร่ม 2 (ไม่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) ในรูปแบบที่ 1 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 3.8 ในรูปแบบที่ 2 มีค่ามากกว่าร้อยละ 7.7 ส่วนอาคารสนามกีฬาจันทนียังยง(ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ) ในรูปแบบที่ 1 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2.6 ในรูปแบบที่ 2 มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2.6 ซึ่งความแตกต่างมาจากการวางแผนเซลล์แสงอาทิตย์และจำนวนแผงที่แตกต่างกัน ส่วนค่า IRR ในงานวิจัย Energy Research Institute, Chulalongkorn University (2017) นั้นมีค่าน้อยกว่าอาคารสนามกีฬาในร่มในรูปแบบที่ 2 ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งน้อยกว่าเพื่อใช้งานแบบพอเพียงในอาคาร ซึ่งพบว่ามีค่า IRR สูงกว่า ค่าใช้จ่ายในการลงทุนน้อยกว่า ดังนั้น การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอเพียงต่อการใช้งานจึงเหมาะสมในการลงทุนมากกว่า

ตารางที่ 4 ข้อมูลผลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Energy Research Institute, Chulalongkorn University, 2017)

อาคาร	สนามกีฬา ในร่ม 1	สนามกีฬา ในร่ม 2	สนามกีฬา จันทนียังยง
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340 วัตต์	1,260	380	896
ขนาดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWp)	428	129.2	304.64
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ (kWh/ปี)	529,750	126,920	428,840
Performance ratio (%)	69.60%	55.30%	78.60%
IRR ระบบ On-grid system (%)	11.26%	8.17%	13.25%
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ล้านบาท)	15.64	4.72	11.12
ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	7.6	9.5	6.6

จากผลการวิจัย พบว่า อาคารสนามกีฬาในร่มที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวันและไม่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศภายในสนามมีความเหมาะสมกับการลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่มมากที่สุด เนื่องจาก การใช้งานระบบแบตเตอรี่ในช่วงกลางวัน มีการใช้เงินลงทุนสูงกว่าระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน 2-3 เท่า อีกทั้ง การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบพอฟเพียงต่อการใช้งานในอาคารสามารถลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนได้อีกด้วย

นอกจากนี้ ข้อพิจารณาเพิ่มเติมในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคาร ควรทำการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารรายชั่วโมงต่อวัน เพื่อนำมาร่วมในการวิเคราะห์ถึงช่วงเวลาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารนั้นๆ เพื่อที่จะได้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมเพียงพอต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร และควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณหลังคาที่ปราศจากเงาปกคลุม ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังทิศใต้ จะช่วยให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงขึ้นและส่งผลให้ค่า performance ratio และค่า IRR ปรับสูงขึ้นด้วยตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปสำหรับการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคารประเภทสนามกีฬาในร่ม ควรเพิ่มการพิจารณาตัวแปรหรือปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรุ่นอื่นๆ การประเมินผลประโยชน์ทางสิ่งแวดล้อม สถานที่ตั้งของอาคาร สภาพแวดล้อมของเมือง ขนาดอาคาร ควรจะมีการเก็บข้อมูลอาคารเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอาคารสนามกีฬาในร่มเพียง 3 อาคารเท่านั้นเพื่อพัฒนาเป็นแนวทางในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่มีศักยภาพมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- Billir, L. & Yildirim, N. (2017). Photovoltaic system assessment for a school building. **International Journal of Hydrogen Energy**, 42 (28), 17856-17868.
- Chaiyakul, Y. (2018). Karn prubprung rabob saengsawang sun ahan lae borikan 1 Mahawitthayalai Khon Kaen. (In Thai) [Lighting improvement for food and service complex I, Khon Kaen University]. **Built Environment Inquiry Journal**, 17 (1), 163-182.
- DD Best Co., Ltd. (2019). **Battery price for solar rooftop**. Retrieved October 22, 2019, from <http://www.solarproduct.solar>
- Energy Research Institute, Chulalongkorn University. (2017). **Rai ngan chabap sombun khong karn pramoen sakkayaphap karn phalit faifa chak phalangngan saeng athit baep tittang bon langkha nai Chulalongkon Mahawitthayalai**. (In Thai) [Final report potential assessment of solar rooftop systems: case study of Chulalongkorn University]. Bangkok: Author.
- Minister of Energy. (2016). **Phaen phatthana phalangngan thotthaen lae phalangngan thang lueak pho so 2558-2579 (AEDP2015)**. (In Thai) [Alternative energy development plan 2015-2036]. Retrieved September 8, 2019, from <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp>
- Mukisa, N., Zamora, R. & Lie, T. (2019). Feasibility assessment of grid-tied rooftop solar photovoltaic systems for industrial sector application in Uganda. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 32, 83-91.
- National Renewable Energy Laboratory. (2018). **System Advisor Model Version 2018.11.11 (SAM)**. Retrieved September 7, 2019, from <https://sam.nrel.gov/>
- Nyangan, J. (2019). **Feasibility study of city scale solar power plants using public buildings: case studies of Newark and Wilmington Delaware with early investigations of Bifacial solar modules and dual orientation racking as tools for city-scale solar development**. Newark : University of Delaware.
- Office of Physical Resources Management, Chulalongkorn University. (2018). **Electricity bill Chulalongkorn University**. Retrieved October 8, 2019, from <http://www.electrical-prm.com/EReport111.htm>
- Piriyasatta, P. (2016). Karn chai sel saeng athit bon langkha arkhan khana Sathapattayakamsat Mahawitthayalai Khon Kaen phuea karn prayat phalangngan. (In Thai) [Using photovoltaic system on the Faculty of Architecture's building rooftop in Khon Kaen University for energy conservation]. **Academic Journal: Faculty of Architecture, Khon Kaen University**, 15 (1), 183-200.

- Suwanasang, N. (2014). **Karn pramoen sakkayaphap choeng theknik lae setthasat khong rabop phalit faifa phalangngan saeng athit bon langkha arkhan nai Chulalongkon Mahawiththayalai.** (In Thai) [An assessment of the technical and economic potential of rooftop solar systems on Chulalongkorn University's buildings] (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn University.
- Tantisattayakul, T., Rassameethammachote, P. & Auisakul, M. (2017). Karn pramoen phonprayot thang phalangngan singwaetlom lae setthasat samrap rabop phalit faifa phalangngan saeng athit bon langkha arkhan phainai Mahawiththayalai Thammasat Sun Rang Sit. (In Thai) [Energy, environmental and economic assessment of solar rooftop systems on buildings of Thammasat University, Rangsit Centre]. **Thai Science and Technology Journal**, 25 (6), 1083-1099.
- The Association of Siamese Architects under the Royal Patronage. (2015). **Karn okbaep rabop phalit faifa phalangngan saeng athit samrab arkhan nai prathet Thai.** (In Thai) [Photovoltaic system design guidelines for buildings in Thailand]. Bangkok: Plus Press.
- Yimprayoon, C. (2016). Botkhwan parithat: arkhan chai phalangngan pen sun. (In Thai) [Review article: zero energy building]. **Journal of Architectural/Planning Research and Studies**, 13 (2), 1-30.