

ศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์:

กรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน

The Potential to Reduce Hotels Carbon Footprint by Using Solar Energy:

A Case Study of Small Hotels in Nan Province

พิสิฐพงศ์ ตันติมาสน์¹ วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์¹Pisitpong Tuntimas¹ Vorapat Inkarojrit¹

Received: 25/08/2023

Revised: 30/11/2023

Accepted: 07/12/2023

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีปัญหาสภาวะโลกร้อนเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดจากการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งหนึ่งในสาเหตุมาจากการท่องเที่ยว โดยเฉพาะการใช้พลังงานของโรงแรม ซึ่งเป็นธุรกิจที่มีการดำเนินกิจการตลอด 24 ชั่วโมง ในปัจจุบันมีการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโรงแรม แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำการชดเชยคาร์บอน หรือคาร์บอนออฟเซต (Carbon Offset) ในอาคารประเภทโรงแรมยังมีอยู่อย่างจำกัดมาก โดยเฉพาะในโรงแรมขนาดเล็กซึ่งเป็นโรงแรมทางเลือกหลักของนักท่องเที่ยวชาวไทย งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษารูปแบบในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงแรมขนาดเล็ก โดยใช้โรงแรมในจังหวัดน่านเป็นกรณีศึกษา ซึ่งพิจารณาในเรื่องของพื้นที่หลังคาอาคาร รูปทรงหลังคาอาคาร รูปร่างอาคาร มุมเอียงหลังคา มุมเอียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศทาง โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาแนวทางในการติดตั้งที่เหมาะสม

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า รูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้ง คือ รูปแบบการติดตั้งที่ครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี และปัจจัยหลักสำคัญที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีที่สุด คือ การวางแนวอาคารและการหันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นทิศที่ดีที่สุด กำหนดมุมเอียงที่ 18 องศา โดยรูปแบบที่นำลงทุนที่สุด มีผลตอบแทนทางการเงินหรือ IRR (Internal rate of return) อยู่ที่ 11.00 % มีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ 554,326 บาท และใช้ระยะเวลาคืนทุน 8.60 ปี โดยคาดการณ์ว่าจะสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ 27,500.81 kg.CO₂eq/ปี

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ก๊าซเรือนกระจก อุตสาหกรรมโรงแรม คาร์บอนออฟเซต พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

Nowadays, global warming is a major problem caused by inefficient use of resources. One of the reasons is from tourism, especially from the energy consumption of the hotel which operates 24 hours a day. While solar energy systems are installed to reduce the carbon footprint of hotels, research on carbon

¹ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University

ผู้พิมพ์ประสานงาน อีเมล: pisitpong.tae@gmail.com

offset hotel buildings is still very limited. Especially in small hotels which are the main choice of hotels for Thai tourists. This study is a simulation research, which aims to study the installation patterns of solar power systems for small hotels. A hotel in Nan province was used as a case study. In this study the building roof area, the building roof shape, the roof and solar panel tilt angle and building shape and solar panel orientation were altered to estimate electricity used through the Design builder simulation program Design Builder v7.0.1.006 and the economics analysis were performed to find a suitable installation solution.

The results show that the optimal form of installation per roof area is the installation form that covers the building's 1 year electricity consumption and the main factors that affect the potential to reduce carbon footprints is orientation of the building and facing the solar panel to the south and the southwest is the best direction. determine the solar panel tilt angle at 18 degrees. By the most attractive form for investment is an Internal Rate of Return at 11.00 % with a net present value of 554,326 baht and a payback period of 8.60 years, which can reduce the carbon footprint of 27,500.81 kg.CO₂eq in 1 year.

Keywords: Carbon Footprint of Organization, Greenhouse Gases, Hotel Industry, Carbon Offset, Solar Energy

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้พลังงานของโลกที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับปัญหาด้านอุปทานการหมดไปของแหล่งพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดความเสียหายในด้านเศรษฐกิจ สังคม ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมของประเทศไทยที่ได้รับความนิยมจากประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก โดยมีนักท่องเที่ยวเดินทางเข้า-ออกประเทศในปี พ.ศ. 2562 จำนวนกว่า 39.9 ล้านคน (กรมการท่องเที่ยว, 2562) ทำให้เศรษฐกิจของประเทศเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วพร้อมกับจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น โดยอุตสาหกรรมโรงแรมเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญในภาคอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวที่มีการขยายตัวตลอดเวลา เนื่องจากการใช้ทรัพยากรพลังงานเป็นจำนวนมากและมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูง (Gössling et al., 2014) เพื่อใช้ในการให้บริการ ไม่ว่าจะเป็นการซักล้าง การผลิตน้ำร้อน และการประกอบอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ ที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงถึง 60.09% เมื่อเทียบจากการใช้งานทั้งหมด (Pongchavalit, 2014) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โรงแรมเป็นหนึ่งในภาคส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Vatan & Yilmaz, 2020)

จากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรมอันเป็นเหตุก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง ในปัจจุบันได้มีแนวทางในการวัดผลกระทบจากกิจกรรมที่มีต่อสิ่งแวดล้อมในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สร้างขึ้นมาจากกิจกรรมนั้น ๆ ขององค์กรหรือการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization, CFO) ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการช่วยลดต้นทุนการผลิตจากการใช้ทรัพยากรที่น้อยลง เพื่อจัดทำแนวทางในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ การหันมาพึ่งพาการใช้พลังงานสะอาดเพิ่มมากขึ้น โดยรัฐได้มีนโยบายที่ชัดเจนในการส่งเสริม ไม่ว่าจะเป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 10 ปี จากทางกระทรวงพลังงานที่ต้องการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานสะอาดที่สามารถผลิตได้จากภายในประเทศ โดยพลังงานสะอาดที่รัฐมีการส่งเสริมทั้งในภาคเอกชนและครัวเรือน คือ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีนโยบาย Solar ภาคประชาชน ปี 2565 ที่จะทำการรับซื้อไฟฟ้า 2.20 บาทต่อหน่วยตามนโยบายของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ อีกทั้งในปัจจุบันระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้วัฏกรรมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และยังเป็นเทคโนโลยีที่ทั่วโลกให้การสนใจ จึงส่งผลต่อโลก

การตลาดส่งผลให้ต้นทุนในการติดตั้งลดลงเกือบ 60% ในรอบ 10 ปี (Klamkruea, 2022) จึงทำให้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายมากยิ่งขึ้นกว่าในอดีต แต่การนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์หรือการชดเชยคาร์บอนในอาคารประเภทโรงแรมยังมีอยู่อย่างจำกัดมาก

ซึ่งในภาคส่วนอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของประเทศไทย รัฐบาลได้มีการผลักดันให้เกิดนโยบายการส่งเสริมการท่องเที่ยวเมืองรอง โดยจังหวัดน่านเป็นอีกจังหวัดหนึ่งในประเทศไทย ด้านการท่องเที่ยวของจังหวัดน่านมีอัตลักษณ์ ทั้งสถานที่ทางประวัติศาสตร์โบราณคดี สถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติ อีกทั้งปัจจุบันได้มีโครงการที่ยาวนานใส่ใจไร้คาร์บอนจากทางสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวคาร์บอนต่ำสำหรับการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในจังหวัดน่าน เพื่อตอบโจทย์ยุทธศาสตร์ประเทศ โดยได้มีการส่งเสริมในการเลือกพักที่โรงแรมสีเขียว (Green Hotel) และเพื่อปลูกฝังให้นักท่องเที่ยวมีความตระหนักและคำนึงถึงการรักษาสีเขียวแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นจากปัญหาสภาวะโลกร้อนอันเป็นสาเหตุเนื่องมาจากการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพเป็นจำนวนมากจากอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว โดยเฉพาะภาคส่วนโรงแรม เนื่องจากธุรกิจดังกล่าวเป็นธุรกิจที่มีการดำเนินกิจการตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งต้องใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับการดำเนินธุรกิจ แต่สำหรับในประเทศไทยพบว่าการศึกษาวิจัยด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคธุรกิจโรงแรมยังมีการค้นคว้าอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะในโรงแรมขนาดเล็ก รวมไปถึงงานวิจัยที่มีการนำพลังงานสะอาดระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาช่วยในการทำการชดเชยคาร์บอน ในอาคารประเภทโรงแรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อโรงแรมขนาดเล็ก โดยใช้โรงแรมในจังหวัดน่านเป็นกรณีศึกษา โดยพิจารณาในเรื่องของพื้นที่หลังคาอาคาร รูปทรงหลังคาอาคาร รูปร่างอาคาร มุมเอียงหลังคา มุมเอียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ และทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศ เพื่อเสนอแนวทางในการติดตั้ง โดยคำนวณพลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาแนวทางในการติดตั้งที่เหมาะสม เพื่อเป็นการสร้างจิตสำนึกที่ดีให้แก่บุคลากรภายในโรงแรมร่วมมือช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง อันจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไปได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปร่างอาคารและรูปทรงหลังคาของโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
- 2.2 เพื่อศึกษาแนวทางในการติดตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่คำนึงถึงรูปแบบในการติดตั้งและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์
- 2.3 เพื่อเสนอแนวทางในการติดตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากวัตถุประสงค์ข้างต้นจึงสามารถแบ่งเป็น 3 เรื่องหลัก ได้แก่ 1) คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม 2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 3) การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร

3.1 คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม

ประเด็นเรื่องสิ่งแวดล้อม โลกร้อน การใช้พลังงาน จากภาคส่วนการท่องเที่ยว ส่งผลกระทบใกล้ตัวเรามากขึ้นจนเกิดแรงผลักดันผ่านความร่วมมือของประเทศต่าง ๆ รวมถึงการสร้างมาตรฐานธุรกิจโรงแรมที่เป็นมิตรกับสังคมและสิ่งแวดล้อม (Somsawasdi, 2022) ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดว่าการท่องเที่ยวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความเอาใจใส่และความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น เป็นมากกว่าแค่เทรนด์แต่ในตอนนี้ได้กลายเป็นมาตรฐานของอุตสาหกรรมและธุรกิจ (Lerthasatip, 2022) ซึ่งปัจจุบันได้มีการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรเพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำแผนในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในองค์กรต่างๆ รวมไปถึงธุรกิจท่องเที่ยว และธุรกิจโรงแรม เพื่อให้เกิดความยั่งยืน

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นการวัดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในองค์กร ซึ่งปัจจุบันองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) อ้างอิงตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 14064-1 ได้จัดทำโครงการส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ 1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นโดยตรงจากกิจกรรมต่าง ๆ ภายในองค์กร เช่น การเดินทางด้วยยานพาหนะขององค์กร การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อม เป็นการซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า ความร้อน 3) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ เป็นก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำประปา การใช้วัสดุสำนักงาน การกำจัดขยะในส่วนของกองขยะและการฝังกลบ (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2016)

ในปัจจุบันได้มีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม ดังนี้ Pongchavalit, P. (2014) ได้ทำการหาแนวทางในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับโรงแรมขนาดกลางและเล็ก พบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 553 tCO₂eq/ปี และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดคือเครื่องปรับอากาศ 60.09% โดยผลลัพธ์จากงานวิจัยในต่างประเทศ พบว่าสัดส่วนกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทย โดย Rajarajan and Venkatasubramanian (2016) ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมที่มีระดับดาวแตกต่างกันในประเทศอินเดีย ผลพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่มากที่สุดในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยโรงแรม 5 ดาวมีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดถึง 322,704 kWh/ปี อีกทั้งยังพบว่างานวิจัยในต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็น Taylor et al. (2010); Salehi et al. (2021); Cheung and Fan (2013); Lai (2015) พบว่าการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด และได้มีการเสนอแนวทางเพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยในงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีการเสนอให้นำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ โดยเมื่อพูดถึงเทคโนโลยีที่นำเข้ามาใช้ในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโรงแรม งานวิจัยของ Dhirasasna (2021) ได้ทำการสำรวจโรงแรมในต่างประเทศพบว่า ประเภทเทคโนโลยีเพื่อการใช้งานที่มีศักยภาพในอาคารประเภทโรงแรม ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ ก๊าซชีวภาพ ไฟฟ้าพลังน้ำและที่เก็บแบตเตอรี่ โดยนักท่องเที่ยวยุคใหม่ชอบทั้งหันลมและระบบพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่า โดยพบว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีสัดส่วนในการใช้งานในอาคารประเภทโรงแรมกว่า ร้อยละ 32.58 จากเทคโนโลยีทั้งหมดที่กล่าวข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางข้อเสนอในงานวิจัยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม แต่การเสนอแนวทางในการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จากการวิจัยข้างต้นยังเป็นข้อเสนอเพียงเบื้องต้น ไม่ได้มีการลงรายละเอียดถึงขั้นตอนหรือเสนอรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสมที่สามารถนำไปปรับใช้ได้โดยตรงในโรงแรมขนาดเล็ก

3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในปัจจุบันประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งเป็น 2 ระบบ ตามลักษณะการใช้งาน ดังต่อไปนี้ 1) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system) เป็นระบบที่สามารถต่อเข้าระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้ ใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน 2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Off-grid system) เป็นระบบที่ไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกเก็บในแบตเตอรี่ และนำมาใช้งานเมื่อเราเปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยจะเหมาะสมกับอาคารที่มีการใช้พลังงานในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นการเลือกระบบและประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับประเภทอาคารและการใช้งานเป็นสิ่งสำคัญ แต่ในปัจจุบันยังไม่ได้มีการศึกษาประเภทระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับอาคารโรงแรมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นอาคารที่มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างจากโรงแรมขนาดอื่น ๆ ทั้งในเรื่องของสิ่งอำนวยความสะดวกและจำนวนห้องพัก

3.3 การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร

จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร จากแหล่งข้อมูลในงานวิจัยในประเทศไทย เช่น อาคารที่อยู่อาศัย (Sridaranon, 2018), อาคารโรงงานขนาดเล็ก (Pojsiri, 2016), โรงยิม (Chansela & Inkarojri, 2020), อาคารเรียน (Chuenwattanapranithi, 2022), อาคารโรงแรมขนาดกลาง (Duangchaiboon, 2018) และอาคารที่อยู่อาศัย (Chomdee, 2015) พบว่าเป็นการศึกษาในอาคารประเภทที่อยู่อาศัยเป็นส่วนมาก และอาคารประเภทอื่นๆ ที่ได้มีการศึกษา เช่น อาคารเรียน โรงยิม รวมไปถึงอาคารธุรกิจในขนาดต่าง ๆ แต่ในภาคส่วนของโรงแรมยังมีการค้นคว้าอยู่อย่างจำกัด ซึ่งในปัจจุบันในภาคโรงแรมมีการศึกษาเพียงเฉพาะระบบผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ แต่ยังไม่ได้มีการคำนึงถึงส่วนของระบบปรับอากาศและระบบสองสว่านที่เป็นสัดส่วนที่มีการใช้พลังงานสูงในอาคารประเภทโรงแรม อีกทั้งยังเป็นการศึกษาในกรณีศึกษาเพียงในโรงแรมขนาดกลางที่ตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ต แต่ในปัจจุบันยังขาดข้อมูลประเด็นการเสนอแนวทางการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโรงแรมทางเลือกหลักของนักท่องเที่ยวชาวไทยและต่างชาติเนื่องจากโรงแรมขนาดเล็กตอบโจทย์พฤติกรรมและไลฟ์สไตล์ที่หลากหลายมากขึ้น รวมไปถึงเพื่อหลีกเลี่ยงการไปแออัดกับผู้คน (Atchanapanya, 2020) โรงแรมขนาดเล็กจึงเป็นเทรนด์ใหม่หลังการระบาดของเชื้อไวรัส (COVID-19)

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์หรือระยะเวลาในการคืนทุนเป็นสิ่งอีกหนึ่งสิ่งสำคัญในการลงทุนติดตั้งระบบที่เราจำเป็นต้องพิจารณา คือ ระยะเวลาในการคืนทุน หากการลงทุนมีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็ว จะทำให้ได้กำไร ในปริมาณที่มากขึ้นตามอายุการใช้งานสูงสุดของระบบ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุนของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ คือ นำต้นทุนในการติดตั้งทั้งหมดไปหารกำไรที่ได้จากการขายไฟฟ้าคืนสู่การไฟฟ้าต่อปี ซึ่งมาจากการนำพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ยทั้งปี (หน่วย/ปี) นำไปคูณกับอัตราการรับซื้อไฟของภาครัฐจากระบบ (บาท/หน่วย) อีกทั้งการเลือกติดตั้งประเภทและขนาดของระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อรูปแบบอาคารก็จะสามารถทำให้คืนทุนได้เร็วยิ่งขึ้น เช่น งานวิจัยของ Chomdee (2015) ได้มีการศึกษานาฬิกาของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม และนำลงทุนของที่อยู่อาศัยในภาคเหนือ โดยพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าขนาด 3,000 วัตต์ จะไม่เหมาะสมในการลงทุนทุกจังหวัดแต่ระบบขนาด 5,000 วัตต์ ขึ้นไปจะมีแนวโน้มที่จะผ่านเกณฑ์ความเหมาะสมในการลงทุนติดตั้งซึ่งให้ผลตอบแทนสูงกว่า และงานวิจัยของ Pojsiri (2016) พบว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทใดที่เหมาะสมกับอาคารประเภทโรงงานขนาดเล็ก โดยสรุปได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่ง (On-grid system) มีความเป็นไปได้ที่จะลงทุนถ้าเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระ (Off-grid system) จึงจะเห็นได้ว่าความน่าลงทุนของโครงการนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของอาคารหรือลักษณะการใช้พลังงานของประเภทอาคารที่แตกต่างกัน แต่ในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารประเภทโรงแรมขนาดเล็กยังมีอยู่อย่างจำกัด

สรุปจากการทบทวนวรรณกรรมจากทั้ง 3 เรื่องหลัก เห็นได้ว่าปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม ยังมีการค้นคว้าอยู่อย่างจำกัด รวมไปถึงแนวทางที่เสนอจากงานวิจัยในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นเพียงการเสนอแนวทางเบื้องต้น อีกทั้งยังไม่ได้มีการลงรายละเอียดในการติดตั้งและการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารโรงแรมขนาดเล็กเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ได้โดยตรง รวมไปถึงประเภทระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับอาคารประเภทโรงแรมขนาดเล็ก โดยจากหัวข้อในเรื่องการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารพบว่า ปัจจุบันข้อมูลในด้านการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการชดเชยคาร์บอนในอาคารประเภทโรงแรมยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะโรงแรมขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโรงแรมทางเลือกหลักของนักท่องเที่ยวชาวไทยและยังเป็นโรงแรมที่มีลักษณะการใช้พลังงานและสิ่งอำนวยความสะดวกที่แตกต่างจากโรงแรมขนาดอื่น ๆ

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นนั้นงานวิจัยนี้ จึงต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ รูปร่างอาคารและรูปทรงหลังคาที่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเสนอรูปแบบการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และทำการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาในการคืนทุนของแนวทางแต่ละรูปแบบ เพื่อที่จะสามารถเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ที่มีการโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน รวมไปถึงผู้

ที่ต้องการเปิดกิจการโรงแรมขนาดเล็กและสามารถวางแผนในการติดตั้งระบบแสงอาทิตย์ในอนาคต เพื่อเป็นการส่งเสริมและสร้างจิตสำนึกที่ดีให้แก่บุคลากรภายในโรงแรมให้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาภาวะโลกร้อนและร่วมมือช่วยกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง อันจะนำไปสู่การพัฒนาการท่องเที่ยวที่ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

4. วิธีการวิจัย เครื่องมือวิจัย และระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมโดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ กรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็ก ในจังหวัดน่าน เป็นการวิจัยเชิงจำลอง (Simulation Research) โดยงานวิจัยนี้ได้ กำหนดขั้นตอนการศึกษาไว้ 6 ขั้นตอน มีหัวข้อ ดังนี้

4.1 ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ทำการศึกษางานวิจัย วารสาร ที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรม ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคาร

4.2 ศึกษาการสำรวจพื้นที่และกำหนดอาคาร Base Case

4.2.1 การสำรวจพื้นที่

1) การสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโรงแรมในจังหวัดน่าน

โดยทำการสำรวจโรงแรมในจังหวัดน่านผ่านบราวเซอร์ Google Earth 76 โรงแรม โดยมีการสำรวจขนาดพื้นที่อาคาร (ตารางเมตร) รูปร่างอาคาร ความกว้าง ความยาวของอาคาร รูปทรงของหลังคาอาคาร ข้อมูลขนาด พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และทำการเลือกอาคารต้นแบบ (Base Case Building)

2) สำรวจลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรมในเมืองน่าน

โดยทำการสำรวจโรงแรมในจังหวัดน่านทั้งหมด 5 แห่ง โดยการเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและสอบถามพนักงานดูแล และผู้ประกอบการพบว่า เนื่องจากโรงแรมในเมืองน่านส่วนมากเป็นโรงแรมขนาดเล็ก โดยมีลักษณะเฉพาะ คือ ฟังก์ชันการใช้งานหลักของอาคาร คือ ห้องพักอย่างเดียว มีเพียงบางโรงแรมที่มีห้องอาหารประกอบด้วย ตอนกลางวันจะไม่ค่อยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า แต่จะเน้นการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางคืนเป็นหลัก ซึ่งมาจากส่วนของแขกผู้เข้าพัก โดยมาจากการใช้ของระบบไฟฟ้าส่องสว่าง และเครื่องปรับอากาศเป็นหลัก โดยจากการเก็บข้อมูลโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน 5 แห่ง มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 41,620.60 kWh/ปี โดยมีค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าต่อพื้นที่ 50.75 kWh/ตร.ม./ปี

4.2.2 กำหนดอาคาร Base Case

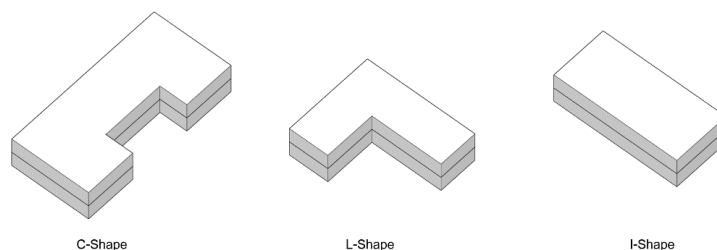
โดยข้อมูลจากการสำรวจโรงแรมในจังหวัดน่านทั้งหมด 76 โรงแรม ได้กำหนดเกณฑ์ในการเลือกอาคารกรณีศึกษาทั้งหมด 3 ข้อ ดังนี้

1) ขนาดโรงแรม

โรงแรมในจังหวัดน่านมีจำนวนห้องพักเฉลี่ยอยู่ที่ 22.20 ห้อง ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์โรงแรมขนาดเล็ก (มีห้องพักต่ำกว่า 50 ห้อง) และมีความสูงอาคารเฉลี่ยไม่เกิน 3 ชั้น

2) รูปร่างอาคาร

จากการสำรวจพื้นที่ในจังหวัดน่านพบว่า สัดส่วนรูปร่างอาคารโรงแรมในจังหวัดน่านแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ 1) I-Shape (64.00%) 2) L-Shape (30.67%) 3) C-Shape (5.33%) ดังรูปที่ 1 โดยรูปร่างที่มีสัดส่วนมากที่สุดคือ I-Shape และ L-Shape

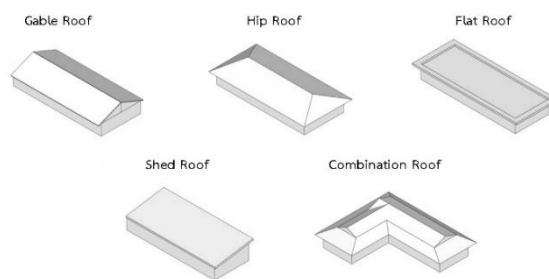


รูปที่ 1 รูปร่างอาคารโรงแรมในจังหวัดน่าน

Figure 1 Shapes of hotel buildings in Nan Province.

3) รูปทรงหลังคา

จากการเก็บข้อมูลสัดส่วนประเภทหลังคาของโรงแรมในจังหวัดน่านแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก ดังรูปที่ 2 ได้แก่ 1) หลังคาอาคารทรงจั่ว (Gable Roof) 40.79% 2) หลังคาอาคารทรงจั่วผสมปั้นหยา (Combination) 25.00% 3) หลังคาอาคารทรงเพิงหมาแหงน (Shed Roof) 18.42% 4) หลังคาอาคารทรงปั้นหยา 10.50% 5) หลังคาอาคารแบบเรียบ 5.29%



รูปที่ 2 ประเภทหลังคาของโรงแรมในจังหวัดน่าน

Figure 2 Roof types of hotels in Nan Province.

ดังนั้นจากการสำรวจลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโรงแรมในจังหวัด ได้แก่ ขนาดโรงแรม รูปร่างอาคาร และ รูปทรงหลังคาจึงสามารถกำหนดอาคาร Base Case ได้ 2 รูปแบบ คือ อาคารรูปร่าง I-Shape และอาคารรูปร่าง L-Shape โดยขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยของผังพื้นอาคารและขนาดห้องได้กำหนดจากการประมาณการณจากแบบสถาปัตยกรรมของโรงแรม A และ B ในจังหวัดน่าน ที่สอดคล้องกับอาคารรูปร่าง I-Shape และ L-Shape จึงกำหนดเป็นรูปแบบอาคารต้นแบบ ดังนี้

- อาคารโรงแรม Base Case รูปร่าง I-shape

อาคาร 2 ชั้น โดยโรงแรม I-Shape ในจังหวัดน่านมีจำนวนห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 28 ห้อง และมีพื้นที่อาคาร 928 ตารางเมตร และมีพื้นที่หลังคา 561.83 ตารางเมตร มุมเอียงหลังคาที่ 20 องศา และมีขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 32 X 14.50 ม. ดังแสดงในรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 49.50 kWh/ตร.ม./ปี

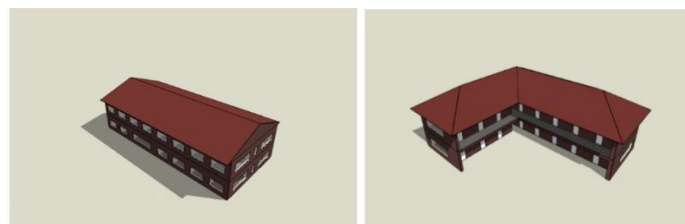
- อาคารโรงแรม Base Case รูปร่าง L-shape

อาคาร 2 ชั้น อาคาร โดยโรงแรม L-Shape ในจังหวัดน่านมีจำนวนห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 17 ห้อง โดยมีพื้นที่อาคาร 820 ตารางเมตร และมีพื้นที่หลังคา 598.45 ตารางเมตร และมีขนาดความกว้างและยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 10 X 23 x 28 x 10 x 18 x 13 ม. มุมเอียงหลังคาที่ 20 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 49.85 kWh/ตร.ม./ปี



รูปที่ 3 ผังอาคารโรงแรม Base Case

Figure 3 Base Case Hotel Building Plan.



รูปที่ 4 โมเดลจำลองอาคารโรงแรม Base Case

Figure 4 Base Case Hotel Building Model.

4.3 ออกแบบการทดลอง

4.3.1 กำหนดตัวแปร

การประเมินสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์ โดยทำการเลือกประเภทระบบเป็นชนิด Off-grid system ทำการระบุพิกัดสถานที่ติดตั้ง ณ จังหวัดน่าน ซึ่งอยู่ที่ละติจูด 18.78 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.77 องศาตะวันออก เลือกฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิบรรยากาศจากฐานข้อมูลของที่สอดคล้องกับสถานที่ติดตั้ง โดยกำหนดใช้ไฟล์สภาพอากาศของจังหวัดน่านจาก Design Builder v7.0.1.006 ไฟล์ CHN_YUNNAN_MENGLA_CSWD จากนั้นทำการกำหนดตัวแปร ได้แก่

1) ตัวแปรต้น

- พื้นที่หลังคาอาคาร (ตารางเมตร)
- รูปทรงหลังคาอาคาร รูปร่างอาคาร (I-Shape และ L-shape)
- มุมเอียงหลังคา (18 องศา 20 องศา 25 องศา และ 30 องศา)
- มุมเอียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (18 องศา 20 องศา 25 องศา และ 30 องศา)
- ทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 8 ทิศ

2) ตัวแปรตาม

- ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh)
- ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลง (kg.CO₂eq)
- ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)
- ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ, อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน)

4.3.2 เครื่องมือในการจำลอง

โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือเป็นโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ตัวโปรแกรมมีการผสมผสานการสร้างแบบจำลองอาคารสามมิติที่รวดเร็วเข้ากับการจำลองพลังงานแบบไดนามิก และมีการจำลองประสิทธิภาพการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้กับตัวอาคาร อีกทั้งด้วยความสะดวกในการใช้งานที่เป็นเอกลักษณ์ และสามารถจำลองเงาที่เกิดขึ้นจากพื้นที่รอบข้าง เพื่อที่จะสามารถทราบถึงพื้นที่ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พร้อมทั้งยังสามารถจำลองประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ในโปรแกรมเดียว โดยไม่ต้องแยกการจำลองเงาและการจำลองการใช้พลังงาน โดยกำหนดขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือไว้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) สร้างโมเดลจำลองจากข้อมูลข้างต้น

ทำการสร้างโมเดลจำลองโดยทำการใส่ Parameters ได้แก่

- ข้อมูลลักษณะทางสถาปัตยกรรม ได้แก่ ค่า U-value ของ External Wall, Internal Wall, Window Wall Ratio, Window Glass Type, ค่า U-value of glass type (Elghamry et al., 2020)
- ข้อมูลความเข้มของการใช้พลังงาน (Lighting Energy Intensity) จากบิลค่าไฟของโรงแรม จำนวนและค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารโรงแรม

2) ทำการจำลองประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร DesignBuilder v7.0.1.006

3) การประเมินผลการปฏิบัติงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงจากบิลค่าไฟที่ได้ไปเก็บข้อมูลมาจากอาคารกรณีศึกษา และปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006

โดยจากการทบทวนวรรณกรรม การตรวจสอบเครื่องมือจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ได้มีการใช้เครื่องมือ DesignBuilder v7.0.1.006 ในการการจำลองประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างระบบจริงกับการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากผลแสดงให้เห็นว่า ข้อผิดพลาดสูงสุดระหว่างสองผลลัพธ์สำหรับข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมด คือ ประमाणอยู่ที่ระหว่าง 3.7% ถึง 13% (Elghamry et al., 2020) โดยอีกหนึ่งปัจจัยในความแตกต่างระหว่างผลการจำลองของโปรแกรมและการใช้งานอาคารจริงคือ การกำหนดตัวแปรและตั้งค่าของพารามิเตอร์ (Fathalian & Kargarsharif, 2019) งานวิจัยนี้ได้มีตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำลองเทียบกับการใช้งานอาคารจริง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 7.78 %

4.4 จำลองศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.4.1 จำลองสภาพร่มเงาบนหลังคาของอาคารกรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็ก โดยทำการจำลอง Sun path Diagram เพื่อแสดงผลร่มเงาเฉลี่ยรายปี ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 เพื่อให้ทราบพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อม จึงทำการสรุปพื้นที่และจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาอาคารกรณีศึกษาโรงแรมขนาดเล็ก โดยกำหนดติดตั้งแผงบริเวณพื้นที่หลังคาที่ไม่ได้รับร่มเงาจากสภาพแวดล้อมข้างเคียงในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 น. (Solargis, 2013) ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เหมาะสม และได้กำหนดเกณฑ์ตามขนาดพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละอาคาร 3 รูปแบบ

- 1) รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด
- 2) รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด
- 3) รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี

ด้วยวิธีการทดลองวางเซลล์แสงอาทิตย์และคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จากโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ให้ครอบคลุมการใช้พลังงาน ตามความต้องการการใช้พลังงานของแต่ละโรงแรม จากนั้นนำทั้ง 3 กรณีมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์และระยะเวลาคืนทุน เพื่อเลือกติดตั้งกรณีที่มีศักยภาพดีที่สุด

4.4.2 คำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 โดยทำการคำนวณการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระยะเวลา 1 ปี โดยมีข้อกำหนด ดังนี้

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

4.4.4 สรุปผลการคำนวณพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ นำผลการผลิตพลังงานไฟฟ้ามาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมไปถึงปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงในระยะเวลา 1 ปี

4.5 วิเคราะห์ข้อมูล

4.5.1 เปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในระยะเวลา 1 ปี หักลบกับปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จากปีฐาน (2564) ซึ่งจะถูกรวบรวมออกเป็นหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kWh) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

4.5.2 เปรียบเทียบศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

คำนวณปริมาณการปล่อยและดูดกลับก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าภายในขอบเขตขององค์กรอย่างครบถ้วนเท่าที่จะทำได้และบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรตามสมการที่ 1 ดังนี้

$$CFO = GHG \text{ emission} = \text{Activity Data} \times EF \quad (1)$$

โดยที่ CFO = คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร

Activity data = ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก

EF = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

โดยที่ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการพลังงานไฟฟ้า (kWh) คือ 0.5986 (kg.CO₂eq/Unit) อ้างอิงจาก Thai National LCI Database, TIIS-MTEC-NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)

โดยจะเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ลดลงในระยะเวลา 1 ปี หักลบกับปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดที่เกิดจากการใช้ไฟฟ้าจากปีฐาน (2564) ซึ่งจะถูกรวบรวมออกมาเป็นหน่วยตัน หรือกิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg.CO₂eq) โดยคิดเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (%)

4.5.3 เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแบบจำลองอาคารต้นแบบ (Base Case Building) โดยคำนวณได้จาก สมการที่ 2 โดยกำหนดให้เงินที่ใช้ในการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 36.50 บาทต่อวัตต์ ทั้งนี้ กำหนดให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี มอก. จากค่าเฉลี่ยมีอัตราเสื่อมสภาพไม่เกิน 1% ต่อปี และมีค่าบำรุงรักษา 1% ของเงินลงทุน โดยอ้างอิงจาก สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2560)

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

กรณีอาคารมีการขายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม โดยมีราคาซื้อไฟฟ้าต่อหน่วย (kWh) ในอัตราซื้อไฟฟ้า 2.20 บาท/หน่วย โดยมีระยะเวลาซื้อไฟฟ้า 10 ปี ตามนโยบายของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (กพช.) - กรณีอาคารมีการใช้งานแบตเตอรี่ กำหนดใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO₄) ขนาด 10 kWh ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 221,000 บาทต่อลูก โดยอ้างอิงจาก บริษัท โซลาร์ (ไทยแลนด์) จำกัด (2566)

1) การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

โดยทั่วไปการวิเคราะห์โครงการจะใช้วิธีการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ โดยการหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับหรือผลตอบแทน (มูลค่าปัจจุบันของผลได้) กับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายหรือต้นทุน (มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ 3 ดังนี้

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+K)^1} + \dots + \frac{CF_n}{(1+K)^n} \quad (3)$$

กำหนดให้

CF_n = กระแสเงินสด ณ ปีที่ n

n = ระยะเวลาสิ้นสุดโครงการ

k = ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

โดยที่เกณฑ์การยอมรับสำหรับวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV Acceptance criterion) กิจการจะยอมรับโครงการลงทุนเมื่อ NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0

2) ผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของกระแสเงินสดของโครงการเท่ากับศูนย์ ดังนั้นอัตราคิดลดซึ่งทำให้ NPV เท่ากับศูนย์คือจุดตัดกับแกนนอน (Horizontal axis) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4 ดังนี้

$$NPV = 0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+K)^1} + \dots + \frac{CF_n}{(1+K)^n} \quad (4)$$

กล่าวโดยสรุป

$IRR > r$ คำนวณค่าแก่การลงทุนและยอมรับข้อเสนอโครงการ

$IRR < r$ ไม่คำนวณค่าแก่การลงทุนและไม่ยอมรับข้อเสนอโครงการ

$IRR = r$ เสมอตัว

3) ระยะเวลาการคืนทุน (Payback period: PB) ระยะเวลาการดำเนินงานที่มีผลทำให้ผลตอบแทนสุทธิจากโครงการสามารถชดเชยเงินลงทุนตอนเริ่มต้นโครงการวิธีการหาระยะเวลาคืนทุน หรือหาจำนวนปีที่จะทำให้ได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินที่ลงทุนนี้ โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 5 ดังนี้

คำนวณรายรับต่อปี = ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี(kWh) X 4.21 (บาท)

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน/ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (5)

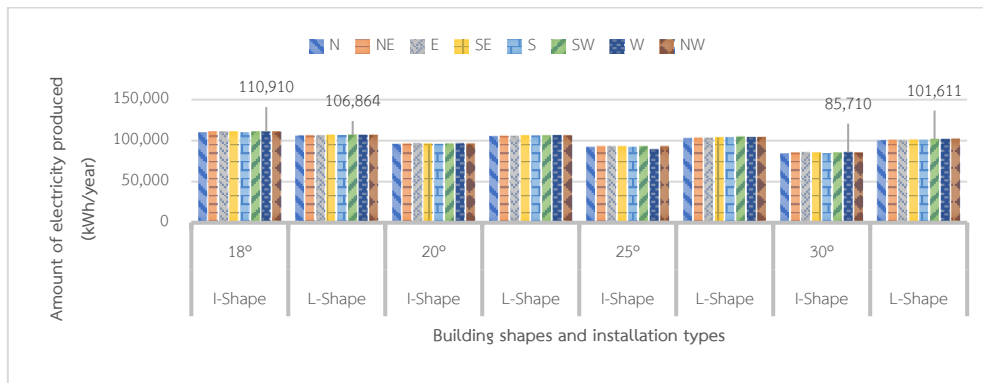
4.6 สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

ทำการสรุปผลการวิจัย โดยการเปรียบเทียบศักยภาพผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์แต่ละรูปแบบ การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารรายปี และระยะคืนทุนของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบจากเกณฑ์หรืองานวิจัยก่อนหน้านี้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอาคารที่ได้ใบรับรอง LEED จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานน้อยกว่า 25% ถึง 30% เมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป (Amiri et al., 2019) ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ต้องการลดความเข้มข้นในการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ลง 25% ในปี พ.ศ. 2573 โดยเปรียบเทียบการลดการใช้พลังงานในกลุ่มโรงแรมจากการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม กรณีศึกษาโรงแรมริชมอนด์สโติลิส คอนเวนชัน ได้กล่าวว่า ถ้ากลุ่มธุรกิจโรงแรม สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างน้อย 10% จะส่งผลทำให้ทิศทางการใช้พลังงานของประเทศนั้นสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน โดยหลังจากเปรียบเทียบและทราบถึงจุดดี จุดด้อย และเพื่อเสนอรูปแบบที่เหมาะสมในการลงทุน และเสนอรูปแบบในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอาคารโรงแรมขนาดเล็กในเมืองน่าน รวมไปถึงรูปร่างอาคารและรูปทรงหลังคา ของโรงแรมในเมืองน่านที่เหมาะสมต่อการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของอาคารโรงแรม Base Case ดังนี้

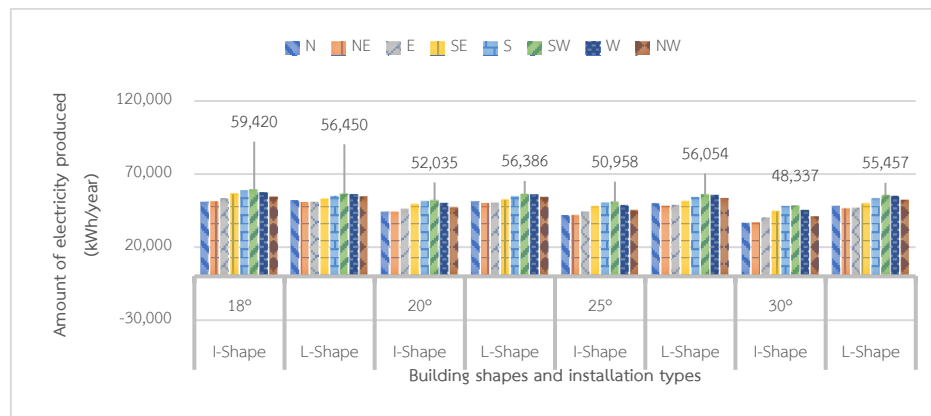
5.1.1 รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง I-Shape ที่วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตก (W) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา สามารถผลิตพลังงานได้ดีที่สุด โดยสามารถผลิตได้ 110,910.08 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี โดยมีไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานถึง 64,968.19 kWh โดยสามารถขายไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี ตามนโยบายคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ซึ่งคิดเป็นเงิน 142,931.97 บาท/ปี และสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 66,390.77 kg.CO₂eq/ปี



รูปที่ 5 แผนภูมิเปรียบเทียบศักยภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด

Figure 5 Chart comparing the potential of installing solar panels on a total shade-free roof area.

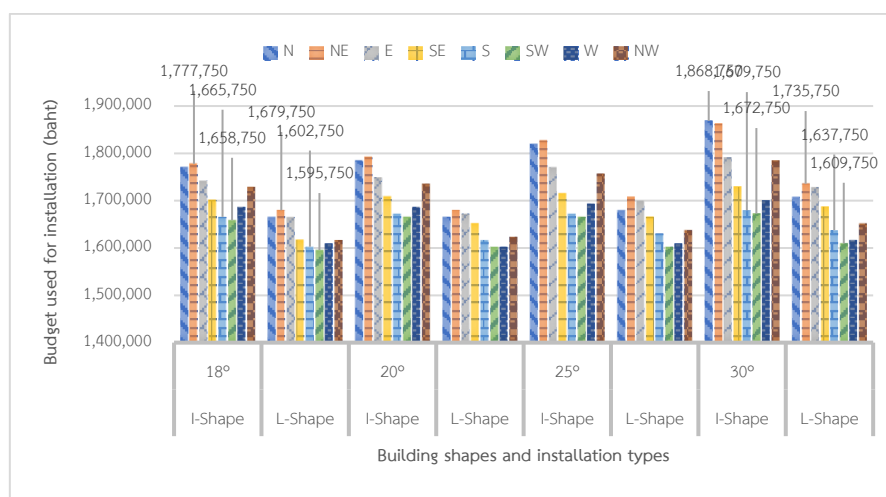
5.1.2 รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 2 ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาทั้งหมด จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง I-Shape ที่วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา สามารถผลิตพลังงานได้ 59,420.42 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าความต้องการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี โดยมีไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานถึง 18,537.61 kWh โดยสามารถขายไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี ตามนโยบายของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ซึ่งคิดเป็นเงิน 40,782.742 บาท/ปี และสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 35,569.06 kg.CO₂eq



รูปที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบศักยภาพการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด

Figure 6 Chart comparing the potential of installing solar panels on half the size of a completely shaded roof area.

5.1.3 รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 3 ที่กำหนดให้มีการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรม DesignBuilder v7.0.1.006 พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารรูปร่าง L-Shape ที่วางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ (SW) ที่มีมุมเอียงหลังคา 18 องศา ใช้งบประมาณในการลงทุนน้อยที่สุด และสามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอต่อการใช้งานใน 1 ปี โดยใช้งบประมาณในการลงทุน 1,595,750 บาท ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยอาคารรูปร่าง L-Shape และ I-Shape สามารถผลิตพลังงานได้ 40,882.81 และ 45,941.88 kWh/ปี และสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ 24,472.45 และ 27,500.81 kg.CO₂eq/ปี ตามลำดับ

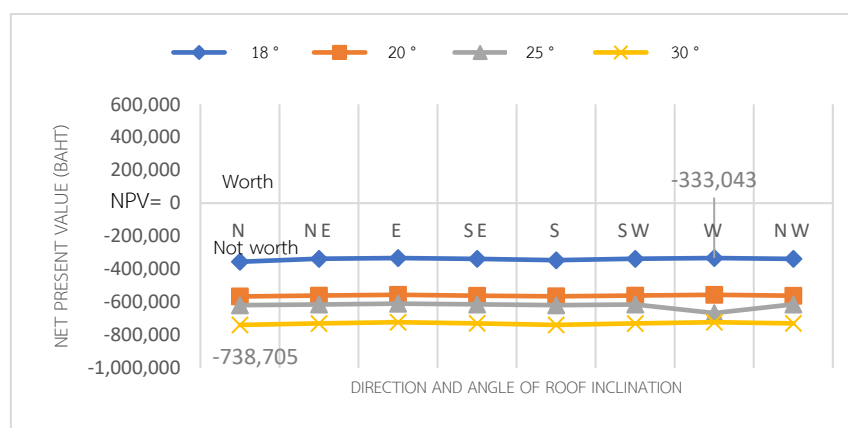


รูปที่ 7 แผนภูมิเปรียบเทียบงบประมาณในการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี

Figure 7 Chart Comparing the installation budget to cover the building's electrical energy use in 1 year.

5.2 ผลประเมินความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์

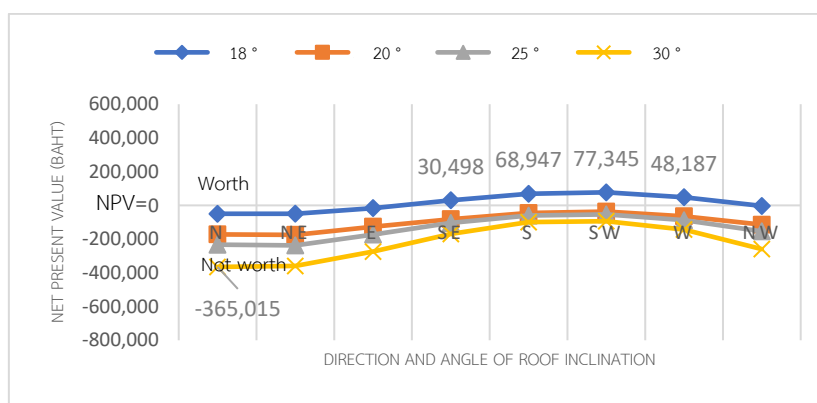
5.2.1 ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิ รูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 หรือติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่าค่า NPV ในรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 1 มีค่า NPV ที่ต่ำกว่า 0 ในทุก ๆ กรณี โดยกิจการจะยอมรับโครงการลงทุนก็ต่อเมื่อค่า NPV มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และจะปฏิเสธโครงการเมื่อมีค่าน้อยกว่า 0 จึงทำให้ทุกรูปแบบในการติดตั้งในรูปแบบที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน โดยรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุด คือ การวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -738,705 บาท ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด

Figure 8 Chart comparing NPV of solar panel installation schemes on total shaded roof area.

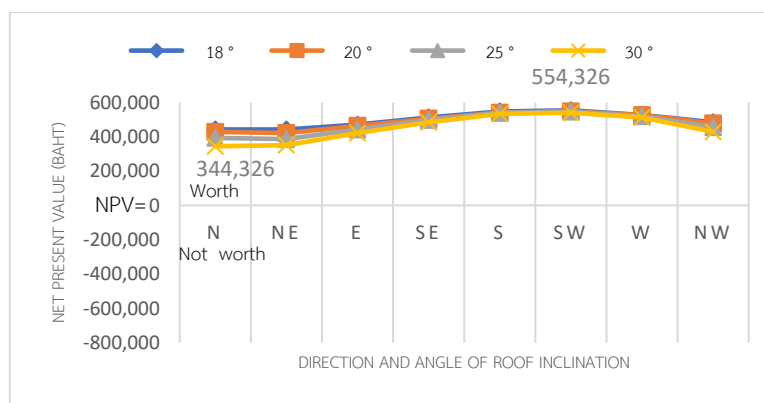
5.2.2 ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 2 หรือ ติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาสำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape ผลการประเมินพบว่ารูปแบบที่มีค่า NPV มากที่สุดคือ การวางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 77,345 บาท และรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดที่ คือ การวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 30 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ -365,015 บาท ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0 จึงจัดว่าโครงการดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน โดยในรูปแบบที่ 2 มีโครงการที่มีค่า NPV มากกว่า 0 ทั้งหมด 4 รูปแบบ จากทั้งหมด 32 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมด

Figure 9 Chart comparing the NPV of the installation model for half of the total shaded roof area.

5.2.3 ผลประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิของรูปแบบการติดตั้งแบบที่ 3 หรือติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี สำหรับอาคารรูปร่าง I-Shape พบว่า มีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่าและค่า IRR (Internal rate of return หรืออัตราผลตอบแทนจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์) และจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 มีค่า NPV ที่มากกว่า 0 โดยรูปแบบที่มีค่ามากที่สุดคือ การวางแนวอาคารขวางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มุมเอียงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 18 องศา โดยมีค่า NPV เท่ากับ 554,326 บาท และรูปแบบที่มีค่า NPV น้อยที่สุดที่ คือการวางแนวอาคารขวางทิศเหนือ โดยมีค่า NPV เท่ากับ 344,326 บาท โดยในรูปแบบที่ 3 หรือ ติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานใน 1 ปี มีโครงการที่มีค่า NPV มากกว่า 0 ในทุกกรณี จึงทำให้รูปแบบอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุนมากกว่ารูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบ NPV ของรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี

Figure 10 Chart comparing the NPV of the installation model covering the building's electrical energy use in 1 year.

โดยจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า ถึงแม้รูปแบบที่ 1 และ 2 จะสามารถขายค่าไฟจากไฟฟ้าส่วนเกินได้ แต่เงินที่ได้จากการขายไฟฟ้าไม่มากเพียงพอต่อความนำลงทุนของโครงการ ซึ่งสอดคล้องกับค่า NPV ที่มีค่าต่ำกว่า 0 ที่พบจากทั้งในรูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2 แต่รูปแบบที่ 3 พบว่าค่า NPV มีค่ามากกว่า 0 ในทุกกรณีซึ่งแสดงว่าอยู่ในเกณฑ์นำลงทุน โดย ตารางที่ 1 แสดงรูปแบบที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับอาคารรูปร่าง L-shape และ I-shape

ตารางที่ 1 ข้อมูลเปรียบเทียบผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดจากในแต่ละรูปแบบ

Table 1 Comparative information on the best solar power production potential from each form.

Building	Base Case Hotel Building I-shape building			Base Case Hotel Building L-shape building		
	Full roof area	Form half of the roof area	Covers electrical usage	Full roof area	Form half of the roof area	Covers electrical usage
Roof area used for installation (sq.m.)	510	255	226	574	287	180
Solar panel tilt angle	18°	18°	18°	18°	18°	18°
Direction for installing solar panels	West	Southwest	Southwest	Southwest	Southwest	Southwest
Number of solar panels, size 340 watts (Panel)	256	128	98	247	124	89
Solar cell system size (kWp)	80	40	40	80	40	30
Electrical energy produced from a solar power generation system (kWh/year)	110,910	59,420	45,941	106,864	56,450	40,882
Reduced carbon footprint (kg.CO ₂ eq/year)	57,749	31,148	27,500	63,753	33,753	24,472
System investment costs (baht)	3,550,000	2,344,000	1,658,750	3,514,000	2,328,000	1,595,750
IRR for Off-grid system (%)	6	7	11	5	6	10
NPV for Off-grid system (%)	-333,043	77,345	554,326	-560,460	-133,447	373,624
Payback Period (Year)	11.11	10.53	8.60	12.22	11.38	9.42

6. การอภิปรายผล สรุป และข้อเสนอแนะ

6.1 อภิปรายผล

จากผลพบว่าเมื่อเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case พบว่า ผลจากการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากรูปแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เต็มพื้นที่หลังคา สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดคือ 110,910.08 kWh/ปี และสามารถขายไฟฟ้าที่ผลิตเหลือเกินจากการใช้งานให้กับการไฟฟ้าได้ถึง 142,931.97 บาท/ปี แต่จากการคำนวณหาค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) ผลลัพธ์พบว่ามีค่า NPV ต่ำกว่า 0 ในทุก ๆ กรณี จึงทำให้การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนเนื้อที่หลังคาที่ปราศจากร่มเงาทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ไม่น่าลงทุน

โดยผลจากการประเมินรูปแบบที่มีความน่าลงทุนที่สุดคือ รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี อาคารรูปร่าง I-Shape โดยทิศตะวันตกเฉียงใต้และมุมเอียงที่ 18 องศาสามารถส่งผลในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ 27,500 kg.CO₂eq/ปี และผลิตไฟฟ้าได้ 40,882.81 kWh/ปี โดยมีงบประมาณในการลงทุน 1,658,750 บาท อีกทั้งค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal rate of return: IRR) อยู่ในเกณฑ์ที่น่าลงทุน โดยมีค่า IRR อยู่ที่ 11% ซึ่งมีค่าสูงกว่าอัตราผลตอบแทนต่อปีและค่า NPV อยู่ที่ 554,326 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 8.60 ปี

เมื่อนำผลลัพธ์ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้หรือเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องพบว่า หากเปรียบเทียบการลดการใช้พลังงานในกลุ่มโรงแรมจากการศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานภายในอาคารประเภทโรงแรม กรณีศึกษา โรงแรมริชมอนด์สโรจน์ คอนเวนชัน ได้กล่าวว่า ถ้ากลุ่มธุรกิจโรงแรมสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างน้อย 10% จะส่งผลทำให้ทิศทางการใช้พลังงานของประเทศนั้นสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน ซึ่งในรูปแบบในการติดตั้งแบบที่ 3 สามารถลดการใช้พลังงานรวมถึงลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้สูงเกือบ 100% จากที่โรงแรม Base Case ได้ทำการปล่อย จึงจัดว่าทิศทางการใช้พลังงานสามารถลดลงได้อย่างชัดเจน แต่หากจะเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ทำการชดเชยคาร์บอนในโรงแรมขนาดเล็กอาจจะยังไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง เนื่องจากการศึกษาในอาคารประเภทนี้ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยในปัจจุบันยังมีเพียงแค่การศึกษานำระบบพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ในเพียงโรงแรมขนาดกลาง

นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาเพิ่มเติมเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่มีศักยภาพสำหรับใช้ในอาคารประเภทโรงแรมมาปรับใช้เพิ่มเติมในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ ได้แก่ พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ ก๊าซชีวภาพ พลังงานน้ำ (Dhirasasn, 2021) และจากกรณีศึกษาจากประเทศอินเดียของ Rajarajan and Venkatasubramanian (2016) ที่ได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในโรงแรมระดับดาวที่แตกต่างกันพบว่า ได้มีการแนะนำพลังงานหมุนเวียนจากลมเข้ามาช่วยสะท้อนให้เห็นว่าหากมีการพิจารณาเลือกใช้พลังงานหมุนเวียนและรูปแบบการติดตั้งที่เหมาะสม จะช่วยให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สามารถช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้สูงยิ่งขึ้น

6.2 สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ประเมินศักยภาพและเปรียบเทียบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของอาคาร Base Case ของโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่าน โดยศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อเสนอแนวทางในการติดตั้งของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่คำนึงถึงรูปแบบในการติดตั้งและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อช่วยในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์พบว่า อิทธิพลของรูปร่างอาคารรูปร่าง L-Shape สามารถเลือกพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากกว่าอาคารรูปร่าง I-Shape เนื่องจากอาคารรูปร่าง L-Shape มีด้านให้สามารถเลือกติดตั้งถึง 6 ด้าน แต่อาคารรูปร่าง I-Shape หากอาคารเป็นหลังคาทรงจั่วสามารถติดตั้งได้เพียง 2 ด้าน ซึ่งมีทางเลือกน้อยกว่า และในส่วนอิทธิพลของรูปทรงหลังคาพบว่า หลังคาทรงปั้นหยามีความยืดหยุ่นในการเลือกพื้นที่ในการติดตั้งให้เกิดประสิทธิภาพได้ดีกว่า เนื่องจากเป็นหลังคาที่มีด้านลาดชันทั้งสองด้าน ซึ่งจะแตกต่างจากหลังคาทรงจั่วที่มีด้านลาดชันเพียงสองด้าน จึงสามารถที่จะเลือกด้านในการติดตั้งให้หันเข้าหาทิศที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า โดยอาคารทั้ง L-shape และ I-shape มีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแนวการวางอาคารของโรงแรมว่ามีการวางอาคารแนวยาวหันเข้าหาทิศใด

จากผลลัพธ์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 3 มีความน่าลงทุนมากที่สุด หรือรูปแบบการติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี ทั้งในอาคารรูปร่าง L-shape และ I-shape โดยถึงแม้รูปแบบที่ติดตั้งแบบเต็มพื้นที่หลังคา และติดตั้งแบบครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคา จะสามารถขายค่าไฟส่วนเกินที่ผลิตได้ให้การไฟฟ้าได้ แต่เงินที่ได้จากการขายไฟฟ้าไม่มากเพียงพอต่อความน่าลงทุนของโครงการ ซึ่งสอดคล้องกับค่า NPV ที่มีค่าต่ำกว่า 0 ทั้ง 2 รูปแบบ แต่รูปแบบติดตั้งแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี มีค่า NPV มากกว่า 0 ในทุกกรณีจึงจัดว่าอยู่ในเกณฑ์น่าลงทุน โดยตารางที่ 2 แสดงรูปแบบการติดตั้งที่ดีที่สุดจากอาคารทั้ง 2 รูปแบบ

ตารางที่ 2 ผลศักยภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบที่ดีที่สุดจากอาคารโรงแรม Base Case ทั้ง 2 รูปแบบ

Table 2 Results of the best form of solar energy production potential from both types of Base Case hotel.

Building	I-shape building	L-shape building
Roof shape	Gable roof	Hip roof
Solar panel tilt angle	18°	18°
Direction for installing solar panels	Southwest	Southwest
Number of solar panels, size 340 watts (Panel)	98	89
IRR for Off-grid system (%)	11	10
NPV for Off-grid system (baht)	554,326	373,624
Payback Period (Year)	8.60	9.42
System investment costs (baht)	1,658,750.00	1,595,750.00
Electrical energy produced from a solar power generation system (kWh/year)	45,941.89	40,882.81
Reduced carbon footprint (kg.CO ₂ eq/year)	27,500.81	24,472.45

โดยจากวิเคราะห์รูปแบบการติดตั้งทั้ง 3 รูปแบบ จึงสามารถสรุปเป็นแนวทางในการออกแบบโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีที่สุดทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังนี้

1) พื้นที่หลังคาอาคาร

รูปแบบที่เหมาะสมในการติดตั้ง คือ การติดตั้งในรูปแบบครอบคลุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารใน 1 ปี เนื่องจากถึงแม้การติดตั้งรูปแบบการติดตั้งแบบเต็มพื้นที่ หรือครึ่งหนึ่งของพื้นที่หลังคาจะสามารถขายไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานคืนการไฟฟ้าได้ แต่เมื่อคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้วรูปแบบดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่น่าลงทุน

2) รูปทรงหลังคาอาคาร

หลังคาปั้นหยามีความยืดหยุ่นในการเลือกพื้นที่ในการติดตั้ง สำหรับหันเข้าหาทิศต่าง ๆ ได้ดีกว่า เนื่องจากเป็นหลังคาที่มีด้านลาดชันทั้งสองด้าน ซึ่งจะแตกต่างจากหลังคาทรงจั่วที่มีด้านลาดชันเพียงสองด้าน

3) รูปร่างอาคาร

อาคารรูปร่าง L-Shape สามารถเลือกพื้นที่ในการติดตั้งได้มากกว่าอาคารรูป I-Shape เนื่องจากมีด้านให้ติดตั้งถึง 6 ด้าน แต่อาคารรูปร่าง I-Shape หลังคาทรงจั่ว สามารถติดตั้งได้เพียง 2 ด้าน ซึ่งมีทางเลือกน้อยกว่า

4) มุมเอียงหลังคาและมุมเอียงของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

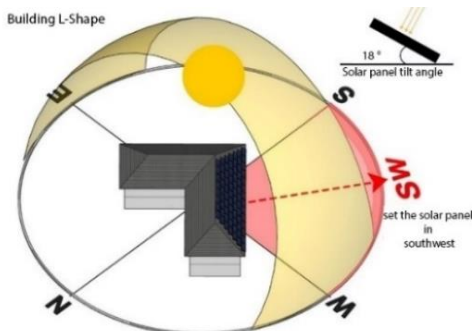
พบว่ามุมลาดเอียงที่ดีที่สุดที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ คือ มุม 18 องศา

5) ทิศทางแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทิศที่ส่งผลต่อศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ดีที่สุดคือ ทิศใต้ และทิศตะวันตกเฉียงใต้

โดยจากปัจจัยทั้ง 5 ข้อที่กล่าวมาข้างต้น จึงสามารถสรุปเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการจะสร้างโรงแรมพร้อมสามารถวางแผนการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยนำแนวทางดังแสดงในรูปที่ 13 ไปปรับใช้ในการวางแผนอาคารและออกแบบมุมเอียงหลังคา แต่สำหรับผู้ประกอบการที่มีโรงแรมอยู่แล้วสามารถนำแนวทางในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงในตารางที่ 3 ไปปรับใช้ตามแนวอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยหมายเลขจะแสดงลำดับพื้นที่ในการ

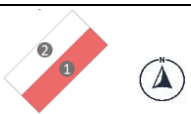
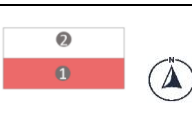
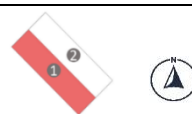
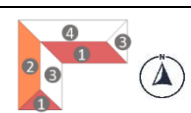
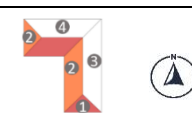
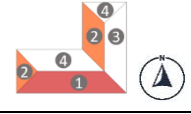
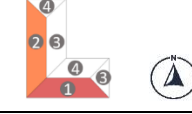
ติดตั้งที่มีประสิทธิภาพในลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด เพื่อเป็นทางเลือกในการติดตั้งหากพื้นที่ที่ดีที่สุดติดตั้งแล้วบังทัศนียภาพของโรงแรม สามารถติดตั้งในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีประสิทธิภาพรองลงมาได้



รูปที่ 13 แนวทางการออกแบบอาคารโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านที่ส่งผลให้สามารถลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ดีที่สุด
Figure 13 Guidelines for designing small hotel buildings in Nan Province for reduction of carbon footprint.

ตารางที่ 3 แนวทางการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับผู้ประกอบการที่มีโรงแรมอยู่แล้ว

Table 3 Guidelines for installing a solar energy system for entrepreneurs who already have a hotel.

Guidelines for installing a solar system for an I-Shape building in various directions			
The long side of the building faces the southeast or northwest.	The long side of the building faces the south or north.	The long side of the building faces the southwest or northeast.	The long side of the building faces the west or east.
			
Guidelines for installing a solar system for an L-Shape building in various directions			
The long side of the building faces the south or north.	The long side of the building faces the northeast or southwest.	The long side of the building faces the east or west.	The long side of the building faces the southeast or northwest.
			
			

6.3 ข้อเสนอแนะ

การชดเชยคาร์บอนขององค์กรประเภทธุรกิจโรงแรมค่อนข้างเป็นเรื่องใหม่ อีกทั้งทางภาครัฐและเอกชน ยังไม่ได้ออกกฎระเบียบข้อบังคับที่ชัดเจน หรือยังไม่ได้ให้การสนับสนุนอย่างเต็มที่ แต่รูปแบบในการสร้างอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวสีเขียวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างครบวงจร เป็นเทรนด์ที่ไม่ใช่แค่เทรนด์อีกต่อไป ตอนนี้ได้มีการนำเข้ามาใช้งานจริงที่ไทยแล้วในหลายภาคพื้นที่ ทั้งการใส่ใจสิ่งแวดล้อม และลดการใช้พลังงาน ดังนั้น การศึกษาศักยภาพในการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในอาคารโรงแรมขนาดเล็กในจังหวัดน่านครั้งนี้ จะสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางให้กับธุรกิจโรงแรมที่มีความสนใจในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ได้ โดยการส่งเสริมให้บุคลากรภายในศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ในด้านการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร เพื่อให้โรงแรมได้วางแผนในการพัฒนาแนวทางการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามไม่เพียงแต่การติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โรงแรม

อื่น ๆ ยังสามารถพิจารณาศึกษาการนำเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกอื่น ๆ มาปรับใช้ให้เหมาะสมต่อสภาพอากาศในพื้นที่ได้ ไม่ว่าจะเป็น พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ ก๊าซชีวภาพ การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องทำน้ำร้อน การใช้หลอดไฟ LED ประหยัดไฟ ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ควบคู่ไปกับการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ นอกจากนี้ควรจะมีการเผยแพร่ข้อมูลการใช้ทรัพยากรหลังจากการดำเนินการตามมาตรการให้แก่พนักงานได้รับทราบ เพื่อสร้างจิตสำนึกที่ดีให้แก่พนักงาน และจากงานวิจัยนี้ทำให้เห็นว่า การใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงแรมขนาดเล็ก จะเป็นการสร้างความแตกต่างให้กับธุรกิจ และสามารถลดต้นทุนการดำเนินงาน โดยเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้า เพิ่มกำไรให้กับธุรกิจ ควบคู่ไปกับการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาธุรกิจอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันของประเทศ (บพข.) สำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมแห่งชาติ (สอวช.) ทุนวิจัยสัญญาเลขที่ C10F640281 เรื่อง “เที่ยวน่าน ใส่ใจ ไร้อาร์บอน: การพัฒนารูปแบบการท่องเที่ยวคาร์บอนต่ำสำหรับการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนในจังหวัดน่านเพื่อนำไปสู่แหล่งท่องเที่ยวการปล่อยคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์” และได้รับการพิจารณาอนุมัติโครงการจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 2 สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และศิลปกรรมศาสตร์ เลขที่โครงการ 247/64

เอกสารอ้างอิง

- Amiri, A., Ottelin, J., & Sorvari, J. (2019). Are LEED-certified buildings energy-efficient in practice?. *Sustainability*, 11(6), 1672. <https://doi.org/10.3390/su11061672>
- Atchanapanya, N. (2020). *Ku Ru Thongthiao Chi Trend Mai Ma Raeng Lang COVID-19*. <https://moneyclub.asia/bizconnect/> (in Thai)
- Chansela, W., & Inkarojri, V. (2019). Feasibility Assessment of Solar Rooftop Systems for Gymnasium: Case Study of School and University. *Journal of Environmental Design*, 7(2), 2-25. (in Thai)
- Cheung, M., & Fan, J. (2013). Carbon reduction in a high-density city: A case study of Langham Place Hotel Mongkok Hong Kong. *Renewable energy*, 50, 433-440. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.06.060>
- Chomdee, S. (2015). *Investment Analysis of Photovoltaic Rooftop Systems for Residences in Northern Thailand* [Master's thesis]. Chiang Mai University (in Thai)
- Rungsiyopas, M., & Chuenwattanapranithi, C. (2022). Determining the significance of installation parameters affecting energy yield of grid-connected rooftop photovoltaic system. *Journal of Engineering and Innovation*, 15(3), 57-70. (in Thai)
- Dhirasasna, N., & Sahin, O. (2021). A system dynamics model for renewable energy technology adoption of the hotel sector. *Renewable Energy*, 163, 1994-2007. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.088>
- Department of Energy Development and Efficiency. (2017). *Project for Improving Solar Energy Potential Maps from Satellite Imagery for Thailand in 2017*. (in Thai) https://oldwww.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736&filename=index
- Duangchaiboon, K. (2018). Feasibility study on hybrid solar water heating for hotel buildings. *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University*, 13(1), 65-78. (in Thai)
- Elghamry, R., Hassan, H., & Hawwash, A. A. (2020). A parametric study on the impact of integrating solar

- cell panel at building envelope on its power, energy consumption, comfort conditions, and CO₂ emissions. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119374.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119374>
- Fathalian, A., & Kargarsharif, H. (2020). Investigating the effect of different energy saving strategies on energy rating of building by design builder software (case study: office building). *Journal of Environmental Science and Technology*, 22(7), 199-214.
- Gössling, S., Peeters, P., Ceron, J. P., Dubois, G., Patterson, T., & Richardson, R. B. (2005). *The eco-efficiency of tourism. Ecological economics*, 54(4), 417-434.
- Klamkruea, P. (2022, September 5). *Solar roof: Can everyone own a power plant? Is it worth it? Should I install it yet?*. <https://thestandard.co/podcast/thesecondsauce556/> (in Thai)
- Lai, J. H. (2015). Carbon footprints of hotels: analysis of three archetypes in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society*, 14, 334-341.
- Lerthasit, P. (2022, September 6). *Eco hotels: Eco-friendly hotels – Practices and trends in 2022*, <https://aiello.ai/th/blog-th/eco-friendly-hotel-trend/> (in Thai)
- Metropolitan Electricity Authority. (2022, May 23). MEA opens applications for the 2022 Public Solar Power Project, buying electricity at 2.20 baht per unit under the Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) policy. <https://www.mea.or.th/content/detail/87/6665> (in Thai)
- Pojisiri, A. (2016). *Cost Analysis of Solar Rooftop Project for Small Building* [Master's thesis]. Chon Buri: Burapha University.
- Pongchavalit, P. (2014). *Assigning guidelines to reduce carbon footprint for domestic small and medium-sized hotel based on the assessment of the carbon footprint for organization (CFO) using Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) standard* [Master's thesis]. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- Rajarajan, M., & Venkatasubramanian, S. G. A. (2016). Study on Carbon Footprint of Different Hotels in A Metropolitan City, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 3(1), 91-97.
- Salehi, M., Filimonau, V., Asadzadeh, M., & Ghaderi, E. (2021). Strategies to improve energy and carbon efficiency of luxury hotels in Iran. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 1-15.
- Solargis. (2013). *World Map of Global Horizontal Irradiation*.
<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world>
- Somsawasdi, A. (2022, December 15). *It's time for ESG in the hotel industry*.
<https://thethinkwise.com/2022/12/15/esg-for-hotel-business/> (in Thai)
- Sridaranon, N. (2018). Concept of Innovative Solar Energy Development for Buildings in Tropical Climate. *Built Environment Inquiry Journal*, 17(2), 11-24. (in Thai)
- Taylor, S., Peacock, A., Banfill, P., & Shao, L. (2010). Reduction of greenhouse gas emissions from UK hotels in 2030. *Building and environment*, 45(6), 1389-1400.
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (2016). *Carbon Footprint of Organization*.